

## 2

### Descrição do Problema

Considere a situação ilustrada na Figura 2.1, onde um receptor do Serviço Fixo Terrestre (FS) está sujeito às interferências produzidas por múltiplos satélites HEO. Nesta figura são ilustrados os percursos das interferências devidas aos enlaces descendentes de dois satélites HEO. As regras de convivência entre sistemas que compartilham a mesma faixa de frequência são definidas com base em resultados de estudos que analisam situações, onde sistemas interferentes (por exemplo, sistemas HEO) efetuam transmissões que atingem receptores do sistema vítima (por exemplo, receptores do FS). Essas regras visam garantir que o sistema vítima não sofra interferência com níveis acima dos aceitáveis.

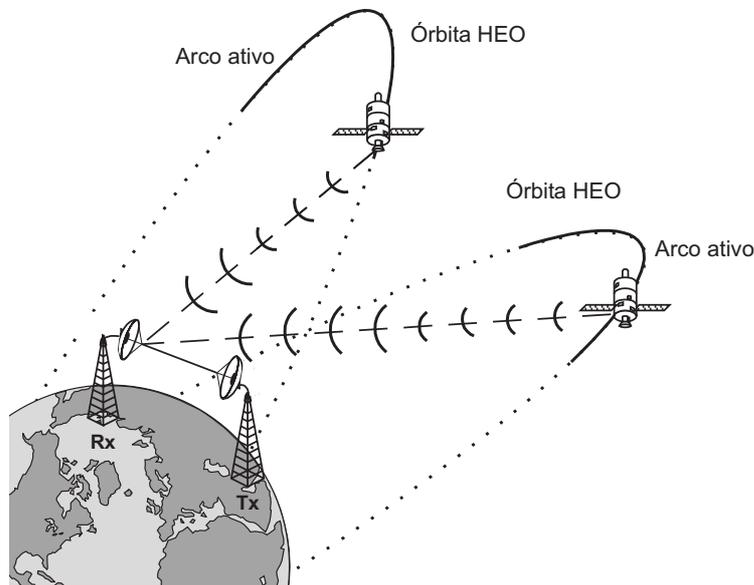


Figura 2.1: Interferência produzida por vários satélites

Neste estudo de compartilhamento de frequências, o critério de proteção é geralmente estabelecido pelos operadores do sistema vítima e as restrições às transmissões interferentes são definidas pelos operadores do sistema inter-

ferente. É importante que as restrições impostas às transmissões interferentes garantam que o critério de proteção do sistema vítima seja satisfeito.

A análise desenvolvida nesta dissertação visa verificar se a interferência agregada produzida por satélites de múltiplos sistemas HEO sobre receptores do Serviço Fixo Terrestre, na faixa de 18 GHz, satisfaz ao critério de proteção estabelecido pelo sistema vítima.

Em trabalhos anteriores [1, 2], as análises de interferência envolvendo a interferência dos satélites de sistemas HEO em receptores do Serviço Fixo Terrestre, modelam como aleatórios a posição dos satélites do sistema HEO, as longitudes das localizações dos receptores FS, e o azimute da direção de apontamento de suas antenas receptoras. Em todos estes trabalhos, o ângulo de elevação da antena receptora FS é fixo e igual a zero. Neste trabalho este ângulo é também modelado por uma variável aleatória com função densidade de probabilidade conhecida.

A seguir são apresentados os dois critérios de proteção usualmente utilizados para o Serviço Fixo Terrestre, além disso, são abordados dois métodos de análise para a avaliação dos efeitos de interferências de sistemas não-geoestacionários no desempenho de enlaces do Serviço Fixo Terrestre.

## 2.1

### Critérios de proteção

Os critérios de proteção para os receptores do Serviço Fixo Terrestre, dependem da faixa de frequência considerada. Quando o principal problema de propagação está associado ao desvanecimento (caso das faixas de frequência de 4/6 e 11/12 GHz) o critério utilizado para a proteção dos receptores do Serviço Fixo Terrestre está baseado no conceito de “degradação fracionária de desempenho” ou *fractional degradation in performance* FDP. Para o caso de sistemas operando na faixa de 18 GHz, onde o desvanecimento não é o principal problema de propagação (alguns dos principais problemas são a atenuação por chuva e a absorção atmosférica), o critério de proteção utilizado é o da Recomendação ITU-R F.1495 [9], baseado em pontos da distribuição cumulativa de probabilidade da razão entre a potência agregada interferente e a potência ruído térmico na entrada do receptor ( $I/N$ ). Cada um desses critérios é apresentado nas seções a seguir.

### 2.1.1

#### Degradação fracionária de desempenho FDP

Para as faixas de frequência cujo principal problema de propagação é o desvanecimento, o critério de proteção do Serviço Fixo Terrestre a ser adotado tem como base a “degradação fracionária de desempenho” ou *fractional degradation in performance* (FDP). É possível mostrar [3] que a degradação fracionária de desempenho depende dos momentos de primeira e segunda ordem da variável aleatória  $I/N$ . No caso de sistemas sem diversidade de espaço, a degradação fracionária de desempenho é dada por

$$FDP = E \left[ \frac{I}{N} \right] \quad (2-1)$$

Nos sistemas com diversidade de espaço se, dentre os sinais recebidos por antenas distintas, o de maior potência é escolhido (chaveamento), a degradação fracionária de desempenho é dada por

$$FDP = 2E \left[ \frac{I}{N} \right] + E \left[ \frac{I^2}{N^2} \right] \quad (2-2)$$

No caso em que a combinação dos sinais é feita de modo que a potência total recebida seja máxima (combinação de máxima potência), a degradação fracionária de desempenho é dada por

$$FDP = 2E \left[ \frac{I}{N} \right] + \frac{3}{2}E \left[ \frac{I^2}{N^2} \right] \quad (2-3)$$

Em (2-1), (2-2) e (2-3),  $N$  é a potência de ruído térmico na entrada do receptor FS, e  $E[I/N]$ ,  $E[I^2/N^2]$  representam os valores médio e médio quadrático da razão interferência ruído na entrada do receptor FS, respectivamente.

O critério de proteção do Serviço Fixo Terrestre para as faixas de frequência nas quais o desvanecimento do sinal é dominante é dado por

$$FDP \leq 0.1 \quad (2-4)$$

### 2.1.2

#### Critério baseado em pontos da distribuição cumulativa de probabilidade da razão I/N

Quando a atenuação por chuva é o principal problema de propagação, o critério empregado na proteção dos receptores do Serviço Fixo Terrestre (FS) da interferência agregada variante no tempo produzida por sistemas de outros

serviços que operam na faixa de frequências de 17.7 – 19.3 GHz, é definido na Recomendação ITU-R F.1495. Este critério estabelece que a razão *interferência agregada ruído térmico*,  $I/N$ , na entrada dos receptores FS deve satisfazer às seguintes condições:

- Para interferências de longo prazo (Long Term)
  - a razão  $I/N$  na entrada do receptor do Serviço Fixo Terrestre não deve exceder  $-10$  dB durante mais do que 20% do tempo (critério LT)
- Para interferências de curto prazo (Short Term)
  - a razão  $I/N$  na entrada do receptor do Serviço Fixo Terrestre não deve exceder  $+14$  dB durante mais do que 0.01% do tempo (primeiro critério de *short term* ST1)
  - a razão  $I/N$  na entrada do receptor do Serviço Fixo Terrestre não deve exceder  $+18$  dB durante mais do que 0.0003% do tempo (segundo critério de *short term* ST2)

Observe que, no caso em que a interferência agregada  $I$  é modelada por uma variável aleatória, e a potência de ruído térmico  $N$  na entrada do receptor FS é fixa, este critério se resume às seguintes restrições

$$\begin{aligned}
 P\left(\frac{I}{N} > 10^{-0.1}\right) &< 0.2 \\
 P\left(\frac{I}{N} > 10^{1.4}\right) &< 0.0001 \\
 P\left(\frac{I}{N} > 10^{1.8}\right) &< 0.000003
 \end{aligned} \tag{2-5}$$

Estas restrições podem ser escritas, de uma maneira geral como

$$P\left(\frac{I}{N} > A_i\right) < P_i \quad i = 1, 2, 3 \tag{2-6}$$

onde  $P_1 = 0.2$ ,  $P_2 = 0.0001$ ,  $P_3 = 0.000003$  são os valores das probabilidades associadas aos três critérios de proteção  $A_1 = 10^{-0.1}$ ,  $A_2 = 10^{1.4}$ ,  $A_3 = 10^{1.8}$  da Recomendação ITU-R F.1495. O resultado em (2-6) pode ainda ser apresentado como

$$P(I > NA_i) < P_i \quad i = 1, 2, 3 \tag{2-7}$$

Este último critério de proteção do receptor FS, será utilizado na análise desenvolvida neste trabalho, uma vez que envolve a interferência de sistemas HEO sobre receptores do Serviço Fixo Terrestre na faixa de 18 GHz, na qual o problema de propagação dominante é a atenuação por chuvas.

## 2.2 Tipos de análise

Para avaliar o efeito da interferência produzida por sistemas de comunicação que utilizam satélites não-geoestacionários, no desempenho de enlaces do Serviço Fixo Terrestre, são usualmente empregados dois métodos: (a) avaliação por rotas e (b) avaliação estação-a-estação.

A diferença entre estes dois métodos está apenas na maneira pela qual é feita a escolha das posições geográficas dos receptores do Serviço Fixo Terrestre. Em ambos métodos, a função densidade de probabilidade da potência interferente  $I$  que atinge a cada um dos receptores considerados, é estimada com base na simulação do movimento dos satélites não-geoestacionários.

As seções 2.2.1 e 2.2.2, descrevem as metodologias utilizadas para escolher a posição geográfica dos receptores do Serviço Fixo Terrestre.

### 2.2.1 Análise por rotas

No caso da análise por rotas, o posicionamento geográfico dos receptores do Serviço Fixo Terrestre é feito da seguinte maneira (ver Figura 2.2): (i) para um ponto  $P$  da superfície da Terra com latitude  $\theta$ , determina-se aleatoriamente uma direção  $D$  para a rota - *direção de rota* (isto é geralmente feito escolhendo-se aleatoriamente um valor de azimute para a reta tangente à superfície da Terra no ponto  $P$ ); (ii) coloca-se o primeiro transmissor da rota em um ponto  $A$  qualquer; (iii) a posição do segundo repetidor da rota é obtida caminhando-se uma distância  $d$  (comprimento do enlace) numa direção que forma um ângulo  $\phi$  com a direção  $D$  da rota, onde  $\phi$  é escolhido aleatoriamente (usualmente considera-se que  $\phi$  é uma variável aleatória com função densidade de probabilidade uniforme no intervalo  $[0, \phi_{max}]$  - alguns dos estudos realizados consideram  $\phi_{max} = 25^\circ$ ); (iv) o procedimento em (iii) é repetido até que sejam colocados todos os repetidores da rota; (v) o ponto central da rota caracteriza a localização da rota; (vi) os procedimentos (i) a (iv) são repetidos para gerar um número de rotas que seja adequado ao estudo a ser realizado. O comportamento estatístico da interferência que afeta receptores de rotas localizadas numa

determinada latitude  $\theta$  é obtido considerando-se todos os receptores das rotas localizadas em pontos da latitude  $\theta$  ou bem próxima de  $\theta$ .

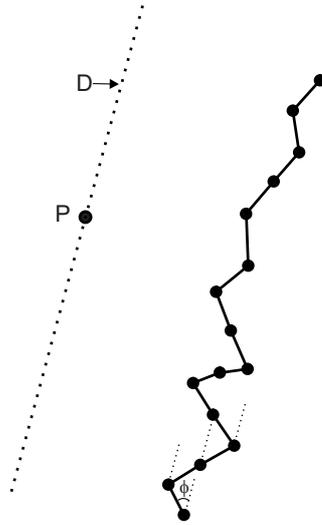


Figura 2.2: Posicionamento dos receptores na simulação por rotas

### 2.2.2

#### Análise estação-a-estação

No caso da análise estação-a-estação, o posicionamento geográfico dos receptores do Serviço Fixo Terrestre é feito da seguinte maneira: (i) para uma dada latitude  $\theta$  os receptores são distribuídos uniformemente em longitude  $\phi$  ao longo do paralelo que corresponde à latitude  $\theta$ ; (ii) especifica-se um valor para o ângulo de elevação  $\varepsilon$  da direção de apontamento das antenas dos receptores; (iii) para cada um dos receptores da latitude  $\theta$  são considerados vários valores de azimute  $\alpha$  para a direção de apontamento das antenas receptoras que variam de  $0^\circ$  até  $360^\circ$  de grau em grau. O comportamento estatístico da interferência que afeta aos receptores localizados na latitude  $\theta$  é obtido considerando-se todos os receptores e, para cada um deles, todas as possibilidades de elevação e azimute. A geometria associada é ilustrada na Figura 2.3.

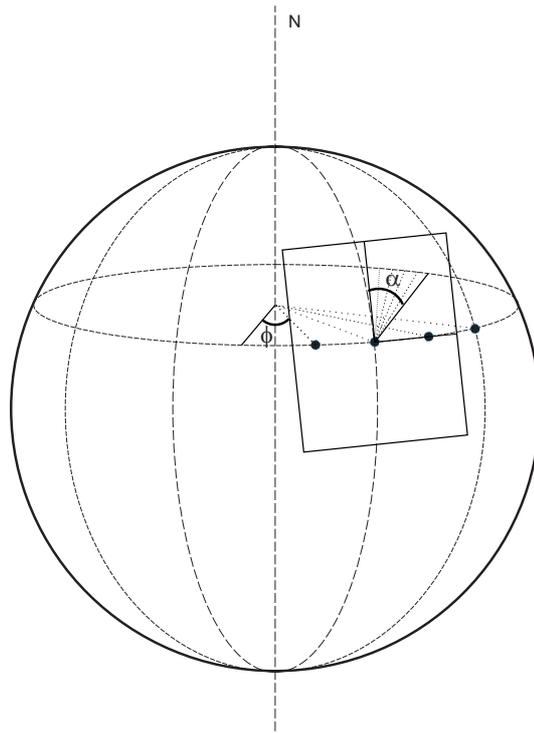


Figura 2.3: Posicionamento dos receptores na simulação estação-a-estação