

## 4

### Planejamento da Célula.

#### 4.1

##### Introdução.

O objetivo do engenheiro de planejamento celular é estabelecer a rede de rádio adequada em termos de cobertura do serviço, QoS, capacidade, custo, utilização de frequências, a implantação de equipamentos e desempenho. A fim de planejar uma rede de rádio celular, o engenheiro tem que identificar as especificações, estudar a área em questão e criar um banco de dados com informações geográficas (SIG), analisar a população na área de serviço, criar modelos (ou seja, tipos de células, IDs, locais, etc), e realizar simulações e análises utilizando cenários de propagação e as ferramentas apropriadas. Depois disso, os resultados da simulação e cobertura são analisados, seguido de implantação de células e testes de unidade. Os resultados das medições de campo são comparados com os resultados do modelo de simulação, e o modelo é ajustado para otimização de desempenho. Cada uma das etapas acima mencionadas é por sua vez constituída por um número de passos que devem ser executados.

#### 4.2

##### Dimensionamento da rede.

O objetivo do dimensionamento da rede de acesso LTE é o de estimar a densidade local desejada e configurações de *site* para a área de interesse. O planejamento das redes de acesso LTE iniciais incluem o cálculo de enlace e a análise de cobertura, a estimativa da capacidade de célula, a estimativa da quantidade de eNode B e *gateways* de acesso (MME / UPE), a configuração de *hardware*, e, finalmente, de equipamentos em diferentes interfaces [6].

### 4.2.1

#### Entradas do dimensionamento LTE.

As entradas do dimensionamento LTE podem ser divididas em três categorias: entradas relacionadas com a qualidade, cobertura, e capacidade.

As entradas da qualidade incluem o rendimento médio das células e probabilidade de bloqueio. Estes parâmetros são os requisitos do cliente para fornecer certo nível de serviço aos usuários. Estas entradas se traduzem diretamente em parâmetros de QoS. Além disso, o critério de desempenho da célula é usado na ferramenta de dimensionamento para determinar o raio das células. Três métodos são utilizados para determinar o limite da célula. Estes incluem o desempenho máximo no limite da célula, a cobertura máxima com respeito a menores MCS (*Modulation Coding Scheme*) e raio de célula pré-definida. Com um raio de célula pré-definida, os parâmetros podem ser variados para verificar a taxa de dados conseguidos com este tamanho de célula. Esta opção dá flexibilidade para aperfeiçoar a potência transmitida e determinar uma taxa de dados adequada correspondente a essa potência.

As entradas do dimensionamento LTE para o planejamento de cobertura são semelhantes às entradas correspondentes para redes 3G UMTS. O *Radio Link Budget* (RLB) é de fundamental importância para o planejamento de cobertura em LTE. As entradas do RLB incluem potência do transmissor, sistema de antena do transmissor e do receptor, número de antenas utilizadas, os ganhos e as perdas do sistema convencional, a carga das células e modelos de propagação. O LTE pode operar nas bandas de frequências convencionais de 900 e 1800 MHz, bem como na faixa estendida de 2600 MHz. Além disso, os tipos de canais (pedestre, veicular) e informação geográfica são necessários para iniciar o dimensionamento de cobertura. Informações das entradas geográficas consistem em informações do tipo de área (urbano, rural, etc.) e tamanho de cada tipo de área a ser coberta. Além disso, a probabilidade de cobertura necessária tem um papel vital na determinação do raio da célula. Mesmo uma pequena alteração na probabilidade de cobertura provoca uma grande variação no raio da célula.

As entradas do planejamento da capacidade fornecem os requisitos a serem cumpridos pelo dimensionamento da rede LTE. As entradas do planejamento da capacidade dão o número de assinantes no sistema, os seus serviços exigidos e nível de uso do assinante. O espectro disponível e largura do canal usado pelo sistema LTE também são muito importantes

para o planejamento da capacidade LTE. Análise de tráfego e a taxa de dados para suportar serviços (voz, dados) são usadas para determinar o número de assinantes suportados por uma única célula e, eventualmente, o raio da célula, com base na avaliação de capacidade.

#### 4.2.2

##### **Saídas do dimensionamento LTE.**

Saídas ou alvos do processo de dimensionamento LTE já foram discutidos indiretamente na seção anterior. As saídas da fase de dimensionamento são utilizadas para estimar a viabilidade e o custo da rede. Essas saídas são mais utilizadas no planejamento detalhado de redes e podem ser utilizados para futuros trabalhos de planejamento de rede LTE.

O tamanho da célula é o principal resultado do dimensionamento LTE. Dois valores de raio da célula são obtidos, um da avaliação da cobertura e outro da avaliação da capacidade. O menor dos dois números é tomado como a saída final. O raio da célula é, então, usado para determinar o número de sítios. Assumindo uma forma da célula hexagonal, o número de sítios pode ser calculado usando a geometria simples. Capacidades de eNBs são obtidas a partir da avaliação de capacidade, juntamente com o número de assinantes suportados por cada célula. O dimensionamento da interface é o último passo no dimensionamento da rede de acesso LTE.

#### 4.2.3

##### **Processo do dimensionamento LTE.**

O processo de dimensionamento LTE começa com os cálculos de enlace, usados para determinar a perda de caminho máxima. O resultado deste passo depende dos modelos de propagação usados. O tamanho das células estimado, obtido neste passo, leva ao tamanho máximo permitido das células. Este parâmetro é utilizado para calcular o número de células na área de interesse. Assim, uma estimativa aproximada do número necessário de eNBs é obtido.

Se a cobertura estimada para a configuração dada, preenche os requisitos de capacidade, então não há nenhuma adição ao plano anterior. Por outro lado, o número adequado de locais de células é adicionado para atingir os objetivos de capacidade. A avaliação da capacidade eNB vem a seguir, que completa o processo de dimensionamento. A figura 4.1 descreve um exercício de dimensionamento LTE em detalhe.

O processo de dimensionamento LTE inclui os seguintes passos[6]:

1. Análise de dados e tráfego.

Este é o primeiro passo no dimensionamento LTE. Ele envolve a coleta de requisitos necessários e sua análise para prepará-los para uso do processo de dimensionamento LTE. Os dados do operador e requisitos são analisados para determinar a melhor configuração do sistema. Outra possibilidade é a de ficar com um grupo de configurações e realizar o dimensionamento de cada um deles para determinar a escolha mais adequada. Como exemplo, isto pode envolver a escolha de duas ou três larguras de canal diferentes para análise.

2. Análise do tráfego.

A demanda do tráfego é analisada para obter a melhor configuração possível da rede com os mínimos recursos. A sobrecarga devido a camadas mais altas é levada em conta ao calcular a taxa de bits líquida para diferentes tipos de tráfego. O tráfego da hora de pico é usado em vez de valores médios. Da mesma forma, a procura de serviços diferentes devem também ser considerados.

3. Planejamento de cobertura.

A análise de cobertura é o passo mais crítico no projeto da rede LTE como com sistemas 3G. O RLB (*Radio Link Budget*) está no coração do planejamento de cobertura, que permite o teste de modelo de perda de percurso e as taxas de pico de dados necessárias contra os alvos de níveis de cobertura. O resultado é o alcance de células eficaz para trabalhar com a cobertura limitada dos *sites*. Isto requer a seleção de um modelo de propagação apropriado para calcular a perda de percurso. Com o conhecimento das estimativas do tamanho de célula e da área a ser coberta, uma estimativa do número total de *sites* é encontrada. Esta estimativa é baseada em requisitos de cobertura e as necessidades que devem ser verificadas para os requisitos de capacidade.

4. Planejamento de capacidade.

Com uma estimativa do tamanho das células e contagem de *sites*, a verificação da análise de cobertura é levada a cabo para a capacidade necessária. Verifica-se com a densidade do local se o sistema pode suportar a carga especificada ou *sites* novos têm que ser adicionados. No LTE, o principal indicador da capacidade é a distribuição SINR na célula. A distribuição SINR pode ser mapeada diretamente

para a capacidade do sistema (taxa de dados). A capacidade da célula LTE é afetada por vários fatores, por exemplo, o *packet scheduler*, os MCSs suportados, as configurações de antena e os níveis de interferência. A capacidade, com base no número de *sites*, é comparada com o resultado da cobertura e o maior dos dois números é selecionado como o número de *sites* final.

5. Dimensionamento do transporte.

O dimensionamento do transporte trata de dimensionar as interfaces entre elementos de rede diferentes. No LTE, S1 (entre eNB e a GW) e X2 (entre dois eNBs) são as duas interfaces a serem dimensionadas. O dimensionamento de transporte não está incluído nesta tese. Um esboço inicial da rede LTE é obtido, seguindo os passos acima mencionados de dimensionamento. Esta avaliação inicial constitui a base da fase detalhada do planejamento. O planejamento de cobertura e capacidade é tratado em detalhes e o número de *sites* resultante é calculado para dar uma estimativa da rede dimensionada LTE. O lado físico da tarefa significa encontrar a melhor solução possível da rede que atende aos requisitos e expectativas do operador.

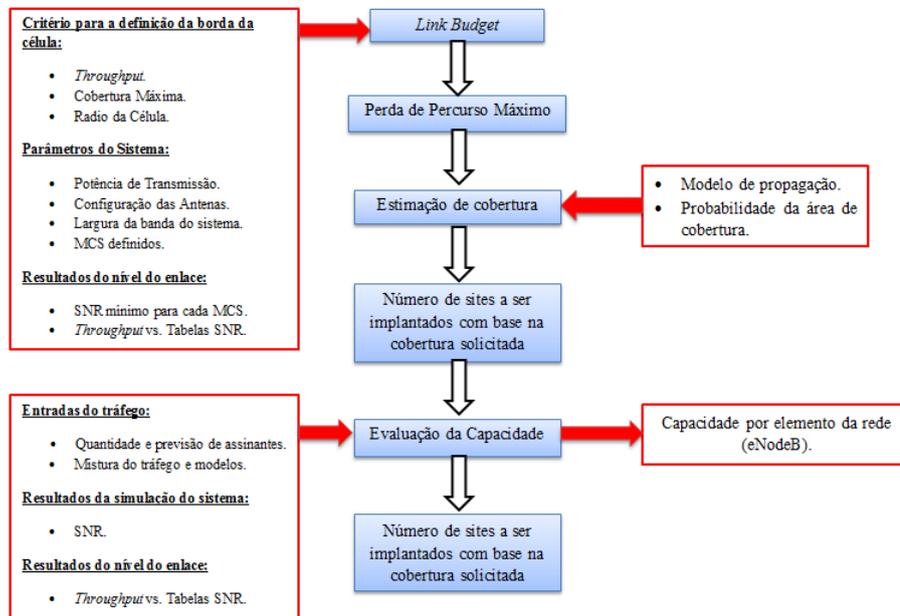


Figura 4.1: Dimensionamento da rede LTE.[6]

### 4.3

#### Planejamento de Cobertura.

O planejamento de cobertura é um passo importante na implantação de uma rede celular. Este processo inclui a escolha do modelo de propagação adequado, com base na área dos terrenos e a população. Medições de campo são mais precisas na previsão de cobertura de rádio em uma determinada área. Como exemplo, as coberturas em edifícios irão adicionar cerca de 16 a 20 dB de perda adicional do sinal e no interior do veículo podem aumentar a perda de 3 a 6 dB.

Engenheiros confiam em ferramentas de predição para estudar e analisar o desempenho da rede para uma área geográfica, através de sua cobertura. No LTE, a interface aérea vai ser diferente daquelas já implantadas (em termos de multiplexação, AMC e a capacidade MIMO, tanto para a UE e ENB)[52]. A modelagem e a simulação usando algumas atuais ferramentas de planejamento (por exemplo, Atol) para as células LTE vai dar uma boa ideia sobre o desempenho da cobertura numa área específica. Baseado nas simulações realizadas, o engenheiro de planejamento pode alterar locais de eNB, adicionar mais torres, substituir os tipos de antena, adicionar mais setores para algumas torres, e assim por diante.

A maioria das células são projetadas para ser hexagonal, em teoria, mas na realidade este não é o caso. Diversos fatores afetam a decisão da seleção do local (político, humanitário, econômico). A fim de calcular a cobertura máxima, a mínima potência recebida  $P_{R_x}$  é considerada.

No LTE, o nível de sensibilidade de referência é a intensidade mínima do sinal recebido aplicado às antenas e em que o SINR é suficiente para satisfazer o esquema de modulação, especificado com um requisito de rendimento mínimo de 95% do máximo possível. Ela é medida com o transmissor na potência máxima.

A sensibilidade de referência (REFSENS) é um intervalo de valores que podem ser calculados por:

$$REFSENS = KTB + NF + SINR + IM - G_d$$

Nas especificações LTE a densidade de ruído térmico,  $KT$ , é definida como -174 dBm / Hz, em que  $K$  é a constante de Boltzmann ( $1,380662 \times 10^{-23}$ ) e  $T$  é a temperatura do receptor (assumido igual a  $288,15^\circ K$ ).  $KTB$  representa o nível de ruído térmico de uma largura de banda de ruído especificado  $B$ , onde  $B = NRB \times 180kHz$  em LTE,  $NRB$  é o

número de ERBs e 180 kHz é a largura de banda de uma ERB. A KTB pode ser calculada com:

$$KTB = KT + 10\log_{10}(N_{RB} \times 180kHz)$$

$$KTB = -174\left(\frac{dBm}{Hz}\right) + 10\log_{10}(N_{RB} \times 180kHz)$$

A NF (Figura do Ruído) é uma medida da degradação do SINR causada por componentes do sinal de RF. O LTE define um requisito NF de 9 dB para o UE. O SINR é o sinal de interferência mais ruído requerido para a modulação e esquema de codificação escolhidos. Suposições típicas para os valores SINR para diferentes MCS são dadas na Tabela 4.1. O IM é a margem de implementação para dar conta da diferença entre o SINR teórico e o real [52]. O  $G_d$  é o ganho de diversidade. O valor de  $G_d$  depende da aplicação específica e das condições de propagação.

Sistema	Modulação	Codificação	SINR (dB)	IM (dB)	SINR+IM (dB)
LTE UE	QPSK	1/8	-5,1	2,5	-2,6
		1/5	-2,9		-0,4
		1/4	-1,7		0,8
		1/3	-1		1,5
		1/2	2		4,5
		2/3	4,3		6,8
		3/4	5,5		8
		4/5	6,2		8,7
	16 QAM	1/2	7,9	3	10,9
		2/3	11,3		14,3
		3/4	12,2		15,2
		4/5	12,8		15,8
	64 QAM	2/3	15,3	4	19,3
3/4		17,5	21,5		
4/5		18,6	22,6		
UMTS UE	QPSK	1/3	1,2	2	3,2

Tabela 4.1: Requerimentos SINR no *Downlink*. [52]

Para poder realizar o cálculo do raio da célula, temos que utilizar um dos modelos de propagação citados no capítulo 3. Um modelo de propagação é uma formulação matemática para a caracterização da propagação de ondas de rádio em função da frequência, distância e outras condições. Tomando como exemplo o modelo simples de perda no espaço livre, que é ideal e leva em consideração apenas a distância e a frequência:

$$PL = 32.5 + 20\log_{10}(f) + 20\log_{10}(d)$$

onde PL é a perda no percurso, em dB, f é a frequência de portadora em MHz e d é o raio da célula em quilômetros. A partir dessa fórmula,

o raio da célula seria calculado com:

$$d = \frac{10^{\left(\frac{PL-32.45}{20}\right)}}{f}$$

E a área de cobertura de um setor em LTE seria calculada com:

$$\text{Área} = \frac{\pi d^2}{\text{Número de Setores}}$$

Para sistemas operando em regiões urbanizadas modelos mais completos são necessários.

### 4.3.1

#### Identificação das Células.

Para as células LTE a antena do eNB tem tipicamente 45 m de altura em áreas rurais e 30 m de altura em áreas urbanas [44]. Tipicamente, eNBs (ou locais) em uma implantação macrocelular são colocados em uma rede hexagonal com uma distância entre locais de  $\sqrt{3} \times R$ , em que R é o raio da célula. Cada eNB tem três setores com uma antena colocada em cada setor.

Em um sistema de LTE, a mesma frequência da portadora é utilizada já que o sistema se baseia em codificação e pseudo-ruído (PN) de códigos para distinguir entre os usuários e os *sites*, bem como para estabelecer a sincronização entre o UE e o eNB. A identificação da célula é o código de embaralhamento devem ser dados a cada *site*. Existem 504 IDs únicas de células que podem ser usadas na camada física LTE. Estas identificações são agrupadas em três grupos de 168 e cada grupo contém três identidades. O ID de célula é encontrado a partir de:

$$N_{cell} = 3N_G + N_{ID}$$

onde  $N_G$  é o grupo de identificação de célula na camada física, e  $N_{ID}$  é o número de identificação dentro do grupo. O  $N_{ID}$  é também utilizado para escolher um dos 64 *scrambling codes Zandoff-Chu*, utilizados para os canais de sincronização primário e secundário (canais de referência). Uma sequência *Zandoff-Chu* é uma sequência ortogonal complexa, que é usada para dar assinaturas únicas para os sinais. Códigos ortogonais são utilizados para distinguir entre as transmissões e, assim, distinguir entre eNBs circundantes. No UMTS, códigos de Walsh foram utilizados para esta finalidade. No LTE sequências *Zandoff-Chu* são usadas. Estas

dão origem a um sinal de amplitude constante depois do processo de codificação.

Para identificação das células e planejamento do código criptográfico, existem várias estratégias com base na distância de reutilização mínima, restrições de domínio, nível mínimo  $E_c/I_0$ , número de códigos por *cluster*, etc. Vários algoritmos de planejamento automático para os *scrambling codes* existem dentro do pacote de planejamento RF, que também podem ser utilizados. O fato de que há muitas IDs de células que podem ser usadas permite um grande conjunto de sequências e, assim, uma maior área entre sequências reutilizadas similares. Algumas dessas estratégias são [44]:

- Método baseado na reutilização do *cluster*: Este método atribui um conjunto de códigos conforme o código padrão de reutilização, que é pré-definido (ou seja, 13 grupos de células), então, com base no expoente da perda de propagação e o ganho de processamento do sistema, a distância mínima de reutilização é encontrada.
- Técnica de Otimização Gráfica: Neste método, os algoritmos heurísticos são utilizados para atribuir os IDs das células e os *scrambling codes*, minimizando o número de conjuntos para serem utilizados com base no critério de otimização. O primeiro algoritmo encontra as distâncias entre células e, então, começa as atribuições automáticas de códigos com base nos critérios de otimização e suas prioridades.
- Distribuição por célula / por *site*: Na estratégia por célula, o conjunto de códigos é distribuído entre todas as células possíveis aumentando, assim, a distância mínima de reutilização. A distribuição por *site* aloca um grupo de códigos diferentes para *sites* adjacentes e, a partir destes grupos, é designado um código por transmissor.

### 4.3.2

#### Tipos de Células.

A terceira geração de redes celulares utiliza três tipos de células: macro, micro, e pico, com base em sua área de cobertura e capacidade do usuário. Em LTE, um quarto tipo é introduzido para servir a um único ambiente, a *femtocell*. Estes quatro tipos de células são definidas como [44]:

- Macro células: Os maiores tipos de células que cobrem distâncias de quilômetros. Estes eNBs podem dar atendimento para milhares de

usuários simultaneamente. Eles são muito caros devido a seus altos custos de instalação (gabinete, alimentadores, antenas grandes, 30-50 metros de torres, etc.) As células têm três setores e constituem o coração das redes celulares. Os níveis de potência de transmissão são os mais elevados (5-40 W).

- *Microcélulas*: Fornecem uma área menor de cobertura do que as macrocélulas e são adicionadas para melhorar a cobertura em áreas urbanas densas. Eles atendem centenas de usuários e têm menores custos de instalação que as macrocélulas. Podem ser encontradas nos telhados de edifícios e podem ter três setores, mas sem a estrutura da torre. Transmitem vários watts de potência.
- *Picocells*: Usadas para fornecer uma maior cobertura em um ambiente de escritório. Podem atender dezenas de usuários e fornecer maiores taxas de dados para a área coberta. As redes 3G usam *picocells* para fornecer as altas taxas de dados esperados. Os seus níveis de energia estão na faixa de 20 a 30 dBm.
- *Femtocells*: Introduzidas para uso com sistemas 4G (LTE e WiMAX). São extremamente baratas e atendem só uma casa ou pequeno escritório. A capacidade de serviço não ultrapassa 10 usuários, com níveis de potência inferior a 20 dBm. A *femtocell* irá fornecer um DL e UL com taxas de dados muito altas.

#### 4.4

##### Planejamento de Capacidade.

O planejamento de capacidade dá uma estimativa dos recursos necessários para suportar o tráfego oferecido com certo nível de QoS (por exemplo, o *throughput* ou a probabilidade de bloqueio)[6]. A capacidade teórica da rede é limitada pelo número de eNodeB instaladas na rede. A capacidade da célula em LTE é afetada por diversos fatores, que incluem o nível de interferência, implementação do agendador de pacotes e os esquemas de modulação e codificação suportados. O cálculo de enlace dá a perda de caminho máximo permitida e o alcance máximo da célula. LTE também apresenta capacidade suave como os sistemas 3G, portanto, o aumento da interferência e do ruído pelo aumento do número de usuários vai diminuir a cobertura da célula, forçando o raio da célula a se tornar menor.

No LTE o principal indicador da capacidade é a distribuição SINR na célula. A avaliação da capacidade precisa das seguintes tarefas para ser concluída:

- Estimar o *throughput* da célula correspondente às configurações usadas para estimar o raio da célula.
- Analisar as entradas de tráfego previstas pelo operador para obter a demanda de tráfego, que incluem a quantidade de assinantes a mistura de tráfego e dados sobre a distribuição geográfica dos assinantes na área de implantação.

#### 4.4.1

##### **Cálculo do *throughput* médio da célula.**

O objetivo do exercício de planejamento da capacidade é obter uma estimativa do número de *sites* com base nos requisitos da capacidade. Os requisitos de capacidade estão definidos pelos operadores, com base no tráfego previsto. O *throughput* médio da célula é necessário para calcular a capacidade do *site*.

A avaliação mais precisa da capacidade da célula (*throughput* sob certas restrições) é dada por meio de simulações [6]. Uma vez que o dimensionamento geralmente é feito usando uma planilha do Excel, a melhor solução para obter o rendimento da célula é o mapeamento direto da distribuição SINR, obtida a partir de um simulador em MCS (*Modulation Coding Scheme*) ou diretamente no *throughput* usando os resultados de nível de ligação apropriados. Assim, a estimação da capacidade exige os seguintes resultados:

- Tabela de distribuição média SINR (resultado nível do sistema), que fornece a probabilidade SINR.
- *Throughput* médio ou eficiência espectral frente a tabela SINR.

Entre outros fatores, diferentes ambientes de propagação (modelos de propagação, distância entre *sites*) e configurações de antena têm um impacto sobre os resultados acima. Assim, várias tabelas devem estar disponíveis, por exemplo, para áreas urbanas, suburbanas e rurais. A probabilidade SINR é obtida através do cálculo da probabilidade de ocorrência de um valor SINR dado no limite da célula.

Todas as simulações devem ser executadas com uma distância entre *sites* predefinida. As taxas de bits para cada um dos MCS são derivadas dos parâmetros OFDM para LTE. Os valores SINR para apoiar cada MCS são derivados de tabelas de consulta, que são geradas a partir de simulações. Posteriormente, os MCS suportados por cada valor de SINR são selecionados usando o SINR mínimo permitido a partir dos resultados

de enlace. Isto dá a taxa de dados correspondente, que é suportado por aquele MCS. Deste modo, a taxa de dados que corresponde a cada valor SINR é obtida para uma situação específica. Uma vez que os valores SINR são calculados, a desempenho da célula é derivado da seguinte forma [6]:

$$\text{Desempenho da Célula} = \sum_{\text{Todos os valores SINR}} (\text{SINR}_{OP} * \text{SINR}_{AT})$$

onde:

- $\text{SINR}_{OP}$ : Probabilidade de ocorrência de um valor SINR específico obtida por meio de simulações.
- $\text{SINR}_{AT}$ : *Throughput* correspondente ao valor do SINR.

#### 4.4.2

##### **Estimativa do tráfego demandado e fator de Overbooking.**

Uma vez que a largura de banda de dados pode fornecer certa quantidade de capacidade, então a demanda de tráfego tem que ser entendida. A parte complexa é a análise das horas pico dos diferentes tipos de assinantes e perfis de tráfego. O resultado desejado é o fator de *overbooking*, que descreve o nível de multiplexação ou o número de usuários que partilham certo canal ou capacidade.

As entradas principais são:

- Tráfego misturado e análise das horas ocupadas.
- Densidade de Assinantes.
- Volume de dados por usuário.
- Pico e Média da taxa de dados.
- Perfis diários de tráfego.

O planejamento de capacidade é feito separadamente para as áreas de serviço diferentes (urbano, suburbano e rural). Se usarmos os requisitos correspondentes ao tráfego da hora de pico levará a superdimensionamento. Recursos preciosos serão desperdiçados em outras horas do dia e o custo da rede vai ser significativamente maior. Por esta razão, é importante definir o fator de *overbooking* (OBF) como o número médio de usuários que podem compartilhar uma determinada unidade de canal. A unidade de canal utilizado no dimensionamento é a taxa de dados pico. Não é recomendável o dimensionamento da rede com 100% de carga, então, o fator de utilização de parâmetros é introduzido. Na maioria das redes de dados o fator de utilização é menor do que 85 por cento, a

fim de garantir a qualidade do serviço (QoS). Assim, quanto maior este parâmetro maior será o tempo médio de espera para os usuários que acessam o canal. O fator de *overbooking* é encontrado da seguinte forma:

$$\text{Fator Overbooking} = \text{Fator de Utilizacao} * \text{Relacao Peak to Average}$$

#### 4.4.3

##### Capacidade baseada na contagem de sites.

Com o conhecimento da estimativa da demanda de tráfego e os fatores nela envolvidos, a taxa de dados geral pode ser calculada. Com base no fator de *overbooking* descrito acima, a taxa de dados total para o cálculo de capacidade é o seguinte:

$$\text{Taxa Dados Total} = \text{Número Usuarios} * \text{Fator Overbooking} * \text{Taxa Pico Dado}$$

O número de locais necessários para suportar o tráfego total calculado acima é simplesmente [6]:

$$\text{Capacidade por Número de Sites} = \frac{\text{Taxa Dados Total}}{\text{Capacidade do Site}}$$

A capacidade do *site* é um múltiplo da taxa de desempenho da célula, o qual depende do número de células por site. A contagem de *sites* é realizada para cada tipo de área de serviço. A capacidade baseada na contagem de *sites* é geralmente maior do que a baseada na cobertura de uma rede. Em redes reais, este número é menor nos primeiros anos de funcionamento da rede, quando o número de usuários é bem menor. Mas, com o aumento da demanda, e mais usuários são adicionados o serviço e a capacidade, baseada na contagem de *sites* assume o comando e as células menores são necessárias. A maior das duas contagens é utilizada como um número final como uma saída de dimensionamento.

#### 4.5

##### Parâmetros de avaliação do desempenho.

Vários tipos de medições dos parâmetros são feitas no UE ou o eNB. Estas medições são utilizadas para quantificar o desempenho de rede e, assim, ajudar na adaptação da modulação apropriada, da codificação como, também para a adaptação do tráfego e capacidade da célula. Em modo de espera, a eNB transmite as medições dentro das mensagens no

quadro de protocolo. Para iniciar uma medição específica da UE o eNB transmite uma “mensagem de configuração de conexão RRC” para a UE, juntamente com o tipo de medição e identificação, objetos, comando, quantidade, e os critérios de relatórios. O UE realiza a medição e responde ao pedido do eNB com o ID de medição e os resultados, através de um “mensagem de relatório de medida”. Algumas das métricas de desempenho mais comuns em LTE são [44]:

- RSSI (*Received Signal Strength Indicator*):  
É medição da potência recebida dentro da largura de banda do canal especificado. Esta medição é realizada no canal de controle na transmissão da portadora (BCCH). O ponto de referência na medição é o conector da antena UE. Esta medição é fácil de realizar, uma vez que não é necessária nenhuma descodificação de dados. Em vez disso, mostra se um sinal forte está ou não presente. Não detalha sobre o canal ou a estrutura do sinal.
- RSCP (*Received Signal Code Power*):  
Mede a potência recebida de um código no CPICH (*Common Pilot Channel*) primário. Se a medição for feita enquanto o equipamento está em multiplexação espacial, a energia medida do código a partir de cada antena é gravada e então todas são somadas. Se a diversidade de transmissão é escolhida, a maior de todas as medições das antenas é escolhida. O ponto de referência na medição é o conector da antena UE.
- BLER (*Block Error Rate*):  
Isto é usado para medir os erros nos blocos dentro do canal de transmissão específico, como medida da qualidade da transmissão. Isto é realizado sobre os canais de transporte e dedicado (TCH, DCH).
- $E_c/N_o$  ( $E_c/I_o$ ):  
Esta é a energia por chip recebida dividida pela densidade de potência de ruído ( $E_c/N_o$ ) (densidade de potência da interferência  $E_c/I_o$ ) na banda. Quando a multiplexação espacial é utilizada, a energia por chip recebida é medida para cada antena e depois somados. A soma é dividida pela densidade de potência do ruído na banda de operação. Se a diversidade de transmissão é utilizada, a medida  $E_c/N_o$  para a antena  $i$  não deve ser mais baixo do que o nível correspondente RSCP. O ponto de referência na medição é o conector da antena UE. Normalmente, o nível de  $E_c/I_o$  é indicado

como os níveis de interferência que mais afetam a qualidade do sinal do que os níveis de ruído (ou seja, o ruído térmico).

- *Carrier - Interference Plus Noise Ratio Power Level (CINR)*:

O CINR é medido em ambos o UE e eNB para determinar a portadora de rádio a ser utilizada com base em um conjunto pré-definido de limiares. A portadora de rádio define o esquema de modulação e codificação utilizada para os dados a serem transmitidos. Quanto maior a CINR, maior é a eficiência de espectro, utilizando-se uma modulação com maior constelação e melhores esquemas de codificação. O cálculo de CINR fornece uma melhor indicação da qualidade do canal e do sinal. A CINR é, algumas vezes, referido como o fator G.

- *EVM (Error Vector Magnitude)*:

Mede a diferença entre a medida do símbolo que sai do equalizador e da referência. A relação da raiz quadrada da potência média de erro do vetor com a potência média de referência do símbolo é definida como EVM. O percentual EVM, necessário sobre todas as larguras de banda de operação realizada sobre todos os blocos de recursos e subquadros para o LTE, é baseado no esquema de modulação utilizado. Assim, para as modulações QPSK, 16-QAM, e 64-QAM é dado por 17.5%, 12.5%, e 8%, respectivamente.

## 4.6

### Ferramentas de planejamento.

O mercado oferece algumas ferramentas de predição para planejamento e otimização de redes. Atualmente as mais utilizadas são: o ASSET, desenvolvida pela *Aircom International*, o *NetAct Planner*, criado pela Nokia e o *A9955 Radio Network Planning Tool* desenvolvido pela Alcatel-Lucent. Suas capacidades avançadas de concepção de rede permitem automatizar tarefas demoradas como a configuração de localização das torres, planejamento de tráfego, análise de rede, dimensionamento da rede e planejamento de parâmetros. A dinâmica de funcionamento das ferramentas é muito semelhante, sendo o aprimoramento do algoritmo de predição o maior diferencial entre elas. As ferramentas trabalham com dados reais da rede celular, devendo ser fornecidos parâmetros como a localização geográfica da torre (latitude e longitude), altura do sistema irradiante, modelo e ganho das antenas, azimute das antenas, potência de transmissão, modelo de ambiente (área rural, urbana, urbana densa),

entre outros. No projeto de um sistema celular é utilizado um mapa com o relevo da região informada e sobre esse mapa são plotadas áreas coloridas que representam a predição dos níveis desejados de sinal celular. A figura 4.2 apresenta um exemplo do resultado gerado pela ferramenta após o processamento de um projeto, onde as diferentes cores representam os diferentes níveis de intensidade de sinal calculados pela ferramenta.

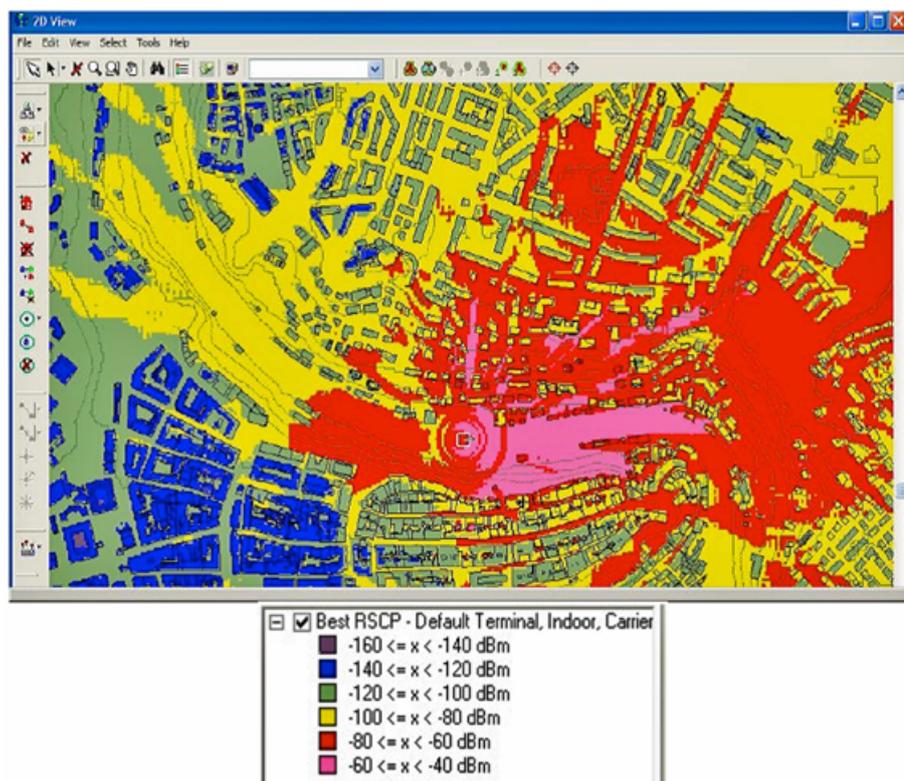


Figura 4.2: Exemplo do resultado de uma predição gerada pelo ASSET.

O anexo A apresenta uma análise de algumas ferramentas de planejamento.