

6 Estudo de caso

Um estudo de caso foi implementado para aplicação da metodologia de projeto de rede apresentada. O estudo consistiu no projeto de uma rede de acesso sem fio para prover serviços de comunicação em faixa larga através da tecnologia IEEE 802.16 em uma região da cidade de São Paulo com área aproximada de 25 km² que inclui a região central da cidade.

O programa NetDimension foi utilizado para a realização do projeto. Ainda que este programa não tenha a opção de projeto de redes baseadas no padrão IEEE 802.16 ele foi utilizado na opção de projeto de rede LMDS adaptando ao padrão todas as características da rede que são configuráveis no programa. Os métodos apresentados no Capítulo 4 e que fazem parte da metodologia do projeto da rede estão incorporados no programa e, por isto, não estão apresentados no estudo de caso.

O projeto realizado se restringiu aos aspectos técnicos da rede e as ações se concentraram na busca pelo melhor desempenho nestes aspectos. O projeto priorizou a maximização da área de cobertura com o menor número de estações base.

O mapa da região a ser coberta está apresentado na Figura 6.1 com uma legenda indicando a altitude do terreno.

A região escolhida apresenta alguns desafios para o planejamento de um sistema que requer visada direta porque a cobertura precisa ser provida em uma região de relevo irregular que apresenta áreas densamente urbanizadas com grande concentração de edifícios altos e áreas residenciais onde prevalece a existência de casas. O relevo da região está ilustrado na área em destaque da Figura 6.2.

Especificações do sistema

As seguintes especificações foram definidas para o sistema a ser implementado:

- frequência de operação : 28 GHz;
- largura de espectro disponível : 224 MHz;
- largura dos canais utilizados : 28 MHz;
- taxa de erro de bits (BER) : 10^{-6} ;

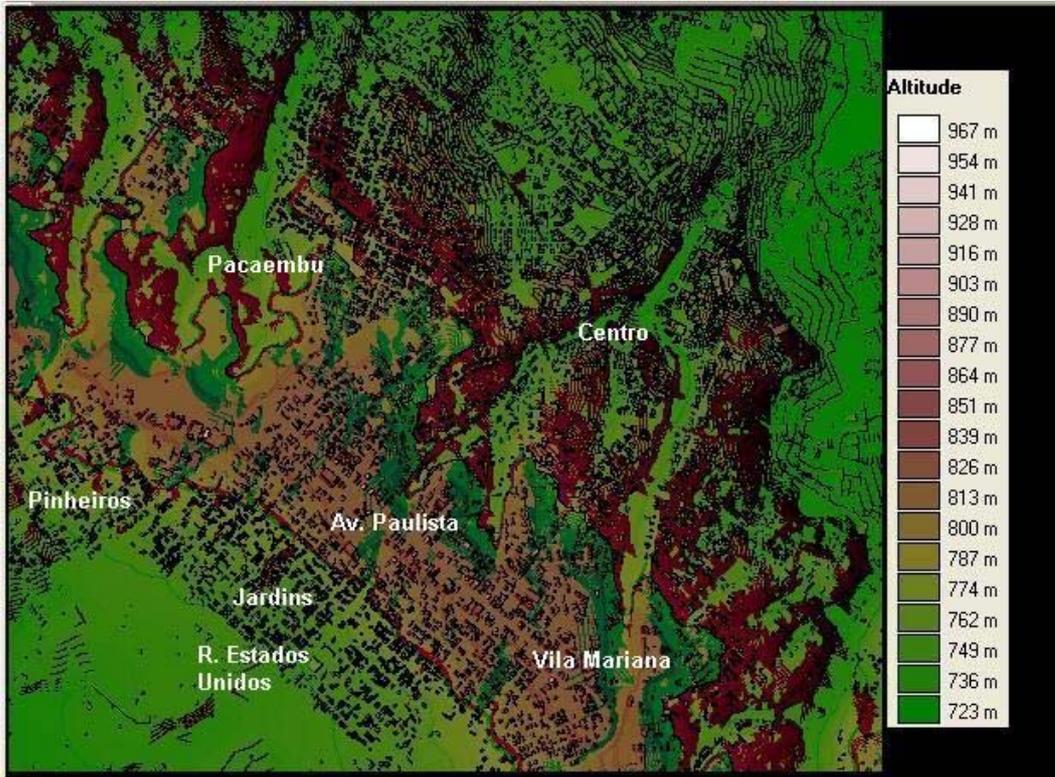


Figura 6.1 – Região da cidade de São Paulo onde a rede foi projetada



Figura 6.2 – O relevo da região escolhida está apresentado na área destacada

- requisito mínimo de disponibilidade : 99,99%
- potência de transmissão da estação base : 24 dBm;
- ganho da antena da estação base : 19 dBi;
- altura da antena da estação base : 20 m;
- perdas na estação base : 3 dB;
- ganho da antena da estação assinante : 34 dBi;
- altura da antena da estação assinante : 20 m;
- perdas na estação assinante : 3 dB.

A taxa de chuvas que pode ser excedida em 0,01% do tempo na cidade de São Paulo é 81 mm/h e foi utilizado o método do ITU para cálculo da atenuação por chuvas.

Escolha dos locais candidatos para instalar as estações base e análise de visibilidade

A análise de visibilidade foi realizada junto com a escolha e a priorização dos locais para instalação das estações base.

Devido ao relevo irregular e ao alto grau de urbanização na maior parte da área, inúmeras simulações foram realizadas até se obter uma configuração em que são necessárias 18 estações base para prover visibilidade para a maior parte da região total.

A Figura 6.3 apresenta os locais escolhidos para instalação das estações base e a área total com visibilidade para todos os locais escolhidos.

Priorização dos locais pré-selecionados para instalação das estações base

A etapa de priorização dos locais pré-selecionados foi desconsiderada porque este estudo de caso se concentra nos aspectos técnicos da rede sem levar em consideração os aspectos relacionados com a infra-estrutura dos locais.

Cálculo do raio máximo das células

O raio máximo das células foi calculado em condições de céu claro e de chuva para a frequência de 28 GHz e requisito de taxa de erro de bits de 10^{-6} . Os valores para cada tipo de modulação e disponibilidade estão apresentados na Tabela 6.1.

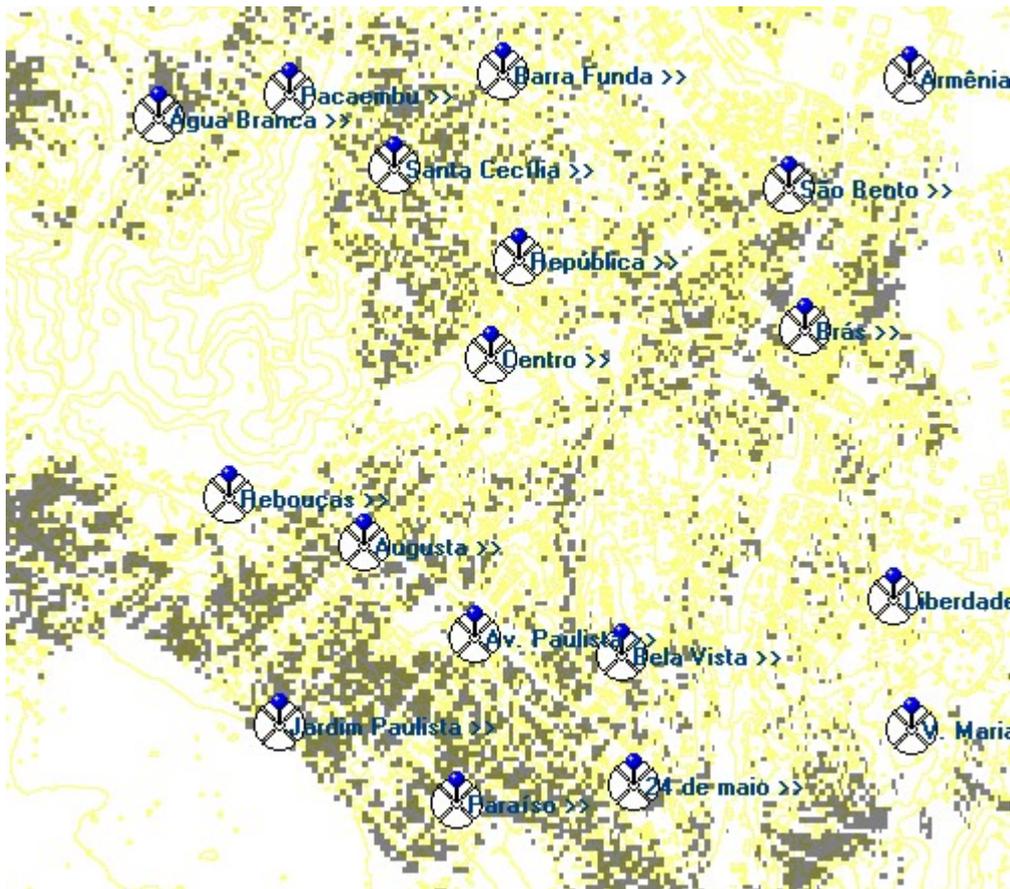


Figura 6.3 – Ilustração da área total com visibilidade para os locais escolhidos para as estações base

Tabela 6.1 – Raio máximo da célula na cidade de São Paulo

Modulação	Disponibilidade	Raio (km) chuva/ITU	Raio (km) céu claro
QPSK	99,999%	0,9	11,7
	99,99%	1,5	
	99,9%	3,0	
16-QAM	99,999%	0,7	5,6
	99,99%	1,1	
	99,9%	2,0	
64-QAM	99,999%	0,4	1,5
	99,99%	0,6	
	99,9%	0,9	

Se o objetivo fosse prover a maior capacidade possível durante a maior parte do tempo com o requisito especificado de taxa de erro de bits, seria necessário considerar um raio máximo que possibilitasse o uso do tipo de modulação de melhor eficiência espectral em toda a área da célula mesmo durante a ocorrência das chuvas. Neste caso o raio máximo das células deveria ser o menor valor da Tabela 6.1 de forma que em 99,999% do tempo a modulação 64-QAM poderia ser utilizada em toda a célula. Esta escolha, entretanto, faria com que as células tivessem raios muito pequenos, aproximadamente 0,4 km, que representaria uma área aproximada de 0,5 km² por célula. Para cobrir toda a área desejada seriam necessárias mais de 50 estações base, número este que ainda poderia ser maior ao serem considerados os requisitos de visada direta.

Como a prioridade definida para o projeto foi maximizar a área de cobertura com o menor número de estações base e, além disto, o requisito de disponibilidade especificado é de 99,99%, foi escolhido o raio máximo obtido para a modulação QPSK em condições de chuva que é de aproximadamente 1,5 km fazendo com que a área da célula seja de aproximadamente 7,1 km² e sejam necessárias menos estações base para cobrir toda a área desejada do que no caso de priorizar a maximização da capacidade durante a maior parte do tempo.

O valor escolhido de raio de célula garantirá, conforme a Tabela 6.1, que em condições de céu claro toda a célula pode operar com modulação 64-QAM atendendo ao requisito de taxa de erro de bits de 10⁻⁶. Em condições de chuva todas as regiões da célula terão cobertura ainda que a capacidade disponível irá diminuir nas regiões mais distantes da estação base devido ao uso de tipos de modulação de menor eficiência espectral.

A Figura 6.4 ilustra a configuração de raios de células que foi obtida com os parâmetros escolhidos.

Devido ao grau de urbanização de algumas regiões, entretanto, a distância entre estações base vizinhas teve que ser, em vários casos, inferior ao raio previsto para as células para que o requisito de visibilidade fosse atendido. A consequência disto é que mais regiões poderão utilizar modulação de melhor eficiência espectral o que possibilita um aumento da capacidade oferecida pela rede.

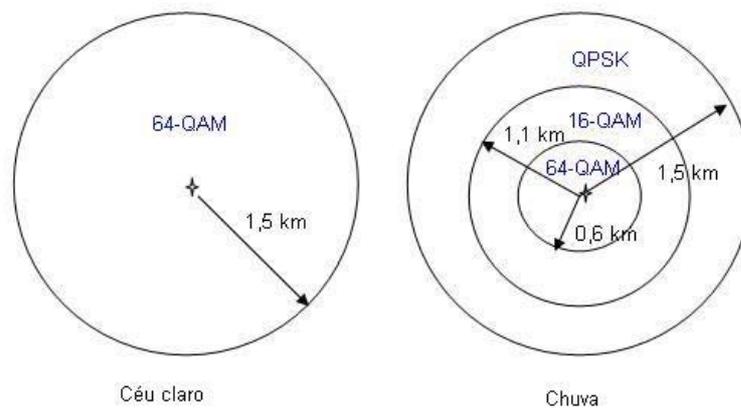


Figura 6.4 – Tamanho das células e área com cada tipo de modulação

Previsão da cobertura e revisão dos locais das estações base

A previsão da cobertura foi realizada considerando as características de equipamentos e as especificações que foram definidas para este projeto. Dependendo dos valores obtidos nas simulações de cobertura, foram realizadas revisões da localização das estações base. Inicialmente foram feitas simulações com antenas omnidirecionais nas estações base mas, com esta configuração, não foi possível atender aos alguns requisitos que serão descritos adiante.

As Figuras 6.5 e 6.6 apresentam mapas de cobertura em situações de céu claro ilustrando, respectivamente, a intensidade dos sinais e o melhor servidor em uma configuração com antenas setorizadas de 90° nas estações base.

Se fossem considerados apenas os requisitos mínimos de intensidade de sinal para cada tipo de modulação desprezando a influência das interferências, podemos observar no mapa da Figura 6.7 que a maior parte da área coberta estaria em condições de utilizar a modulação 64-QAM em condições de céu claro, conforme foi planejado. As regiões onde a cobertura ocorreria através de modulação 16-QAM ou QPSK existem porque nestas regiões não há visibilidade para as estações base mais próximas.

A influência das chuvas na cobertura do sistema foi observada através do mapa apresentado na Figura 6.8 que ilustra, a partir de patamares de intensidade de sinal, as regiões cobertas com modulação QPSK para 3 níveis de disponibilidade desconsiderando os demais tipos de modulação.

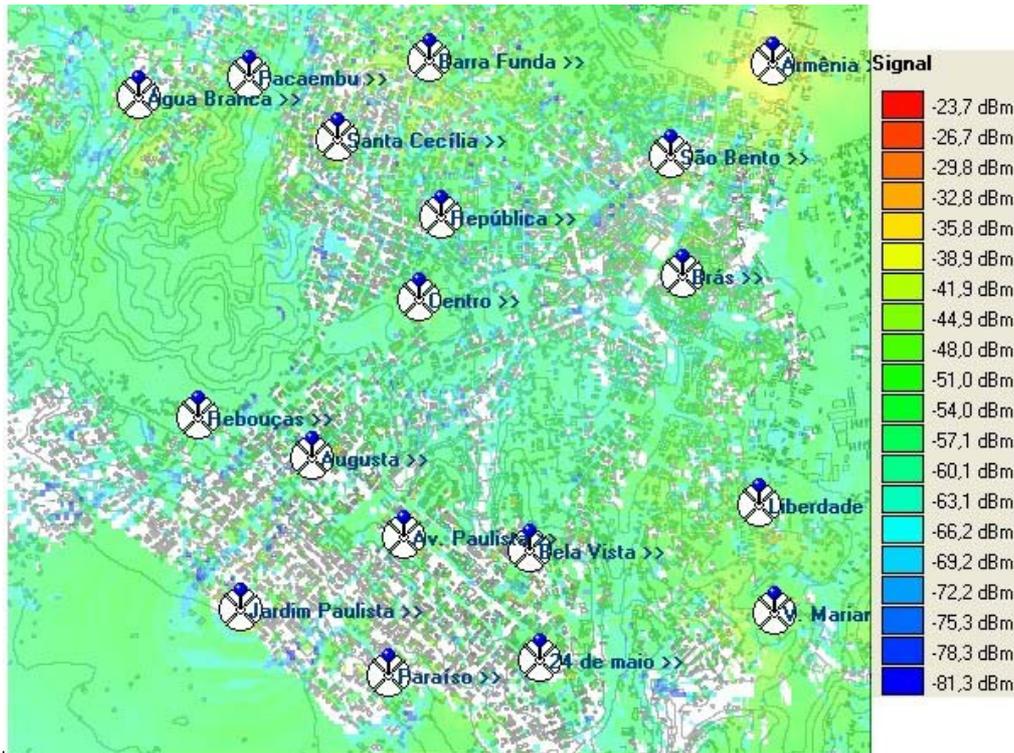


Figura 6.5 – Mapa de cobertura com intensidade de sinal em situação de céu claro

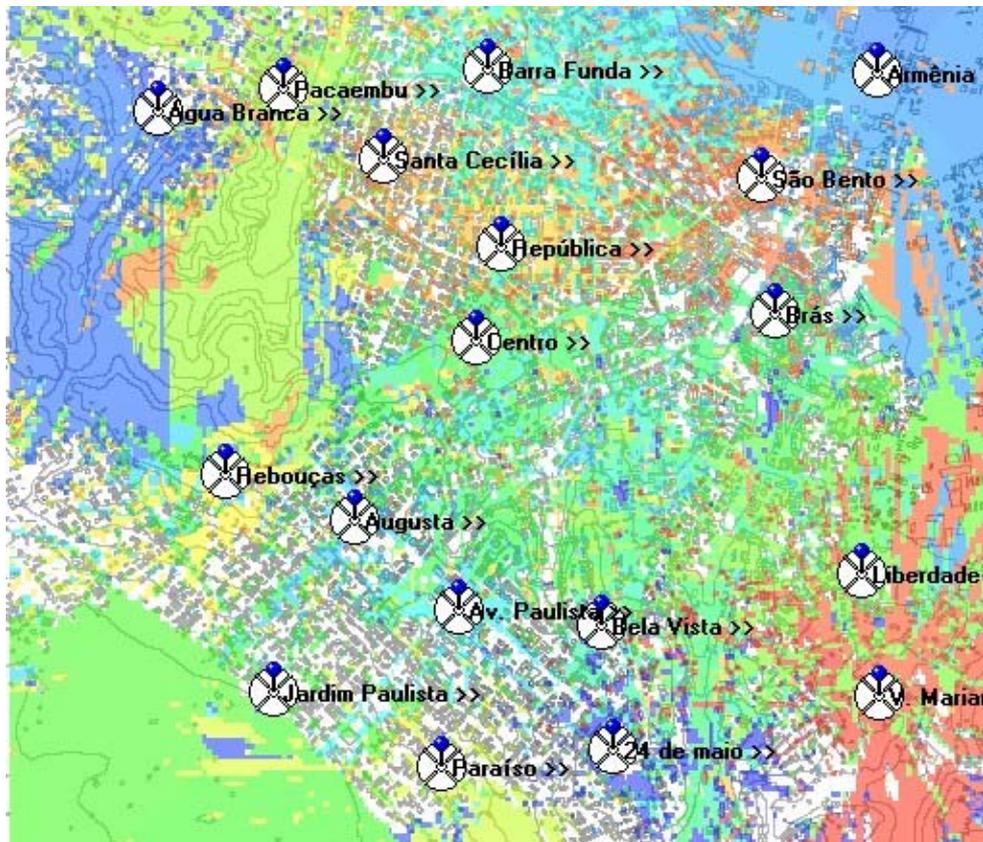


Figura 6.6 – Mapa de cobertura conforme o melhor servidor em situação de céu claro

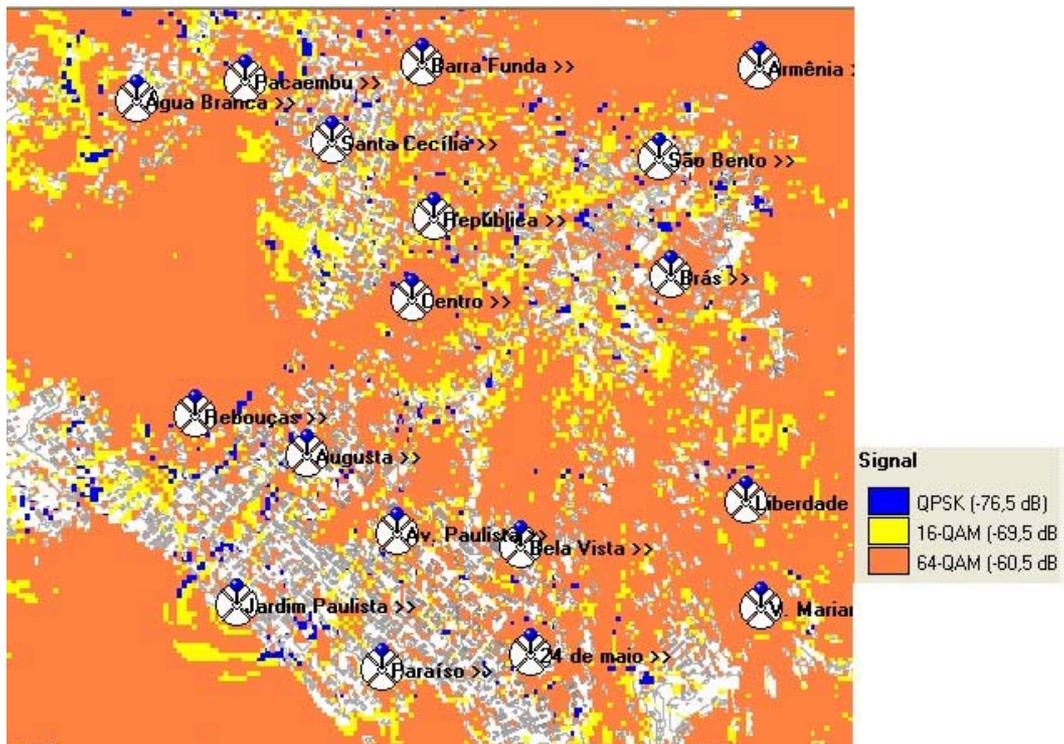


Figura 6.7 – Mapa de cobertura conforme o tipo de modulação (céu claro)

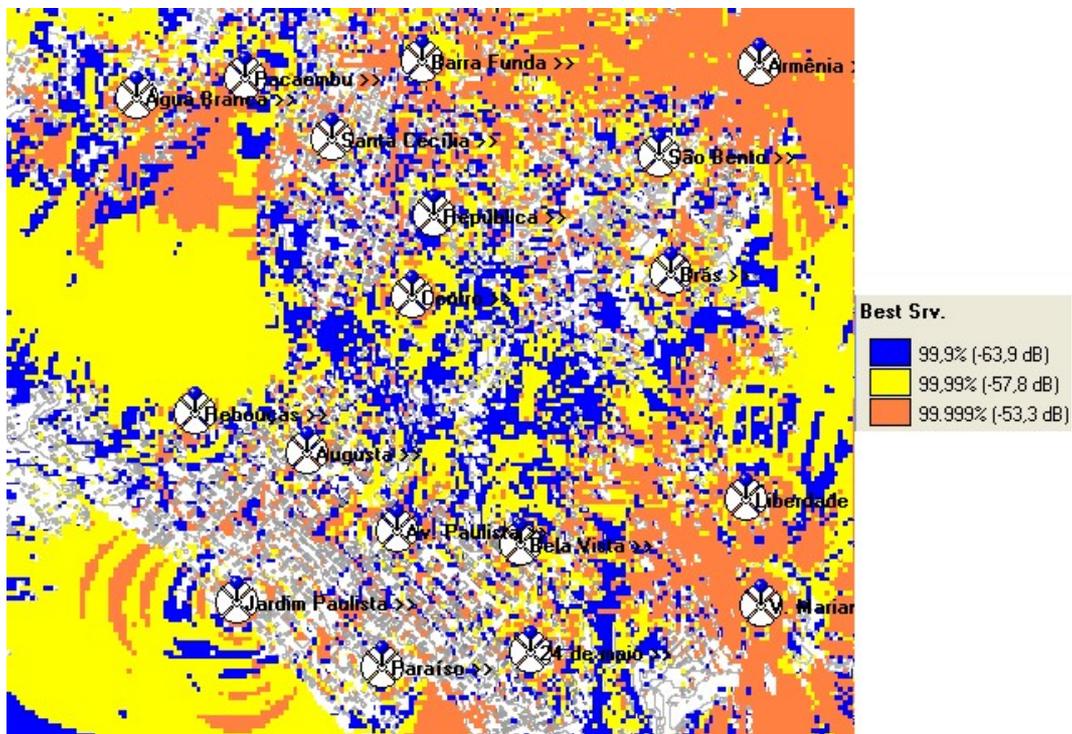


Figura 6.8 – Cobertura através de modulação QPSK considerando as chuvas

As áreas em cor laranja são cobertas por modulação QPSK para uma disponibilidade de 99,999%. No caso de disponibilidade 99,99%, as áreas em laranja e amarelo seriam cobertas com este tipo de modulação e para disponibilidade 99,9%, todas as áreas coloridas seriam cobertas por esta modulação.

Planejamento de frequências e setorização

Nesta etapa os canais disponíveis de frequências foram alocados nas células. O uso de antenas omnidirecionais não permitiu que os requisitos de níveis mínimos de relação $S/(N+I)$ fossem atendidos. Foi necessário implementar a setorização das células.

O planejamento de frequência e da setorização das células foi realizado utilizando como referência o modelo de planejamento sugerido em [55] que foi apresentado na Figura 4.14 e considera as células com 4 setores de 90° , 8 canais de frequências para todo o sistema dos quais 2 canais são utilizados por célula com fator de reuso igual a 2 e polarização diferente em setores vizinhos.

A Figura 6.9 mostra um mapa com os níveis de relação $S/(N+I)$ que foram obtidos com a configuração escolhida de estações base.

Considerando os requisitos mínimos de relação $S/(N+I)$ de cada tipo de modulação e que foram apresentados na Tabela 5.4 é possível observar o impacto que as interferências têm na cobertura por cada tipo de modulação.

Diversas regiões próximas de algumas estações base que seriam cobertas por modulação 64-QAM, se não fossem consideradas as interferências, não atendem ao requisito mínimo de relação $S/(N+I)$ para este tipo de modulação e só podem operar com modulação de menor eficiência espectral diminuindo a capacidade máxima possível.

Foram feitas novas simulações diminuindo a potência de transmissão das estações base em 3 dB (de 24 dBm para 21 dBm) com o objetivo de verificar se a queda no nível das interferências era maior possibilitando uma melhora nos níveis de relação $S/(N+I)$. A alteração obtida foi desprezível.

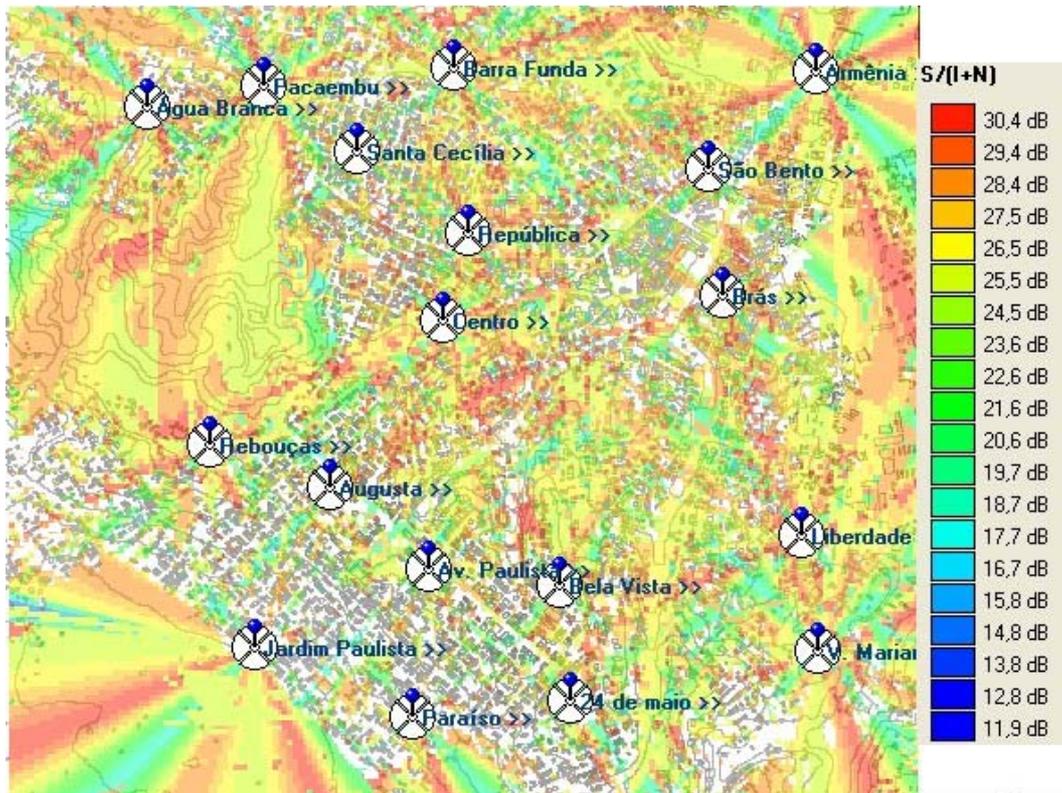


Figura 6.9 – Mapa de níveis de relação S/(N+I)

Estimativa da capacidade oferecida por célula

A estimativa da capacidade de cada célula depende da quantidade de área coberta por cada tipo de modulação. O programa utilizado para o projeto, entretanto, não permite que tais áreas sejam estimadas o que impede que a estimativa seja efetuada.

Especificação dos equipamentos a serem utilizados

Após todas as simulações realizadas, os equipamentos podem ser especificados a partir da configuração de rede obtida.

Conclusão

Os resultados obtidos durante as simulações realizadas mostram que a necessidade de visada direta e as interferências são os fatores mais limitantes no planejamento de sistemas de acesso sem fio em faixa larga baseados na tecnologia IEEE 802.16 operando em ambientes altamente urbanizados na faixa de frequências entre 10 e 66 GHz. Para que a cobertura seja maximizada é necessário

que as distâncias entre as estações base sejam menores que os diâmetros estimados para as células levando à ocorrência de sobreposição das células e aumentando o nível de interferência a que as estações estão sujeitas. Algumas técnicas para minimização das interferências foram apresentadas na seção 4.2.3.

Em uma situação real, novas simulações deveriam ser feitas na busca por uma melhora nos níveis de relação $S/(N+I)$. Alguns exemplos de ações que poderiam ser implementadas no projeto são : alteração do planejamento de frequências e de setorização, inclinação (*down tilt*) em algumas antenas, procura por outros modelos de antenas para as estações base.