

4 Estudo de Caso

4.1. Introdução

A crescente demanda pelos serviços de banda larga móvel, principalmente em países subdesenvolvidos, impulsiona o mercado e entidades acadêmicas para o desenvolvimento de novas tecnologias capazes de suportar as necessidades dos usuários residentes em localidades afastadas ou carentes da cobertura e qualidade dos serviços oferecidos pela banda larga fixa.

Atualmente no Brasil, o UMTS (3G) vem sendo cada vez mais utilizado por estes usuários, que contentes em um primeiro momento por estarem utilizando um serviço banda larga, passam a desejar cada vez mais, maiores taxas para a transmissão de seus dados.

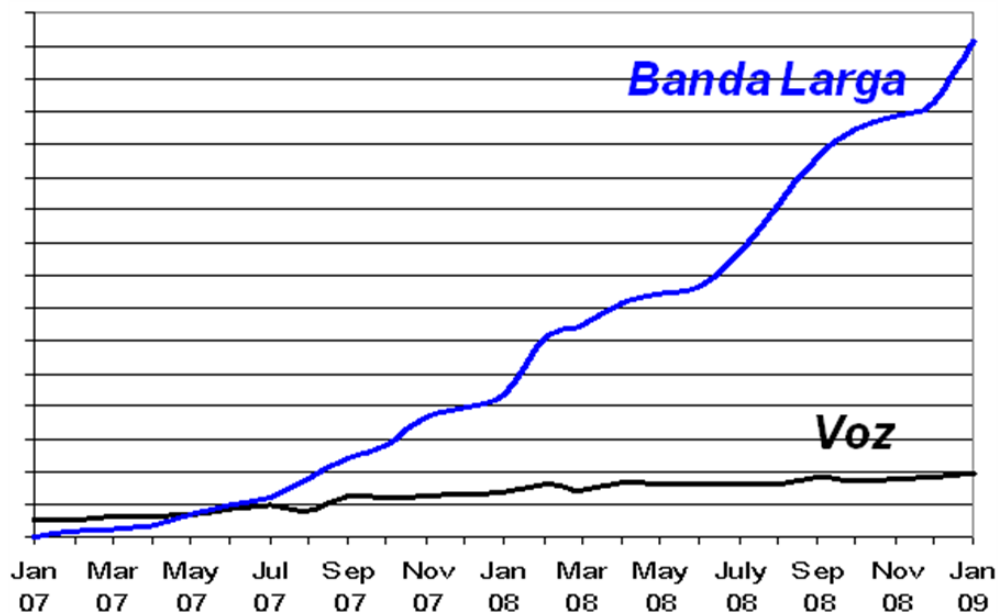


Figura 4.1 – Massificação da banda larga móvel, relação do crescimento mundial de dados em comparação ao serviço de voz [16].

O estudo de caso realizado neste capítulo, mostra a implementação de um projeto que consiste no dimensionamento de cobertura e capacidade de uma rede de acesso sem fio para prover serviços de banda larga móvel em uma região da cidade do Rio de Janeiro, com área de aproximadamente 45 km². Podemos observar no gráfico exposto na figura 4.2 que, em 2014, aproximadamente 80% das conexões banda larga sejam devido às conexões móveis, HSPA e LTE.

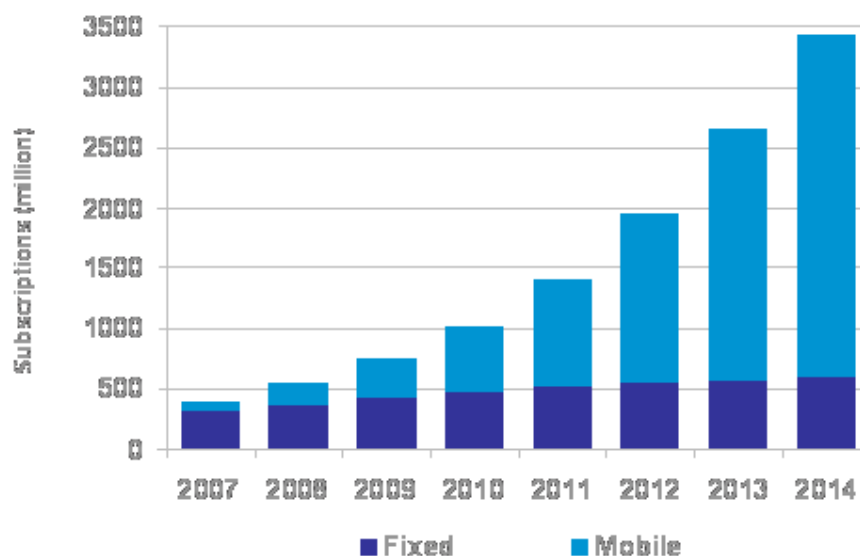


Figura 4.2 – Previsão do crescimento da banda larga móvel em comparação com o serviço de voz. Aproximadamente 80% devido HSPA/LTE [16].

4.2.

Cálculo da Quantidade de Estações Necessárias para Cobertura

A máxima perda de propagação permitida ao longo do caminho (L) calculada na seção 3.1 (tabela 3.5), conforme configuração adotada para o sistema celular foi utilizada na seção 3.2 para a determinação do raio máximo de cobertura de uma célula, resultado observado na equação 3.2-17, que é de aproximadamente 1,3 Km.

A área para a qual se pretende prover o serviço celular neste trabalho é da ordem de 45 km² e através da equação 3.6-2, introduzida na seção 3.6 e

repetida abaixo (equação 4.2-1), pode-se obter a área de cobertura de cada estação rádio base.

$$a = \frac{3\sqrt{3}R^2}{2} \quad 4.2-1$$

$$a = \frac{3\sqrt{3}(1,3km)^2}{2} \quad 4.2-2$$

$$a = 4,4km^2 \quad 4.2-3$$

Sabendo que a região a ser atendida tem uma área de aproximadamente 45 km², e que a área de cobertura de uma célula é de 4,4 km², com a equação 4.2-4 encontramos a quantidade de estações rádio base necessárias para prover a cobertura da região, ressaltando que o resultado da equação deverá ser arredondado.

$$N^{\circ} \text{ EstaçõesCobertura} = \frac{\text{ÁreaDeCobertura}}{\text{ÁreaCelular}} \quad 4.2-4$$

$$N^{\circ} \text{ EstaçõesCobertura} = \frac{45Km^2}{4,4Km^2} \quad 4.2-5$$

$$N^{\circ} \text{ EstaçõesCobertura} \cong 10 \quad 4.2-6$$

4.3.

Cálculo da Quantidade de Estações Necessárias para Capacidade

Para o dimensionamento da quantidade de estações necessárias para capacidade, deve ser levada em consideração qual o *throughput* médio que se espera oferecer na rede.

A melhor maneira para estimar o *throughput* celular é o mapeamento da distribuição da relação sinal ruído ao longo da célula (SNR), que irá variar de

acordo com os MCS (*Modulation and Coding Schemes*) utilizados pelos usuários.

No LTE assumimos que para a cobertura o limite é o *uplink*, fato comprovado anteriormente, onde o *Link Budget de Uplink* indicou a máxima perda suportável pelo sistema, e a limitação de capacidade é dada pelo *downlink*.

Desta forma, partindo do princípio que desejamos garantir um *throughput* médio da ordem de 25 Mbps na célula, ao utilizamos uma largura de banda de 20 MHz, com o auxílio das tabelas 3.16 e 3.25 chegamos à conclusão que o SNR a ser garantida é de 1,45 dB e que a modulação e a taxa de código utilizada será a QPSK $3/4$.

Almejando a garantia de uma SNR igual ou superior a 1,45 dB, devemos determinar a área de atuação das células limitadas ao raio de 1193 metros (tabela 3.25).

$$a = \frac{3\sqrt{3}R^2}{2} \quad 4.3-1$$

$$a = \frac{3\sqrt{3}(1,193km)^2}{2} \quad 4.3-2$$

$$a = 3,7km^2 \quad 4.3-3$$

Sabendo que a região a ser atendida tem uma área de aproximadamente 45 km², e que a área de cobertura de uma célula é de 3,7 km², com a equação 4.3-4 encontramos a quantidade de estações rádio base necessárias para prover a capacidade necessária na região, ressaltando que o resultado da equação deverá ser arredondado.

$$N^{\circ} \text{ EstaçõesCapacidade} = \frac{\text{ÁreaDeCobertura}}{\text{ÁreaCelular}} \quad 4.3-4$$

$$N^{\circ} \text{ EstaçõesCapacidade} = \frac{45Km^2}{3,7Km^2} \quad 4.3-5$$

$$N^{\circ} \text{ Estações} \text{Capacidade} \cong 12$$

4.3-6

Com o resultado encontrado, podemos assegurar que com 12 estações rádio base somos capazes de garantir a SNR de 1,45 dB no limite celular, desta forma, o usuário poderá usufruir de *throughputs* que variam de acordo com a largura de banda utilizada pela rede celular conforme valores demonstrados na tabela 4.1.

Largura de Banda	Throughput (Mbps)
5 MHz	6,31
10 MHz	12,61
15 MHz	18,92
20 MHz	25,22

Tabela 4.1 – *Throughput* dimensionado para o limite celular com SNR de 1,45 dB.

4.4. Projeto de Rede

A região a ser atendida pela rede celular se estende por uma área de aproximadamente 45 km², a figura 4.3 apresenta esta área e seu relevo com a distribuição espacial das 12 estações rádio base (eNodeBs) a serem utilizadas.

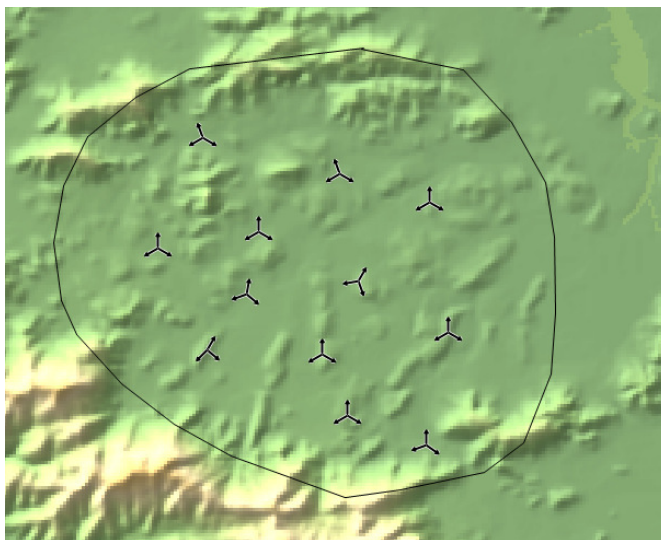


Figura 4.3 – Relevo da região a ser atendida pelo serviço de banda larga móvel.

A marcação em forma de círculo observada na figura 4.3 representa a área de 45 km² para a qual se pretende oferecer a cobertura e serviço.

Na teoria, poderíamos distribuir as eNodeBs na região de forma equidistante umas das outras, no entanto, em projetos reais deve-se, por exemplo, levar em consideração o reuso de estruturas de estações existentes (utilizadas por outras tecnologias) de forma a reduzir a poluição visual e os investimentos em novas estruturas. A figura 4.4 ilustra novamente a distribuição das eNodeBs onde se pode observar também a concentração de edificações da região.

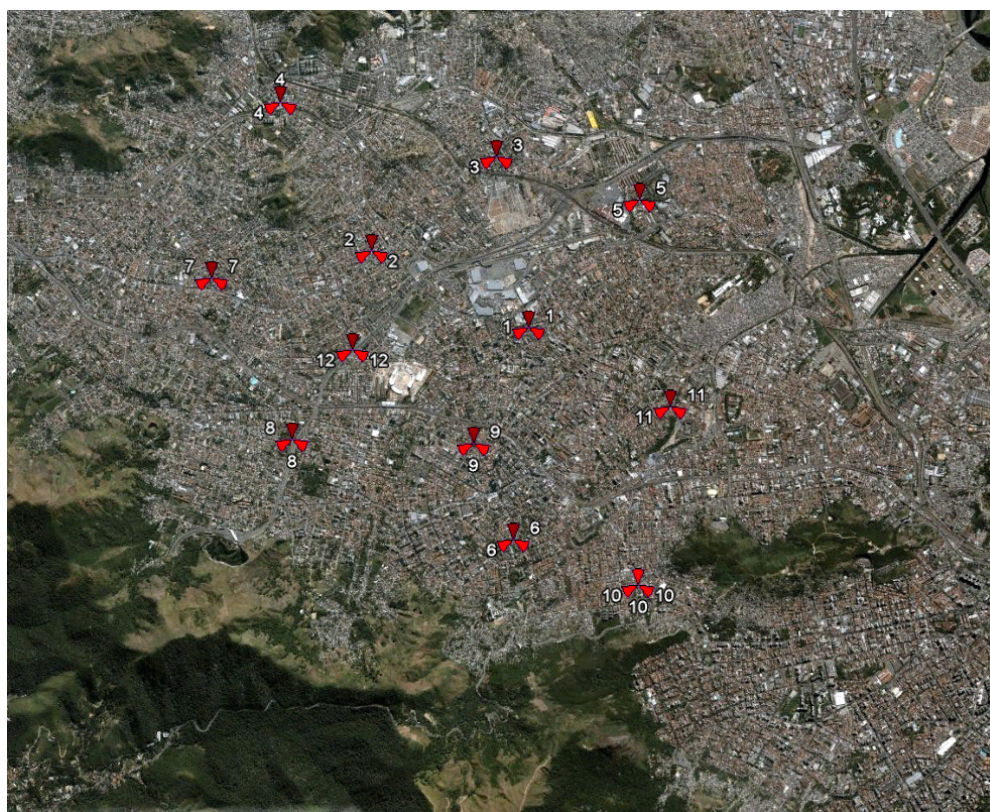


Figura 4.4 – Ilustração da distribuição das eNodeBs na área a ser atendida.

A altura de cada uma das eNodeBs varia de acordo com o local a ser utilizado e também do reuso das estruturas existentes. Elas podem estar localizadas no alto de edifícios, em terrenos próprios ou ainda aproveitar postes de avenidas.

A tabela 4.2 traz a informação da altura de cada uma das 12 eNodeBs configuradas para o estudo.

eNodeBs	Altura (m)
1	37
2	27
3	38
4	50
5	54
6	33
7	33
8	20
9	30
10	38
11	30
12	30

Tabela 4.2 – Alturas adotadas para as eNodeBs utilizadas no estudo de caso.

Na fase de projeto, com o conhecimento dos serviços que se pretende oferecer e o crescimento do número de clientes esperado ao longo dos anos pelo *Marketing* das operadoras, a área de Engenharia de Rede deve analisar cuidadosamente os equipamentos existentes no mercado e suas possibilidades de configuração e capacidade de gerenciamento, a fim de certificar que os produtos atendem ou não aos requisitos de projeto.

Os equipamentos utilizados neste projeto apresentam as características informadas na tabela 4.3, considerando que o número de usuários se refere à soma de todos os usuários que utilizam qualquer serviço em um dado momento.

Banda de Operação	2600 MHz
Faixa de DL	2620 MHz – 2690 MHz
Faixa de UL	2500 MHz – 2570 MHz
Max Taxa de Dados DL (Célula)	173 Mbps
Max Taxa de Dados UL (Célula)	56 Mbps
Número de Células Permitidas	6
Usuários por eNodeB	1000
Potência de Saída (Rádio)	60W; 47 dBm

Tabela 4.3 – Configurações dos equipamentos utilizados.

Observando a distribuição e a quantidade das estações rádio base apresentadas na figura 4.4, podemos fazer uma analogia e considerar que uma rede UMTS (3G) implementada nesta mesma área de cobertura seria capaz de absorver simultaneamente cerca de 4.608 usuários, 384 usuários por estação rádio base, estando eles providos do subsistema HSDPA, onde taxas de até 14.4 Mbps podem ser atingidas na teoria. Para chegar a estes números, consideramos que, cada uma das 12 estações rádio base UMTS estejam configuradas com duas portadoras de 5 MHz cada (6 células), e que cada célula absorve até 64 usuários HSDPA.

Além dos usuários atendidos pelo HSDPA teríamos também a possibilidade de atendimento de outros usuários capazes de trafegar taxas de dados menores em banda larga, da ordem de 384 Kbps, e ainda os usuários de voz.

A rede LTE proposta neste estudo, com 12 eNodeBs instaladas, fazendo uso do equipamento e respectiva configuração da tabela 4.3, seria capaz de absorver até 12.000 usuários (1000 usuários por eNodeB), atendidos com capacidades de *throughput* celular da ordem de 100 Mbps, sem considerarmos a utilização de configurações MIMO, o que poderia elevar o *throughput* a até 173 Mbps no caso de configurações MIMO 2x2, conforme cálculos da seção 3.3.

Ao longo do capítulo 3 realizamos inúmeros cálculos através de equações teóricas, com base em premissas que foram adotadas para o projeto, que nos orientaram no dimensionamento de cobertura e capacidade do tráfego de dados da rede LTE proposta.

Neste capítulo demonstraremos uma aproximação prática do que se pode esperar da rede LTE dimensionada ao longo deste trabalho. Para tal, imagens obtidas com o auxílio de ferramentas computacionais de predição irão ilustrar os resultados obtidos nos cálculos das seções anteriores.

Sensibilidade Requerida Recepção - 5 MHz	-98 dBm
Sensibilidade Requerida Recepção - 10 MHz	-95 dBm
Sensibilidade Requerida Recepção - 15 MHz	-93,2 dBm
Sensibilidade Requerida Recepção - 20 MHz	-92 dBm

Tabela 4.4 – Sensibilidade Requerida na Recepção pela estação móvel.

Na seção 3.1 realizamos o *Link Budget* do sistema (*uplink e downlink*), e para o *Link Budget de Downlink* o valor de -92 dBm foi adotado como a

sensibilidade requerida pela estação móvel, com base na especificação da Série 36101 da 3GPP [13]. A tabela 4.4 refere-se aos valores requeridos por cada largura de banda adotada.

O valor de -92 dBm foi adotado, pois representará a máxima perda de propagação (L) possível para o *Link Budget de Downlink*, sendo que ao garantirmos este nível de sinal na cobertura do sistema, para qualquer que seja a largura de banda adotada, a cobertura continuará existindo em níveis aceitáveis e em condições de oferecer os serviços aos usuários.

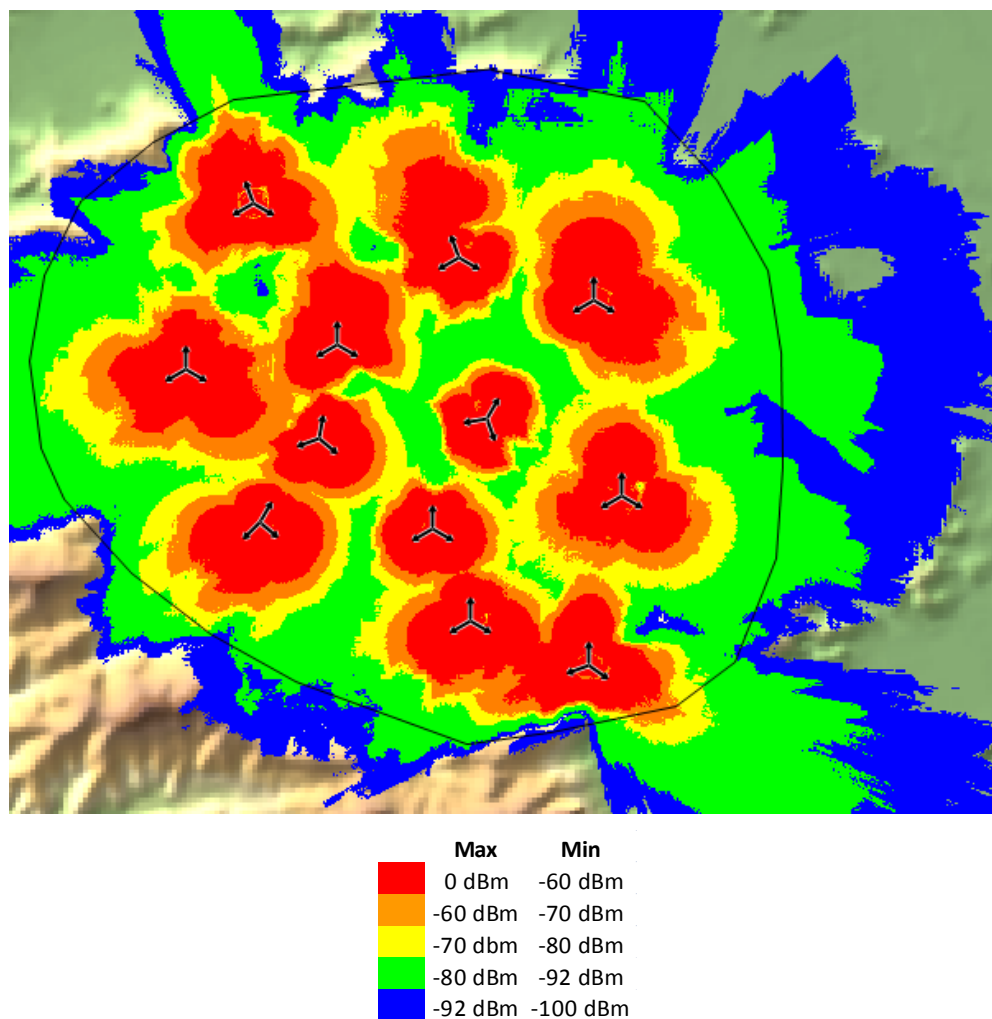


Figura 4.5 – Intensidade do Sinal na área de cobertura (RSCP).

A figura 4.5 apresenta o nível RSCP (*Received Signal Code Power*) distribuído na região de cobertura, onde se pode observar que em praticamente toda a área na qual se pretende oferecer serviço móvel, ao menos o sinal de -92 dBm está garantido.

Decorrente das configurações que resultaram os resultados da figura 4.5, pode-se analisar outro resultado que é a figura 4.6. Nesta figura estão ilustrados em cores diferentes qual o setor se apresenta, para uma respectiva área, como o melhor servidor entre as 12 eNodeBs que provêem a cobertura da região.

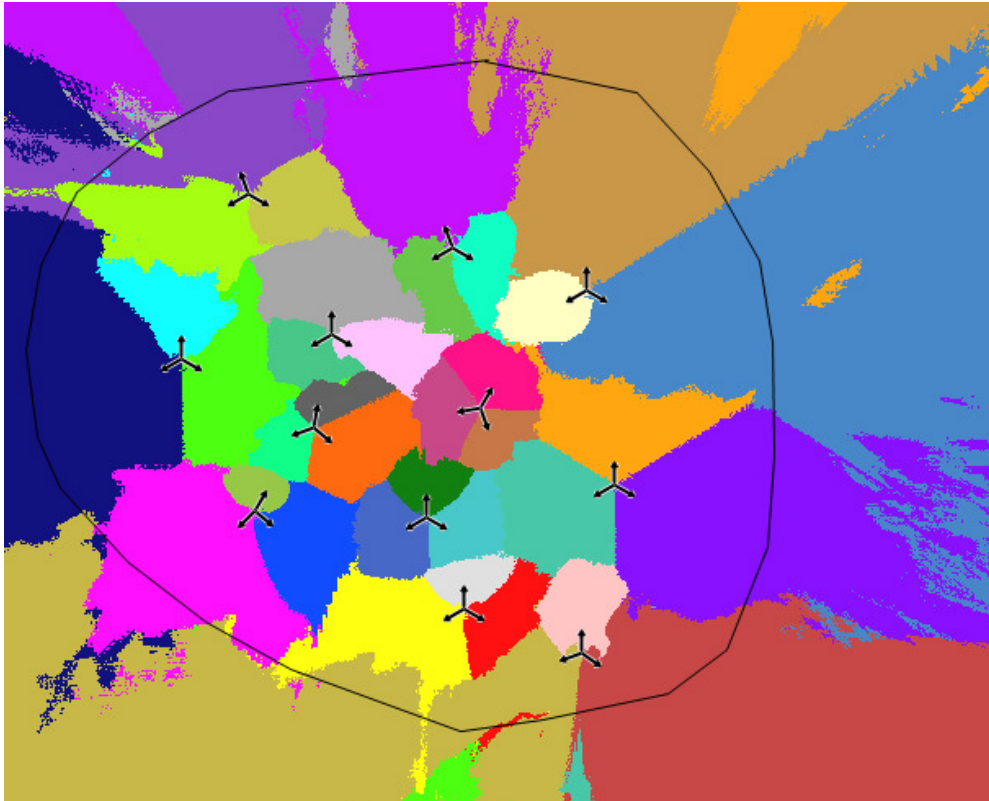


Figura 4.6 – Cobertura *Best RSCP* (Melhor Servidor).

O melhor servidor representa qual o setor que está em melhores condições para prover os serviços aos usuários que estão distribuídos ao longo da área de cobertura.

Quando nos referimos às melhores condições, levamos em consideração alguns itens tais como: nível de sinal, ruído, interferência entre outros, que juntos determinarão a capacidade do canal utilizado para transmitir dados aos usuários.

Ao longo da seção 3.7 determinamos o raio de atuação de cada MCS (*Modulation and Coding Schemes*) que poderá ser utilizada pelos usuários distribuídos na área de cobertura através do SNR requerido por cada modulação e taxa de código. Desta forma, chegamos aos raios máximos de modulação e respectivo *throughput* de cada MCS.

<i>Modulação</i>	<i>Taxa de Códigos</i>	<i>Throughput (Mbps)</i>	<i>SNR (dB)</i>	<i>Raio (m)</i>
QPSK	1/2	16,81	-1,02	1343
QPSK	3/4	25,22	1,45	1193
16 QAM	1/2	33,63	3,44	1084
16 QAM	3/4	50,44	6,76	924
64 QAM	1/2	50,44	6,76	924
64 QAM	2/3	67,26	9,68	804
64 QAM	3/4	75,67	11,06	752
64 QAM	5/6	84,07	12,41	705

Tabela 4.5 – Raio de atuação das Modulações e respectivas taxas de códigos e *throughput* celular para largura de banda de 20 MHz.

A tabela 4.5 traz esta informação considerando um exemplo onde a configuração da largura de banda é de 20 MHz.

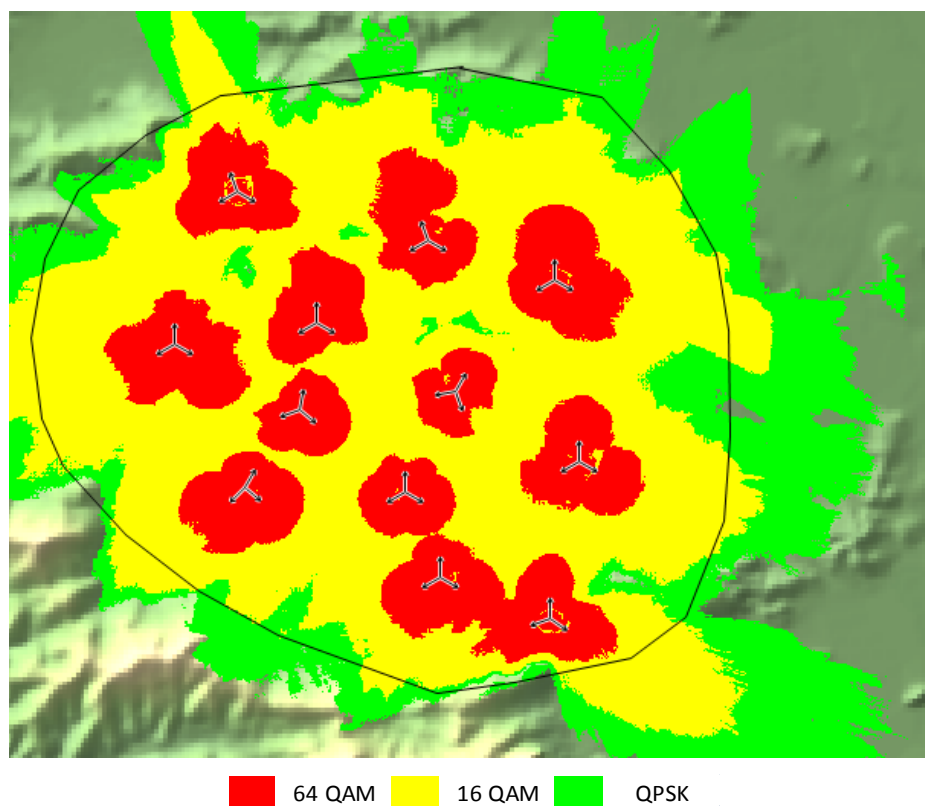


Figura 4.7 – Área de atuação das modulações 64 QAM, 16 QAM e QPSK.

Na seção 4.3 calculamos a quantidade de eNodeBs necessárias por capacidade (*throughput* celular requerido) e chegamos ao resultado de que 12 eNodeBs seriam suficientes para prover ao longo dos 45 km² um *throughput* celular mínimo da ordem de 25 Mbps, considerando uma largura de banda de 20 MHz, valor obtido com a modulação QPSK e taxa de código $\frac{3}{4}$.

Analisando o resultado ilustrado na figura 4.7, observamos que praticamente toda a área de cobertura está atendida com as modulações mais altas, 64 QAM e 16 QAM, e que na borda da área de cobertura, assim como desejado, ao menos a modulação QPSK se faz presente.

A figura 4.8 ilustra a variação do E_c/I_0 do sistema em questão, que é a informação da taxa de *chip* em relação à interferência do sistema, e é utilizada como medida do desempenho do canal rádio.

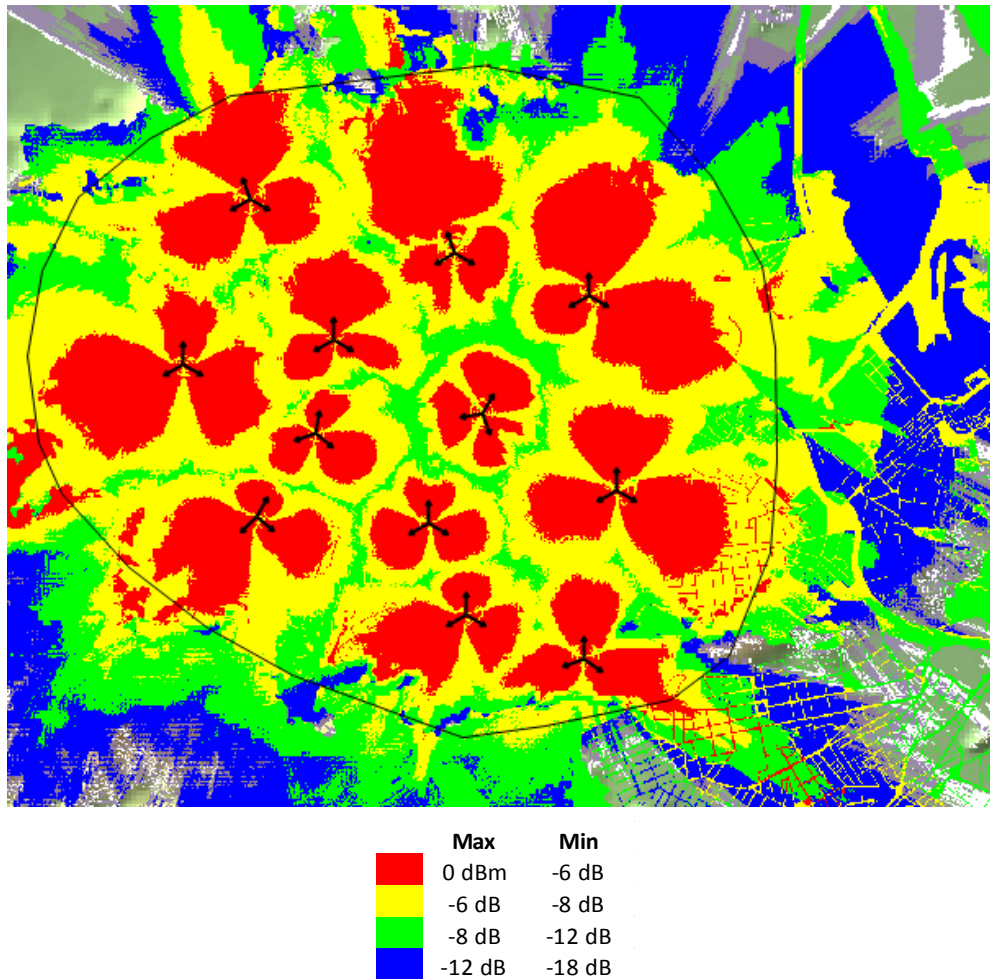


Figura 4.8 – Relação E_c/I_0 .

A relação E_c/I_0 varia de acordo com a quantidade de usuários presentes no sistema em um determinado momento, com a taxa de dados que está sendo requerida por cada usuário e também conforme sua localização ao longo da área de cobertura. Variando-se os fatores citados, a interferência no sistema irá se alterar, diminuindo ou aumentando, fazendo com que os resultados de E_c/I_0 também venham a variar.

Conforme mencionado, podemos ter inúmeros resultados de E_c/I_0 variando-se, por exemplo, a quantidade de usuários. Para o exemplo demonstrado na figura 4.8, consideramos 5.000 usuários distribuídos ao longo da área de serviço.

A distribuição dos usuários foi realizada empregando-se o método de Monte Carlo (presente na ferramenta de predição de cobertura utilizada). Este método estatístico é utilizado em simulações estocásticas e envolve a geração de observações, através de vários experimentos, de alguma distribuição de probabilidade e o uso da amostra obtida para aproximar a função de interesse.