

5.

Resultados

Este capítulo expõe os resultados das análises estatísticas de variabilidade da relação SINR e interferência dos novos sistemas de quarta geração atuando sobre sistemas atuais, em ambientes urbano, suburbano e rural para bandas de 900 MHz, 1900 MHz e 2500 MHz em cenários com usuários aleatoriamente espalhados.

Também são apresentados os resultados da probabilidade cumulativa em função da relação SINR. Uma vez conhecida a probabilidade cumulativa, é realizada a comparação de melhor desempenho das bandas implementadas em todos os ambientes (urbano, suburbano e rural), utilizando métodos aleatórios (Técnica de Monte Carlo), *software* de simulação e todos os parâmetros necessários para obter um cenário de comunicação sem fio, tudo isso presentes na literatura especializada [4].

As simulações realizadas neste trabalho consistem na superposição de um novo sistema de quarta geração (sistema LTE) atuando sobre os sistemas que já existem (GSM, UMTS) com as seguintes características principais:

- Sistema LTE: largura de banda de recurso de bloco igual a 180 KHz; figura de ruído de recepção igual a 4dB; largura de banda do sistema (*bandwidth*) 10 MHz, 20 MHz e 5 MHz; perda de acoplamento mínimo 70 dBm; margem de *handover* igual a 3 dBm; altura da antena transmissora igual a 30 m e da antena móvel ,1.5m; modelo de propagação Hata Extendido.
- Sistema UMTS: figura de ruído de recepção igual a 4 dB; margem do *handover* igual a 3dB; *threshold* 3 dB; taxa de bit para voz de 9.6 Kbps; largura de banda referencial de 10 MHz; perda de acoplamento mínimo igual a 70 dB; altura da antena de transmissão igual a 30 m.

Por comodidade, ao longo deste trabalho foi adotada a contagem das simulações, nos casos de duas superposições de sistemas. Na primeira, foi utilizado apenas sistemas LTE tanto como interferente como vítima e cujo objetivo principal foi determinar a qualidade de níveis de sinal-ruído (SINR), em função dos usuários aleatoriamente espalhados. A simulação determinou os mínimos valores de SINR em todas as bandas do espectro e em todos os ambientes, possibilitando a criação de um banco de dados. As informações contidas neste banco de dados foram

utilizados como base para o estudo estatístico e comparação dos valores de sensibilidade de interferência nos diversos cenários construídos.

Na segunda, foi utilizado o sistema LTE como interferente e sistema UMTS como vítima, onde foi realizado o mesmo processo descrito no caso LTE-LTE.

5.1

Análise da relação SINR (*Sinal to Interference plus Noise Ratio*) para usuários coexistindo em sistemas (LTE - LTE)

5.1.1 Para um ambiente urbano

A figura 5.1 mostra a análise de todos os usuários ativos apresentados em uma área urbana, na banda de 900 MHz, onde cada usuário apresenta seu nível SINR, onde apreciamos que o mínimo valor SINR para uma boa comunicação é -10 dB.

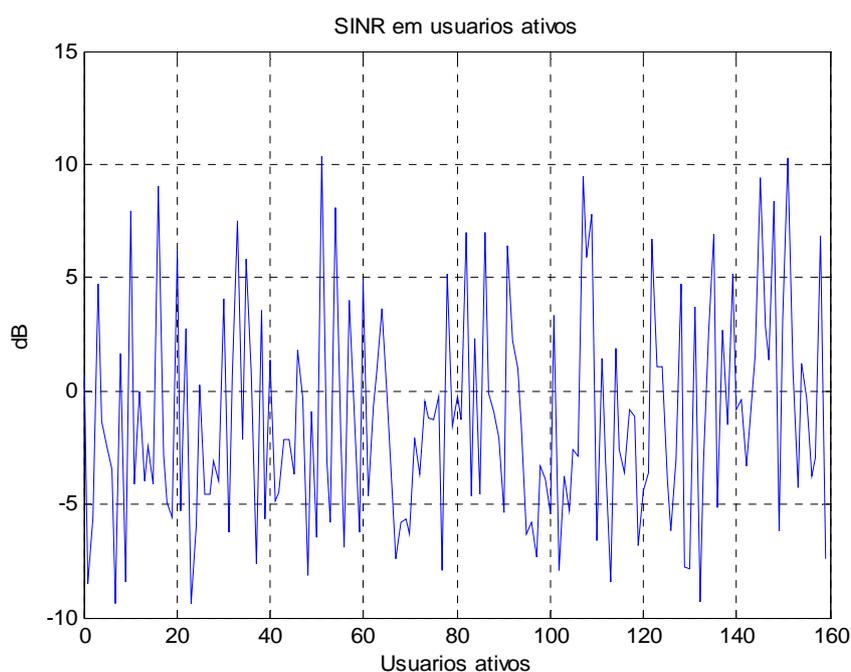


Figura 5.1: Relação SINR para usuários na banda de 900 MHz em ambiente urbano (LTE - LTE)

A figura 5.2 mostra uma análise de todos os usuários ativos localizados em uma área urbana, na banda de 1900 MHz, onde é possível a existência dos usuários atuando em sistemas LTE..

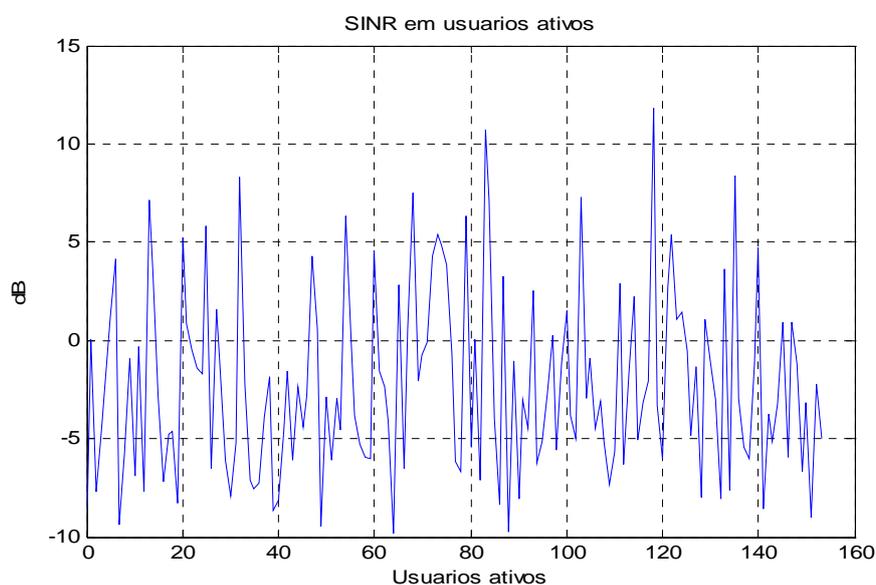


Figura 5.2: Relação SINR para usuários na banda de 1900 MHz em ambiente urbano (LTE - LTE)

A figura 5.3 mostra um caso especial porque é uma banda já escolhida por muitas operadoras e, também, por muitos países, caso especial do Brasil onde as operadoras já estão testando e fazendo estudos de campo para já atuar com sistemas LTE.

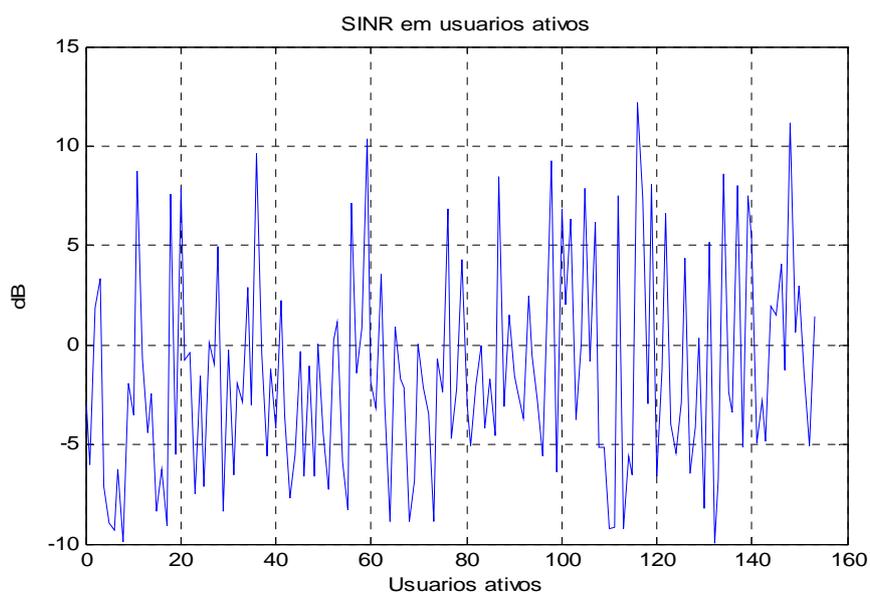


Figura 5.3: Relação SINR para usuários na banda de 1900 MHz em ambiente urbano (LTE - LTE)

5.1.2 Para um ambiente suburbano

A figura 5.4 mostra um ambiente suburbano, que apresenta diferentes características de um ambiente urbano. Os resultados mostram que, para uma quantidade determinada de usuários, a comunicação existe fazendo valer a banda de 900 MHz para um ambiente suburbano.

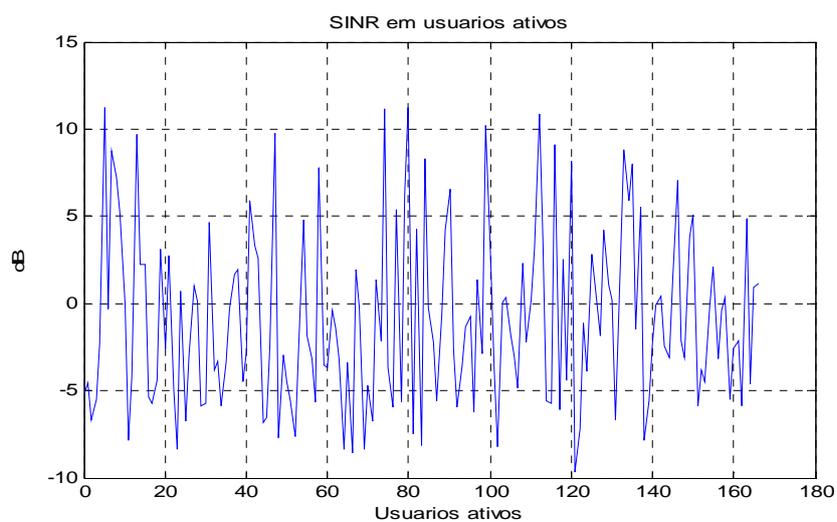


Figura 5.4: Relação SINR para usuários na banda de 900 MHz em ambiente suburbano (LTE - LTE)

A figura 5.5 mostra a simulação que gera usuários aleatórios para a banda de 1900 MHz em área suburbana, então nos temos resultados positivos, podendo assegurar que não existirão problemas no futuro se trabalhamos com sistemas LTE.

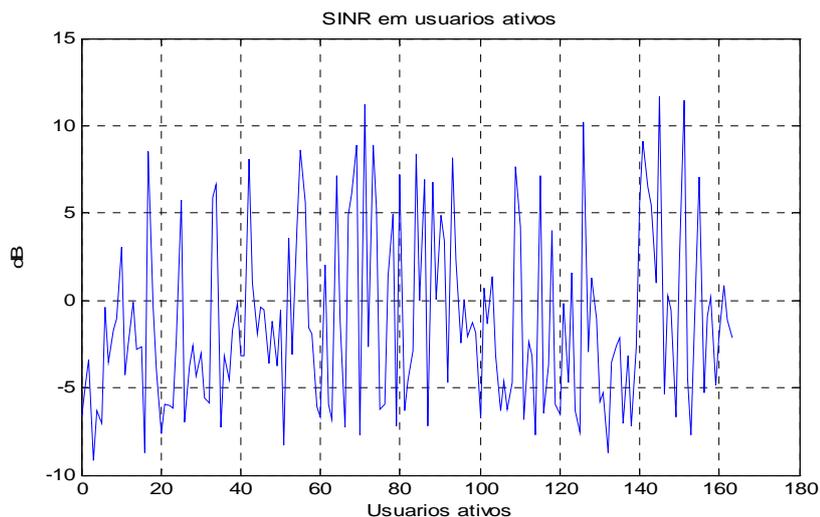


Figura 5.5: Relação SINR para usuários na banda de 1900 MHz em ambiente suburbano (LTE - LTE)

A figura 5.6 mostra a implementação de sistemas LTE na banda de 2500 MHz.

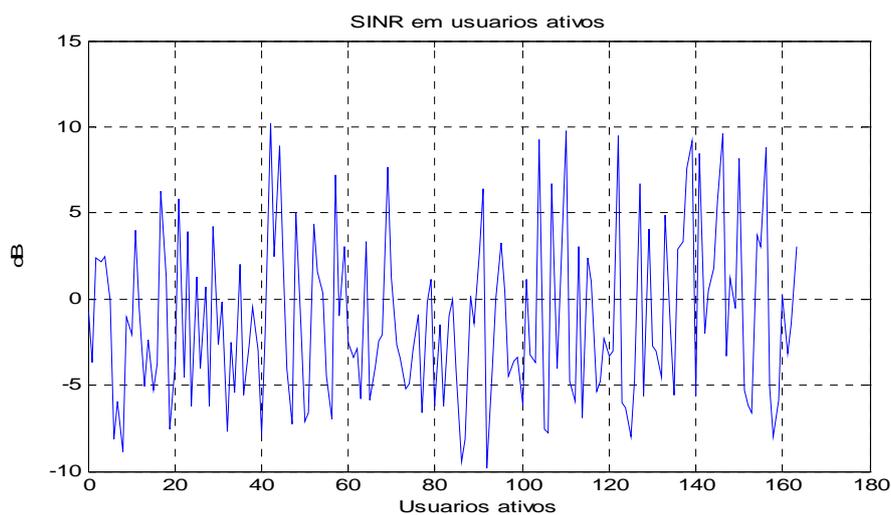


Figura 5.6: Relação SINR para usuários na banda de 2500 MHz em ambiente suburbano (LTE - LTE)

5.1.3 Para um ambiente rural

Mantendo a quantidade de usuários constante e igual das áreas urbanas e suburbanas, fazemos a mesma análise, dos itens anteriores, onde observamos que o nível mínimo de SINR é -10 dB para uma boa comunicação na banda de 900 MHz, que para muitos é a banda com maior qualidade de serviço e cobertura. A figura 5.7 mostra usuários espalhados aleatoriamente para um ambiente rural na banda de 900 MHz.

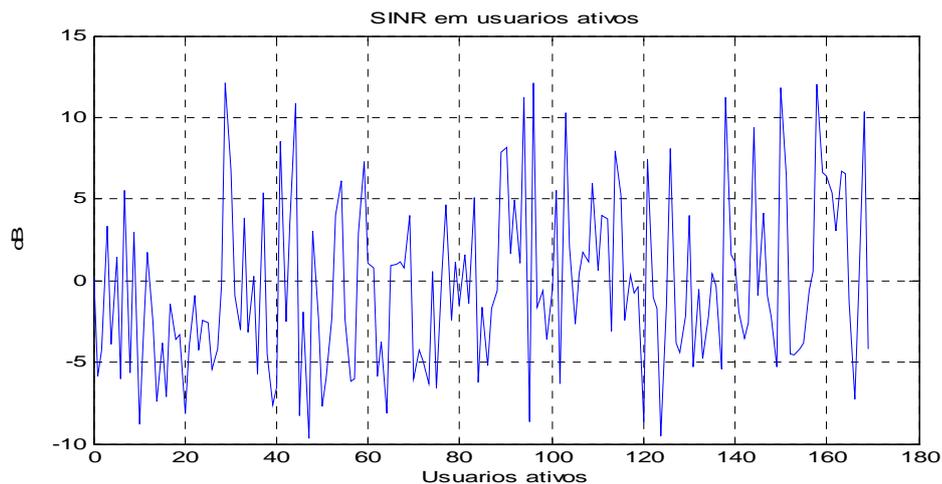


Figura 5.7: Relação SINR para usuários na banda de 900 MHz em ambiente rural (LTE - LTE)

Na figura 5.8, a simulação da banda de espectro de 1900 MHz em ambientes rurais, como já mencionado é um caso particular, que deverá acontecer até 2015, quando as comunicações convergirem para sistemas LTE

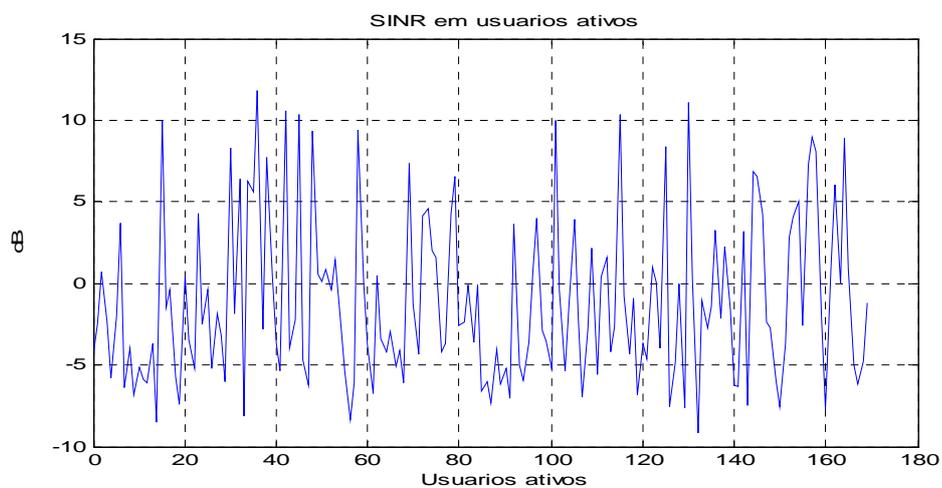


Figura 5.8: Relação SINR para usuários na banda de 1900 MHz em ambiente rural (LTE - LTE)

A figura 5.9 mostra a banda de espectro de 2500 MHz para um ambiente rural que é possível realizar já que é banda que será implantada no Brasil e em outros países.

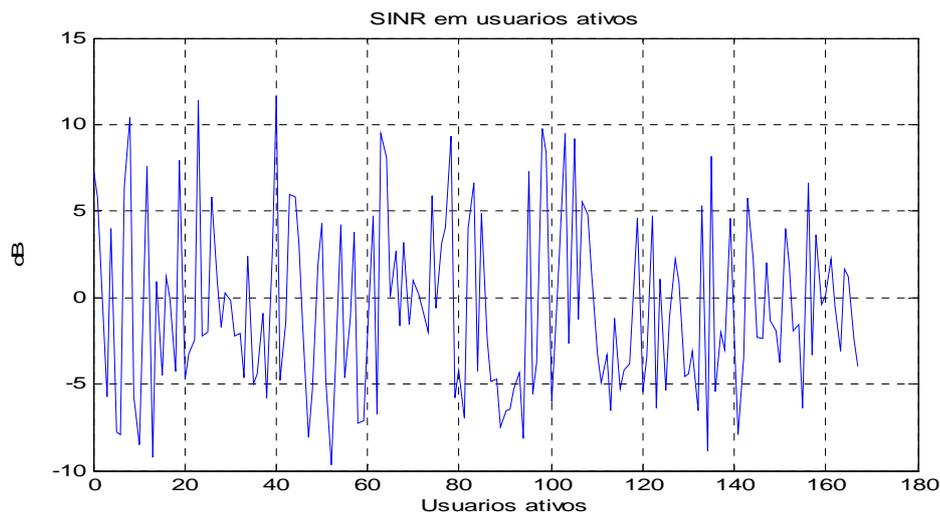


Figura 5.9: Relação SINR para usuários na banda de 2500 MHz ambiente rural (LTE - LTE)

5.1.4

A probabilidade cumulativa CDF em função da relação SINR em ambientes urbano, suburbano e rural nas bandas 900, 1900 e 2500 coexistindo em sistemas LTE-LTE

Na figura 5.10, comparamos os níveis de Probabilidade Cumulativa (CDF) em função da relação SINR nas bandas (900 MHz, 1900 MHz e 2500 MHz) em um ambiente urbano, onde as três bandas são implementadas totalmente com LTE. O desempenho para a banda de 1900 MHz é ligeiramente melhor que as outras.

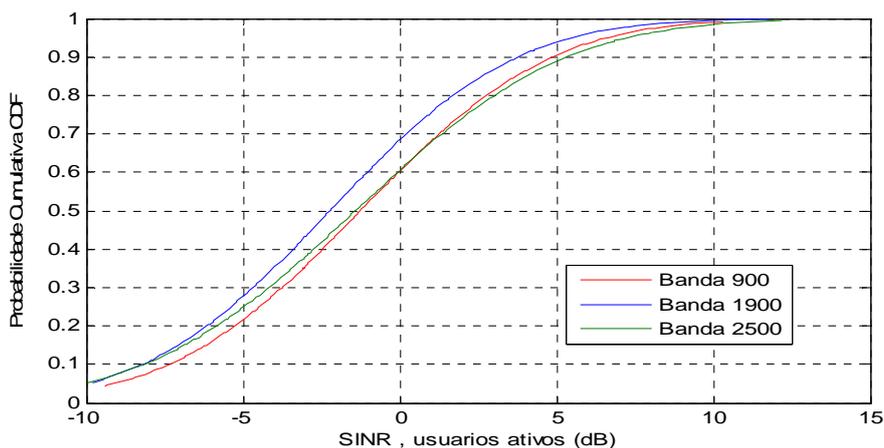


Figura 5.10: CDF em função do SINR para as bandas 900, 1900 e 2500 em ambientes urbanos

A figura 5.11 mostra que LTE não vai ter preferência nos ambientes, como atualmente acontece em nossa realidade, onde a comunicação vai descendo com respeito as zonas suburbana e rural.

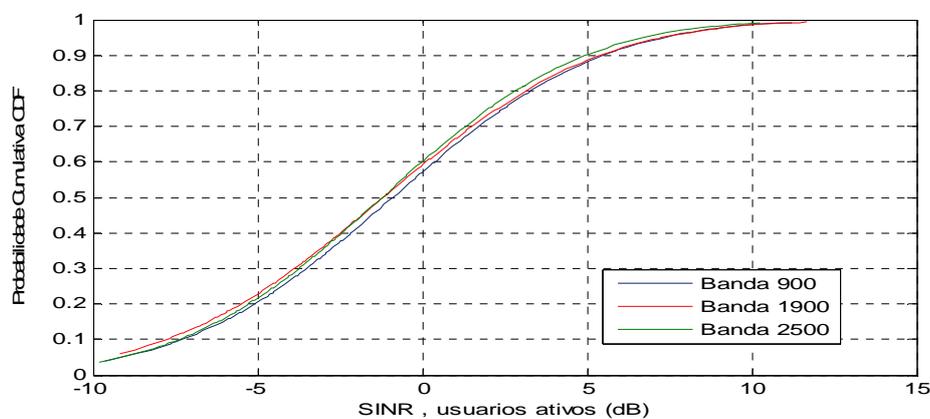


Figura 5.11: CDF em função do SINR para as bandas 900, 1900 e 2500 em ambientes suburbanos

A figura 5.12 mostra sistemas LTE nas diferentes bandas, em ambiente rural onde se observa que o desempenho das três bandas de espectro é praticamente o mesmo.

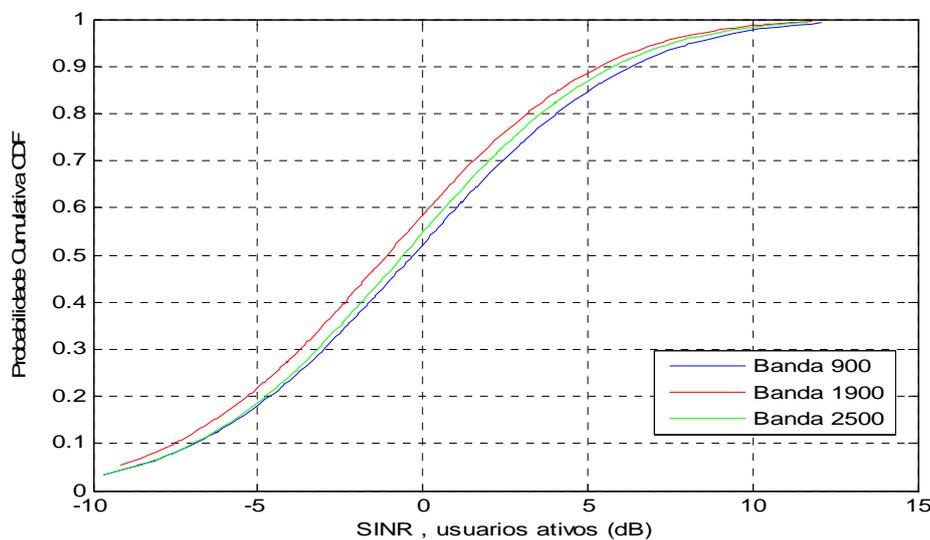


Figura 5.12: CDF em função do SINR para as bandas 900, 1900 e 2500 em ambientes rurais

5.2 Análises de interferências para coexistência (LTE - LTE)

5.2.1 Para ambientes urbanos

A figura 5.13 mostra a quantidade de interferência que recebe cada um dos usuários em uma banda de 900 MHz, em um ambiente urbano, onde apreciamos que a sensibilidade de interferência mínima é -120 dBm.

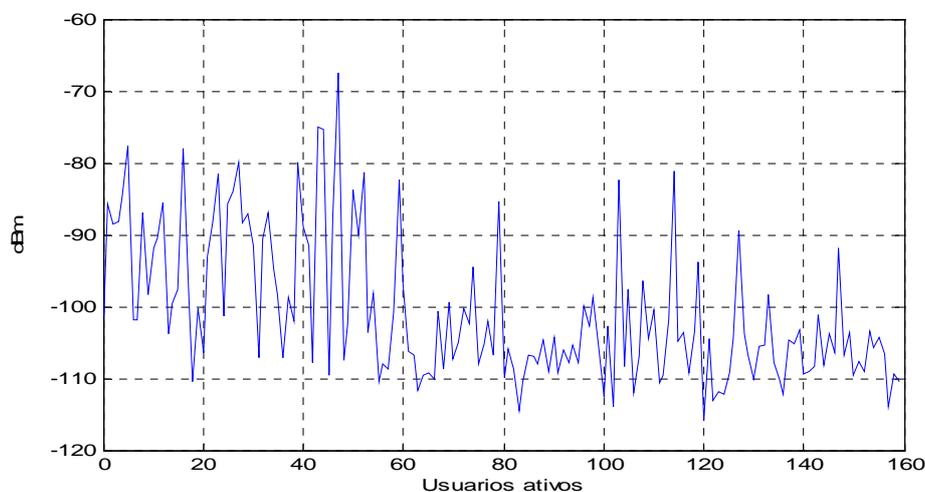


Figura 5.13: Análise de interferência para usuários em ambiente urbano na banda de 900 MHz

Na figura 5.14 apreciamos usuários aleatórios em um ambiente urbano, onde trabalhamos na banda de 1900 MHz, e podemos apreciar que o nível de sensibilidade para o grau de interferência é -120 dBm

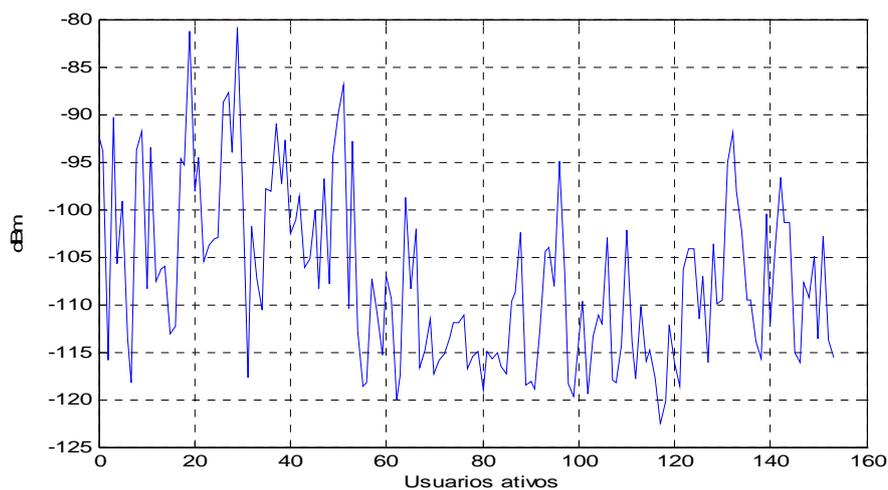


Figura 5.14: Análise de interferência para usuários em ambiente urbano na banda de 1900 MHz

Na figura 5.15, consideramos a banda de 2500 MHz, que foi escolhida para a implantação das redes 4G no Brasil, onde o mínimo valor para a sensibilidade é -120 dBm, o que garantirá um bom desempenho do sistema.

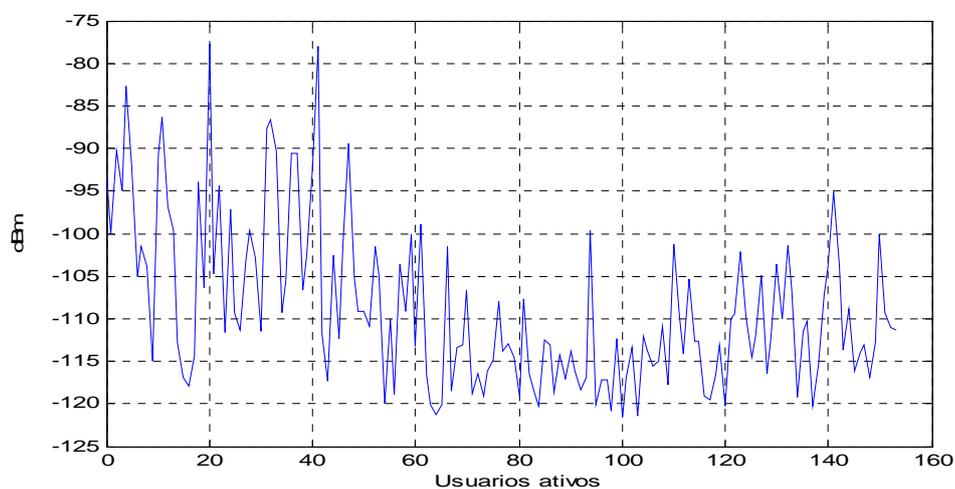


Figura 5.15: Análise de interferência para usuários em ambiente urbano na banda de 2500 MHz

5.2.2 Para ambientes suburbanos

A figura 5.16 mostra um ambiente suburbano na banda de espectro de 900 MHz onde apreciamos uma melhoria, relativamente à área urbana, na sensibilidade de interferência, mas assumindo que o nível mínimo de sensibilidade para a interferência é -120 dBm.

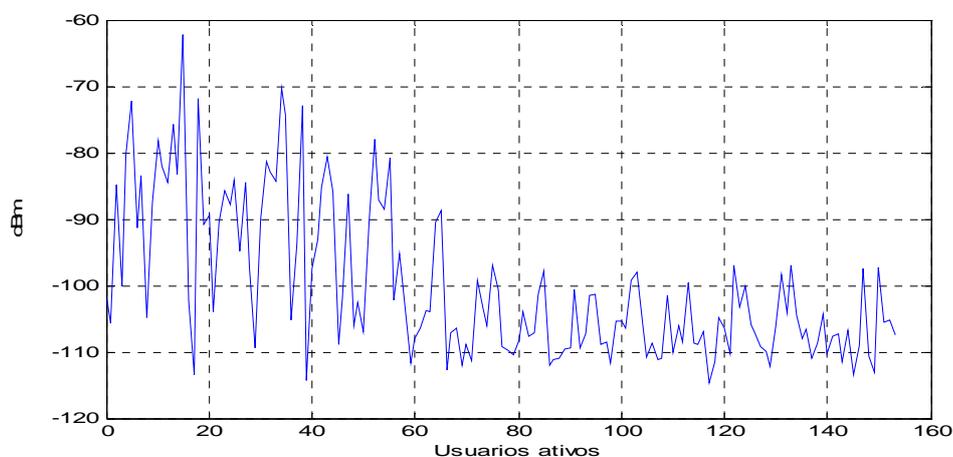


Figura 5.16: Análise de interferência para usuários em ambiente suburbano na banda de 900 MHz

A figura 5.17 mostra ambientes suburbanos para a banda de 1900 MHz onde temos a variação de interferência em função da quantidade dos usuários ativos, onde os níveis de sensibilidade de interferência é -120 dBm.

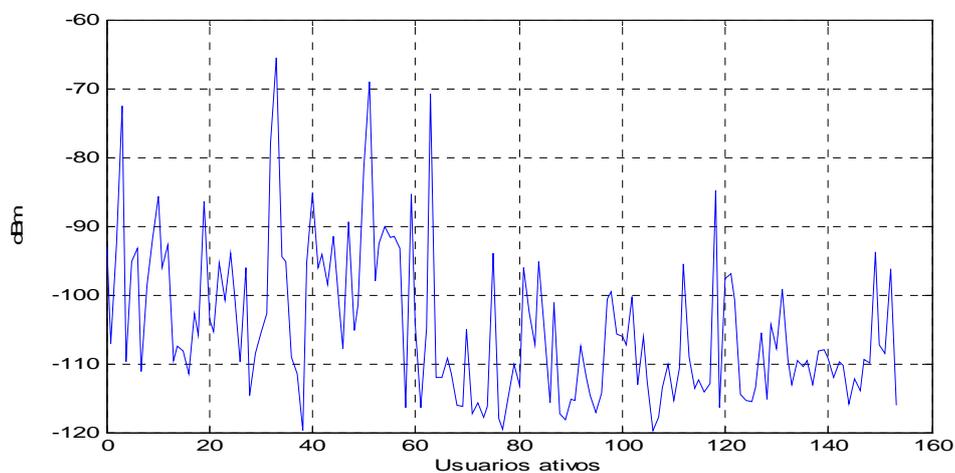


Figura 5.17: Análise de interferência para usuários em ambiente suburbano na banda de 1900 MHz

Na figura 5.18 apreciamos a quantidade de interferência que recebe cada um dos usuários em uma banda de 2500 MHz, onde mostramos um leve melhoramento sensibilidade de interferência.

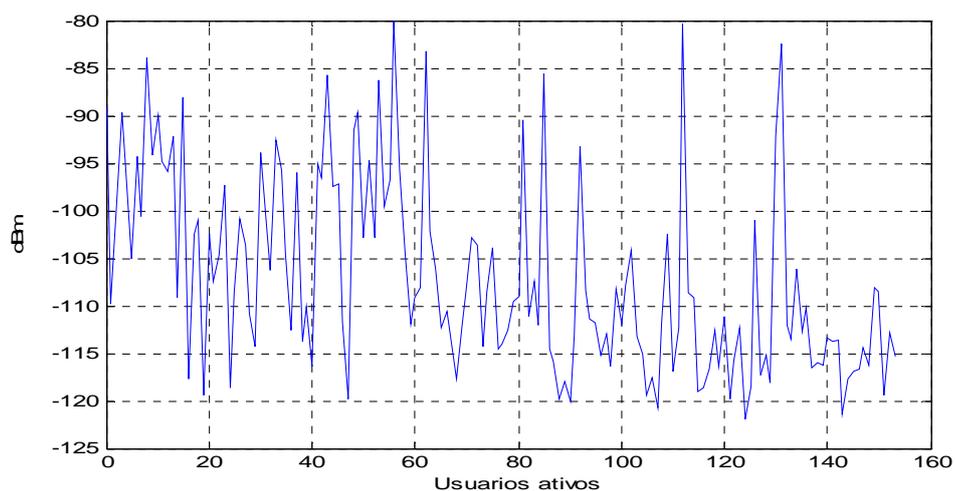


Figura 5.18: Análise de interferência para usuários em ambiente suburbano na de 2500 MHz

5.2.3 Para ambientes rurais

A figura 5.19 mostra a banda de 900 MHz, em ambiente rural.

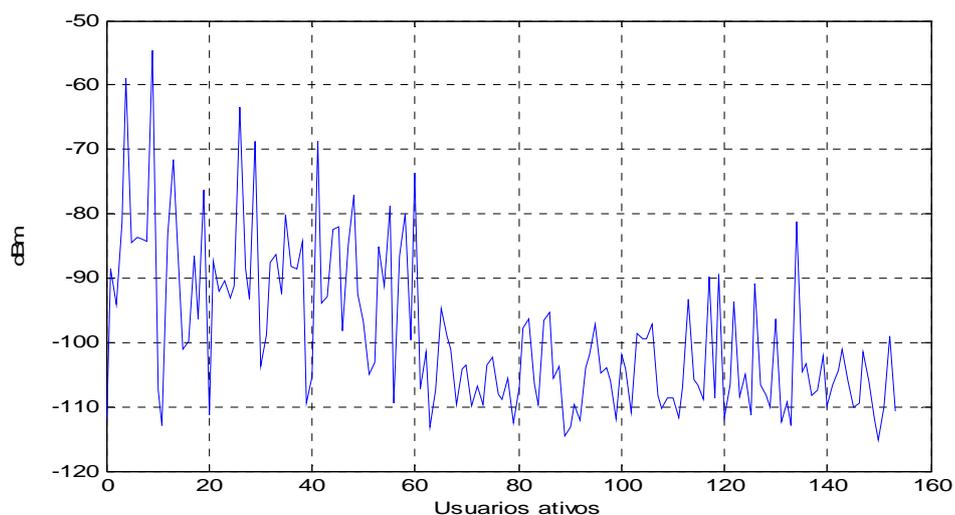


Figura 5.19: Análise de interferência para usuários em ambiente rural na banda de 900 MHz

Na figura 5.20 apreciamos a banda de 1900 MHz em ambiente rural.

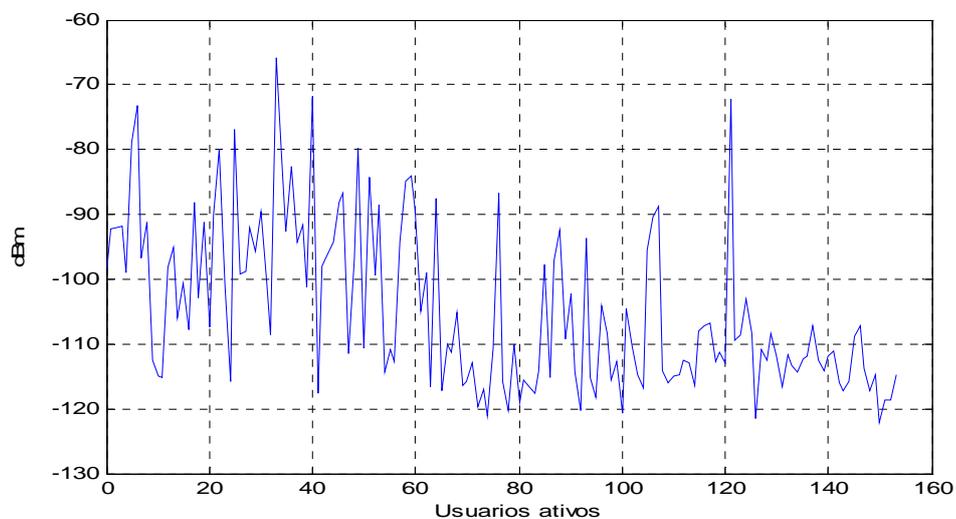


Figura 5.20: Análise de interferência para usuários em ambiente rural na banda de 1900 MHz

Na figura 5.21, apreciamos uma pequena variação dos picos com relação aos anteriores gráficos, vale ter em conta que a banda de 2500 MHz é uma banda implementada no sistema LTE.

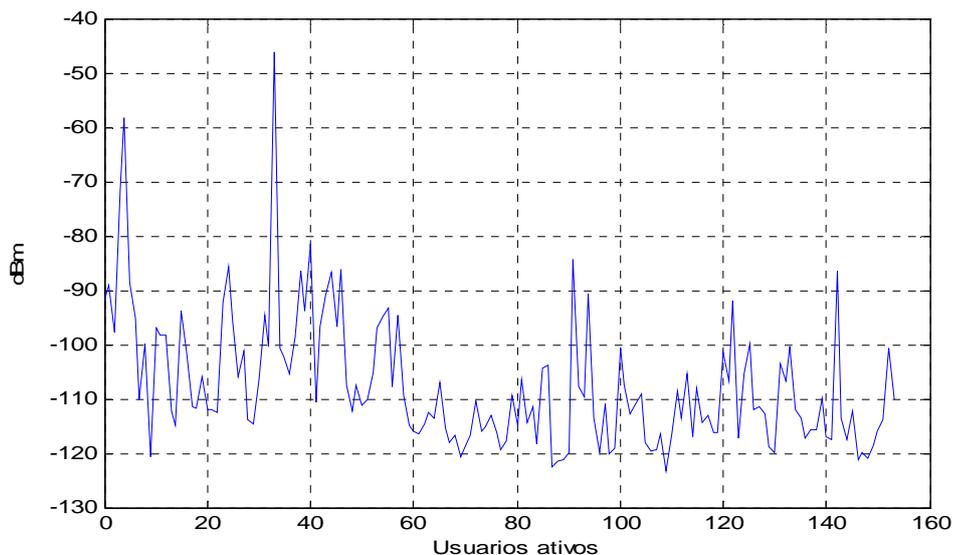


Figura 5.21: Análise de interferência para usuários em ambiente rural na banda de 2500 MHz

5.2.4

A probabilidade cumulativa CDF (*Cumulative Density Function*) em função da interferência em ambientes urbano, suburbano e rural nas bandas 900, 1900 e 2500 coexistindo em sistemas LTE-LTE

Na figura 5.22, são apresentadas comparação da função de Probabilidade Cumulativa (CDF) em função da relação SINR em um ambiente urbano, onde podemos apreciar uma leve vantagem de desempenho na banda de 900 MHz em relação à qualidade de serviço e a nível de usuários que são afetados pela interferência.

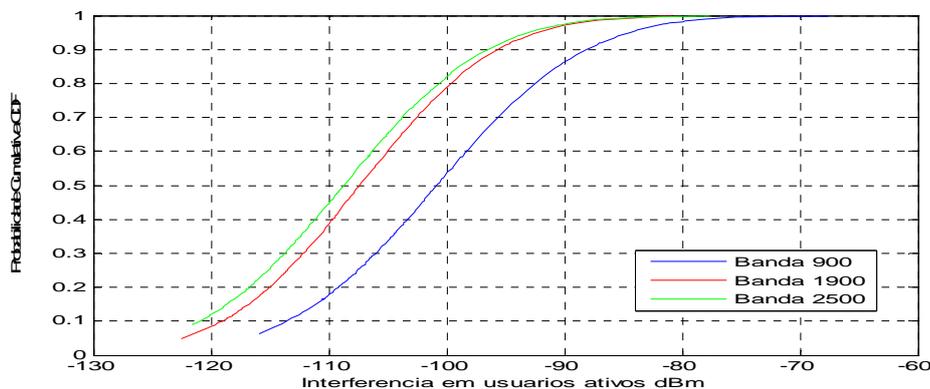


Figura 5.22: CDF em função da interferência para as bandas 900, 1900 e 2500 em ambientes urbanos

Na figura 5.23, são apresentadas as comparações da função de Probabilidade Cumulativa (CDF) em função da relação SINR em ambiente suburbano, onde a vantagem de desempenho ainda é em 900 MHz, porém não tão acentuada como nos ambientes urbanos.

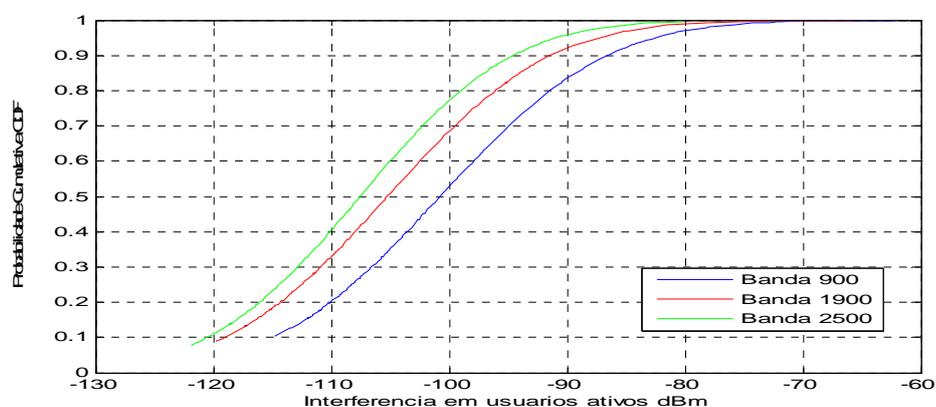


Figura 5.23: CDF em função da interferência para as bandas 900, 1900 e 2500 em ambientes suburbanos

A figura 5.23 mostra quase o mesmo efeito das curvas com respeito ao ambiente suburbano. A curva que tem maior qualidade de serviço e comunicação (desempenho) é a banda de 900 MHz.

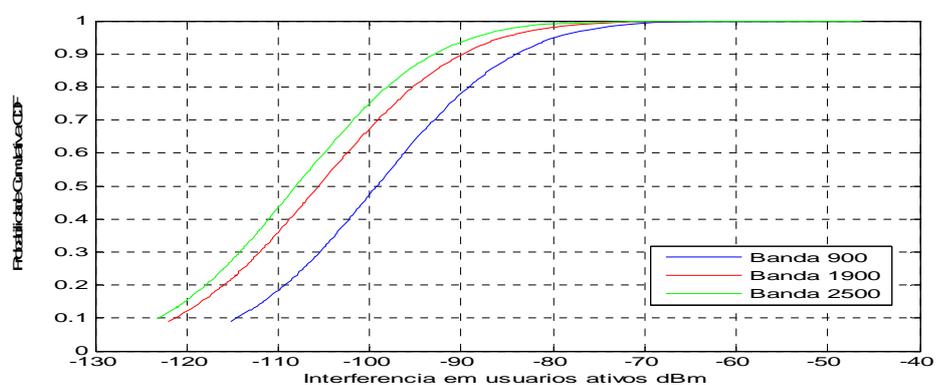


Figura 5.24: CDF em função da interferência para as bandas 900, 1900 e 2500 em ambientes rurais

5.3

Análise da relação SINR (*Sinal to Interference plus Noise Ratio*) para usuários coexistindo em sistemas (UMTS - LTE)

5.3.1 Para ambientes urbanos

Na figura 5.25, fazemos um análise de todos os usuários ativos apresentados em uma área urbana na banda de 900 MHz (que vai ser implementada no futuro) onde

cada usuário apresenta seu nível SINR. Aqui podemos apreciar todos os usuários, atuando no sistema LTE, sendo interferidos por um sistemas GSM na banda de 900 MHz, observando que a relação SINR garantirá o bom desempenho dos usuários espalhados aleatoriamente.

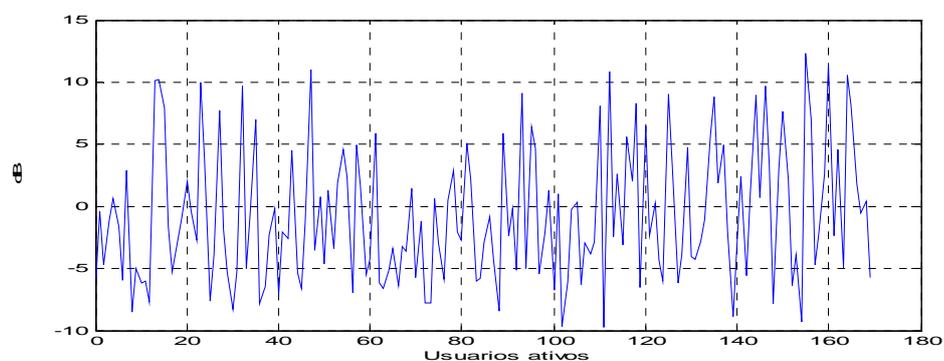


Figura 5.25: Relação SINR para usuários na banda de 900 MHz em ambiente urbano (LTE(interferente) – GSM (vitima))

Na figura 5.26, todos os usuários ativos são apresentados num ambiente urbano, na banda de 1900 MHz onde cada usuário apresenta seu nível SINR.

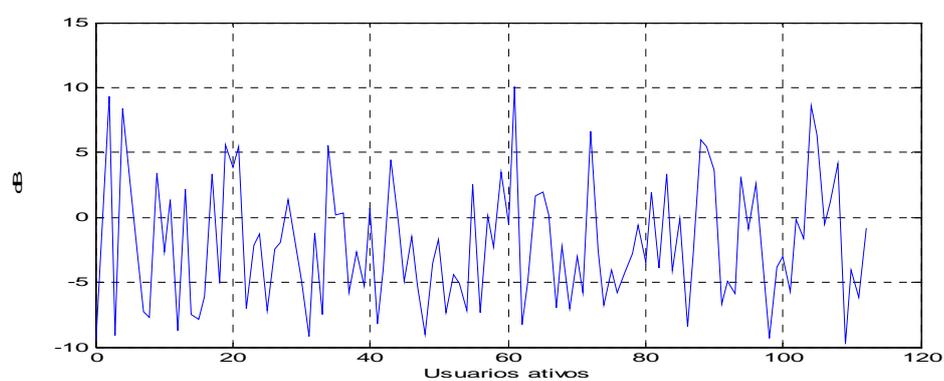


Figura 5.26: Relação SINR para usuários na banda 1900 MHz em ambiente urbano (LTE(interferente) - UMTS(vitima))

5.3.2 Para ambientes suburbanos

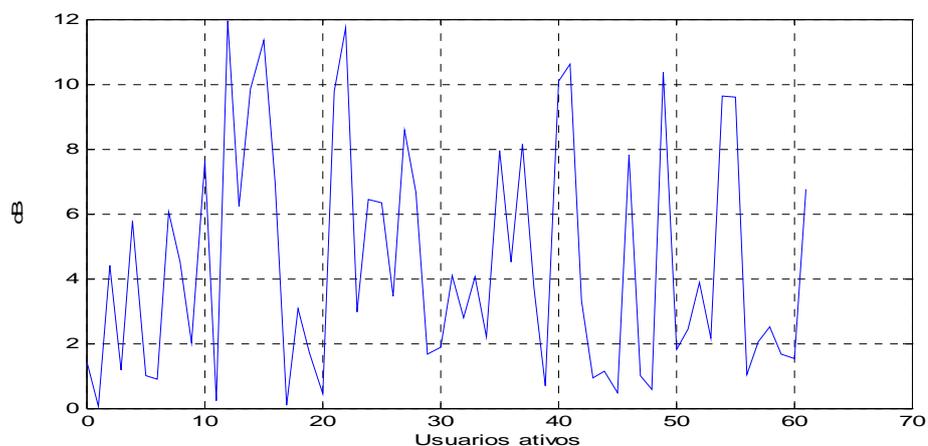


Figura 5.27: Relação SINR para usuários na banda de 900 MHz em ambiente suburbano (LTE(interferente) – GSM (vitima))

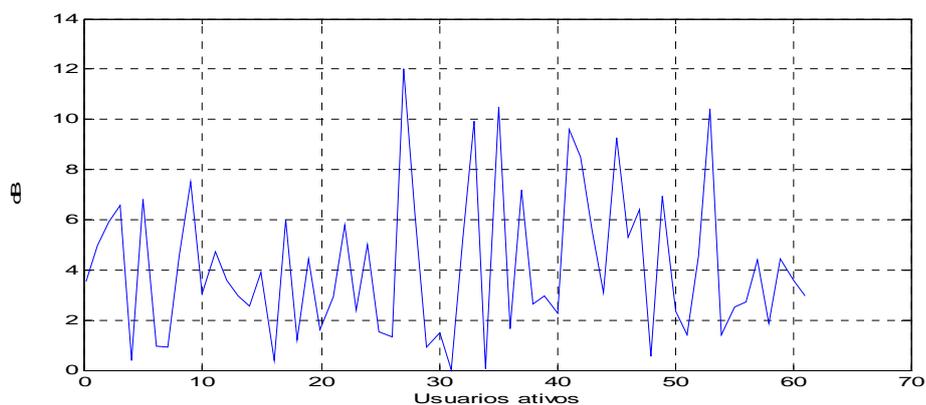


Figura 5.28: Relação SINR para usuários na banda de 1900 MHz em ambiente suburbano (LTE(interferente) - UMTS(vitima))

5.3.3 Para ambientes rurais

Na figura 5.29, mostramos usuários ativos num ambiente rural na banda de 900 MHz onde cada dado usuário apresenta seu nível SINR. Neste caso, já é uma coexistência dos sistemas 2G e 4G (GSM e LTE), e observamos melhoramento em função ao nível da relação SINR, e também observamos que a quantidade de usuários ativos diminuiu. Aqui, optou-se por diminuir a quantidade de usuários

porque nas zonas rurais não se vai ter muito usuário em 900 MHz, assim podemos prever que sistema GSM irá desaparecer. .

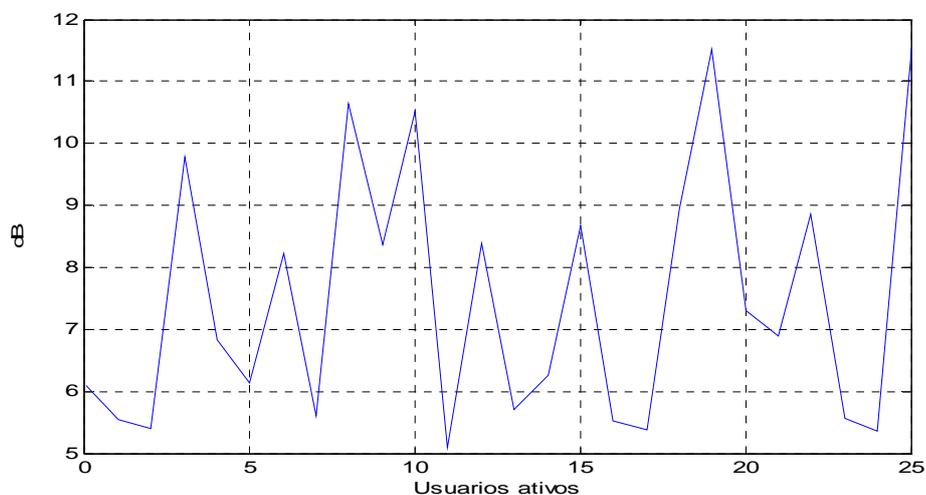


Figura 5.29: Relação SINR para usuários na banda 900 MHz em ambiente rural (LTE(interferente) - GSM(vitima))

Na figura 5.30, apresentamos usuários ativos no ambiente rural na banda de espectro de 1900 MHz, onde cada dado usuário apresenta seu nível SINR.

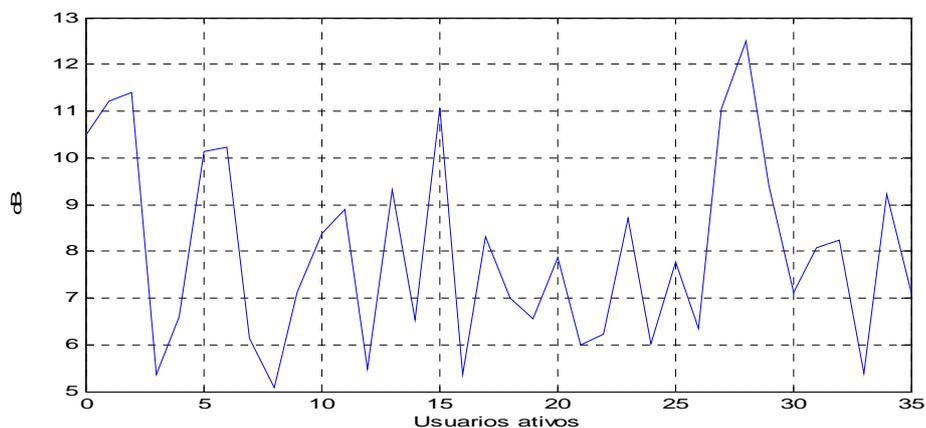


Figura 5.30: Relação SINR para usuários na banda 1900 MHz em ambiente rural (LTE(interferente) – UMTS(vitima))

5.3.4

A probabilidade cumulativa CDF (*Cumulative Density Function*) em função da relação SINR em ambientes urbano, suburbano e rural nas bandas 900, 1900 coexistindo em sistemas UMTS-LTE

Na figura 5.31, é apresentada a comparação Probabilidade Cumulativa (CDF) em função da relação SINR num ambiente urbano, onde se observa que existe melhor desempenho na banda de 1900 MHz com relação à banda de 900 MHz.

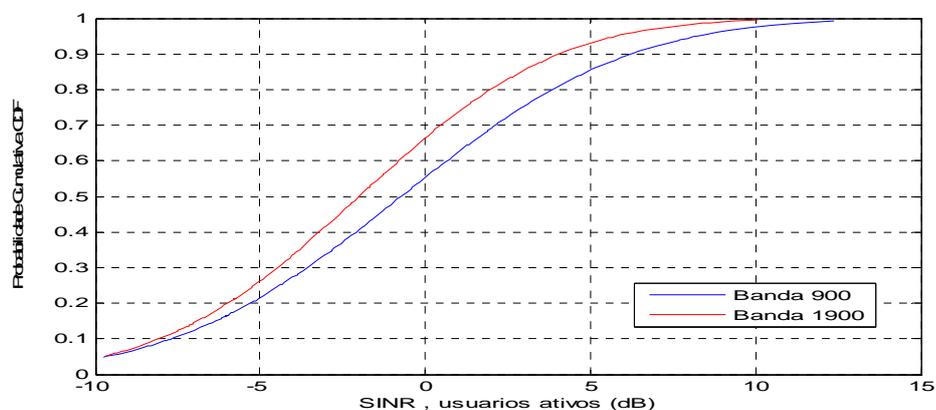


Figura 5.31: CDF em função do SINR para as bandas 900, 1900 em ambientes urbanos

Na figura 5.32 apresentamos a Probabilidade Cumulativa (CDF) em função na relação SINR num ambiente suburbano, onde apreciamos o melhor desempenho da banda de 1900 MHz em relação na banda de espectro de 900 MHz .

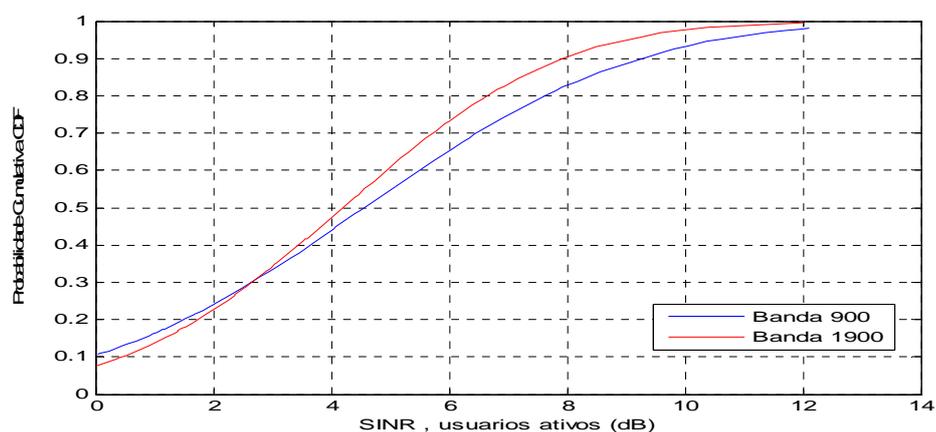


Figura 5.32: CDF em função do SINR para as bandas 900, 1900 em ambientes suburbanos

Na figura 5.33 apresentamos Probabilidade Cumulativa (CDF) em função da relação SINR num ambiente rural, onde apreciamos melhor desempenho na banda de 900 MHz que o obtido na banda de 1900 MHz.

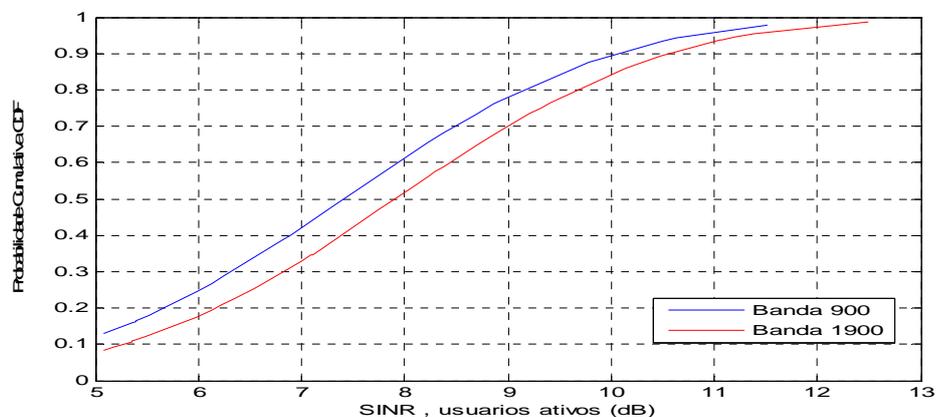


Figura 5.33: CDF em função do SINR para as bandas 900, 1900 em ambientes rurais

5.4

Análise de interferências para coexistência (UMTS - LTE)

5.4.1 Para ambientes urbanos

Aqui, nesta Figura 5.34, podemos observar a quantidade de interferência que recebe cada um dos usuários na banda de 900 MHz em um ambiente urbano

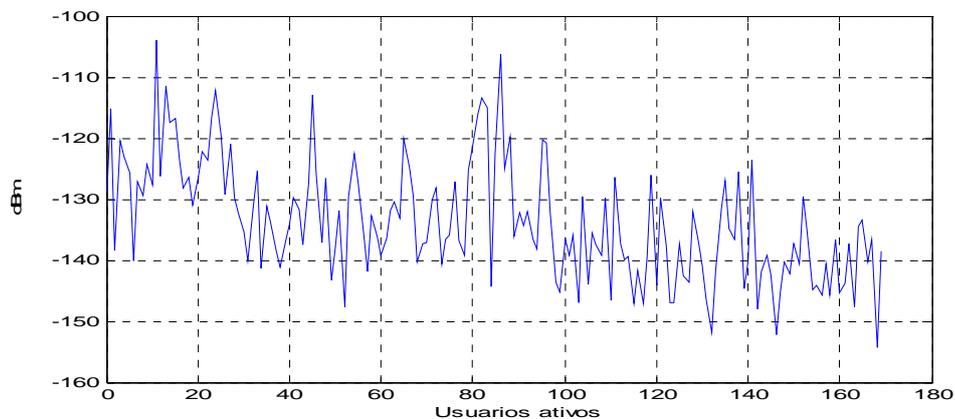


Figura 5.34: Análises de interferência para usuários em ambiente urbano na banda de 900 MHz

Na figura 5.35, apreciamos a interferência que recebe os usuários na banda de 1900 MHz, num ambiente urbano

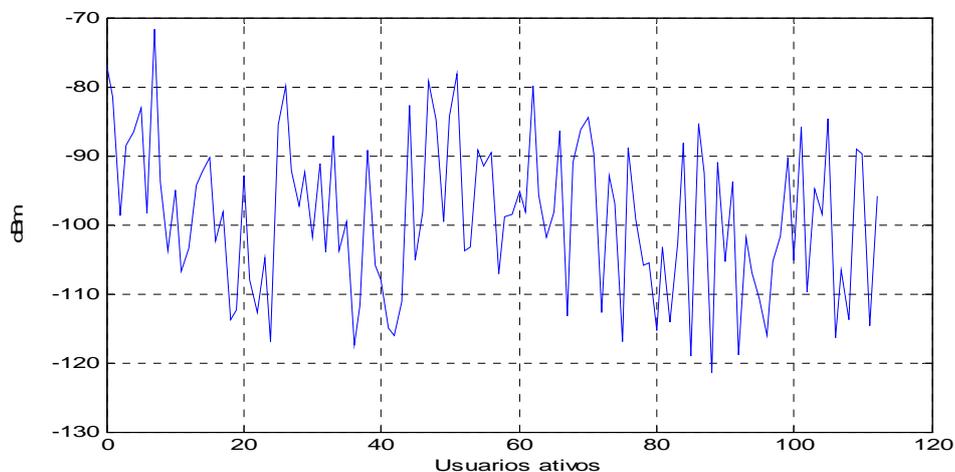


Figura 5.35: Análises de interferência para usuários em ambiente urbano na banda de 1900 MHz

5.4.2 Para ambientes suburbanos

Na figura 5.36, apreciamos a interferência que recebe cada um dos usuários numa banda de 900 MHz num ambiente suburbano.

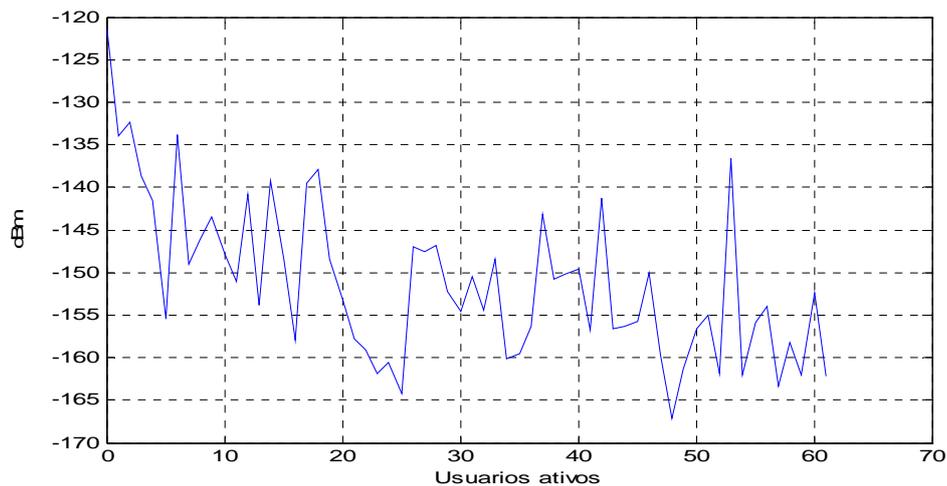


Figura 5.36: Análise de interferência para usuários em ambiente suburbano na banda de 900 MHz

Na figura 5.37 apreciamos a interferência que recebem os usuários na banda de 1900 MHz, num ambiente suburbano

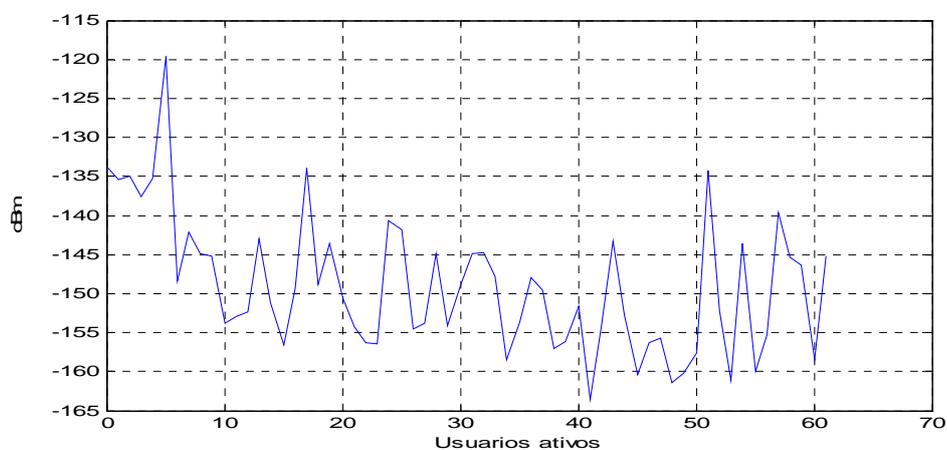


Figura 5.37: Análise de interferência para usuários em ambiente suburbano na banda de 1900 MHz

5.4.3

A probabilidade cumulativa CDF (*Cumulative Density Function*) em função da interferência em ambientes urbano, suburbano e rural nas bandas 900, 1900, coexistindo em sistemas UMTS-LTE

Na figura 5.38 nos apresentamos a comparação Probabilidade Cumulativa (CDF) em função da interferência de usuários ativos num ambiente urbano, onde apreciamos melhor desempenho na banda de 1900 MHz com relação na banda de 900 MHz.

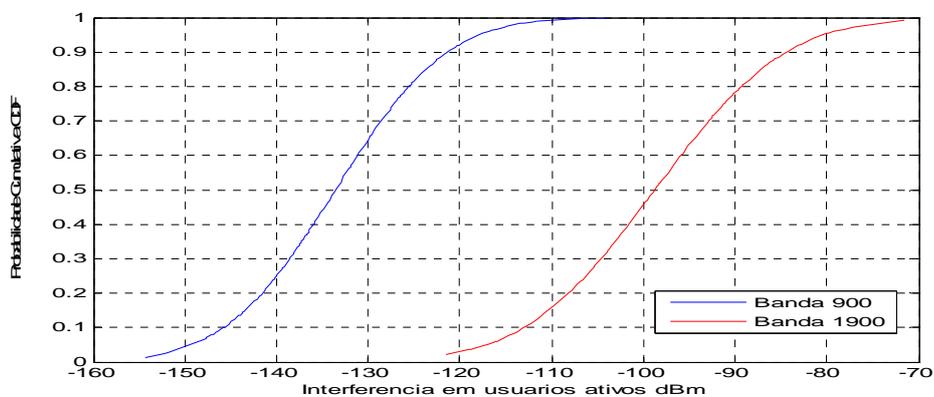


Figura 5.38: CDF em função da interferência para as bandas 900, 1900 em ambientes urbanos

Na figura 5.39 apresentamos Probabilidade Cumulativa (CDF) em função da interferência de usuários ativos num ambiente suburbano, onde apreciamos que existe melhor desempenho na banda de 1900 MHz com relação da banda de 900 MHz.

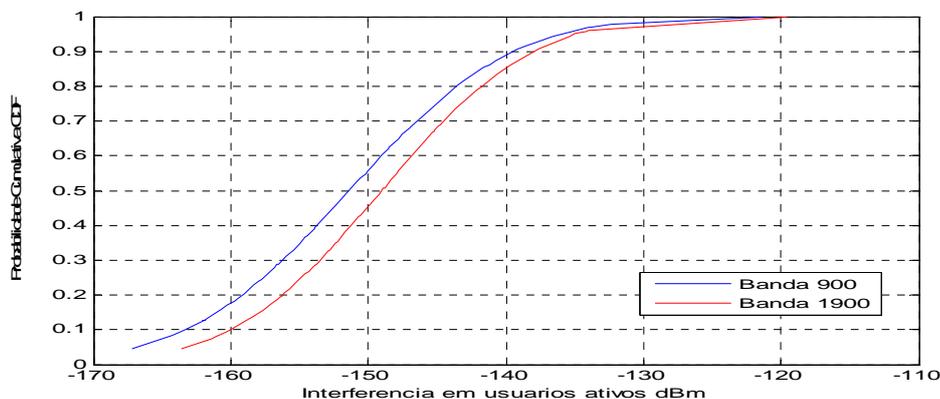


Figura 5.39: CDF em função da interferência para as bandas 900, 1900 em ambientes suburbanos

Na figura 5.40 nos apresentamos a comparação de Probabilidade Cumulativa (CDF) em função da interferência de usuários ativos num ambiente rural, onde apreciamos que o melhor desempenho varia de 900 MHz a 1900 MHz.

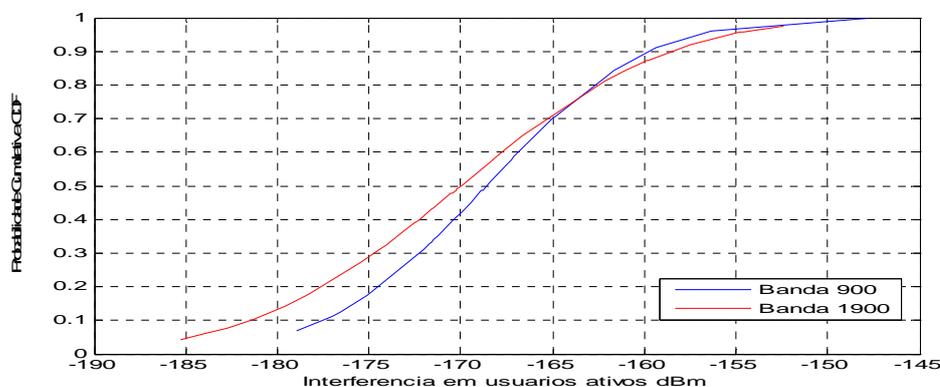


Figura 5.40: CDF em função da interferência para as bandas 900, 1900 em ambientes rurais

5.5

Comparação de os valores médios em todos os ambientes nas bandas de 900 e 1900 para CDMA (interferente) - LTE (vitima)

Na seguinte tabela apresentamos o resumo dos valores médios para relação SINR e σ_{\max} em cenários UMTS-GSM (interferente) - LTE (vitima) para os ambientes

urbano, sub-urbano e rural nas bandas de espectro de 900 MHz e 1900 MHz. Onde apreciamos que o valor da relação SINR é da seguinte forma rural>sub-urbano>urbano.

		SINR	σ_{\max}
Urbano	900 GSM	-2.13	5.15
	1900 UMTS	-1.88	5.17
Sub Urbano	900 GSM	3.31	3.21
	1900 UMTS	2.81	3.54
Rural	900	7.68	1.87
	1900	7.20	2.03

Tabela 5.1: Valores médios para SINR e σ_{\max} para UMTS (interferente) - LTE (vitima)

5.6

Perda de throughput (*throughput loss*) em função ACIR (*Adjacent Channel Interference Ratio*)

Os resultados são apresentados como perda de *throughput* (*throughput loss*) em função com ACIR (*Adjacent Channel Interference Ratio*).

$$ACIR = \frac{1}{\frac{1}{ACLR} + \frac{1}{ACS}}$$

ACIR é dominado pelo ACLR (*Adjacent Channel Leakage Power Ratio*) e dois níveis de ACLR são definidos baseados na frequência de vitima e interferente. Aqui é definido para o modelo ACLR para LTE (interferente) e CDMA (vitima). (30+X) quando é adjacente à canal da vitima e (43+X) quando esta à 4 RBs (*Resource Block*) de distancia de canal da vitima. O ACIR aqui será apresentado como ACLR=30+X(dB), onde X = -10, 0, 10, 20.

Na figura 5.41 amostra a perda de *throughput* [%] quando o ACIR vai em aumento. Isto amostra um caso geral para todos os ambientes (ambientes urbano, sub-urbano e rural) e para todas as bandas de espectro (900 MHz, 1900 MHz).

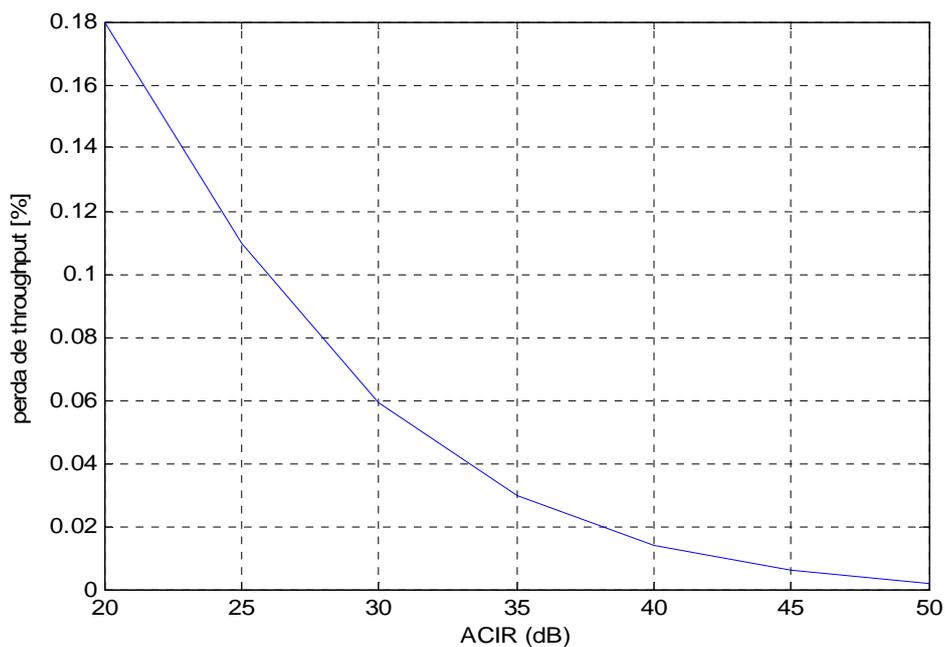


Figura 5.41: Perda de *throughput* em função do ACIR para
LTE-UMTS

Na figura 5.42 apresentamos a perda de *throughput* entre sistemas LTE (LTE (interferente) - LTE (vitima)), para dois casos em particular na banda de 2500 MHz em um ambiente urbano (20MHz -> 5MHz e 20MHz -> 20MHz).

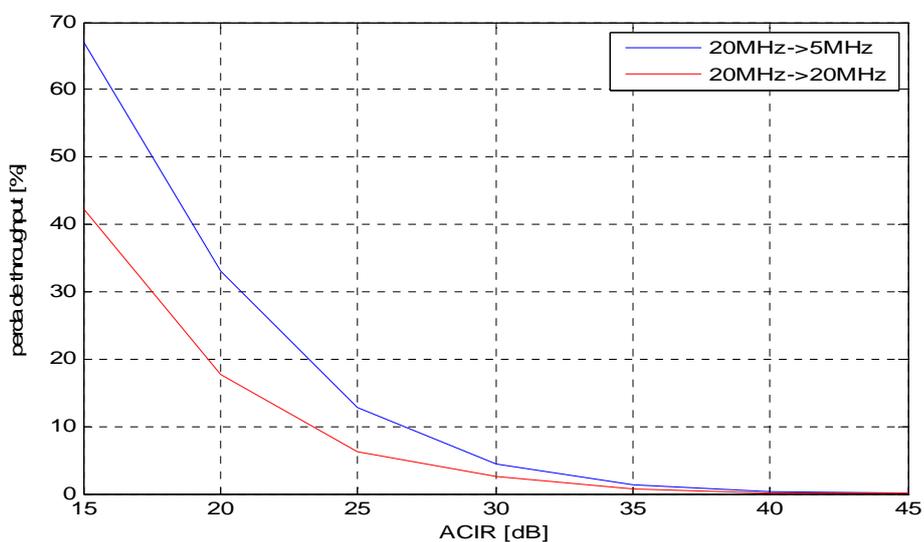


Figura 5.42: Perda de *throughput* em função do ACIR para
LTE - LTE

Nas seguintes figuras apresentamos a coexistência em LTE sem importar os interferentes (LTE, UMTS), onde apreciamos o mínimo valor da relação SINR

para os sistemas LTE é -10 dB, então concluímos que para valores menores a $\text{SINR} = -10\text{dB}$ o $\text{throughput} = 0$ como apreciamos nas seguintes figuras.

Na figura 5.43 apreciamos o throughput (bps/Hz) em função da relação SINR para sistemas LTE coexistindo com sistemas LTE e sistemas UMTS em *downlink*.

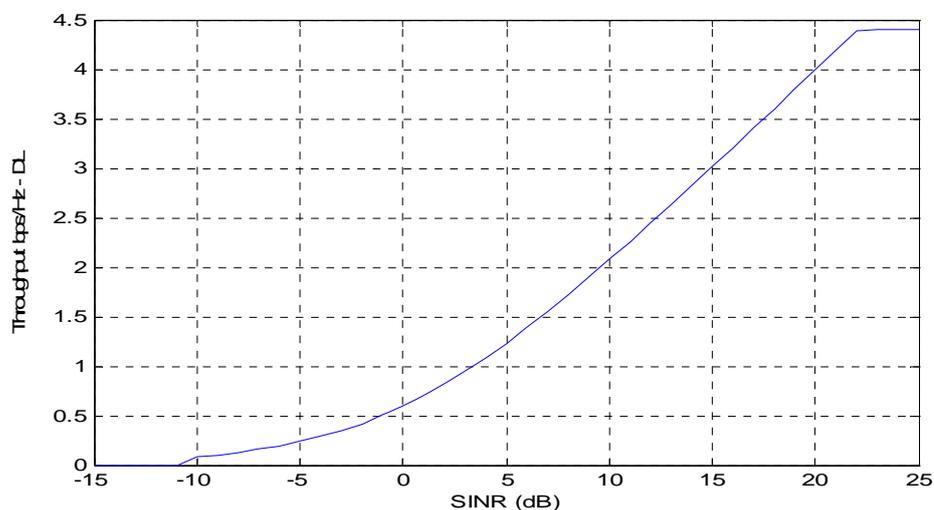


Figura 5.43: *Throughput* bps/Hz em função SINR para *downlink*

Na figura 5.44 apreciamos throughput (bps/Hz) em função da relação SINR para sistemas LTE coexistindo com sistemas LTE e UMTS, em *uplink*.

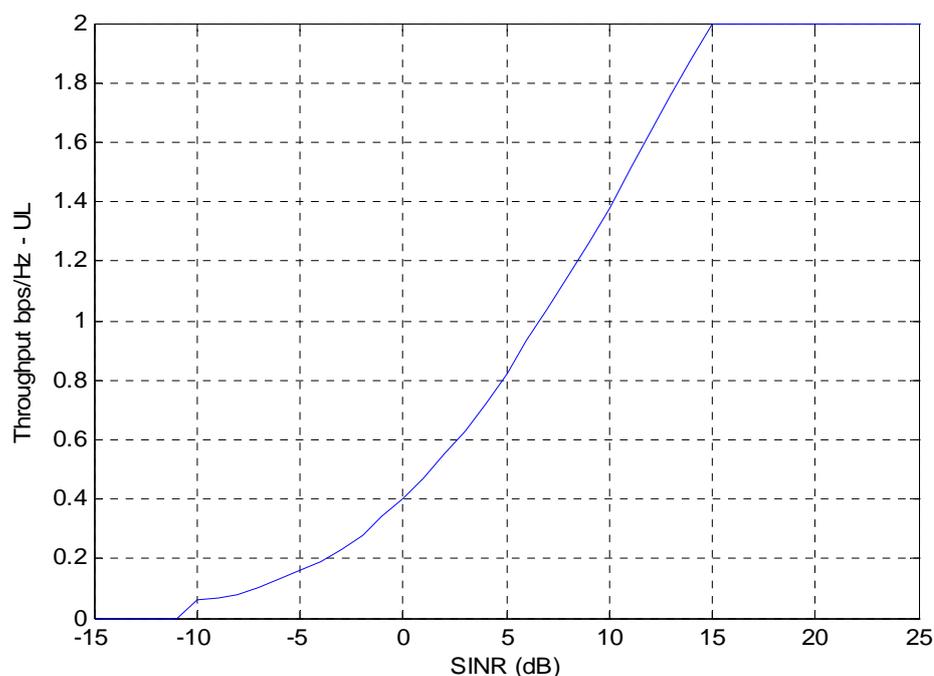


Figura 5.44: *Throughput* bps/Hz em função SINR para *uplink*

Na figura 5.45 apreciamos *throughput* (kbps por 375Khz) em função da relação SINR para sistemas LTE coexistindo com sistemas LTE e UMTS, em *downlink*

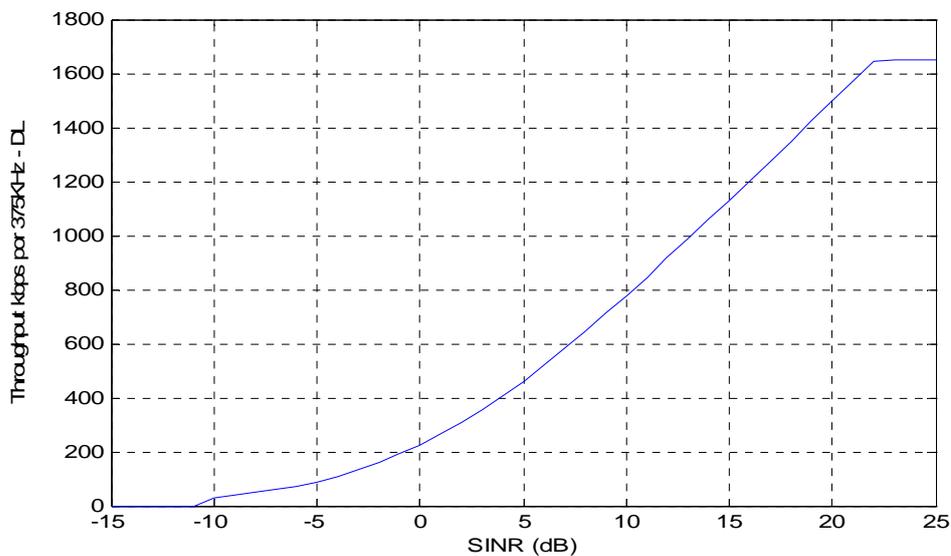


Figura 5.45: *Throughput* Kbps por 375KHz em função da relação SINR para *downlink*

Na figura 5.46 apreciamos *throughput* (kbps por 375KHz) em função da relação SINR para sistemas LTE coexistindo com sistemas LTE e CDMA, em *uplink*.

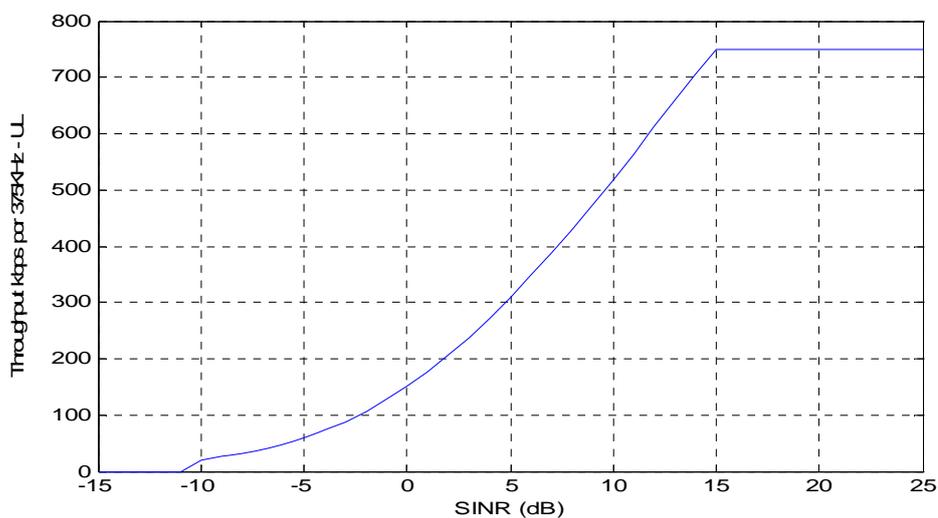


Figura 5.46: *Throughput* Kbps por 375KHz em função da relação SINR para *uplink*