

3.

Coexistência entre Tecnologias

3.1. Fontes de Interferência

3.1.1 Interferências co-canal

A interferência co-canal ocorre quando duas ou mais entidades na mesma área geográfica transmitem na mesma frequência. Como consequência reduz a relação sinal-ruído (SNR), que, por sua vez, reduz o rendimento, podendo, até mesmo, interromper a comunicação quando a SNR cai abaixo do nível necessário para uma determinada tecnologia operar de forma eficaz. É portanto, problemática para muitos serviços. Ao contrário de outras formas de interferência, tais como interferência de canais adjacentes, o problema não pode ser corrigido por meio de filtros ou através da melhoria da capacidade de rejeição de interferência do receptor, que bloqueia o *out-of-band* de emissões ou de transmissões em canais adjacentes. Além disso, devido ao fato da interferência ocorrer no canal preciso que o consumidor está usando, as melhorias na sensibilidade do receptor e recepção pode ter a consequência não intencional de tornar o serviço mais suscetível à interferência co-canal. Além disso, a interferência co-canal pode ocorrer em áreas geográficas mais do que outros tipos de interferência. Como resultado, os reguladores têm, frequentemente, empregado separações maiores entre os emissores de co-canal e a utilização de antenas diretivas.

Este tipo de interferência ocorre em transmissões tais como, telefonia celular, Wi-Fi, WiMAX e Rádio Móvel Terrestre (LMR), entre outras. Em um sistema celular, por exemplo, o espectro é reutilizado com espaçamento próximo, fazendo com que os sistemas tenham interferência limitada, o que significa que o poder de interferência, limite o alcance da cobertura de *sites* tecnológicas em vez de potência do ruído térmico. Sistemas mais modernos de telefonia celular, tais como CDMA2000, W-CDMA e LTE, são sistemas com uma única frequência, ou seja, todas as células em todos os *sites* usam o mesmo espectro e, portanto, elevada experiência de co-canal interferente. Sistemas LMR são geralmente operados como sistemas limitados por ruído mas a interferência co-canal existe, também, nestes sistemas. No contexto da radiodifusão, a interferência co-canal é evitada através da utilização de separações geográficas entre os transmissores co-canais ou o uso de alta diretividade das antenas de transmissão.

A Figura 3.1 mostra os caminhos de interferência co-canal na reutilização de frequência celular único (a) LMR e sistemas (b). As setas mais escuras indicam o sinal desejado e as setas mais claras indicam sinais de interferência co-canal.

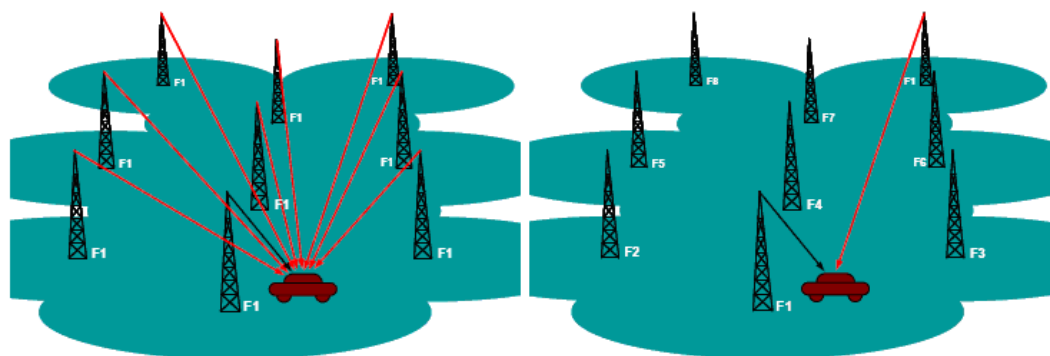


Figura 3.1: Caminhos de interferência co canal

3.1.2

Interferência inter-canal

A interferência inter-canal ocorre em canais adjacentes. Em muitos aspectos, a interferência inter-canal pode ser mais difícil de abordar que a interferência co-canal. Primeiro, a interferência pode ocorrer em toda a área de um sistema de serviço. Segundo, porque as arquiteturas de sistema podem ser diferentes, o potencial de interferência pode aumentar. Diferentes serviços utilizando as bandas adjacentes ou canais adjacentes podem empregar muitas técnicas diferentes para resolver estes problemas, no entanto, tais soluções não podem ser igualmente aplicáveis a todas as arquiteturas. Além disso, a interferência inter-canal é uma função do desempenho de ambos os transmissores e receptores; as interferências podem resultar do desempenho do transmissor, do desempenho do receptor ou uma combinação de ambos.

3.2

Análise de Sinal de Interferência

Tendo conhecimento do sinal interferente e do sinal desejado podemos calcular a relação C/I

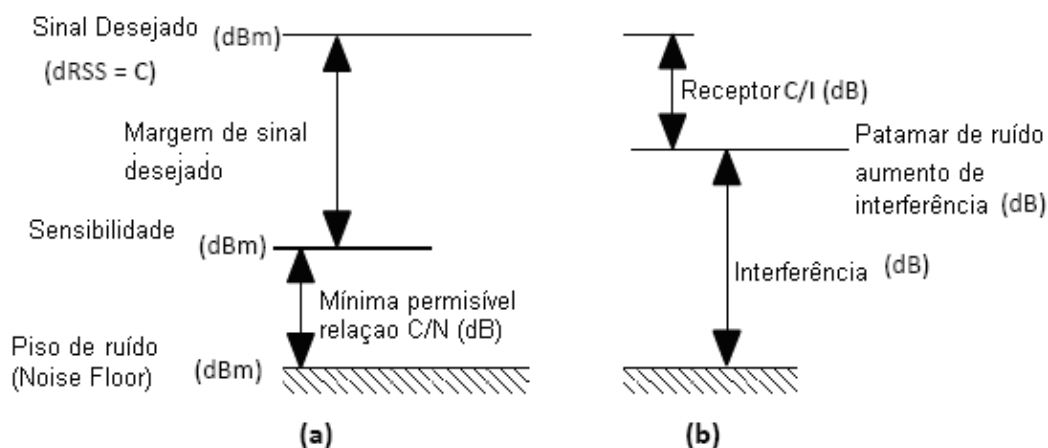


Figura 3.2: Níveis de sinal utilizados para definições de interferência

Na Figura 3.2(a) apresentamos a situação onde não há interferência e a receptora ou vítima está recebendo o sinal desejado com alguma margem. Neste caso, o nível de sinal da vítima é dado pela soma da Sensibilidade com a margem de sinal desejado.

A Figura 3.2(b) ilustra o que acontece quando ocorre a interferência. A interferência se junta ao *noise floor* (Patamar do ruído) (S/N). A diferença entre o sinal desejado e sinal de interferência, medida em dB define o *Sinal to Interference Ratio*. Esta medida deve ser maior que a sombra C/I requerida, se a interferência pudesse ser evitada [4].

3.2.1

Mecanismos de Interferência

Muitos mecanismos de interferência são possíveis assim como emissões indesejadas, bloqueio na recepção, produto de intermodulação, fenômeno de interferência de canal adjacente e co-canal.

O nível de emissões indesejadas (como por exemplo, consistindo de emissões espúrias e de emissões fora da banda (*out-of-band*) do transmissor interferente caindo dentro da largura de banda da vítima de recepção) é determinado usando a máscara de transmissor interferente como ilustra na figura 3.3.

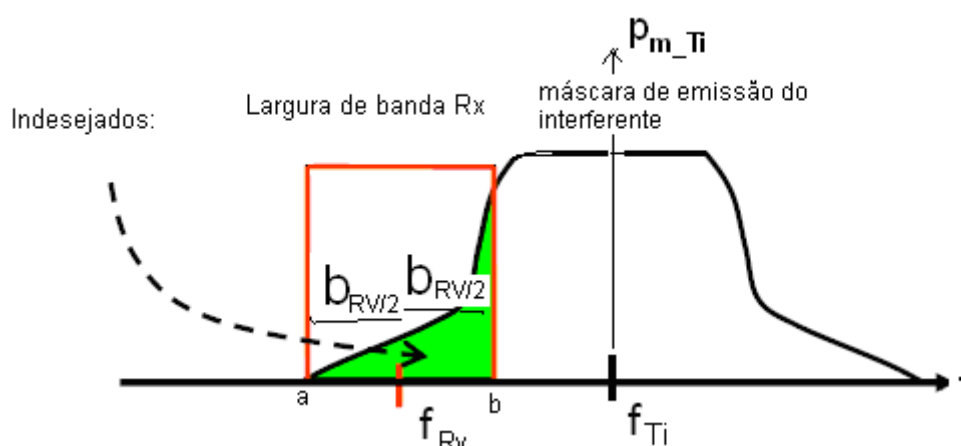


Figura 3.3: Interferência devido a emissões indesejadas

3.2.1.1

Cálculo de Emissão Indesejada

Considerando

f_{Ti} frequência de transmissor interferente,

f_{Rv} frequência de recepção interferida,

P_{m_Ti} função da potencia mascara de transmissor interferente

Então se $f_{Ti} = f_{Rv}$ a frequência interferente cai exatamente na banda de recepção da vitima (interferência co-canal), como se observa na figura 3.3.

Para simplificar os algoritmos da função máscara de transmissor interferente P_{m_Ti} vamos normalizar com a largura de banda de referencia de 1Hz:

Normalizando a largura de banda de referencia de P_{m_Ti} para obter P_{n_Ti} como amostra a expressão (3.1)

$$P_{n_Ti} = P_{m_Ti}(\Delta f) - 10 \log_{10} \left(\frac{B}{1\text{Hz}} \right) \quad (3.1)$$

onde:

$$\Delta f = f_{Rv} - f_{Ti}$$

O termo B corresponde à largura de banda usada pela máscara de emissão. A potência total interferente na recepção pode facilmente ser calculada pela

integração sobre a largura de banda na recepção de $a = f_{Rv} - f_{Ti} - (b_{Rv} / 2)$ a

$b = f_{Rv} - f_{Ti} + (b_{Rv} / 2)$, onde b_{Rv} é metade de largura da interferência, mostrada na figura 3.4.

$$POTENCIA_{Ti} = 10 \log_{10} \left\{ \int_a^b 10^{(P_{n_Ti}(\Delta f)/10)} d\Delta f \right\} \quad (3.2)$$

onde P_{n_Ti} denota a máscara normalizada em dBm/Hz. Usando uma largura de banda de referencia de 1Hz, a integral (3.2) pode ser substituído por:

$$POTENCIA_{Ti} = 10 \log_{10} \left\{ \sum_{i=a}^b 10^{(P_{n_Ti}(\Delta f_i)/10)} \right\} \quad (3.3)$$

onde $POTENCIA_{Ti}$ é dado em dBm.

Nota: A potência de interferência de um sistema de rádio tendo, uma largura de banda diferente pode, ser estimada por algoritmos avançados. Este cálculo só é requerido para interferência devido à emissões indesejadas, mas não para bloqueio e intermodulação.

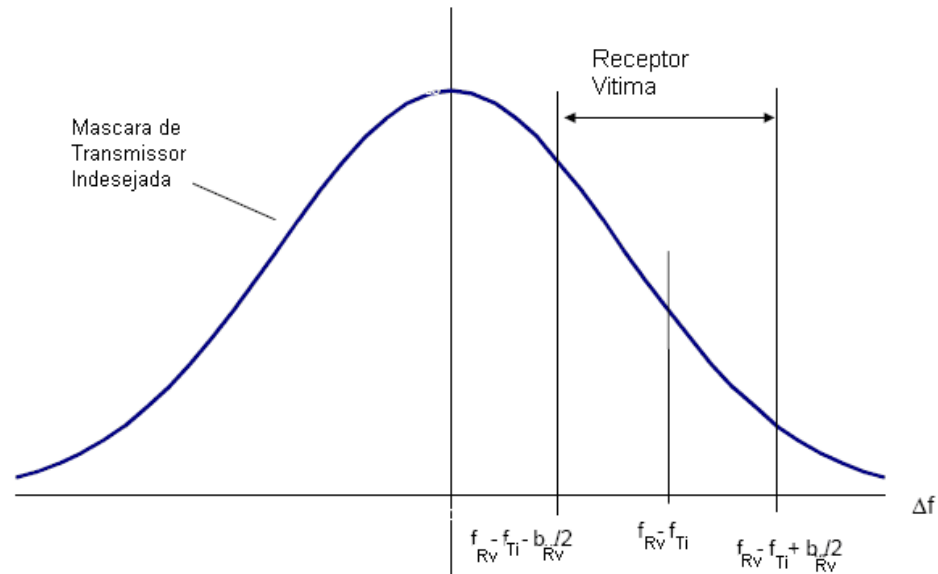


Figura 3.4: Integração das emissões indesejadas na banda de recepção da interferida

A potência total de interferência relativa $emissao_rel_{Ti}$ pode ser calculada por integração sobre a largura de banda na recepção de $a = f_{Rv} - f_{Ti} - (b_{Rv} / 2)$ à $b = f_{Rv} - f_{Ti} + (b_{Rv} / 2)$

$$emissao_rel_{Ti} = 10 \log \left\{ \int_a^b P_{rel}^{linear}(\Delta f) d\Delta f \right\} = 10 \log \left\{ \int_a^b 10^{\frac{P_{rel}^{dBc}(\Delta f)}{10}} d\Delta f \right\} \quad (3.4)$$

com P_{rel}^{dBc} denotando a normalização a máscara do usuário-definido em dBc/Hz.

(dBc é decibel relativo para a portadora, dBc/Hz é decibel relativo para a portadora por Hertz, o mais típico uso deste termino é para descrever sinais espúrias e ruído comparado a sinal transmitida desejada) Esta máscara é expressa como um conjunto de N+1 pontos $(\Delta f_i, P_i)$ é assumido interpolação linear entre estes pontos.

$$P_{rel}^{dBc}(\Delta f) = P_i + \frac{\Delta f - \Delta f_i}{\Delta f_{i+1} - \Delta f_i} (P_{i+1} - P_i) \quad (3.5)$$

Somando a expressão (3.4) em os N+1 pontos

$$emissao_{rel_{Ti}} = 10 \log \left\{ \sum_{i=0}^{N-1} \int_{\Delta f_i}^{\Delta f_{i+1}} 10^{\frac{P_{rel}^{dBc}(\Delta f)}{10}} d\Delta f \right\} \quad (3.6)$$

onde:

$$\Delta f_0 = a = f_{Rv} - f_{Ti} - (B_{Rv} / 2)$$

$$\Delta f_N = b = f_{Rv} - f_{Ti} + (B_{Rv} / 2)$$

Fazendo um cálculo intermediário na expressão (3.6):

$$emissao_{rel_i}^{dBc} = \int_{\Delta f_i}^{\Delta f_{i+1}} 10^{\frac{P_{rel}^{dBc}(\Delta f)}{10}} d\Delta f \quad (3.7)$$

Substituindo a expressão (3.5) na expressão (3.7):

$$emissao_{rel_i}^{dBc} = 10^{\frac{P_i}{10} \int_{\Delta f_i}^{\Delta f_{i+1}} \left[10^{\frac{P_{i+1}-P_i}{10(\Delta f_{i+1}-\Delta f_i)}} \right] (\Delta f - \Delta f_i) d\Delta f} \quad (3.8)$$

Substituindo o valor de K dentro da expressão (3.8)

$$emissao_{rel_i}^{dBc} = 10^{\frac{P_i}{10} \int_{\Delta f_i}^{\Delta f_{i+1}} K (\Delta f - \Delta f_i) d\Delta f}, K = 10^{\frac{P_{i+1}-P_i}{10(\Delta f_{i+1}-\Delta f_i)}} \quad (3.9)$$

Aplicando logaritmo neperiano ao valor K na expressão (3.9)

$$emissao_{rel_i}^{dBc} = \frac{10^{\frac{P_i}{10}}}{\ln K} \left[K^{\Delta f_{i+1}-\Delta f_i} - 1 \right], \ln K = \frac{\ln 10}{10} \cdot \frac{P_{i+1}-P_i}{\Delta f_{i+1}-\Delta f_i} \quad (3.10)$$

Substituindo a expressão (3.9) na expressão (3.10)

$$emissao_{rel_i}^{dBc} = \frac{10^{\frac{P_i}{10}}}{\ln 10} \frac{10^{\frac{P_{i+1}}{10}} - 10^{\frac{P_i}{10}}}{P_{i+1} - P_i} (\Delta f_{i+1} - \Delta f_i) \quad (3.11)$$

Substituindo a expressão (3.11) na expressão (3.6)

$$emissao_{rel_{Ti}} = 10 \log \left\{ \frac{10}{\ln 10} \sum_{i=0}^{N-1} \frac{(P_{i+1}^{linear} - P_i^{linear})(\Delta f_{i+1} - \Delta f_i)}{(P_{i+1}^{dBc} - P_i^{dBc})} \right\} \quad (3.12)$$

3.3

Análise de Interferência em OFDMA

Os contribuintes da interferência em redes OFDMA ilustrado na figura 3.5.

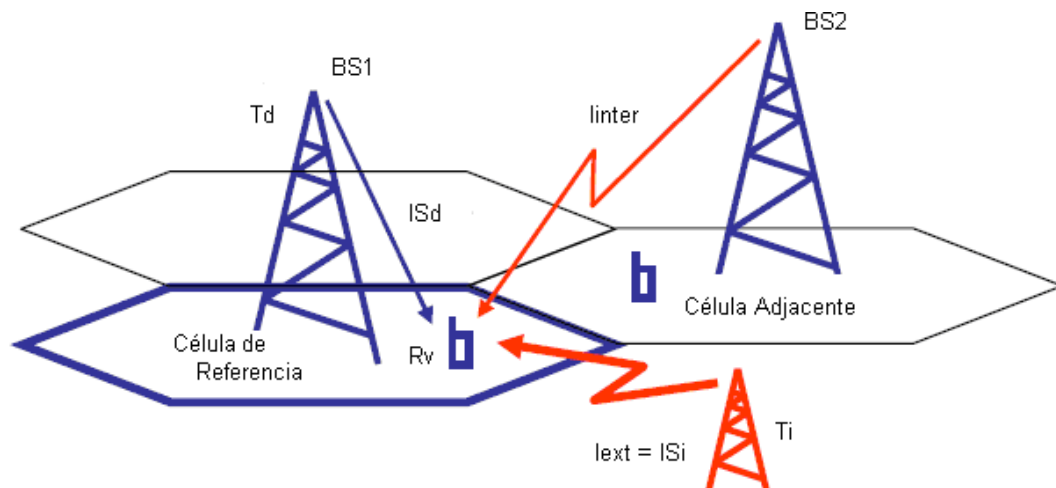


Figura 3.5: Mecanismo de interferência em modulo OFDMA onde existe interferência interna (linter) e interferência externa (lext)

Nesta implementação de OFDMA, o termo “BS” e “cell” têm o mesmo significado.

3.3.1

Cálculo de C/I (Carrier/Interference) em downlink

$$C/I = \frac{C(j,k)}{I(j,k)} \quad (3.18)$$

onde $C(j, k)$ é a potência recebida pelo k-ésimo usuário do servidor BS, exemplo j-ésimo servidor

$$C(j, k) = P_{BS}^{UE} * perda_percurso(BS_j, UE_{j,k}) \quad (3.19)$$

$$C(j, k) = ISd(BS_j, UE_{j,k}) \quad (3.20)$$

onde P_{BS}^{UE} é a potência de bloco de recursos (*resource block*) e $perda_percurso(BS_j, UE_{j,k}) = \max(perda_percurso, Perda_Minima_Acoplamiento_MCL)$.

$$I(j, k) = I_{inter}(j, k) + I_{ext}(j, k) + N_t \quad (3.21)$$

onde $I(j, k)$ é a soma das potências de interferência

$$I_{inter}(j, k) = \sum_{l=1, l \neq j}^{N_{cell}} P_{BS}^{UE} * perda_percurso(BS_l, UE_{j,k}) \quad (3.22)$$

A interferência de sistema externo interferente em canal adjacente $I_{ext}(j, k)$ (potência de interferência em bloco de recursos, incluindo ACIR).

$$I_{ext}(j, k) = \sum_{m=1}^{N_{External_cell}} ISi_{indesejado}(BS_m, UE_{j,k}) * ISi_{bloqueio}(BS_m, UE_{j,k}) \quad (3.23)$$

onde:

$$ISi_{indesejado}(BS_m, UE_{j,k}) = ISi_{indesejado}(\text{sobre o tamanho do bloco de recursos UE}) \quad (3.24)$$

$$ISi_{bloqueio}(BS_m, UE_{j,k}) = ISi_{bloqueio}(\text{sobre a largura de banda}) * M/N \quad (3.25)$$

onde N é o número de RBs (exemplo sub portadoras) solicitadas por UE, e M é o número Máximo de RBs por BS e onde $N_{external\ cell}$ é o número de interferências externas BSs.

O ruído térmico N_t :

$$N_t = 10^{((-174 + 10 \log_{10}(\text{largura_banda_de_} N * RB_S) + \text{Figura_de_Ruido}_{UE}) / 10)} \quad (3.26)$$

onde N é o número de RBs programado para um UE.

3.3.2

Cálculo de C/I (Carrier/Interference) em uplink

$$C(j,k) = P_t(j,k) * \text{perda_percurso}(UE_{j,k}, BS_j) \quad (3.27)$$

$$C(j,k) = ISd(UE_{j,k}, BS_j) \quad (3.28)$$

onde P_t é a potência de transmissão do UE em dBm . Similarmente ao *downlink*, a interferência é derivada

$$I(j,k) = I_{inter}(j,k) + I_{ext}(j,k) + N_t \quad (3.29)$$

onde I_{ext} é a interferência proveniente de UEs do mesmo sistema, mas a partir de células adjacentes (exemplo, a interferência inter-sistema de outras células). Uma vez que temos um sistema totalmente ortogonal, apenas UEs que transmitem sub-portadoras na mesma frequência irão produzir interferências entre si, portanto, só UEs em outras células como o mesmo índice k são considerados.

$$I_{inter}(j,k) = \sum_{l=1, l \neq j}^{N_{cell}} P_t(l,k) * perda_percurso(UE_{l,k}, BS_j) \quad (3.30)$$

onde I_{ext} é a interferência de extremos interferindo UEs.

$$I_{ext}(j,k) = \sum_{m=1}^{N_{External_cell}} \sum_{v=1}^K IS_{bloqueio}(UE_{m,v}, BS_j) * IS_{indesejada}(UE_{m,v}, BS_j) \quad (3.31)$$

onde K é o número de UEs na células de interferência externa e o número de células externas é limitada a $N_{External_cell}$ e ruído térmico N_t

$$N_t = 10^{((-174 + 10 \log_{10}(largura_banda_N * RB_S) + Figura_de_Ruido_{UE}) / 10)} \quad (3.32)$$

3.3.3

Controle de Potencia UL (*Uplink*)

Em OFDMA UL, um controle de potencia é aplicado para os usuários ativos (por exemplo, aos usuários específicos RBs) de modo que a potência Tx de UE seja ajustada em relação a perda de percurso para a BS que ele está conectado. Em 3GPP, o controle de potência UL é definido de modo que a potência de transmissão do UE seja calculada por:

$$P_t = P_{\max} * \min \left\{ 1, \max \left[R_{\min}, \left(\frac{PL}{PL_{x-ile}} \right)^\gamma \right] \right\} \quad (3.33)$$

onde P_t é a potência de transmissão em dBm; $P_{\max}$ é a potência máxima de transmissão em dBm; $R_{\min}$ é a relação de mínima potencia de redução, para prevenir que os UEs com canais ótimos, transmitir num nível de potencia muito baixo. $R_{\min}$ é estabelecido pela $P_{\min}/P_{\max}$. PL é a perda do percurso, em dB, entre o UE e a estação base servidora. PL_{x-ile} é o x-percentil da perda do percurso. PL_{x-ile} é definido, aqui, como o valor em o CDF, que é a maior perda do percurso de x por cento do MSs na célula do BS (exemplo. Que corresponde ao parâmetro limiar de escala de potência “*power Scale Threshold*”)

Com este esquema de controle de potência, o 1-x por cento de UEs que tem uma maior perda de percurso que PL_{x-ile} , transmitirão $P_{\max}$, exemplo. Não poder controlado, γ é considerada igual 1.

3.4

Análise de Coexistência entre as tecnologias (3^a Geração e 4^a Geração)

3.4.1

Estudo dos cenários de interferência

Neste item, são mostrados os dois cenários empregados neste trabalho para as simulações de interferência.

3.4.1.1

Cenário Simulado

A figura 3.6 mostra um cenário típico de interferência, usado na simulação.



Figura 3.6: Um cenário típico para uma vítima e um interferente para uma simulação de um ensaio Monte Carlo

3.4.1.2

Cenário geral de uma interferência

Este cenário é mostrado na figura 3.8, esquematizado na figura 3.7, sendo definidos:

Intensidade de a sinal desejada de receptor ISd

Intensidade de a sinal interferente ISI

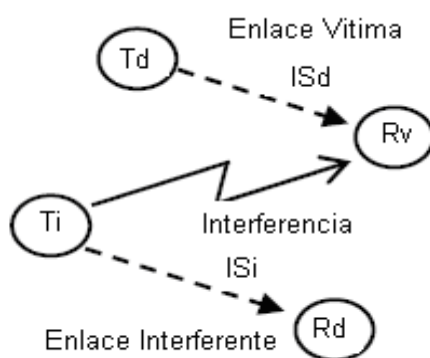


Figura 3.7: Cenário Esquematizado

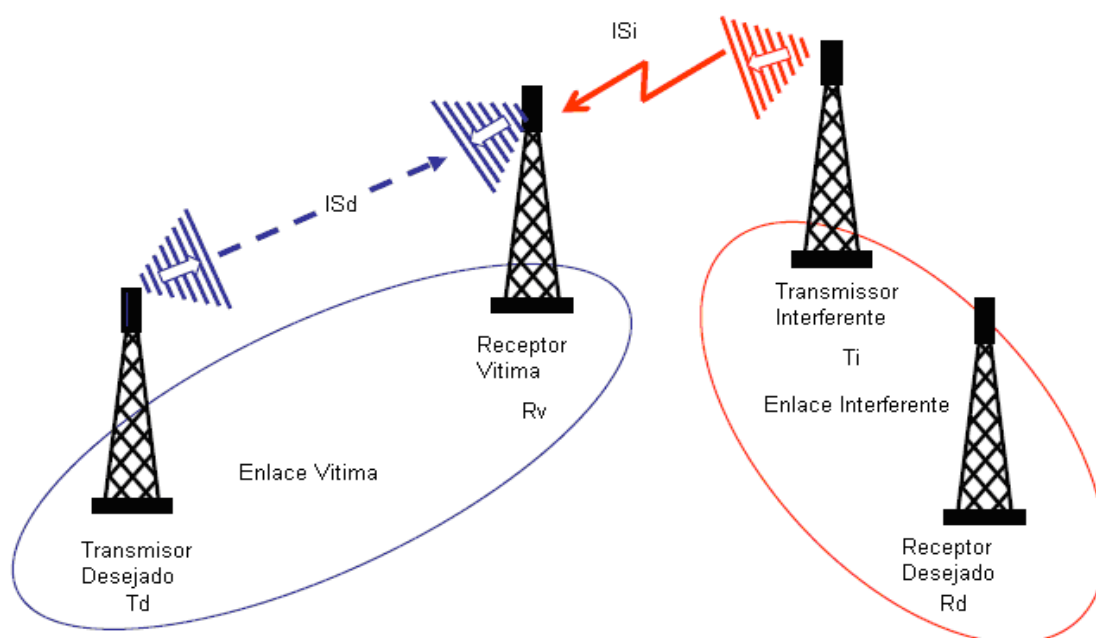


Figura 3.8: Cenário geral de uma interferência

3.4.2

Forma de análise de Interferência

Neste item, são fornecidos quatro situações distintas de interferência, a serem simuladas empregando a técnica de Monte Carlo.

3.4.2.1

Caso1: Configuração de cenário: BS (Estação Base): Transmissor Desejado

UE (Equipamento do Usuário): Receptor Vítima

Interferência de ERB transmissora externa em UE.

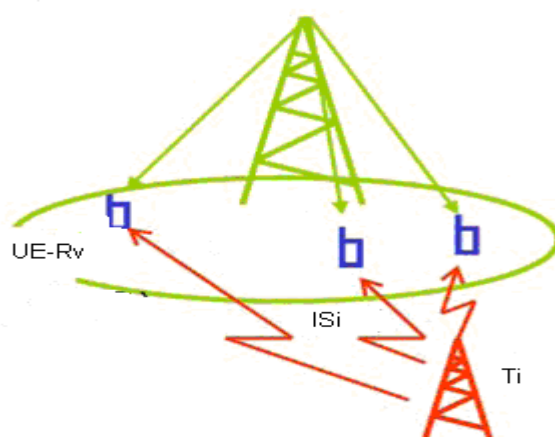


Figura 3.9: BS (Estação Base): Transmissor Desejado
UE (Equipamento do Usuário): Receptor Vítima

3.4.2.2

Caso 2

Configuração de cenário: BS (Estação Base): Receptor Vítima

UE (Equipamento do Usuário): Transmissor Desejado

Interferência de ERB externa e UEs internas em ERB interna

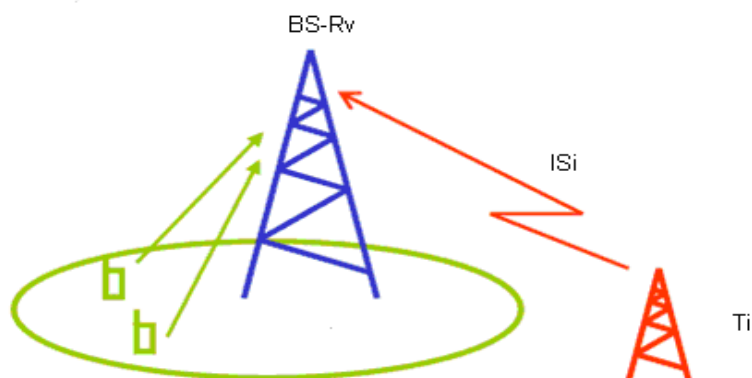


Figura 3.10: BS (Estação Base): Receptor Vítima
UE (Equipamento do Usuário): Transmissor Desejado

3.4.2.3

Caso 3: Configuração de cenário BS (Estação Base): Transmissor Interferente UE (Equipamento do Usuário): Receptor Desejado

Interferência de ERB e UEs internas em ERB externa

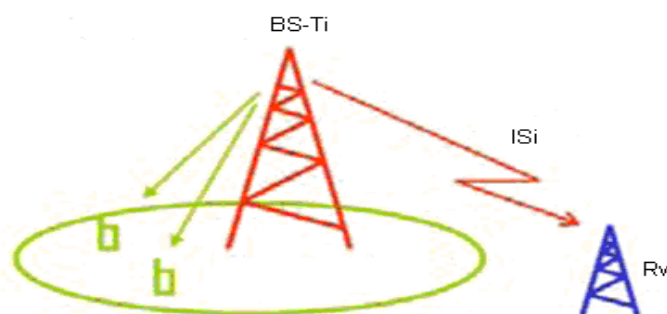


Figura 3.11: BS (Estação Base): Transmissor Interferente UE (Equipamento do Usuário): Receptor Desejado

3.4.2.4

Caso 4: Configuração de cenário: BS (Estação Base): Receptor Desejado UE (Equipamento do Usuário): Transmissor interferente

Interferência de UEs internas em ERB externa

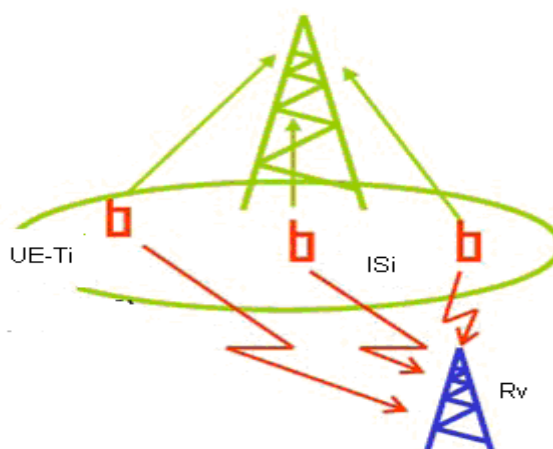


Figura 3.12: BS (Estação Base): Receptor Desejado UE (Equipamento do Usuário): Transmissor interferente