

## Referências Bibliográficas

- [1] Albuquerque J. P., Fortes J. M., *Statistical Aspects in the Evaluation of Interference among Satellite Networks*, Proceedings of the IEEE International Communications Conference, pp. 7.2.1-7.2.5, Philadelphia, 1988
- [2] N. Makhijani, *Statistical Analysis of Link Budgets*, 1988 IEEE International Conference on Communications - ICC'88, Philadelphia, Junho 1988.
- [3] *Stochastic Approach in the Evaluation of Interference Between Satellite Networks*, Reports of the CCIR, 1990, Annex to Volume IV - Part 1, Fixed-Satellite Service, Report 1137, Geneva, 1990.
- [4] Fortes, J. M. P., *On the Power Flux-Density Limits to Protect the Fixed Service from HEO FSS Satellites Emissions in the 18 GHz Band*, International Journal of Satellite Communications and Networking, ISSN 1542-0973, Vol. 24, No. 1, pp 73-95, Jan/Feb 2006.
- [5] Finamore A. C. e Fortes J. M. P., *Protection of FS Receivers from the Interference Produced by HEO FSS Satellites in the 18 GHz Band: Effect of the roll-off Characteristics of the HEO System Satellite Antenna Beams*, International Journal of Satellite Communications and Networking, ISSN 1542-0973, Vol. 26 pp 211-230, 2008.
- [6] *Protection of satellite networks using the geostationary orbit (GSO) from interference caused by HEO satellites systems in highly inclined orbits in the band 19.7-20.2 GHz*, Documento 4A/49, submetido pela administração do Japão à reunião do Grupo de Trabalho 4A do Setor de Radiocomunicações da UIT, abril 2004.
- [7] *Assessment of interference into 4 GHz fixed service systems from fixed-satellite service satellites operating in highly elliptical orbits*, Documento 4-9S/328, submetido pela administração do Canadá à reunião do WP 4-9S de Abril de 2003.
- [8] Fortes J. M. P. e Sampaio Neto R., *Impact of Avoidance Angle Mitigation Techniques on the Interference Produced by Non-GSO Systems in a*

- Multiple Non-GSO Interference Environment*, International Journal of Satellite Communications, ISSN 0737-2884, Vol. 21, pp 575-593, Novembro-Dezembro 2003.
- [9] Fortes J. M. P. e Maldonado J. E. A., *Protection of Fixed Service Receivers from the Interference produced by non-geostationary Satellites in a Fixed Satellite Service Network: An statistical interference Analysis*, International Journal of Satellite Communications, Vol. 20, No. 1, pp15-27, 2002.
- [10] J. M. Fortes J. M. P. e Baptista A. J., *Satellite link performance under rain and external interferences: Constrains to be imposed to the Statistical behavior of external interferences*, International Journal of Satellite Communications and Networking, Vol. 29, pp 333-348, 2011.
- [11] V. Weerackody e E. Cuevas, *A statistical approach to specifying the off-axis EIRP spectral density in on-the-move satellite communications*, Proceedings of the IEEE, 2008.
- [12] *Working document on Off-axis EIRP Emissions in the Presence of Motion induced Antenna pointing Errors*, Documento 4A/220, submetido pela administração do Estados Unidos à reunião do WP 4A de outubro de 2005.
- [13] *Proposed Amendment to Report 391-2: Some statistical Properties of Antenna Sidelobes*, Documento CCIR 4/32, submetido pela administração do Japão à Reunião do CCIR, Genebra, 1976.
- [14] Jeruchim M. C., *A Statistical Approach to Satellite Interference Levels*, Records of the International Conference on Communications, pp 35.3.1-353.4, Toronto 1978.
- [15] Karmel P. R., *Statistical Properties of Antenna Sidelobes*, Comsat Technical Review, Vol. 9, No. 1, pp 91-120, 1979.
- [16] Kadrichu A., Prasana S., Mukunda R., *Stochastic Evaluation of Interference Aggregation in Satellite Communications*, Proceedings of the IEEE International Communications Conference, pp. 50.1.1-50.1.7., Seattle, Junho 1987
- [17] Albuquerque J. P., Fortes J. M., Gouveia W. P., *Uso mais eficiente da órbita de satélites geoestacionários através do tratamento probabilístico da interferência entre redes*, Anais do VII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, pp 95-101, Florianópolis, Setembro 1989.

- [18] *Statistical Model for Sidelobe Interference in Satellite Networks*, Relatório Final, Contrato INTEL-198, Maio 1982.
- [19] Fortes, J. M. P. e Cordova M., A. O., *Efeito da modelagem probabilística dos ganhos nos lóbulos laterais das antenas das estações terrenas no cálculo da interferências entre redes de comunicação por satélite*, Dissertação de mestrado, Rio de Janeiro, 2012.
- [20] *Satellite antenna radiation patterns for non-geostationary orbit satellite antennas operating in the fixed-satellite service below 30 GHz*, Recommendation ITU-R S.1528, Genebra, 2010.
- [21] *Mathematical model of average and related radiation patterns for line-of-sight point-to-point radio-realy system antennas for use in certain coordination studies and interference assessment in the frequency range from 1 GHz to about 70 GHz*, Recommendation ITU-R F.1245-1, Genebra, 2010.
- [22] Moschopoulos, P. G., *The distrubution of the sum of independent gamma random variables*, Annals of the Institute of Statistical Mathematics, Vol. 37, No. 3, pp 541-544, 1985.
- [23] T. M. Apostol, *Calculus*, Second Edition, Vol. 2, pp 424-425, 1969.
- [24] *Methodology for calculating the interference received by the fixed service from space-to-Earth emissions for frequency bands above about 17 GHz*, Documento 4A/396, submetido pela administração do Canadá à reunião do WP 4A de Junho de 2010.
- [25] *Basic requirements for a methodology to calculate the statistics of interference received by fixed service stations from FSS/BSS space-to-Earth emissions for frequency bands above about 17 GHz*, Documento 4A/406, submetido pela administração do Estados Unidos à reunião do Grupo de Trabalho 4A do Setor de Radiocomunicações da UIT, Junho 2010.
- [26] *Statistical method to calculate the interference received by the fixed service from space-to-Earth emissions for frequency bands above about 17 GHz*, Documento 4A/426, submetido pela administração da Finlândia à reunião do Grupo de Trabalho 4A do Setor de Radiocomunicações da UIT, Junho 2010.
- [27] *Example of a possible mathematical implementation of the methodology for statistically calculating the interference received by the fixed service*

*from space-to-Earth emissions for frequency bands above about 17 GHz*, Documento 4A/399, submetido pela administração do Canadá à reunião do Grupo de Trabalho 4A do Setor de Radiocomunicações da UIT, Junho 2010.

- [28] *Basic requirements for a methodology to calculate the statistics of interference received by fixed service stations from FSS/BSS space-to-Earth emissions for frequency bands above about 17 GHz - Version 2*, Documento 4A/475, submetido pela administração do Estados Unidos à reunião do Grupo de Trabalho 4A do Setor de Radiocomunicações da UIT, Abril 2011.
- [29] *Basic requirements for a methodology to calculate the statistics of interference received by fixed service stations from FSS/BSS space-to-Earth emissions for frequency bands above about 17 GHz*, Documento 4A/499, submetido pela administração do Canadá à reunião do Grupo de Trabalho 4A do Setor de Radiocomunicações da UIT, Abril 2011.

## A

### Geração de pontos uniformemente distribuídos na região da superfície terrestre limitada pelo contorno de 3 dB de uma antena de satélite com feixe circular

Neste apêndice é desenvolvido um algoritmo que permite a geração de posições geográficas uniformemente distribuídas sobre a superfície da Terra dentro da área de cobertura de -3dB de uma antena de satélite com feixe cônico circular. Na Figura A.1  $\delta$  é o ângulo que caracteriza a abertura do feixe cônico,  $D$  é a região correspondente à seção reta do cone tomada a uma distancia  $d$  de seu vértice e  $S_C$  é a região da superfície da Terra interna à superfície cônica considerada. Note que  $\mathbf{a}'$  é a projeção cônica do ponto  $\mathbf{a}$  sobre a superfície da Terra. Conforme mostrado nesta figura o principal problema é determinar a função densidade de probabilidade do vetor  $\mathbf{a} \in D$  que implica numa função densidade de probabilidade para o vetor  $\mathbf{a}'$  que seja uniforme sobre a superfície da região  $S_C$

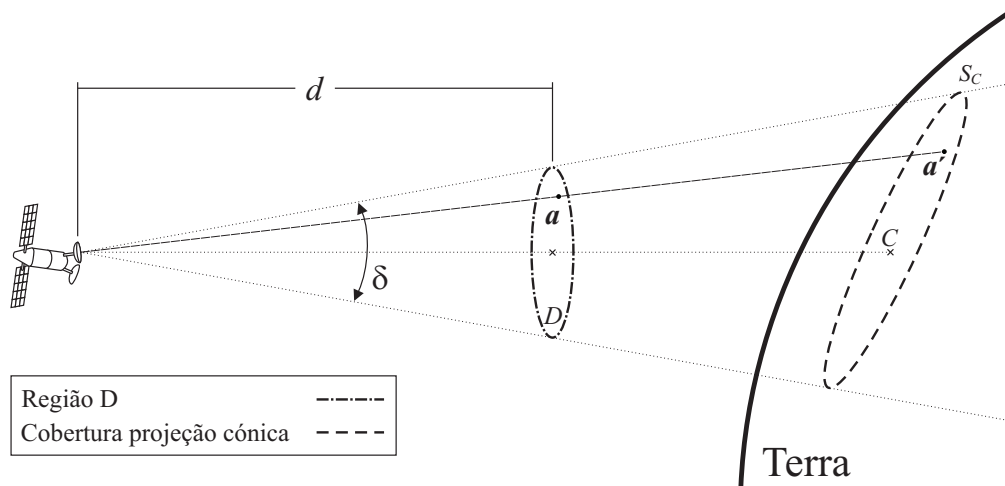


Figura A.1: Projeção cônica do plano  $D$  na superfície da Terra.

No algoritmo proposto neste apêndice a distancia  $d$  é escolhida de modo que o centro da região  $D$  coincida com o ponto  $C$  que é a interseção do eixo do cone com a superfície da Terra, conforme mostrado na Figura A.2. Além disso, a região  $S_C$  é aproximada pela projeção cilíndrica da região  $D$  sobre a superfície da Terra, (região  $S_S$  na Figura A.2). Esta aproximação depende do

tamanho da região  $D$  em relação ao raio da Terra, ou seja, dos valores de  $d$  e  $\delta$ .

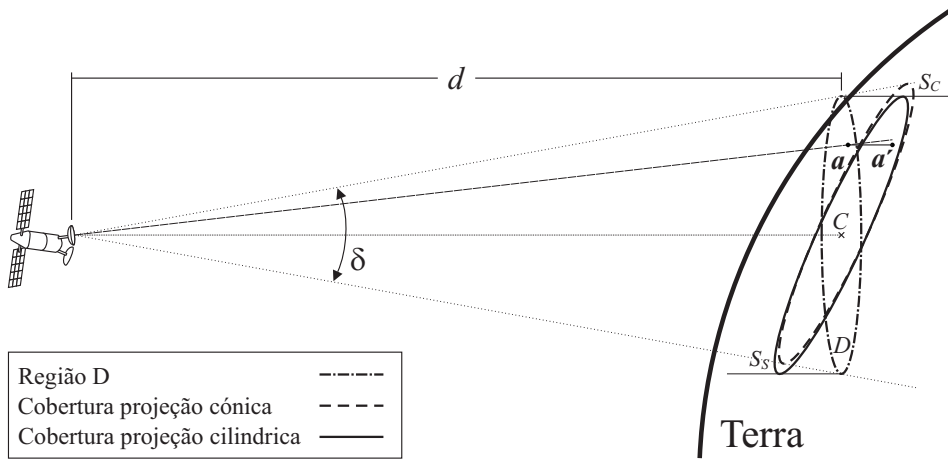


Figura A.2: Projeção cilíndrica do plano  $D$  na superfície da Terra.

Para obter a área  $A_S$  da região  $S_S$  é utilizado o teorema da integral [23], lembrado a seguir.

Seja  $z = f(x, y)$  a função diferenciável que descreve a superfície da Terra para  $(x, y) \in D'$  (ver Figura A.3). De acordo com o teorema da integral, a área  $A_S$  da superfície  $S_S$  pode ser obtida por

$$A_S = \iint_{D'} \sqrt{1 + \left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2} dx dy \quad (\text{A-1})$$

No caso de uma superfície esférica, como a superfície da Terra a função  $f(x, y)$

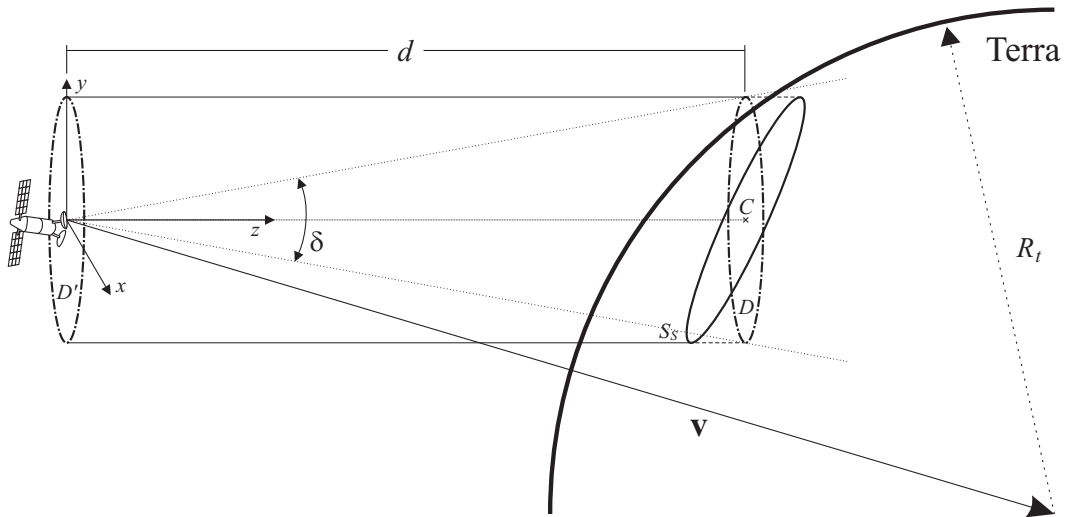


Figura A.3: Aproximação de área de cobertura

é dada por

$$f(x, y) = \sqrt{R_t^2 - (x - x_0)^2 - (y - y_0)^2} + z_0 \quad (\text{A-2})$$

onde  $R_t$  é o raio da Terra, e  $(x_0, y_0, z_0)$  são as coordenadas do vetor  $\mathbf{V}$  que indica a posição do centro da Terra com relação à origem do sistema de eixos  $x, y, z$ . Substituindo-se (A-2) em (A-1) a área da superfície  $S_S$  escreve-se como

$$A_S = \iint_{D'} \sqrt{\frac{R_t^2}{R_t^2 - (x - x_0)^2 - (y - y_0)^2}} dx dy \quad (\text{A-3})$$

ou, em coordenadas polares,

$$A_S = \int_0^{2\pi} \int_0^{R_0} \frac{R_t r}{\sqrt{-r^2 + 2r_0 \cos(\theta - \theta_0)r - r_0^2 + R_t^2}} dr d\theta \quad (\text{A-4})$$

onde  $R_0 = d \tan \frac{\delta}{2}$  é o radio da região  $D'$  e

$$r_0 = \sqrt{x_0^2 + y_0^2} \quad (\text{A-5})$$

$$\theta_0 = \arctan \frac{y_0}{x_0} \quad (\text{A-6})$$

$$(\text{A-7})$$

Neste ponto, considere a função

$$g(r, \theta) = \frac{R_t r}{\sqrt{-r^2 + 2r_0 \cos(\theta - \theta_0)r - r_0^2 + R_t^2}} ; \begin{cases} 0 < r < R_0 \\ 0 < \theta < \Theta \end{cases} \quad (\text{A-8})$$

Neste caso (A-4) pode ser escrita como

$$A_S = \int_0^{2\pi} \int_0^{R_0} g(r, \theta) dr d\theta \quad (\text{A-9})$$

Seja  $D'_{R\Theta}$  a região do plano  $x, y$  definida por  $0 < r < R$  e  $0 < \theta < \Theta$ . Seja  $S_{R\Theta}$  a região correspondente à projeção cilíndrica de  $D'_{R\Theta}$  sobre a superfície da Terra e  $A_{R\Theta}$  a área desta mesma região dada por (ver (A-3) e (A-4))

$$A_{R\Theta} = \int_0^{\Theta} \int_0^R g(r, \theta) dr d\theta \quad (\text{A-10})$$

Para obter uma distribuição uniforme sobre a região  $S_S$  é necessário que

$$P(\mathbf{a}' \in S_{R\Theta}) = \frac{A_{R\Theta}}{A_S} \quad (\text{A-11})$$

Considerando-se de (A-10) obtém-se

$$P(\mathbf{a}' \in S_{R\Theta}) = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^{R_0} g(r, \theta) dr d\theta}{A_S} \quad (\text{A-12})$$

com  $A_S$  dado por (A-9). Note que

$$P(\mathbf{a}' \in S_{R\Theta}) = P(\mathbf{a} \in D_{R\Theta}) = P(0 < r < R, 0 < \theta < \Theta) = F_{r\theta}(R, \Theta) \quad (\text{A-13})$$

A função distribuição de probabilidade conjunta de  $r$  e  $\theta$  é então dada por

$$F_{r\theta}(R, \Theta) = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^{R_0} g(r, \theta) dr d\theta}{A_S} \quad (\text{A-14})$$

e conseqüentemente a função densidade de probabilidade conjunta de  $r$  e  $\theta$  é dada por

$$p_{r\theta}(R, \Theta) = \frac{1}{A_S} g(R, \Theta) \quad (\text{A-15})$$

Observe que a função densidade de probabilidade de  $\theta$  se escreve

$$p_\theta(\Theta) = \int_{-\infty}^{\infty} p_{r\theta}(R, \Theta) dr d\theta \quad (\text{A-16})$$

Considerando-se (A-8) e (A-15), e resolvendo-se a integral em (A-16), obtém-se

$$p_\theta(\Theta) = \frac{R_t}{A_S} \left\{ \sqrt{c} - \sqrt{bR_0 + c - R_0^2} - \frac{b}{2} \left[ \arcsin \left( \frac{b - 2R_0}{\sqrt{b^2 + 4c}} \right) - \arcsin \left( \frac{b}{\sqrt{b^2 + 4c}} \right) \right] \right\} \quad (\text{A-17})$$

onde

$$b = 2r_0 \cos(\Theta - \theta_0) \quad (\text{A-18})$$

$$c = R_t^2 - r_0^2 \quad (\text{A-19})$$

com  $\theta_0$  e  $r_0$  dada por (A-5) e (A-6), respectivamente. A função densidade de probabilidade condicional de  $r$  dado  $\theta = \Theta$  é obtida utilizando-se a relação

$$p_{r|\theta=\Theta}(R) = \frac{p_{r\theta}(R, \Theta)}{p_\theta(\Theta)} \quad (\text{A-20})$$

Finalmente a função distribuição de probabilidade de  $\theta$  e a função distribuição



de probabilidade condicional de  $r$  dado  $\theta = \Theta$ , são obtidas integrando-se (A-17) e (A-20), obtendo-se

$$F_{\theta}(\Theta) = \int_0^{\Theta} p_{\theta}(\alpha) d\alpha \quad (\text{A-21})$$

$$F_{r|\theta=\Theta}(R) = \int_0^R p_{r|\theta=\Theta}(\beta) d\beta \quad (\text{A-22})$$

Neste ponto, vale lembrar que para gerar amostras de uma variável aleatória  $y$  com função distribuição de probabilidade  $F_y(Y)$ , basta gerar amostras de uma variável aleatória  $x$  uniforme em  $(0, 1]$  e efetuar a transformação

$$y = F_y^{-1}(x) \quad (\text{A-23})$$

Assim, amostras de  $\theta$  podem ser geradas considerando-se o inverso de (A-21). Dado o valor gerado de  $\theta$ , é possível obter amostras da variável  $r$  a partir do inverso de (A-22).

A título de exemplo, a Figura A.4 ilustra pontos sobre a superfície da Terra, e interiores a feixes circulares, gerados com o algoritmo proposto. As especificações dos feixes são apresentados na Tabela A.1

Tabela A.1: Especificações técnicas dos feixes utilizados

Nome	Posição Orbital	Longitude Apontamento	Latitude Apontamento	Abertura do feixe	Quantidade de Pontos Gerados
Feixe 1	-23°	-69°	-7°	0.7°	2000
Feixe 2	-23°	-37.5°	-7.2°	0.7°	2000
Feixe 3	-23°	-52.3°	-28.5°	0.7°	2000

Da Figura A.4 é possível observar que a distribuição dos pontos gerados têm uma distribuição uniforme sobre a superfície da Terra.

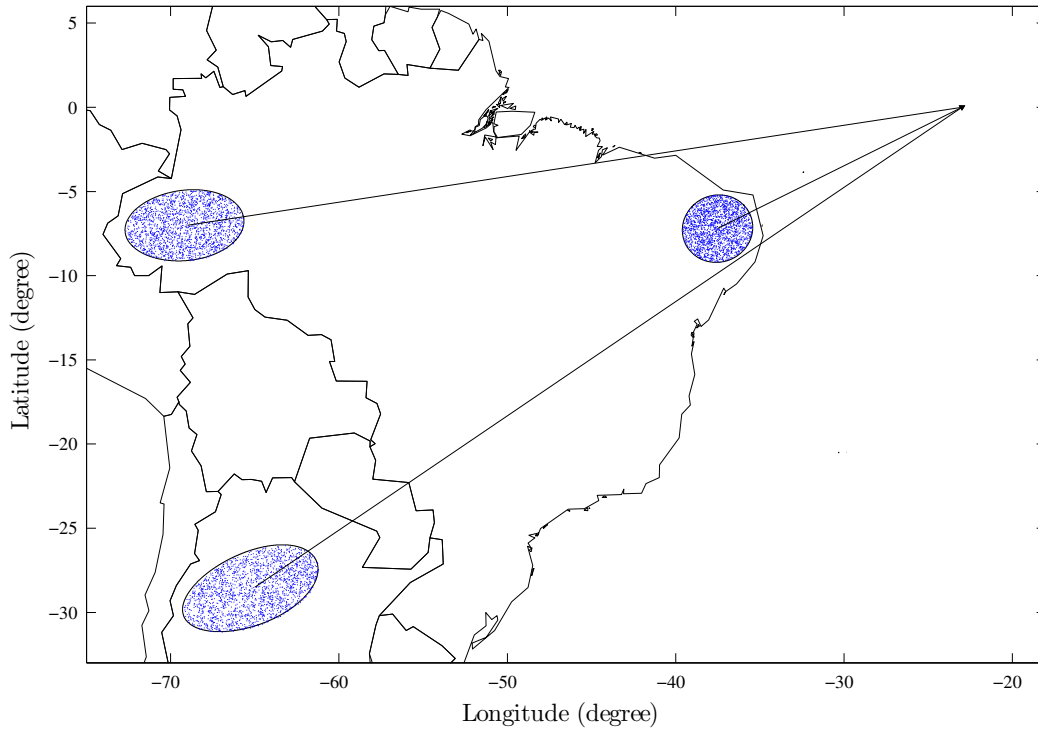


Figura A.4: Comparação dos feixes 1,2 e 3 e a geração dos pontos aleatórios.