

3

Sistemas SFN

Neste capítulo vamos, inicialmente, abordar as variantes possíveis de uma configuração SFN e a geometria adequada para uma análise mais aprofundada destes sistemas. Nas seções subsequentes, faremos a descrição do modelo de canal SFN de radiodifusão que existe entre o transmissor e o receptor, dentro da faixa de frequência de VHF e UHF. A caracterização precisa deste canal é essencial se o interesse está na análise do desempenho de uma SFN.

3.1

Características da SFN

Uma rede proposta em SFN deverá lidar com dois tipos de atrasos: o primeiro devido às reflexões em obstáculos naturais e o segundo tipo devido aos sinais transmitidos por outras estações transmissoras da rede. Esses atrasos podem causar uma interferência inter-simbólica, que é administrada, geralmente pelo uso do intervalo de guarda e estimação do canal.

Como na maioria dos modelos de sistemas de transmissão sem fio, a rede SFN deverá lidar com dois tipos de desvanecimento: o primeiro chamado de desvanecimento rápido e o segundo de desvanecimento lento [16]. Essas degradações do sinal, geralmente, são modeladas em termos de funções determinísticas descrevendo as perdas em função da distância e localização dos receptores.

O desvanecimento lento é modelado em função dos grandes obstáculos naturais do terreno e o desvanecimento rápido é modelado pelo espalhamento do sinal nas vizinhanças do receptor. Outros importantes parâmetros são a diretividade das antenas, a potência efetiva irradiada e as características do terreno.

As regiões do mundo, que estão utilizando SFN, estão adotando os modos de transmissão 8K (ou modo 3) [17,18] para que os atrasos de sinais não ultrapassem os intervalos de guarda do sistema. Uma configuração típica de

intervalo de guarda $1/8$, usando modo 8K para padrões OFDM, gera uma faixa de $126 \mu\text{s}$, aproximadamente. Como o intervalo de guarda é maior do que o maior atraso dos sinais das várias estações transmissoras que chegam ao receptor, o receptor poderá combiná-los construtivamente. As técnicas de estimação de canal deverão ser suficientes para compensar os atrasos descritos e equalizar ecos com essa ordem de dispersão temporal.

O envio do sinal da estação geradora para as estações retransmissoras pode ser realizado através de três formas principais: enlaces de fibras ópticas, enlaces de microondas ou pelo próprio canal do sinal. Devido aos custos proibitivos, os enlaces ópticos não são utilizados para retransmissão dos sinais no Brasil. A proposta ideal para uma rede SFN é aquela em que um posto retransmissor da rede recebe o mesmo sinal que será transmitido na mesma frequência. Para isso, é necessário o aprimoramento dos filtros de cancelamento de realimentação (LCF – *Loop Canceller Filter*) [19]. Com esse procedimento, é possível evitar os dispendiosos elos de microondas ponto a ponto que levam para o posto de retransmissão o sinal a ser transmitido como acontece em muitos casos.

A rede SFN também pode operar com *gap-filler* para melhoria de recepção em locais extremamente problemáticos de sombra, assim como é feito hoje no sistema analógico.

Um outro parâmetro importante, a ser levado em consideração na configuração de uma rede SFN, diz respeito à distância entre postos de estações retransmissoras. Note-se que esta distância afeta diretamente o ganho de diversidade da rede SFN, uma vez que não se tem um número elevado de estações transmissoras na rede. Assim, trabalhando-se com as potências estabelecidas no plano de canalização digital, as áreas de cobertura da rede de transmissão não se sobreporiam e não se teria um ganho em diversidade de estações transmissoras.

Se um segundo ou terceiro sinal de um transmissor da rede chegar abaixo do nível de relação sinal direto interferente D/U (dB) de $+19$ [1], esses sinais não poderão ser considerados interferentes. Nesse caso específico, as estações transmissoras poderiam operar sem sincronismo num primeiro momento.

O aumento do número de estações transmissoras da rede levará a uma maior homogeneidade do sinal dentro da área de cobertura. Desse modo, uma recepção móvel se dará em melhores condições, evitando-se em parte o

chaveamento de canal (*hand off*, ou *hand over*) que seria um outro problema para a recepção móvel de TV em banda larga.

3.2

Configurações da Rede de Frequência Única

Em geral, as configurações de uma SFN podem ser usadas em redes de radiodifusão local, regional, ou nacional, onde podemos identificar quatro tipos de SFN [20]. Outra questão importante é quanto ao tamanho ou dimensão da SFN, o qual é adequado para a análise de desempenho da SFN. Podemos dividir as SFNs em duas categorias relacionadas com o número de transmissores da rede e sua área de cobertura:

SFN de pequena área

SFN de grande área

O uso de uma SFN de grande área se justifica quando as dimensões dos países ou regiões de uma determinada área de cobertura são suficientemente grandes quando comparadas com a distância entre transmissores adjacentes da rede. Quando o objetivo é a diminuição da alocação de um número muito grande de canais, que tem como base a co-existência transitória dos tradicionais serviços de TV analógica com os novos sistemas de TV Digital, a técnica de reutilização de frequência pode ser utilizada numa rede SFN de pequena área.

Uma SFN de pequena área atende a radiodifusores locais, regionais, e nacionais os quais distribuem suas programações sobre uma ou várias regiões pequenas. Esta também é caracterizada por possuir vários transmissores, tipicamente não mais do que 10. A distância entre transmissores adjacentes é variável podendo esta cobrir poucos quilômetros ou até dezenas de quilômetros, e é sempre apreciavelmente menor do que a máxima distância permitida resultante da duração do intervalo de guarda do sistema ($T_g = 63 \mu s$). Conforme ilustrado na figura 3.1, existem inúmeros tipos possíveis de geometrias para uma SFN de pequena área.

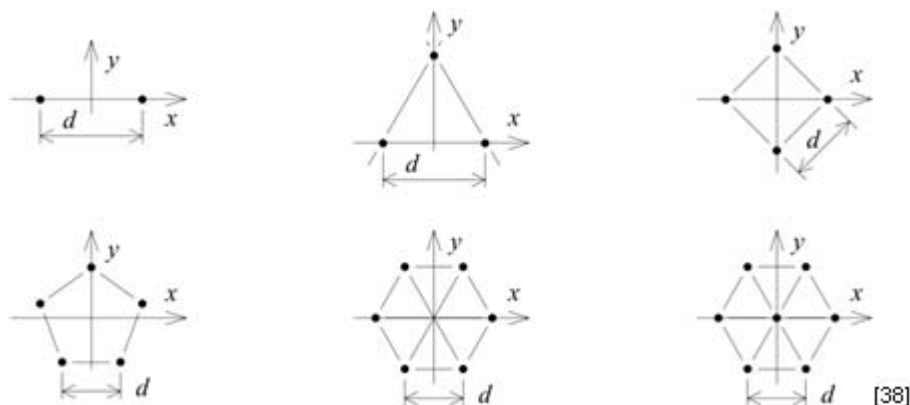


Figura 3.1 Diferentes configurações de uma SFN de pequena área

Nota-se que uma SFN com dois transmissores representa não somente configuração mínima, bem como a configuração mais importante para análises adicionais. As configurações tomam como base a distância idêntica entre os transmissores e a maior simetria possível.

3.3

Estudo dos Atrasos

Basicamente, uma rede SFN deverá lidar com atrasos devido às reflexões causadas por obstáculos naturais e atrasos decorrentes dos sinais retransmitidos pelas outras estações transmissoras da rede. Uma vez que esses atrasos podem causar uma interferência intersimbólica, que geralmente é administrada pelo uso do intervalo de guarda e estimação do canal, deve-se considerar a diferença de percurso entre o sinal irradiado pelo transmissor principal e o sinal da estação retransmissora.

3.3.1

Captação sem Fio

Num cenário de implantação SFN, deve ser considerada a existência de uma ou mais áreas de sombra (sem sinal), onde poucos pontos teriam um nível de sinal adequado para a recepção digital. Para a solução desse problema surge uma técnica chamada *Gap-Filler* que, basicamente, é uma antena irradiando

(retransmitindo) para locais onde a recepção não é boa. Nesta situação, entretanto, dois pontos devem ser observados: o sinal da estação retransmissora estará sempre atrasado em relação ao transmissor principal e nos locais onde o atraso for maior que o intervalo de guarda, existirá interferência. Como exemplo deste cenário, considere que a rede esteja transmitindo sinais OFDM com um intervalo de guarda (GI) de $32 \mu\text{s}$. Neste caso, poderão ocorrer as seguintes hipóteses, mostradas nas figuras 3.2 e 3.3

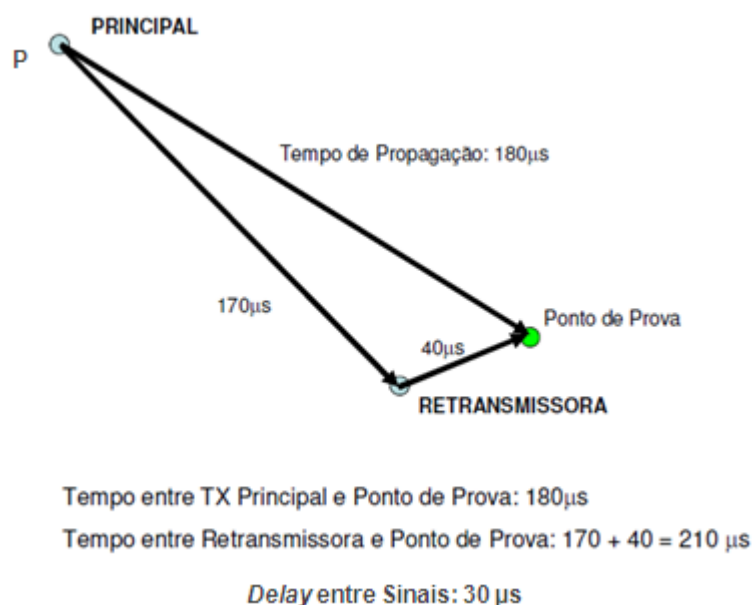


Figura 3.2 Captação sem fio sem ocorrência de interferência intersimbólica

Nota-se, nesta primeira hipótese, que o atraso entre os sinais ($30 \mu\text{s}$) ainda é inferior ao intervalo de guarda ($32 \mu\text{s}$) e evitando, assim, interferência intersimbólica.

Conforme ilustrado na figura 3.3, para um cenário onde o atraso entre os sinais se torna superior ao intervalo de guarda do sistema ($32 \mu\text{s}$), existirá um potencial de ocorrência de interferência inter-simbólica nestes locais.

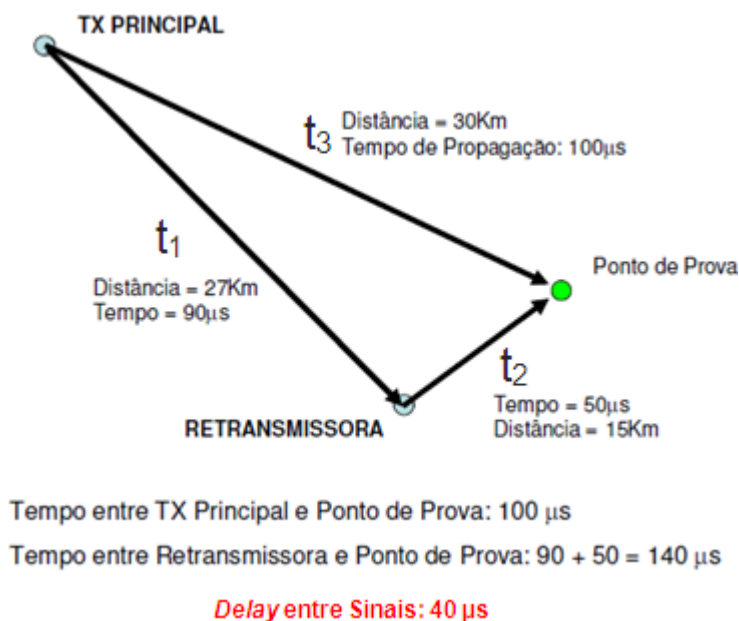


Figura 3.3 Captação sem fio com ocorrência de interferência intersimbólica

Observe que ambos cenários abordados nas figuras 3.2 e 3.3 correspondem ao caso onde os transmissores da rede não poderão estar transmitindo seus sinais ao mesmo tempo, e que por isso, o atraso também levará em conta a distância entre os dois transmissores. É possível, entretanto, observar que esta situação descrita não corresponde ao caso em estudo de uma rede SFN, onde se parte da premissa de que os transmissores podem estar transmitindo seus sinais ao mesmo tempo.

Em função disto, no planejamento das localizações das redes SFN, utiliza-se o conceito geométrico da hipérbole, portanto, o atraso Δt verificado no receptor será dado por:

$$\Delta t = (t_1 + t_2) - t_3 \quad (3.1)$$

onde, t_1 , t_2 , e t_3 são, respectivamente, os tempos decorridos entre transmissor principal e estação retransmissora, estação retransmissora e ponto de prova (receptor), transmissor principal e ponto de prova.

Como se trata de uma diferença constante entre tempos (consequentemente, entre distâncias), é possível fazer uma associação com a definição de hipérbole: curva plana cujo módulo da diferença das distâncias de

cada um de seus pontos P aos pontos fixos $F1$ e $F2$ (denominados focos) é igual a um valor constante ($|d1-d2| = \text{constante}$), conforme ilustrado na figura 3.4.

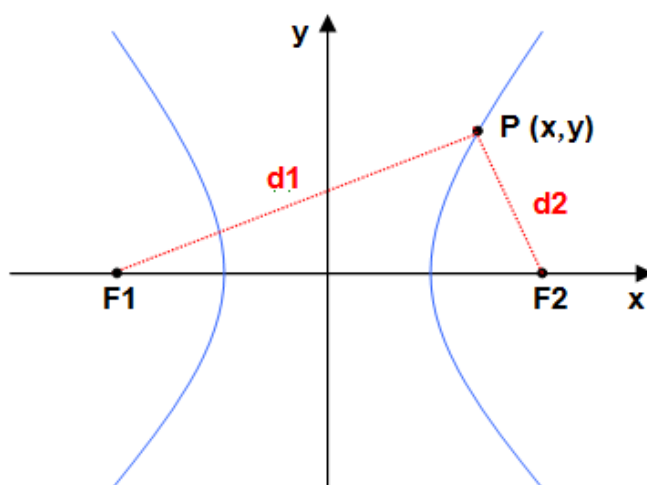


Figura 3.4 Conceito de Hipérbole

Pode ser observado que o lugar geométrico dos pontos $P(x,y)$ a serem gerados corresponderão a uma hipérbole, de focos localizados nas coordenadas do transmissor principal e do retransmissor, respectivamente. Entretanto, é possível notar que esta situação descrita corresponde ao caso onde transmissores estão transmitindo seus respectivos sinais ao mesmo tempo (SFN), e não exatamente ao caso em estudo que considera a captação sem fio do sinal. Nessa situação, a diferença é que o atraso também levará em conta a distância entre os dois transmissores, e a implicação disso será que a curva gerada corresponderá a apenas um lado da hipérbole (o lado mais próximo ao retransmissor). Isso pode ser verificado observando-se que o sentido da transmissão será sempre do transmissor principal para o retransmissor, e nunca ao contrário.

Para facilitar os cálculos e melhorar a visualização, a dedução da equação da hipérbole será feita a partir da figura 3.5, que ilustra a situação graficamente. O transmissor principal encontra-se na origem $(0,0)$, o retransmissor no ponto de coordenadas $(d,0)$, e o receptor no ponto (x,y) .

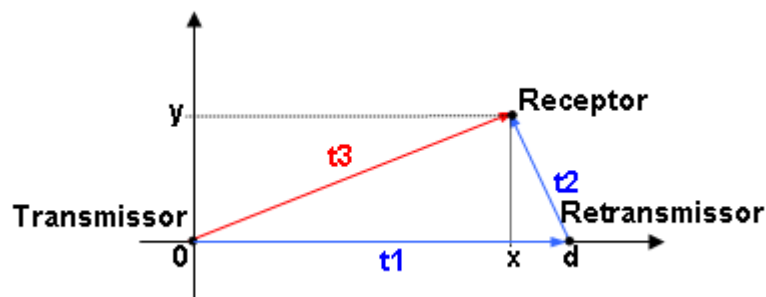


Figura 3.5 Gráfico para cálculos

A partir do gráfico da figura 3.5, pode-se escrever equações para $t1$, $t2$ e $t3$ e, conseqüentemente, para Δt (a partir da equação 3.1). Assim, será possível obter a equação que definirá os pontos $y(x)$ da hipérbole.

Equações de $t1$, $t2$ e $t3$, obtidas a partir da figura 3.5:

$$t1 = \frac{d}{c} \quad (3.2)$$

$$t2 = \frac{[(d-x)^2 + y^2]^{0,5}}{c} \quad (3.3)$$

$$t3 = \frac{(x^2 + y^2)^{0,5}}{c} \quad (3.4)$$

onde, c = velocidade de propagação $\cong 3 \times 10^8$ m/s.

Equação de Δt (a partir da equação (3.1):

$$\Delta t = \frac{\left\{ d + [(d-x)^2 + y^2]^{0,5} \right\} - (x^2 + y^2)^{0,5}}{c} \quad (3.5)$$

Desenvolvimento para dedução de $y(x)$, a partir da equação (3.5):

$$(c \Delta t - d) + (x^2 + y^2)^{0,5} = [(d-x)^2 + y^2]^{0,5} \quad (3.6)$$

Fazendo $(c \Delta t - d) = a$, temos:

$$a + (x^2 + y^2)^{0,5} = [(d-x)^2 + y^2]^{0,5} \quad (3.7)$$

Elevando os membros da equação (3.7) ao quadrado:

$$\left[a + (x^2 + y^2)^{0,5} \right]^2 = \left\{ [(d-x)^2 + y^2]^{0,5} \right\}^2 \quad (3.8)$$

$$a^2 + 2a(x^2 + y^2)^{0,5} + (x^2 + y^2) = [(d-x)^2 + y^2] \quad (3.9)$$

$$2a(x^2 + y^2)^{0,5} = (d-x)^2 - (a^2 + x^2) \quad (3.10)$$

Elevando os membros da equação (3.10) ao quadrado:

$$\left[2a(x^2 + y^2)^{0,5} \right]^2 = \left[(d-x)^2 - (a^2 + x^2) \right]^2 \quad (3.11)$$

$$4 a^2 (x^2 + y^2) = (d-x)^4 - 2(d-x)^2 (a^2 + x^2) + (a^2 + x^2)^2 \quad (3.12)$$

$$y^2 = \frac{(d-x)^4 - 2(d-x)^2 (a^2 + x^2) + (a^2 + x^2)^2 - 4 a^2 x^2}{4 a^2} \quad (3.13)$$

Finalmente, chegamos à equação de $y(x)$:

$$y = \left[\frac{(d-x)^4 - 2(d-x)^2 (a^2 + x^2) + (a^2 + x^2)^2 - 4 a^2 x^2}{4 a^2} \right]^{0,5} \quad (3.14)$$

onde

$$a = (c \Delta t - d) \quad (3.15)$$

Assim, para uma transmissão OFDM operando com um intervalo de guarda (GI) de 30 μ s, nos locais onde o atraso for maior que este intervalo de

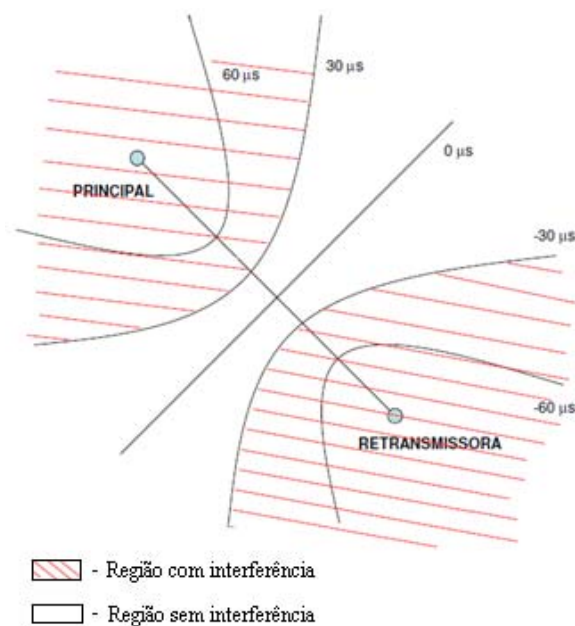


Figura 3.7 Região livre de interferência num sistema com transmissão conjunta

Assim, conforme ilustrado na figura 3.8 é possível verificar que a irradiação da estação retransmissora deve ser ajustada para não causar interferência na área de cobertura da estação principal.



Figura 3.8 Ajuste da região livre de interferência

3.4

Componentes do Modelo de Canal SFN

Em sistemas de radiopropagação, mudanças físicas no ambiente de propagação causam o desvanecimento do sinal recebido. Tais ambientes de propagação são referidos como um canal de rádio e são modelados matematicamente através, de um modelo de canal. O canal de rádio terrestre nas faixas de VHF e UHF, o qual é o caso do canal SFN de radiodifusão, é caracterizado por um número de parâmetros. Em geral, a SFN que consiste de vários transmissores sincronizados e um receptor pode ser classificada como um sistema com diversidade de *site* ou fontes MISO (*Multiple Input Single Output*). Uma antena receptora recebe os sinais que chegam de cada transmissor da SFN, assim a dimensão deste sistema em diversidade se iguala ao número de fontes ou transmissores.

Cada componente deste sistema com diversidade de *site* representa um canal SISO (*Single Input Single Output*) de propagação entre o l -ésimo transmissor e o receptor e aqui, é considerado como um canal linear variante no tempo escalar (LTV-*Linear Time Variant*) denotado através do operador $G_l[.]$. Por essa razão, o sinal total recebido é dado pela soma dos sinais propagados através dos canais escalares com diferentes parâmetros, geralmente dependentes θ_l .

$$x(t) = \sum_{l=1}^L G_l[S_l(t), \theta_l] \quad (3.17)$$

Uma figura esquemática do ambiente caracterizando um canal SFN esta ilustrado na figura 3.9. Neste caso, um receptor dentro da SFN recebe a onda do sinal propagado $S_l(t)$ do l -ésimo transmissor através do canal $G_l[.]$ e o sinal total recebido $x(t)$, no receptor, é dado pela soma deles.

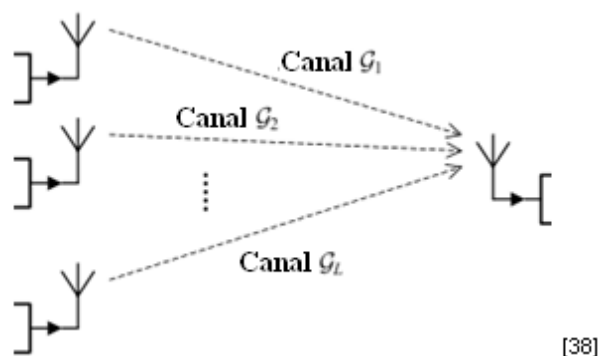


Figura 3.9 SFN vista como um sistema com diversidade de site

Em geral a propagação do sinal através do canal escalar $G_l[.]$ pode ser dividida em três níveis: um efeito dependente da distância, desvanecimento lento (*slow fading*), e desvanecimento rápido, como ilustra a figura 3.10.

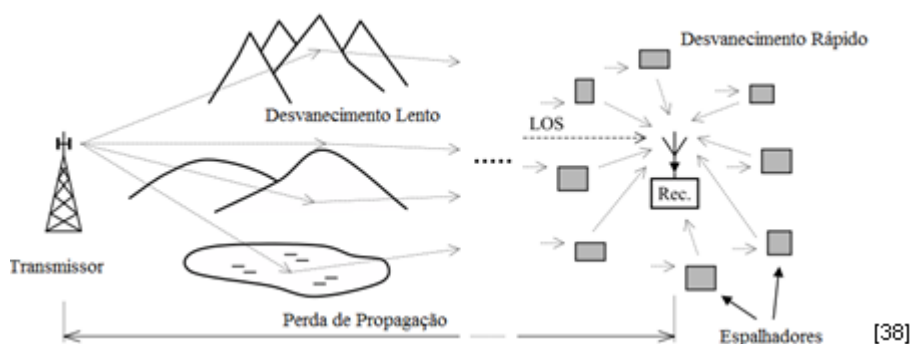


Figura 3.10 Propagação através de um único canal escalar na SFN

O efeito da distância resulta em uma perda de propagação causada pela distância entre o transmissor e o receptor e isso determina o nível do sinal médio no receptor. O desvanecimento em grande escala, também conhecido como sombreamento (*shadowing*) é causado pela topografia do terreno e largas obstruções entre o transmissor e o receptor. O efeito causado por tal desvanecimento, resulta em uma variação lenta e aleatória no nível do sinal recebido no receptor. Espalhamentos tanto gerados por obstáculos móveis ou estacionários próximos ao receptor causam a propagação dos multipercursos. Assim, o sinal recebido é formado por uma soma de vários sinais refletidos que tem uma faixa de atrasos, atenuações, e deslocamentos de frequência, portanto, o nível do sinal recebido pode variar muito rapidamente e variações rápidas deste

tipo são também conhecidas como um desvanecimento em pequena escala (*fast fading*).