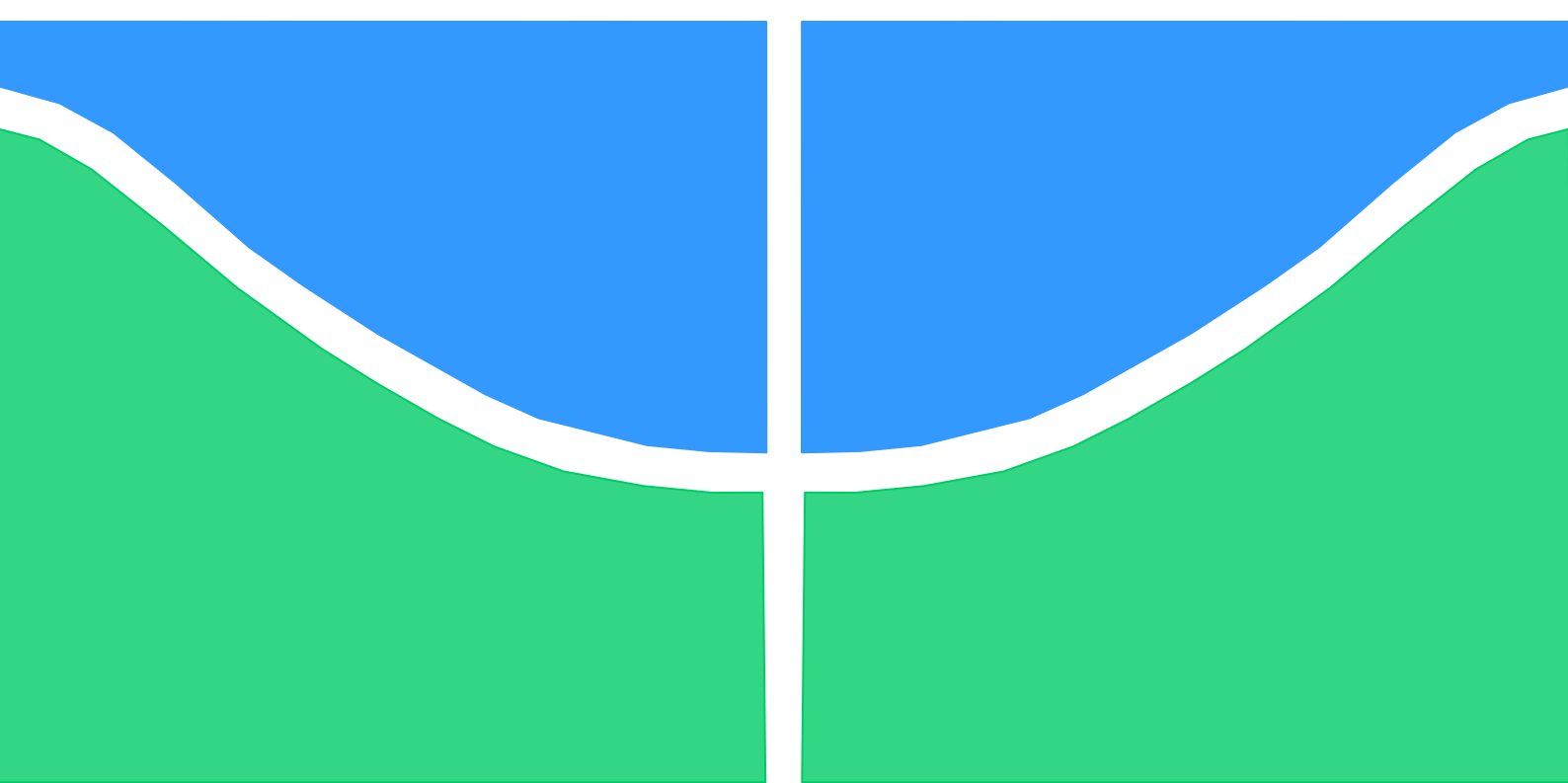




PROJETO DE GRADUAÇÃO

PREDIÇÃO DE COBERTURA DE REDE CELULAR LTE EM BRASÍLIA COM UTILIZAÇÃO DE FEMTOCÉLULAS

Bruno Bezerra André

Brasília, novembro de 2012.

UNIVERSIDADE DE BRASILIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia
ENE – Departamento de Engenharia Elétrica

PROJETO DE GRADUAÇÃO

PREDIÇÃO DE COBERTURA DE REDE CELULAR LTE EM BRASÍLIA COM UTILIZAÇÃO DE FEMTOCÉLULAS

Bruno Bezerra André

RELATÓRIO SUBMETIDO AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO REQUISITO PARCIAL PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO DE REDES DE COMUNICAÇÕES

Banca Examinadora

Prof. Dr. Ugo Silva Dias, UnB/ ENE (Orientador)

Prof. Dr. Flávio Elias Gomes de Deus, ENE/UnB

Prof. Dr. Georges Daniel Amvame-Nze, UnB

Dedicatória

Dedico este trabalho à minha família, que está sempre presente ao meu lado, meu pai, minha mãe, minha irmã, minha vó, minha madrinha, meu tio, minha namorada linda e meus amigos do primeiro semestre de 2004 da UnB.

Bruno Bezerra André

Agradecimentos

Agradeço a Deus por estar vivo e por completar mais essa etapa da minha vida, à minha família, minha namorada pelo apoio em todos os aspectos da minha vida, ao Professor Ugo pela orientação e disponibilidade fundamentais para a realização deste trabalho e a todos os colegas e amigos que fiz nesses anos de UnB.

Bruno Bezerra André

RESUMO

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de planejar uma cobertura de sistemas LTE (*Long Term Evolution*) em Brasília, bem como verificar a utilização de femtocélulas na melhoria da cobertura de ambientes *indoor*. Para isso, utilizou-se o programa CelPlanner™, de maneira a simular predições de cobertura na região do Plano Piloto. Ao final, foi feita uma comparação entre as redes simuladas no trabalho e as redes de telefonia celular existentes em Brasília.

Palavras-chave: LTE, Brasília, femtocélulas, CelPlanner, predições de cobertura, telefonia celular.

ABSTRACT

This work was developed in order to plan a coverage of LTE (Long Term Evolution) systems in Brasília, as well as to verify the use of femtocells to improve the coverage of indoor environments. Therefore, coverage predictions in Plano Piloto were made using the program CelPlanner™. In the end, a comparison between the networks simulated in the program and the today's mobile phone networks in Brasília was made.

Key words: LTE, Brasília, femtocells, CelPlanner, coverage predictions, mobile phone networks.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS.....	xi
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.3 ESTRUTURA E COMPOSIÇÃO DO TRABALHO.....	3
2 O 3GPP LTE	4
2.1 HISTÓRICO.....	4
2.2 LTE.....	5
3 FEMTOCÉLULAS.....	10
3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	10
3.2 HISTÓRICO.....	12
3.3 IMPORTÂNCIA.....	12
3.4 VANTAGENS NA PERSPECTIVA DA OPERADORA.....	13
3.5 DESVANTAGENS NA PERSPECTIVA DA OPERADORA.....	14
3.6 VANTAGENS NA PERSPECTIVA DO ASSINANTE.....	14
3.7 FAP.....	14
3.8 CONTROLE DE ACESSO	15
4 CELPLANNER™	16
4.1 VISÃO GERAL	16
4.2 CONFIGURAÇÕES DE PROJETO	16
4.2.1 PARÂMETROS DE PREDIÇÃO	18
4.2.2 CONFIGURAÇÃO DE TIPO DE RÁDIO	19
4.2.3 CONFIGURAÇÃO DE TERMINAL.....	20
4.2.4 CONFIGURAÇÃO DE AMBIENTE	21
4.2.5 CLASSES DE SERVIÇO	23
4.2.6 ESTAÇÃO RÁDIO BASE.....	23
4.2.7 LIMIARES DE PREDIÇÃO.....	27
4.2.8 DIRETÓRIOS DAS BASE DE DADOS	29
4.3 CONCLUSÃO	30
5 RESULTADOS DA PREDIÇÃO LTE COM FEMTOCÉLULAS	31
5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	31

5.2	RESULTADOS	31
5.2.1	<i>OUTDOOR</i> COM USUÁRIO ESTÁTICO E 28 BS's	32
5.2.2	<i>OUTDOOR</i> COM USUÁRIO ESTÁTICO E 70 BS's	36
5.2.3	<i>INDOOR</i> COM 28 BS's	39
5.2.4	<i>INDOOR</i> COM 70 BS's	42
5.2.5	<i>INDOOR</i> COM 28 BS's E 226 FEMTOCÉLULAS	45
5.3	ANÁLISE COMPARATIVA COM AS REDES DE TELEFONIA CELULAR EXISTENTES EM BRASÍLIA.....	49
6	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	54
6.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Panorama do crescimento da comunicação móvel [14].....	1
Figura 2.1 – Soluções de rede do GSM para o LTE [4].....	6
Figura 2.2 – Interfaces X2 e S1 [4].....	7
Figura 2.3 – OFDMA e SC-FDMA [4].....	8
Figura 3.1 – Comparativo de tamanho entre a femtocélula e outros tipos de célula [7].....	10
Figura 3.2 – Típico cenário contendo macrocélula e femtocélula [7]	11
Figura 3.3 – Crescimento do tráfego de dados na comunicação móvel [15].....	13
Figura 4.1 – Janela <i>Project</i>	17
Figura 4.2 – Janela <i>Prediction Parameters</i>	18
Figura 4.3 – Janela <i>Radio Type Configuration</i>	19
Figura 4.4 – Janela <i>Terminal Configuration</i>	20
Figura 4.5 – Janela <i>Environment Configuration</i> para o ambiente <i>indoor</i>	21
Figura 4.6 – Janela <i>Environment Configuration</i> para o ambiente <i>outdoor</i>	22
Figura 4.7 – Janela <i>Service Classes</i>	23
Figura 4.8 – Janela <i>Radio Base Station – BTS</i> para a BS	24
Figura 4.9 – Janela <i>Radio Base Station – BTS</i> para o FAP	24
Figura 4.10 – Janela <i>Antenna Selection</i> para a BS	25
Figura 4.11 – Janela <i>Antenna Selection</i> para o FAP	25
Figura 4.12 – Janela <i>Link Budget</i> para a BS	26
Figura 4.13 – Janela <i>Link Budget</i> para o FAP.....	27
Figura 4.14 – Janela <i>Prediction Thresholds</i>	28
Figura 4.15 – Cores para cada nível de sinal.....	28
Figura 4.16 – Sensibilidade do sistema [12].....	29
Figura 4.17 – Janela <i>Directories</i>	29
Figura 5.1 – Predição individual de uma BS.....	31
Figura 5.2 – Predição individual de uma femtocélula.....	32
Figura 5.3 – Morfologia do cenário <i>outdoor</i> com usuário estático e 28 BS's	33
Figura 5.4 – Predição <i>downstream</i> do cenário <i>outdoor</i> com usuário estático e 28 BS's...34	
Figura 5.5 – Predição <i>upstream</i> do cenário <i>outdoor</i> com usuário estático e 28 BS's	35
Figura 5.6 – Morfologia do cenário <i>outdoor</i> com usuário estático e 70 BS's.....	36
Figura 5.7 – Predição <i>downstream</i> do cenário <i>outdoor</i> com usuário estático e 70 BS's ...37	
Figura 5.8 – Predição <i>upstream</i> do cenário <i>outdoor</i> com usuário estático e 70 BS's	38
Figura 5.9 – Morfologia do cenário <i>indoor</i> com 28 BS's	39
Figura 5.10 – Predição <i>downstream</i> do cenário <i>indoor</i> com 28 BS's	40
Figura 5.11 – Predição <i>upstream</i> do cenário <i>indoor</i> com 28 BS's	41

Figura 5.12 - Morfologia do cenário <i>indoor</i> com 70 BS's.....	42
Figura 5.13 - Predição <i>downstream</i> do cenário <i>indoor</i> com 70 BS's	43
Figura 5.14 - Predição <i>upstream</i> do cenário <i>indoor</i> com 70 BS's	44
Figura 5.15 – Morfologia da Asa Norte e suas BS's e femtocélulas	45
Figura 5.16 – Morfologia do Eixo Monumental e suas BS's e femtocélulas	46
Figura 5.17 – Morfologia da Asa Sul e suas BS's e femtocélulas.....	46
Figura 5.18 – Predição <i>downstream</i> da Asa Norte e suas BS's e femtocélulas	47
Figura 5.19 – Predição <i>downstream</i> do Eixo Monumental e suas BS's e femtocélulas.....	48
Figura 5.20 – Predição <i>downstream</i> da Asa Sul e suas BS's e femtocélulas	48
Figura 5.21 – Morfologia de Brasília com as BS's da Claro [13].....	49
Figura 5.22 – Morfologia de Brasília com as BS's da Tim [13].....	50
Figura 5.23 – Morfologia de Brasília com as BS's da Vivo [13]	51
Figura 5.24 – Morfologia de Brasília com as BS's da Oi. [13]	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1 – Distribuição das BS's da Claro no Plano Piloto	50
Tabela 5.2 – Distribuição das BS's da Tim no Plano Piloto	51
Tabela 5.3 – Distribuição das BS's da Vivo no Plano Piloto	52
Tabela 5.4 – Distribuição das BS's da Oi no Plano Piloto	53

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

3G	<i>Third Generation</i>
3GPP	<i>3rd Generation Partnership Project</i>
4G	<i>Forth Generation</i>
AMPS	<i>Advanced Mobile Phone System</i>
BS	<i>Base Station</i>
BSC	<i>Base Station Controller</i>
BTS	<i>Base Transciever Station</i>
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i>
CPE	<i>Customer Premises Equipments</i>
DFT	<i>Discrete Fourier Transform</i>
DSL	<i>Digital Subscriber Line</i>
DVB-SH	<i>Digital Video Broadcasting - Satellite services to Handhelds</i>
EDGE	<i>Enhanced Data rates for GSM Evolution</i>
eNB	<i>Evolved NodeB</i>
EPS	<i>Evolved Packet System</i>
FAP	<i>Femtocell Access Point</i>
FDD	<i>Frequency Division Duplex</i>
GPRS	<i>General packet radio service</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>
HSDPA	<i>High-Speed Downlink Packet Access</i>
HSPA	<i>High-Speed Packet Access</i>
HSPA+	<i>Evolved High-Speed Packet Access</i>
HSUPA	<i>High-Speed Uplink Packet Access</i>
IMT	<i>International Mobile Telecommunications</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
IPTV	<i>Internet Protocol Television</i>
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>
ITU-R	<i>ITU Radiocommunication Sector</i>
LMDS	<i>Local Multipoint Distribution Service</i>
LMR	<i>Land Mobile Radio</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
MAC	<i>Media Access Control</i>

MBMS	<i>Multimedia Broadcast Multicast Services</i>
MIMO	<i>Multiple-input and Multiple-output</i>
MMDS	<i>Multichannel Multipoint Distribution Service</i>
OFDMA	<i>Orthogonal Frequency-Division Multiple Access</i>
PMR	<i>Professional Mobile Radio</i>
QAM	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
QPSK	<i>Quadrature Phase-Shift Keying</i>
RF	<i>Radio Frequency</i>
RF-FE	<i>Radio Frequency Front-End</i>
SC-FDMA	<i>Single Carrier - Frequency Division Multiple Access</i>
TB	<i>Transport Block</i>
TDD	<i>Time-division Duplexing</i>
TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i>
TTI	<i>Transmission Time Interval</i>
UE	<i>User's Equipment</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunications System</i>
W-CDMA	<i>Wideband Code Division Multiple Access</i>
WiMAX	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Ao longo dos próximos anos, bilhões de dispositivos estarão conectados à *internet* e a aplicativos de redes móveis sem fio baseadas em tecnologia 3G (*Third Generation*) e LTE (*Long Term Evolution*), criando grande demanda por alta capacidade e cobertura. As previsões [1] são de que o tráfego de dados de tecnologia móvel em todo o mundo aumentará 26 vezes entre 2010 e 2015, o que tem sido chamado de “*mobile data tsunami*” [2]. A Figura 1.1 mostra um panorama deste crescimento.



Figura 1.1 – Panorama do crescimento da comunicação móvel [3]

Sozinhas, as redes macrocelulares tradicionais, mesmo com as vantagens da tecnologia celular de quarta geração, não são capazes de suprir esta demanda, porque:

- Há um limite de quantas macrocélulas *outdoor* podem ser construídas. Estas têm um alto custo e propostas de construção de novas macrocélulas geralmente enfrentam resistência local;
- O espectro disponível para cada operadora é limitado;

- O *backhaul* de uma macrocélula, apesar de disponível em taxas altas, custa caro.

Assim, as redes macro de acesso a rádio não serão capazes de acompanhar o ritmo do crescimento da demanda por comunicação móvel de dados. Enquanto isso, o preço que os consumidores pagam, por *megabits*, está em declínio. Em 2007, o *BlackBerry* dominou o mercado de *smartphones*. Usuários pagavam de US\$ 30,00 a US\$ 45,00 por mês e tipicamente consumiam 25 MB de dados. Hoje, um usuário de *iPhone* ou *Android* paga US\$ 30,00 por mês e muitas vezes consome mais de 500 MB de dados [2].

Para lidar com o “*mobile data tsunami*” de maneira a obter eficiência nos custos e fornecer a melhor cobertura, as operadoras devem descarregar o tráfego de dados da rede macrocelular para a rede fixa de banda larga quando os usuários estão *indoor*. Os consumidores esperam que isso seja feito da melhor maneira possível e, à medida que os consumidores forem se acostumando com a velocidade do LTE, quererão sempre ter essas altas velocidades, não importando se estão *outdoor* ou *indoor* [2].

Assim, serão mostradas as características das chamadas “femtocélulas”, células que apresentam raio de poucos metros a fim de cobrir uma pequena área, principalmente em ambiente indoor, e desafogar o tráfego nas tradicionais macrocélulas, que diferentemente das primeiras apresentam raio da ordem de quilômetros.

1.2 OBJETIVOS

O presente trabalho propõe-se a analisar em Brasília uma cobertura LTE com a utilização de femtocélulas. Mais especificamente, os objetivos apresentados aqui são os seguintes:

- Propor uma predição de cobertura de rede celular LTE realista no plano piloto de Brasília;
- Utilizar femtocélulas como solução para as deficiências de cobertura *indoor*;
- Analisar as características de radiofrequência implementadas, seguindo as recomendações dos órgãos reguladores e padronizadores;
- Investigar as variações possíveis de cobertura conforme o perfil do usuário (*indoor* ou *outdoor*).

1.3 ESTRUTURA E COMPOSIÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho se encontra dividido da seguinte forma:

- **Capítulo 2:** apresenta um breve estudo sobre a tecnologia LTE;
- **Capítulo 3:** apresenta um breve estudo sobre femtocélulas;
- **Capítulo 4:** apresenta os ajustes feitos no programa CelPlanner™ para as predições de cobertura LTE em Brasília;
- **Capítulo 5:** apresenta os resultados das predições de cobertura e uma análise comparativa com as redes de telefonia celular existentes hoje em Brasília;
- **Capítulo 6:** apresenta as conclusões e sugestões para futuros estudos.

2 O 3GPP LTE

2.1 HISTÓRICO

O 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) é um projeto idealizado com o objetivo inicial de criar uma padronização em nível global dos sistemas de telefonia móvel de terceira geração (3G). Mais tarde, o projeto foi ampliado e passou a englobar também o desenvolvimento e manutenção de tecnologias de acesso a rádio de sistemas GSM (*Global System for Mobile Communications*). Hoje, o projeto já trabalha também com especificações de sistemas além do 3G, o chamado 4G (*Forth Generation*), como a tecnologia LTE. É formado pela associação de grupos de telecomunicações, os chamados *Organizational Partners*. São eles: *Association of Radio Industries and Businesses* (ARIB) do Japão; *Alliance for Telecommunications Industry Solutions* (ATIS), dos EUA; *China Communications Standards Association* (CCSA), da China; *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI), da Europa; *Telecommunications Technology Association* (TTA), da Coreia e *Telecommunication Technology Committee* (TTC), do Japão [4].

As tecnologias desses grupos estão constantemente evoluindo por meio de Gerações de sistemas móveis. Desde a finalização das primeiras especificações do LTE, o 3GPP se tornou o principal ponto focal dos sistemas móveis além do 3G [4].

O progresso nos padrões do 3GPP é medido através dos chamados *Releases*. As novas tecnologias são desenvolvidas e ficam prontas para a implementação quando um *Release* é completado. O 3GPP trabalha com um número de *Releases* de forma paralela, iniciando trabalhos futuros com bastante antecedência e antes da finalização do *Release* atual. Embora isso traga certa complexidade ao trabalho dos grupos, trabalhar desta maneira assegura um progresso contínuo e estável [4].

O grupo de especificação técnica do 3GPP assegura que os sistemas sejam capazes de rápido desenvolvimento e implementação com a oferta de *roaming* global de equipamentos. São alguns dos principais sistemas e tecnologias a rádio do 3GPP nos recentes *Releases*: W-CDMA (*Release 99*); 1.28Mcps TDD (*Release 4*); HSDPA (*Release 5*); HSUPA (*Release 6*); MBMS (*Release 6*); HSPA+ (*Release 7*); LTE (*Release 8*); melhorias no LTE (*Release 9*); LTE-Advanced (*Release 10*) e estão sendo ainda trabalhados os *Releases* 11 e 12. Todos esses avanços são responsáveis por um alto grau de continuidade aos sistemas, permitindo que os equipamentos já existentes possam ser preparados para futuras tecnologias e funcionalidades,

oferecendo maiores taxas de transmissão de dados, qualidade de serviço e eficiência nos custos [4].

A partir do *Release 10*, o LTE-Advanced foi aprovado pelo ITU-R (*ITU Radiocommunication Sector*) como uma tecnologia de interface a rádio IMT-Advanced (*Mobile Telecommunications-Advanced*). O padrão LTE agora fornece velocidades de pico de 100 Mbit/s para comunicação de alta mobilidade e 1 Gbit/s para comunicação de baixa mobilidade [4].

2.2 LTE

O LTE, ou *Long Term Evolution*, é um padrão 4G de tecnologia de comunicação móvel capaz de operar com altas taxas de transmissão de dados. É baseado nas tecnologias de rede GSM/EDGE e UMTS/HSPA e é capaz de aumentar a capacidade e velocidade da rede através da utilização de uma interface de rádio diferenciada em conjunto com melhorias no núcleo da rede. O padrão LTE apresenta as seguintes motivações [5]:

- Necessidade de assegurar a continuidade da competitividade dos sistemas 3G no futuro;
- A demanda dos usuários por maiores taxas de transmissão e qualidade de serviço;
- Melhorar o sistema de comutação de pacotes;
- Implementar rede totalmente IP;
- Possibilitar o uso de vídeo-chamada com alta resolução.

Para se chegar ao padrão da tecnologia LTE, as tecnologias anteriores de segunda e terceira gerações foram sendo evoluídas. A tecnologia GSM, por exemplo, que é uma tecnologia de segunda geração, foi desenvolvida para suportar serviços em tempo real, utilizando comutação de circuitos (em azul na figura 2.1), e seus serviços de dados só são possíveis sobre uma conexão de modem de circuito comutado, com taxas de transmissão bastante baixas. Assim, era necessário o desenvolvimento de uma solução de comutação de pacotes baseada em IP e o primeiro passo para essa solução foi feita com a evolução do GSM para GPRS (*General Packet Radio Service*, em verde na figura 2.1), utilizando a mesma interface e método de acesso, o TDMA (*Time Division Multiple Access*) [5].

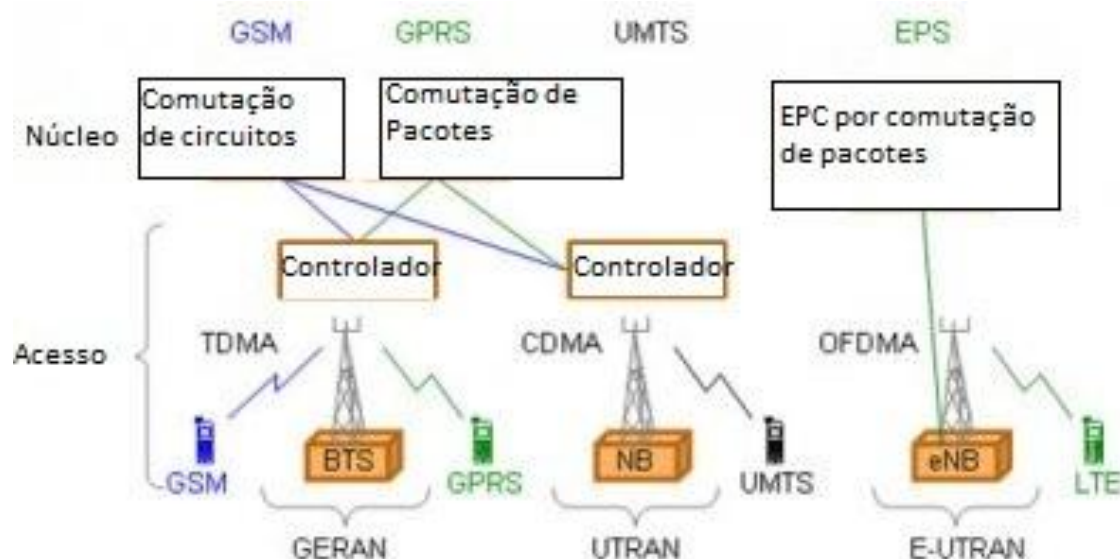


Figura 2.1 – Soluções de rede do GSM para o LTE [5]

Era necessário também atingir maiores taxas de transmissão e maior volume de dados. Assim, uma nova rede de acesso baseada no CDMA (*Code Division Multiple Access*) foi desenvolvida: o sistema UMTS (*Universal Mobile Telecommunication System*). Ele é um sistema de terceira geração e sua rede de acesso emula uma conexão com comutação de circuitos para serviços em tempo real e uma conexão com comutação de pacotes para os demais serviços (em preto na figura 2.1). No UMTS o endereço IP é alocado para o equipamento do usuário quando um serviço é estabelecido e liberado quando o serviço é liberado [5].

Do UMTS evoluiu-se para o EPS (*Evolved Packet System*), sistema utilizado na tecnologia LTE, que é totalmente baseado em IP. Nele, tanto serviços em tempo real quanto os demais serviços são suportados pelo protocolo IP. A nova solução de acesso, LTE, é baseada em OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) e é capaz de atingir taxas de transmissão e volume de dados ainda maiores, assim como alta modulação (até 64-QAM), grande largura de banda (até 20MHz) e transmissão MIMO (*Multiple-Input and Multiple-Output*) no *downlink* (até 4x4) [5].

A rede de acesso LTE é simplesmente uma rede de estações base, gerando uma arquitetura plana (figura 2.1). Não há um controlador centralizado inteligente e os nós são normalmente interconectados pela interface X2 e em direção ao núcleo da rede pela interface S1 (figura 2.2). A razão para a distribuição da inteligência entre as estações base no LTE é aumentar a velocidade das conexões e diminuir o tempo necessário para concluir um *handover*. Para um usuário final, o tempo de conexão para um serviço em tempo real é crucial

em muitos casos, especialmente em jogos online. O tempo para conclusão de um *handover* é essencial em serviços em tempo real, onde o usuário final tende a desistir da ligação se o *handover* leva muito tempo para ser efetuado [5].

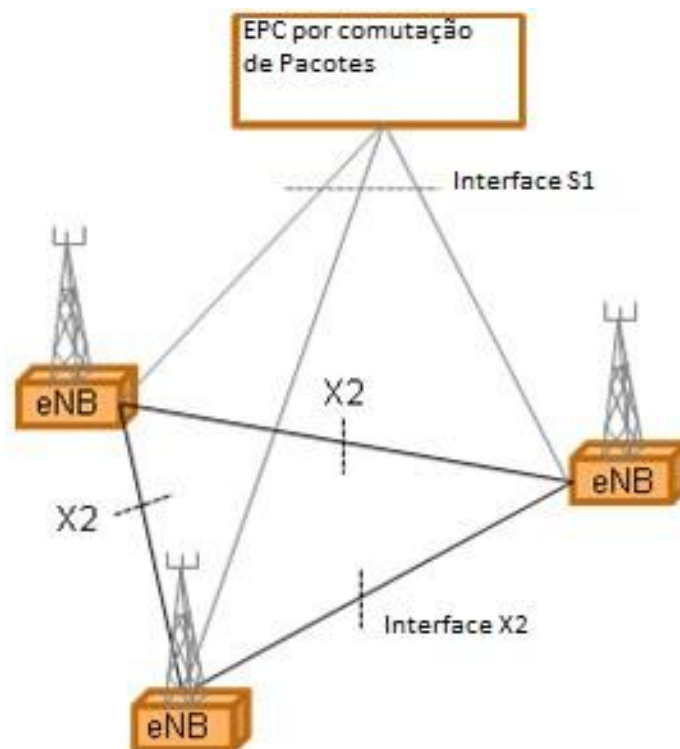


Figura 2.2 – Interfaces X2 e S1 [5]

Outra vantagem da solução distribuída é que a camada MAC, que é responsável pelo agendamento, é representada somente no UE (*User Equipment*) e na BS (*Base Station*), proporcionando rápida comunicação e decisão entre a eNB (*Evolved Node Base*) e o UE. No UMTS, o protocolo MAC e o agendamento estão localizados no controlador e, quando o HSDPA (*High-Speed Downlink Packet Access*) foi introduzido, uma subcamada MAC adicional responsável pela schedulagem HSPA (*High-Speed Packet Access*) foi adicionada na eNB [5].

O *scheduler* é um componente chave para um rápido ajuste e utilização eficiente dos recursos de rádio. O TTI (*Transmission Time Interval*) é setado para somente 1ms. Durante cada TTI o *scheduler* da BS deve [5]:

- Considerar o ambiente de rádio físico para cada UE. Os UE's reportam ao *scheduler* a qualidade de rádio medida para que este decida qual modulação e tipo de código a ser usado;
- Priorizar o serviço de QoS (*Quality of Service*) entre os UE's. O LTE suporta tanto serviços em tempo real como os demais serviços que requerem altas taxas de transmissão;
- Informar aos UE's sobre os recursos de rádio alocados. A eNB agenda os UE's tanto no *downlink* como no *uplink*. Para cada UE agendado em um TTI haverá um *Transport Block* (TB) portando dados do usuário. No *downlink* só pode haver um máximo de dois TB's gerados por UE, se a tecnologia MIMO é usada. O TB será entregue em um canal de transporte. No LTE, o número de canais é menor que no UMTS. Na teoria, o maior número de usuários que podem ser agendados durante 1 ms é 440, com uma largura de banda de 20MHz e 4x4 Multi User MIMO.

Para atingir alta eficiência de espectro de rádio, um esquema de multiportadora para permitir múltiplo acesso foi escolhido pelo 3GPP. Para o *downlink* foi escolhido o OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) e para o *uplink* foi escolhido o SC-FDMA (*Single Carrier - Frequency Division Multiple Access*), também conhecido como *DFT (Discrete Fourier Transform) spread OFDMA* (figura 2.3) [5].

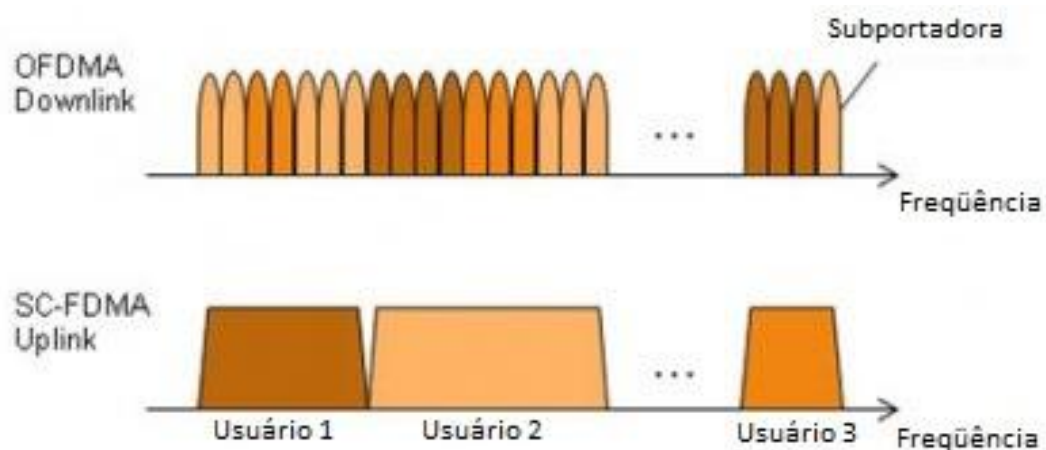


Figura 2.3 – OFDMA e SC-FDMA [5]

O OFDM (*Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*) é uma tecnologia de multiportadoras que subdivide a largura de banda disponível em sub-portadoras de banda estreita mutuamente ortogonais. Esta tecnologia atinge alta eficiência espectral, porém necessita de processadores rápidos. Ela torna possível explorar variações tanto no domínio da frequência

quanto no domínio do tempo. A solução OFDMA leva a uma alta *peak-to-average power ratio* necessitando de amplificadores de potência caros, com alto requerimento em linearidade, aumentando o consumo de bateria. Isto não é um problema na eNB, mas levaria a aparelhos muito caros. Portanto, uma solução diferente com requerimentos mais baixos nos aparelhos foi escolhida para o *uplink* [5].

Para ser implementável no mundo todo, suportando os mais diversos requerimentos, o LTE é desenvolvido para operar em várias bandas de frequência, de 800 MHz até 3,5 GHz. As larguras de banda disponíveis também são flexíveis e vão de 1,4 MHz até 20 MHz. O LTE é desenvolvido para suportar tanto a tecnologia TDD (*Time-division Duplexing*) como a tecnologia FDD (*Frequency-division Duplexing*) [5].

Como o LTE fornece alta eficiência espectral, suporta altas taxas de transmissão de dados e implementa uma arquitetura de acesso flexível, tem se tornado um sucesso entre as operadoras e entre os consumidores [5].

3 FEMTOCÉLULAS

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Femtocélulas são pontos de acesso de rede celular que conectam dispositivos móveis a uma rede de operadora usando DSL (*Digital Subscriber Line*) residencial, conexões a cabo, fibra óptica ou tecnologias sem fio. Oferecem excelente possibilidade de cobertura para telefonia celular e transmissão de dados e voz em alta velocidade em ambientes *indoor* e podem ser utilizadas em casa, no trabalho e em áreas públicas. Têm sido desenvolvidas tanto para a tecnologia 3G quanto para as novas tecnologias 4G/LTE.

A figura 3.1 mostra uma comparação entre o tamanho de uma femtocélula e o tamanho de outros tipos de célula.

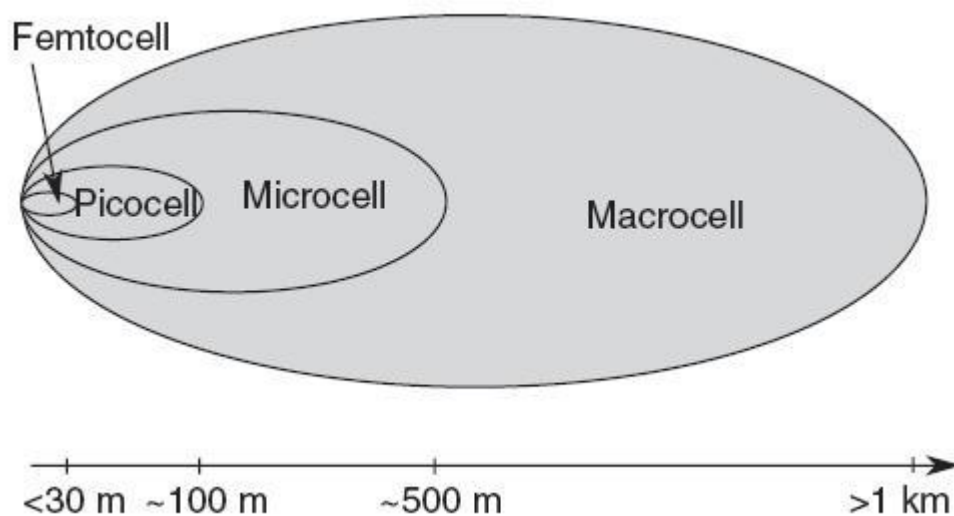


Figura 3.1 – Comparativo de tamanho entre a femtocélula e outros tipos de célula [6]

Um FAP (*Femtocell Access Point*) se parece muito com um modem banda larga *Wi-Fi*, necessitando de somente dois cabos: um para a rede elétrica e outro para a conexão com a *internet*. Muitos fornecedores integram a femtocélula com outras tecnologias como modem DSL, *Wi-Fi* e até mesmo IPTV (*Internet Protocol Television*) dentro de um só aparelho.

Ao contrário do *Wi-Fi*, esses dispositivos utilizam espectro de rádio licenciado e assim devem ser operados e controlados por uma operadora de telefonia móvel. Assim, o serviço só funcionará com uma operadora, encorajando todos os usuários em uma residência ou empresa a mudar para a mesma operadora.

Quando dentro do alcance da femtocélula, o móvel irá detectá-la automaticamente e utilizá-la em preferência a macrocélulas. A figura 3.2 mostra um típico cenário contendo macrocélula e femtocélula.

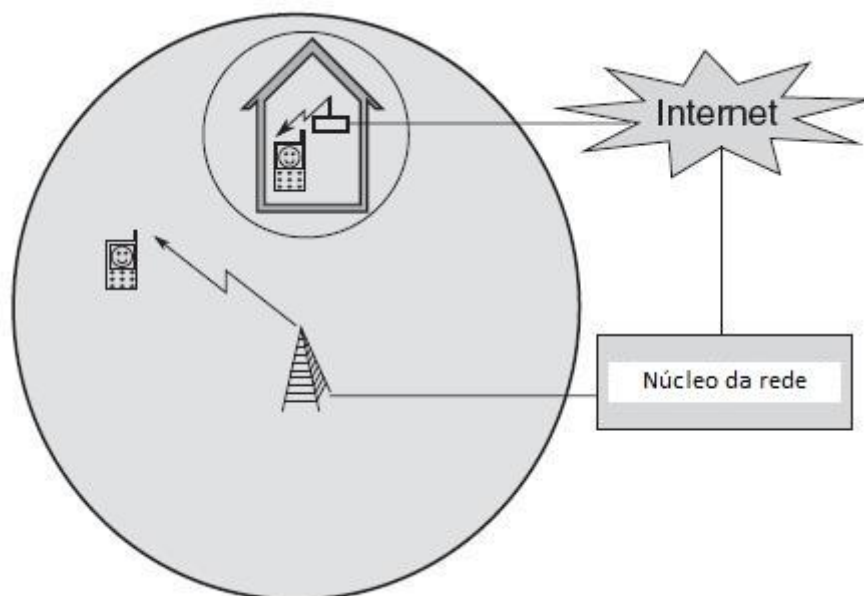


Figura 3.2 – Típico cenário contendo macrocélula e femtocélula [6]

As chamadas são feitas exatamente da mesma maneira que antes, com a exceção de que os sinais são enviados cifrados da femtocélula através da rede de banda larga IP pública ou privada para uma das BSC's (*Base Station Controller*) da operadora. Fazer e receber ligações se dá da mesma forma e todas as características padrão (desvio de chamadas, mensagens de texto, navegação na web) estão disponíveis da mesma maneira. Na verdade, a transmissão de dados é mais rápida e eficiente devido à curta distância envolvida.

As femtocélulas operam com baixíssima potência de transmissão, menos do que telefones sem fio, *Wi-Fi* ou qualquer outro equipamento residencial. Isso faz com que haja um menor gasto de bateria. Como elas estão muito mais próximas ao móvel, a qualidade da chamada é excelente e a transmissão de dados se dá a toda velocidade. Elas também podem cifrar todas as transmissões e recepções de voz e dados, assegurando um alto nível de proteção.

De maneira a reduzir custos operacionais e de instalação, estas unidades são auto-instaláveis e utilizam várias formas inteligentes de selecionar em qual frequência transmitir, bem como a potência necessária a ser utilizada. Ao contrário das macrocélulas, as femtocélulas não necessitam de engenheiros especialistas em planejamento de RF (*Radio Frequency*) para calibrá-las e configurá-las, minimizando os custos de manutenção. Elas têm

a manutenção remota da operadora, que pode atualizar as configurações e os *softwares* quando necessário [7].

3.2 HISTÓRICO

O primeiro interesse em femtocélulas começou por volta de 2002, quando um grupo de engenheiros da Motorola investigava possíveis novas aplicações e metodologias que poderiam ser utilizadas em comunicações móveis. Além de desenvolver um sistema de televisão móvel, eles também desenvolveram uma pequena estação base UMTS.

Alguns anos mais tarde, em 2004, a idéia estava começando a ganhar algum destaque e várias empresas estavam interessadas na tecnologia, em particular duas novas empresas, Ubiquisys e 3WayNetworks, foram formadas no Reino Unido para abordar a área de femtocélulas.

Com a idéia ganhando cada vez mais impulso e muitas empresas investindo na tecnologia de femtocélula, o Femto Forum (www.femtoforum.org) foi criado em julho de 2007, hoje denominado Small Cell Forum (www.smallcellforum.org). Seu objetivo era promover a utilização em larga escala de femtocélulas. Com a pressão da indústria em ser capaz de implantar a tecnologia de femtocélulas, o Femto Fórum também desempenhou um papel de coordenação para garantir que os padrões fossem acordados e lançados o mais rápido possível [8].

3.3 IMPORTÂNCIA [6]:

- Consegue fornecer cobertura para ambiente *indoor* em locais onde as macrocélulas não conseguem;
- Consegue descarregar o tráfego na camada da macrocélula e melhorar sua capacidade, visto que no caso do uso de macrocélula para cobertura em ambientes *indoor*, mais potência da estação será necessária para compensar a grande perda que ocorre na transmissão, acarretando a diminuição da capacidade da macrocélula;
- Através da femtocélula pode ser alcançado um bom isolamento, diminuindo o vazamento de sinal do ambiente *indoor* para o ambiente *outdoor* e melhorando a capacidade total da rede através do reuso do espectro de rádio;

- Vem crescendo a demanda por taxas de transmissão de dados cada vez mais altas, inclusive em ambientes *indoor*, como mostra figura 3.1. Assim, devido às grandes perdas na transmissão, as macrocélulas não conseguem fornecer serviços com alta taxa de transmissão para ambientes *indoor*, tirando as áreas próximas a janelas;

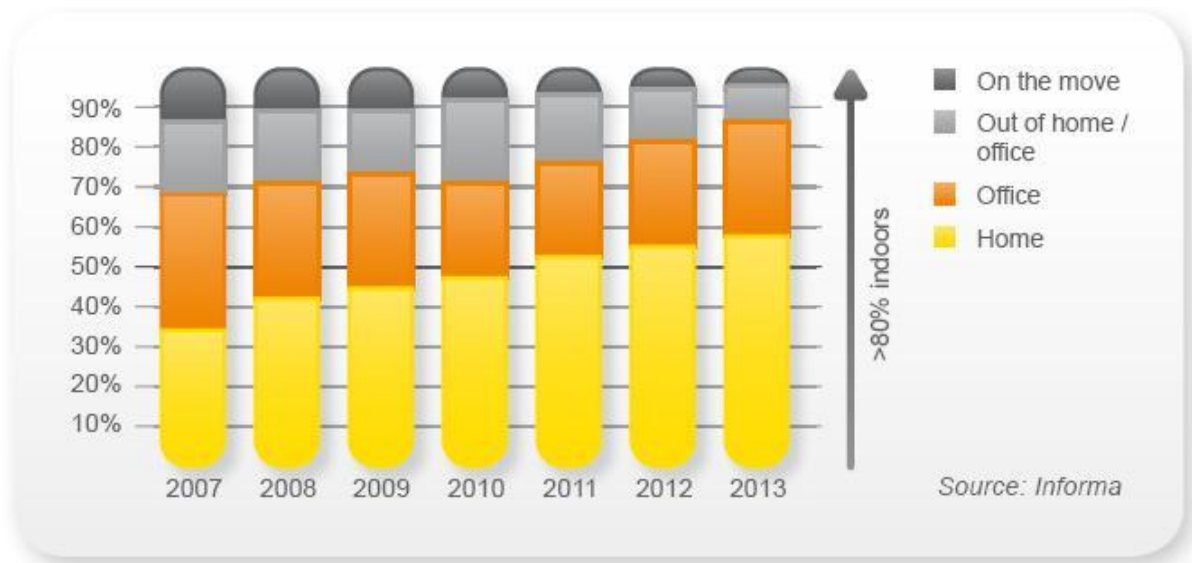


Figura 3.1 – Crescimento do tráfego de dados na comunicação móvel [9]

- Através do uso de femtocélulas pode-se obter grande economia de energia nos equipamentos do usuário. A perda na transmissão para um FAP é muito menor do que para uma BS de macrocélula, assim como a potência de transmissão. A duração das baterias é um dos grandes problemas ao se pensar em fornecer serviços de alta velocidade a dispositivos móveis;
- Um FAP só precisa estar ligado quando os usuários estão em casa ou no trabalho, assim o uso de femtocélulas é mais “verde” do que o de macrocélulas.

3.4 VANTAGENS NA PERSPECTIVA DA OPERADORA [6]:

- Uma grande parte do tráfego pode ser descarregada das macrocélulas, fazendo com que menos delas sejam necessárias, resultando numa grande economia de capital para as operadoras;
- A qualidade do serviço será melhorada, aumentando a fidelidade do consumidor;
- A demanda reduzida por macrocélulas pode permitir que as operadoras compartilhem as macrocélulas da rede LTE;
- São mais baratas quando comparadas a pico-células e outras tecnologias para ambiente *indoor*.

3.5 DESVANTAGENS NA PERSPECTIVA DA OPERADORA [6]:

- As interferências se tornam mais aleatórias e difíceis de controlar. Isso é particularmente problemático para redes CDMA (*Code Division Multiple Access*), pois para melhorar a capacidade da rede as operadoras utilizam as camadas macro e femto na mesma banda de frequência. Assim, a aleatoriedade da interferência das femtocélulas pode causar problemas nas macrocélulas, causando, por exemplo, áreas de sombra na cobertura.

3.6 VANTAGENS NA PERSPECTIVA DO ASSINANTE [6]:

- Além de voz, multimídia, vídeo e serviço de alta velocidade também estarão disponíveis;
- Uma única conta para telefone fixo, banda larga e telefone celular;
- Atua como ponto de conexão para todos os dispositivos domésticos a um servidor e à *Internet*;
- Permite ao usuário trafegar através do ambiente *outdoor* para o *indoor* e vice-versa, com serviços personalizados;
- Economia de energia nos equipamentos, visto que a distância entre o equipamento e a femtocélula é bem menor do que entre o equipamento e a BS (*Base Station*) de macrocélula, reduzindo a potência utilizada na transmissão;
- Possíveis danos à saúde podem ser diminuídos com essa redução na potência de transmissão.

3.7 FAP [6]:

- Incorpora a funcionalidade de uma BS típica;
- Parece com um ponto de acesso *Wi-Fi*, mas também contém todos os elementos do núcleo da rede, por isso só necessita de uma conexão DSL ou a cabo com a *Internet*, através da qual ele é então conectado ao núcleo de rede da operadora;
- Pode ser implementado pelo próprio usuário;

- Deve ser capaz de se configurar automaticamente para que haja mínima interferência com macrocélulas e femtocélulas vizinhas;
- Pode ser classificado em duas categorias: doméstico, que suporta de 3 a 5 usuários simultâneos, e de empresa, que pode suportar de 8 a 16 usuários simultâneos.

3.8 CONTROLE DE ACESSO [6]:

- Femtocélula de acesso público: este método beneficia usuários externos, que podem utilizar femtocélulas que estão próximas, reduzindo o uso dos recursos do sistema de uma forma geral e conseqüentemente reduzindo interferência. A situação é a mesma em relação a femtocélulas vizinhas e é possível que em algumas situações, a potência do sinal de femtocélulas vizinhas seja maior do que a potência da femtocélula do usuário;
- Femtocélula de acesso privado: neste método somente uma lista de usuários registrados pode acessar a femtocélula e deve ser definido qual o critério para esse acesso. Este tipo de acesso faz com que a interferência entre femtocélulas vizinhas seja maior.

Uma pesquisa recente mostra que os consumidores preferem femtocélulas de acesso privado, onde o acesso é permitido somente a alguns usuários, visto que só tem o direito de usá-la quem paga pelo serviço. Porém, dentro de uma empresa, por exemplo, muitas femtocélulas terão que ser utilizadas para cobrir uma área grande e os usuários precisam trafegar livremente de uma femtocélula à outra. Assim, o acesso público se aplica melhor neste caso [6].

4 CELPLANNER™

4.1 VISÃO GERAL

O CelPlanner™ é um programa computacional utilizado para o planejamento e o desenvolvimento de sistemas de comunicação sem fio. Ele permite que engenheiros obtenham resultados de simulação de forma rápida e precisa. O CelPlanner™ trabalha com diversas tecnologias de comunicação sem fio existentes, entre elas: AMPS (*Advanced Mobile Phone System*), GSM, CDMA, GPRS, EDGE (*Enhanced Data rates for GSM Evolution*), WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*), dentre outras. As tecnologias disponíveis variam de acordo com a versão adquirida pelo usuário [10].

O CelPlanner™ implementa grande parte de todo o conhecimento teórico necessário para o desenvolvimento de sistemas sem fio. Ele permite o desenvolvimento de sistemas avaliando parâmetros como predição de cobertura, qualidade do sinal, capacidade de tráfego, interferência entre estações rádio base, etc. O projetista tem boa liberdade para posicionar as estações rádio base, regular a altura das antenas, ajustar a faixa de frequência de operação e potência do sinal, selecionar e ajustar parâmetros dos modelos de predição, informar as perdas em cabos e conectores e diversas outras características de RF [10].

O CelPlanner™ possui uma extensa base de dados que permite ao usuário utilizar modelos de antenas cadastradas, a morfologia e topologia de região estudada e ainda dados relacionados a condições climáticas e precipitação de chuva, observados na região estudada. Outro ponto interessante do programa é que ele permite ao usuário importar e exportar diversas informações em formato texto, possibilitando assim, por exemplo, que o usuário cadastre um novo modelo de antena e sua faixa de operação [10].

Ao iniciar o programa pela primeira vez, o usuário tem a possibilidade de abrir um projeto já existente ou mesmo criar um novo projeto. Ao criar um novo projeto, ele terá de configurar os parâmetros pertinentes à tecnologia utilizada no projeto e, a partir de então, nas próximas seções serão mostradas algumas etapas de configurações básicas para um projeto [10].

4.2 CONFIGURAÇÕES DE PROJETO

Ao iniciar-se um novo projeto, é exibida a janela *Project*, conforme figura 4.1:

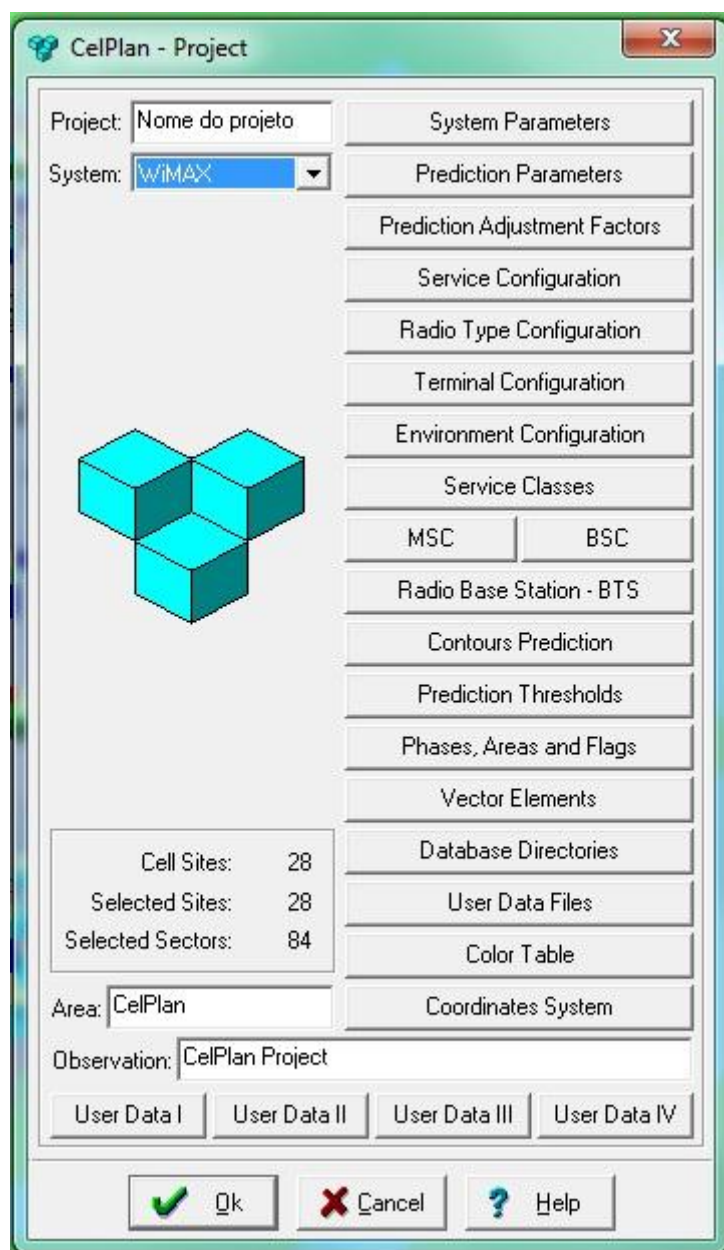


Figura 4.1 – Janela *Project*

Nesta janela foi configurado o nome do projeto e o sistema a ser utilizado. Neste trabalho utilizou-se a versão 9.3 do CelPlanner™, que permite a escolha dos sistemas AMPS, TDMA, GSM, CDMA, WMSG, VIDEO, LMDS (*Local Multipoint Distribution Service*), MMDS (*Multichannel Multipoint Distribution Service*), GPRS, EDGE, UMTS, IS2000, WiMAX, DVB-SH (*Digital Video Broadcasting - Satellite services to Handhelds*) ou LMR (*Land Mobile Radio*) /PMR (*Professional Mobile Radio*), não possuindo o sistema LTE. Sendo assim, utilizou-se o sistema WiMAX, por ser o sistema de maior semelhança de parâmetros com o LTE.

4.2.1 PARÂMETROS DE PREDIÇÃO

Ao clicar-se no botão *Prediction Parameters* da janela da figura 4.1 abre-se a janela da figura 4.2:

Type	Terrain Type Description	Intercept (dB)	Slope (dB/Dec)	Clutter Factor (dB)
☒	00 Water	69.55	44.9	40
☒	01 Low vegetation	69.55	44.9	28.41
☒	02 Medium vegetation	69.55	44.9	3
☒	03 Dense vegetation	69.55	44.9	0
☒	04 Suburban Area	69.55	44.9	9.88
☒	05 Urban Area	69.55	44.9	0
☒	06 Dense Urban Area	69.55	44.9	-6
☐	07	0	0	0
☐	08	0	0	0
☐	09	0	0	0
☐	10	0	0	0
☐	11	0	0	0
☐	12	0	0	0
☐	13	0	0	0
☐	14	0	0	0
☐	15	0	0	0
☐	16	0	0	0
☐	17	0	0	0
☐	18	0	0	0
☐	19	0	0	0
☐	20	0	0	0
☐	21	0	0	0
☐	22	0	0	0
☐	23	0	0	0
☐	24	0	0	0
☐	25	0	0	0
☐	26	0	0	0
☐	27	0	0	0
☐	28	0	0	0
☐	29	0	0	0
☐	30	0	0	0
☐	31	0	0	0
☒	Nd Type not defined	69.55	44.9	28.41

Figura 4.2 – Janela *Prediction Parameters*

Nesta janela são ajustados os parâmetros de predição e, conforme mostra a figura 4.2, foi escolhido o modelo de predição Cost 231 / Hata. Estudos mostram que este modelo pode ser estendido para a faixa de frequências utilizadas por sistemas além da terceira geração móvel celular, operando em frequências até 6 GHz [11].

Este modelo apresenta uma forma básica para tratar ambientes urbanos e fator de correção para diferenciar ambientes característicos de comunicações móveis. A atenuação segundo este modelo é dada por [12]:

$$A_{COST-Hata} = 46,3 + 33,9\log f - 13,82\log h_b - a(h_m) + (44,9 - 6,55\log h_b)\log d + C_m$$

onde f é a frequência de operação em Hertz, h_b é a altura da antena da BS em metros, h_m é a altura da antena do móvel em metros, d é a distância do enlace entre transmissor e receptor em quilômetros, C_m é o fator de correção para ambientes metropolitanos e $a(h_m)$ é o fator de correção relacionado à altura da antena do móvel, dado por [12]:

$$a(h_m) = (1,1 \log f - 0,7)h_m - (1,56 \log f - 0,8)$$

Nesta janela, pode-se ainda configurar a distância inicial (fronteira de início do campo distante), a altura do dispositivo móvel/fatores de área, o tipo de terreno encontrado na região e seus parâmetros específicos, que são utilizados para calcular as perdas de percurso. Outra opção disponível é a possibilidade de habilitar a caixa de seleção que considera a altura efetiva da antena na predição [10].

4.2.1 CONFIGURAÇÃO DE TIPO DE RÁDIO

Ao clicar-se no botão *Radio Type Configuration* da janela da figura 4.1 abre-se a janela da figura 4.3:

CelPlan - Radio Configuration

Radio Configuration

Radio Model: **Radio 1**

System ID: **System 1**

Signature: **02358D19**

Radio Type: **BTS**

Standard: **WiMAX (802.16e-2005)**

Physical Layer: **OFDMA**

Bandwidth (MHz): **10**

Sampling Factor: **28/25**

Cyclic Prefix (CP) Ratio: **1/8**

NFFT Size (Subcarriers): **1024**

Number of Pilot Subcarriers: **-x**

Number of Data Subcarriers: **-x**

FEC Coding: **Convolutional Turbo (CTC)**

HARQ: **Type 1**

Modulation Schemes

Supported		Tx	Rx	ACR (dB)	NACR (dB)
QPSK (6)	1/2	☒	☒	20	30
QPSK (4)	1/2	☒	☒	20	30
QPSK (2)	1/2	☒	☒	20	30
BPSK	1/2	☐	☐	20	30
BPSK	3/4	☐	☐	20	30
QPSK	1/2	☒	☒	20	30
QPSK	3/4	☒	☒	20	30
16 QAM	1/2	☒	☒	20	30
16 QAM	3/4	☒	☒	20	30
64 QAM	1/2	☒	☒	20	30
64 QAM	2/3	☒	☒	20	30
64 QAM	3/4	☒	☒	20	30
64 QAM	5/6	☒	☒	20	30

Permutation

Supported	Tx	Rx
AMC 1-6	☒	☒
AMC 2-3	☒	☒
AMC 3-2	☒	☒
FUSC	☒	☐
OFUSC	☒	☒
PUSC	☒	☒
OPUSC	☐	☒
TUSC	☒	☐
TUSC-2	☒	☐

Frame Structure

Frame Duration (ms): **5**

Duplex Mode: **TDD**

Maximum Desired Cell Radius (Km): **6**

RTG (Transition UL to DL) (μs): **60**

TTG (Transition DL to UL) (μs): **105**

TDD DL-Ratio (BTS to UE): **0.5**

Control Symbols per Frame - DL: **2**

Control Symbols per Frame - UL: **1**

RF Characteristics

Tx Maximum Output Power (W): **39.81**

Tx Minimum Output Power (W): **0.001**

Rx Noise Figure (dB): **7**

Permutation Zones

Antenna Systems

Rx Performance

Radio Type 1 / 32

Ok **Cancel** **Help**

Figura 4.3 – Janela *Radio Type Configuration*

Na parte de configuração de rádio foram ajustados os parâmetros:

- Tipo de rádio: BTS (*Base Transciever Station*) e CPE (*Customer Premises Equipments*);
- Camada física: OFDMA [13];
- Largura de banda: 10 MHz [13].

Na parte de esquemas de modulação suportados foram selecionados os parâmetros: QPSK, 16-QAM e 64-QAM [9].

Na parte de características RF-FE foram configurados os parâmetros:

- Potência máxima de transmissão: 39,81 W [14];
- Potência mínima de transmissão: 0,001 W;
- Figura de ruído – 7 dB [14].

Devem ser configurados pelo menos dois tipos de rádio configuráveis, um para BTS e outro para CPE. Os tipos de rádios configurados devem possuir algumas características em comum para que sejam compatíveis e possam trabalhar corretamente na simulação [10].

4.2.3 CONFIGURAÇÃO DE TERMINAL

Ao clicar-se no botão *Terminal Configuration* da janela da figura 4.1 abre-se a janela da figura 4.4:

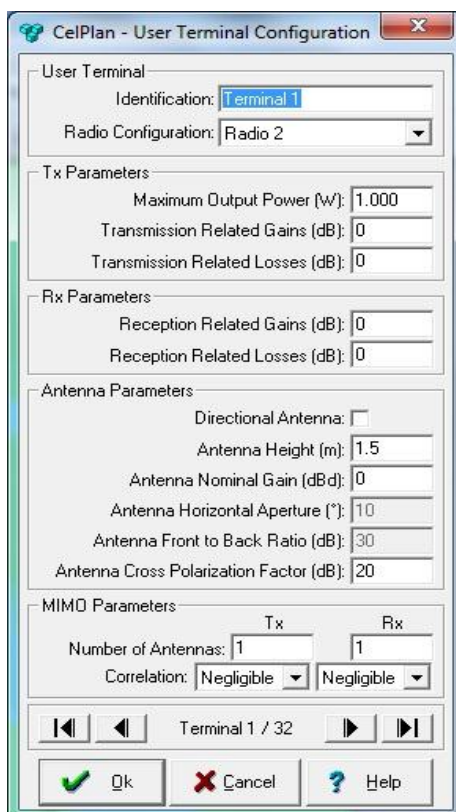


Figura 4.4 – Janela *Terminal Configuration*

Nesta janela, podem-se configurar parâmetros do terminal do usuário. Configurou-se, para o Terminal 1, a máxima potência de saída como 1 W; a altura da antena como 1,5 m e o número de antenas MIMO como 1 para transmissão e 1 para recepção.

4.2.4 CONFIGURAÇÃO DO AMBIENTE

Ao clicar-se no botão *Environment Configuration* da janela da figura 4.1 abre-se a janela da figura 4.5:

CelPlan - Environment Configuration

Environment
 Identification: Indoor
 Mobility: Static

Attenuation
☒ Human Body Attenuation
 Distribution: Gaussian
 Mean Attenuation (dB): 3
 Standard Deviation (dB): 2
☒ Penetration Attenuation
 Distribution: Gaussian
 Mean Attenuation (dB): 10
 Standard Deviation (dB): 6

Rain Precipitation
☒ Rain Precipitation Margin
 Punctual Precipitation Rate (mm/h): 145
 Required Service Availability (%): 99.9000

Fading
 Area Attenuation Factor (dB/Dec): 35
 Coverage Probability (%): 90
 Probability Universe: Area
 Intra Cell Correlation Factor: 0.7
 Inter Cell Correlation Factor: 0.2
☒ Shadow Fading
 Distribution: Log-Normal
 Standard Deviation (dB): 4
☒ Multipath Fading
 Distribution: Rayleigh

Results
 Fading Severity: Medium
 Prediction Margin (dB): 18.781

Restore Defaults

Environment 1 / 32

Ok Cancel Help

Figura 4.5 – Janela *Environment Configuration* para o ambiente *indoor*

Nesta janela, foram criados dois tipos de ambientes para a predição em diferentes cenários. A figura 4.5 mostra as características do ambiente *indoor*, enquanto a figura 4.6 mostra as características do ambiente *outdoor*.

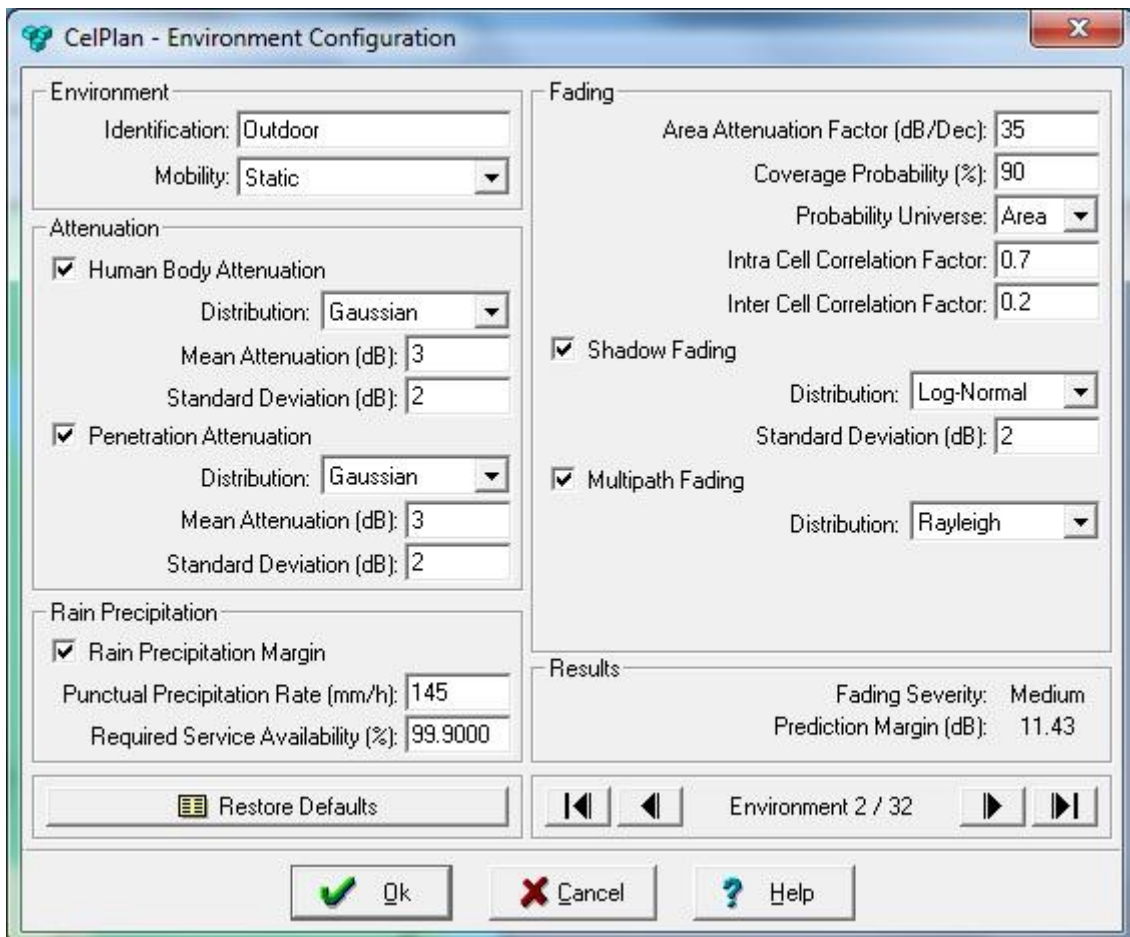


Figura 4.6 – Janela *Environment Configuration* para o ambiente *outdoor*

Para estes cenários considerou-se a atenuação média para o corpo humano como 3 dB; desvio padrão de 2 dB; distribuição gaussiana; taxa de precipitação de chuva de 145 mm/h; disponibilidade de serviço de 99,9%; fator de atenuação de área de 35 dB/dec; mobilidade de cobertura de 90%; fator de correlação intracelular de 0,7 e intercelular de 0,2; desvanecimento multipercurso modelado pela distribuição de Rayleigh.

Para o ambiente *indoor*, foi considerada uma atenuação média por penetração de 10 dB com desvio padrão de 6 dB e o desvanecimento em região de sombra com distribuição Log-Normal e desvio padrão de 4 dB. Já para o ambiente *outdoor*, foi considerada uma atenuação média por penetração de 3 dB com desvio padrão de 2 dB e o desvanecimento em região de sombra com distribuição Log-Normal e desvio padrão de 2 dB.

4.2.5 CLASSES DE SERVIÇO

Ao clicar-se no botão *Service Classes* da janela da figura 4.1 abre-se a janela da figura 4.7:

Class	Identification	Service	Terminal	Environment	Traffic	Traffic Factor	Color
☒	Class 1	Service 1	Terminal 1	Indoor	Traffic I	1	Red
☒	Class 2	Service 1	Terminal 1	Outdoor	Traffic II	1	Green
☐	Class 3	Service 1	Terminal 1	Outdoor 2	Traffic III	1	Grey
☐	Class 4	Service 1	Terminal 1	Outdoor 3	Traffic IV	1	Grey
☐	Class 5	Service 1	Terminal 1	Environment 13	Traffic V	1	Grey
☐	Class 6	Service 1	Terminal 1	Environment 16	Traffic VI	1	Grey
☐	Class 7	Service 1	Terminal 5	Outdoor 2	Traffic I	1	Grey
☐	Class 8	Service 1	Terminal 5	Outdoor 3	Traffic II	1	Grey
☐	Class 9	Service 1	Terminal 5	Environment 7	Traffic III	1	Grey
☐	Class 10	Service 1	Terminal 5	Environment 10	Traffic IV	1	Grey
☐	Class 11	Service 1	Terminal 5	Environment 13	Traffic V	1	Grey
☐	Class 12	Service 1	Terminal 5	Environment 16	Traffic VI	1	Grey
☐	Class 13	Service 7	Terminal 1	Outdoor 2	Traffic I	1	Grey
☐	Class 14	Service 7	Terminal 1	Outdoor 3	Traffic II	1	Grey
☐	Class 15	Service 7	Terminal 1	Environment 7	Traffic III	1	Grey
☐	Class 16	Service 7	Terminal 1	Environment 10	Traffic IV	1	Grey

Selected Service Class: ● Class 1

Ok Cancel Help

Figura 4.7 – Janela *Service Classes*

Nesta janela, é possível criar classes, combinando os diferentes tipos de serviço, terminal, ambiente e tráfego. Para a Classe 1, definiu-se o Terminal 1 e o ambiente *indoor*. Para a Classe 2, definiu-se o Terminal 1 e o ambiente *outdoor*.

4.2.6 ESTAÇÃO RÁDIO BASE

Ao clicar-se no botão *Radio Base Station - BTS* da janela da figura 4.1 abre-se a janela da figura 4.8. Esta janela apresenta os parâmetros das BS's contidas na simulação. A figura 4.8 mostra os parâmetros definidos para as BS's de macrocélula, enquanto a figura 4.9 mostra os parâmetros definidos para os FAP's.

CelPlan - Radio Base Station - BTS

Site: BTS01
Latitude: 15° 46' 47.71" S
Longitude: 047° 53' 18.30" W
Name: Base Station BTS01

BSC: BSC01
MSC: MSC01

☒ Power From Link Budget
☐ Neighbor System Site
☐ Override Terrain Altitude: 0 m

Type: Standard
Donor: BTS03
Icon Overlay: Resolution: 3" Radius: 1 Km
Sectors: 3
Model: V - Cost 231/Hata
Parameters: Prd 1
Adjustments: Ajt 1

☒ Active
Phase: Phase 1
Area: Area 1

F01
F02
F03
F04
F05
F06
F07
F08

Str	Cod	Typ	Azm	Tlt	Aht	Antenna	PITx	PIRx	Pwr	Frq	Mrg
1	C1	TR	80	5	35.0	Bog B24SS 0	V	V	1259	2.5	0
2	C2	TR	200	5	35.0	Bog B24SS 0	V	V	1259	2.5	0
3	C3	TR	320	5	35.0	Bog B24SS 0	V	V	1259	2.5	0

Color Antenna Link Budget Resources
Caller Location Neighbors List Licensing User Data

Selected Site 1 / 28

Ok Cancel Help Delete New

Figura 4.8 – Janela *Radio Base Station – BTS* para a BS

CelPlan - Radio Base Station - BTS

Site: FC02
Latitude: 15° 47' 39.00" S
Longitude: 047° 53' 24.70" W
Name: Femtocell FC02

BSC: BSC01
MSC: MSC01

☒ Power From Link Budget
☐ Neighbor System Site
☐ Override Terrain Altitude: 0 m

Type: Standard
Donor: BTS03
Icon Overlay: Resolution: 0.1" Radius: 0.1 Km
Sectors: 1
Model: V - Cost 231/Hata
Parameters: Prd 1
Adjustments: Ajt 1

☒ Active
Phase: Phase 1
Area: Area 1

F01
F02
F03
F04
F05
F06
F07
F08

Str	Cod	Typ	Azm	Tlt	Aht	Antenna	PITx	PIRx	Pwr	Frq	Mrg
1	Af1	TR	80	5	1.0	5100	V	V	0.100	2.5	0
2	Af2	TR	200	5	35.0	Bog B24SS 0	V	V	1203	2.5	0
3	Af3	TR	320	5	35.0	Bog B24SS 0	V	V	1203	2.5	0

Color Antenna Link Budget Resources
Caller Location Neighbors List Licensing User Data

Selected Site 29 / 254

Ok Cancel Help Delete New

Figura 4.9 – Janela *Radio Base Station – BTS* para o FAP

Para as BS's, definiu-se uma divisão em 3 setores; raio da célula de 1 km e antena B24SS do fabricante Bogner, que possui ganho nominal de 17,8 dBd. Esta antena trabalha na faixa de 2,5 GHz a 2,7 GHz, conforme mostrado na figura 4.10. Para o FAP, definiu-se uma célula com somente 1 setor, raio de 100m* e antena Cm4338, que também opera na faixa de 2,5 GHz a 2,7 GHz, conforme mostrado na figura 4.11.

Nesta janela também se definiu a posição das BS's e dos FAP's através da latitude e longitude, bem como a altura em relação ao solo, o ângulo de azimuth e o ângulo de tilt entre cada setor das BS's e a frequência de operação.

*Obs.: 100 metros é o valor mínimo de janela para o raio que é aceito pelo CelPlanner™. Uma femtocélula residencial possuirá raio muito menor do que 100 m.

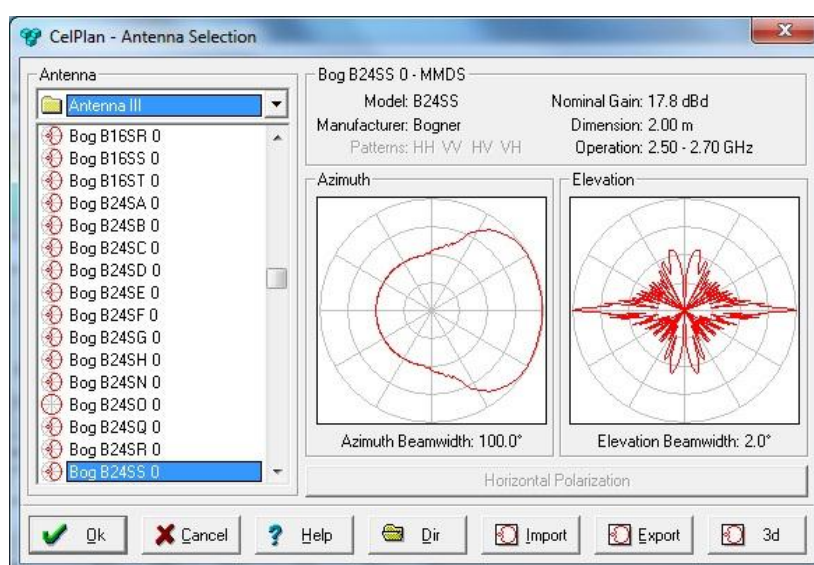


Figura 4.10 – Janela *Antenna Selection* para a BS

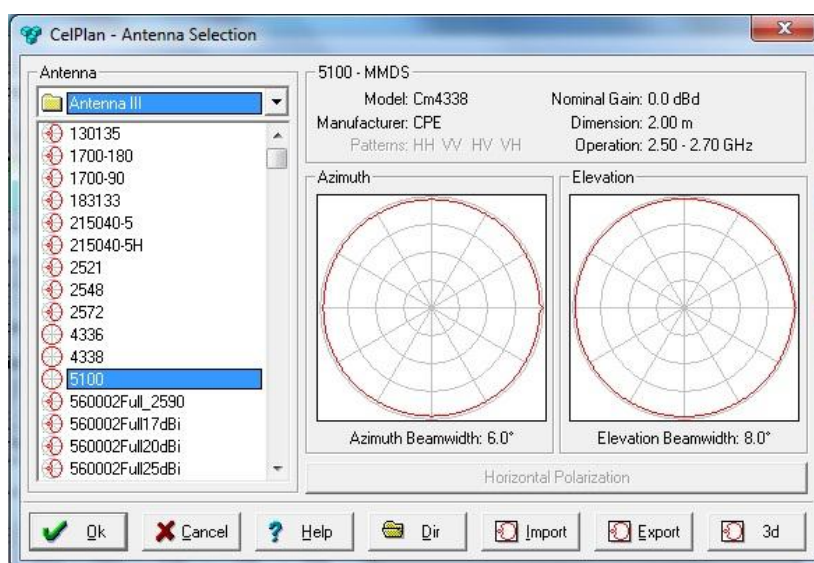


Figura 4.11 – Janela *Antenna Selection* para o FAP

Ao clicar-se no botão *Link Budget*, abre-se a janela da figura 4.12:

CelPlan - Radio Base Station - Link Budget

Tx Parameters

- Amplifier Output Power (W): 39.81
- Transmission Gains (dB): 0
- Transmission Losses (dB): 0
- Cable Loss (dB/100 m): 22.2
- Cable Length (m): 9
- Connection Loss (dB): 0.5
- Number of Connections: 2
- Base Antenna Tx Gain (dBd): 18

Rx Parameters

- Subscriber Output Power (W): 1.000
- Base Antenna Rx Gain (dBd): 18
- Reception Gains (dB): 0
- Reception Losses (dB): 0
- Connection Loss (dB): 0.5
- Number of Connections: 0
- Cable Loss (dB/100 m): 4
- Cable Length (m): 0

MIMO Parameters

- Number of Tx Antennas: 2
- Number of Rx Antennas: 2
- Correlation: Negligible
- Correlation: Negligible

Beamforming

- Number of Tx Antenna Elements: 1
- Number of Rx Antenna Elements: 1

Effective Radiated Power: 1259 W (61.0 dBm) dBm

Service Class:

- Class 1

Power Balance

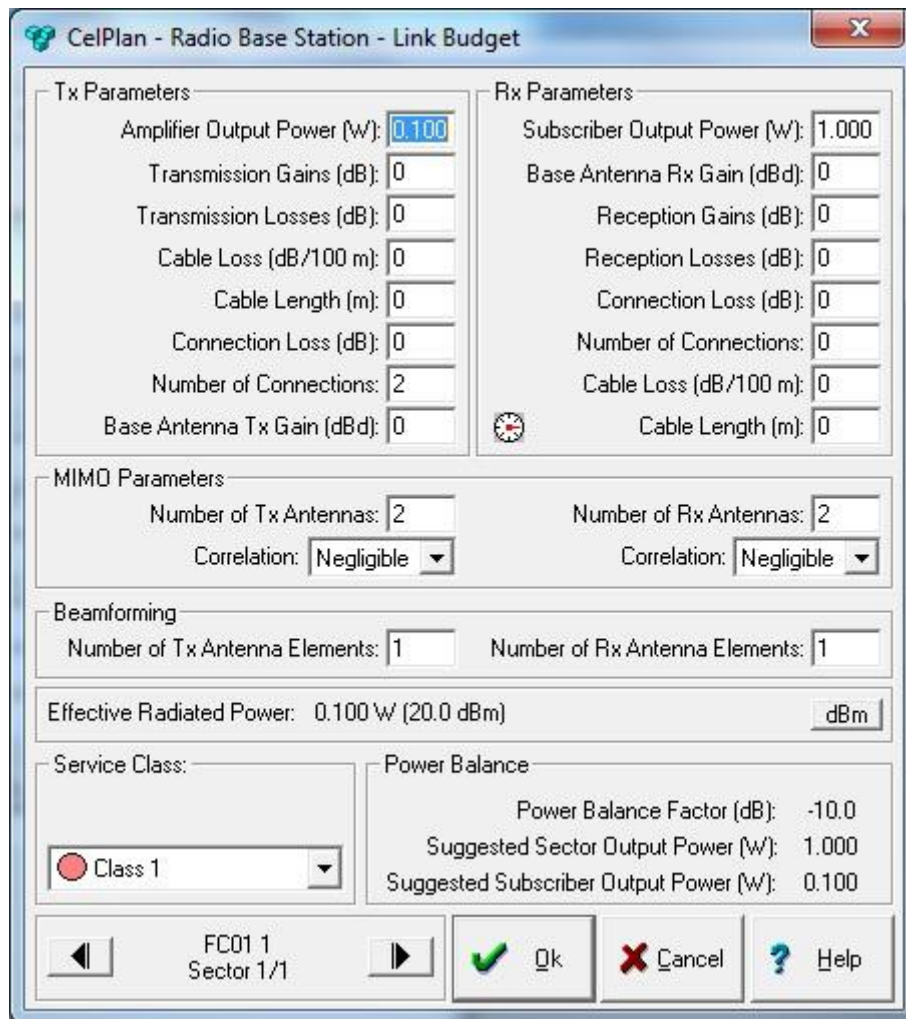
- Power Balance Factor (dB): 13.0
- Suggested Sector Output Power (W): 1.994
- Suggested Subscriber Output Power (W): 1.000

Navigation: BTS03 1 Sector 1/3 | [Back] [Forward] | [Ok] [Cancel] [Help]

Figura 4.12 – Janela *Link Budget* para a BS

A figura 4.12 representa os parâmetros ajustados para a BS. A saber:

- Potência de saída do transmissor: 39.81 W ou 46 dBm [14];
- Perda por cabo: 22,2 dB/100 m [15];
- Comprimento do cabo: 9 m;
- Perda por conexão: 0.5 dB;
- Potência de saída do receptor: 1 W;
- Ganho de transmissão da antena de base: 18 dBd [14];
- Ganho de recepção da antena de base: 18 dBd [14].



CelPlan - Radio Base Station - Link Budget

Tx Parameters

- Amplifier Output Power (W): 0.100
- Transmission Gains (dB): 0
- Transmission Losses (dB): 0
- Cable Loss (dB/100 m): 0
- Cable Length (m): 0
- Connection Loss (dB): 0
- Number of Connections: 2
- Base Antenna Tx Gain (dBd): 0

Rx Parameters

- Subscriber Output Power (W): 1.000
- Base Antenna Rx Gain (dBd): 0
- Reception Gains (dB): 0
- Reception Losses (dB): 0
- Connection Loss (dB): 0
- Number of Connections: 0
- Cable Loss (dB/100 m): 0
- Cable Length (m): 0

MIMO Parameters

- Number of Tx Antennas: 2
- Correlation: Negligible
- Number of Rx Antennas: 2
- Correlation: Negligible

Beamforming

- Number of Tx Antenna Elements: 1
- Number of Rx Antenna Elements: 1

Effective Radiated Power: 0.100 W (20.0 dBm) **dBm**

Service Class: Class 1

Power Balance

- Power Balance Factor (dB): -10.0
- Suggested Sector Output Power (W): 1.000
- Suggested Subscriber Output Power (W): 0.100

FC01 1 Sector 1/1

Ok Cancel Help

Figura 4.13 – Janela *Link Budget* para o FAP

A figura 4.13 representa os parâmetros ajustados para o FAP. A saber:

- Potência de saída do transmissor: 0,100 W ou 20 dBm [14];
- Potência de saída do receptor: 1 W;

4.2.7 LIMIARES DE PREDIÇÃO

Ao clicar-se no botão *Prediction Thresholds* na janela da figura 4.1, abre-se a janela da figura 4.14:

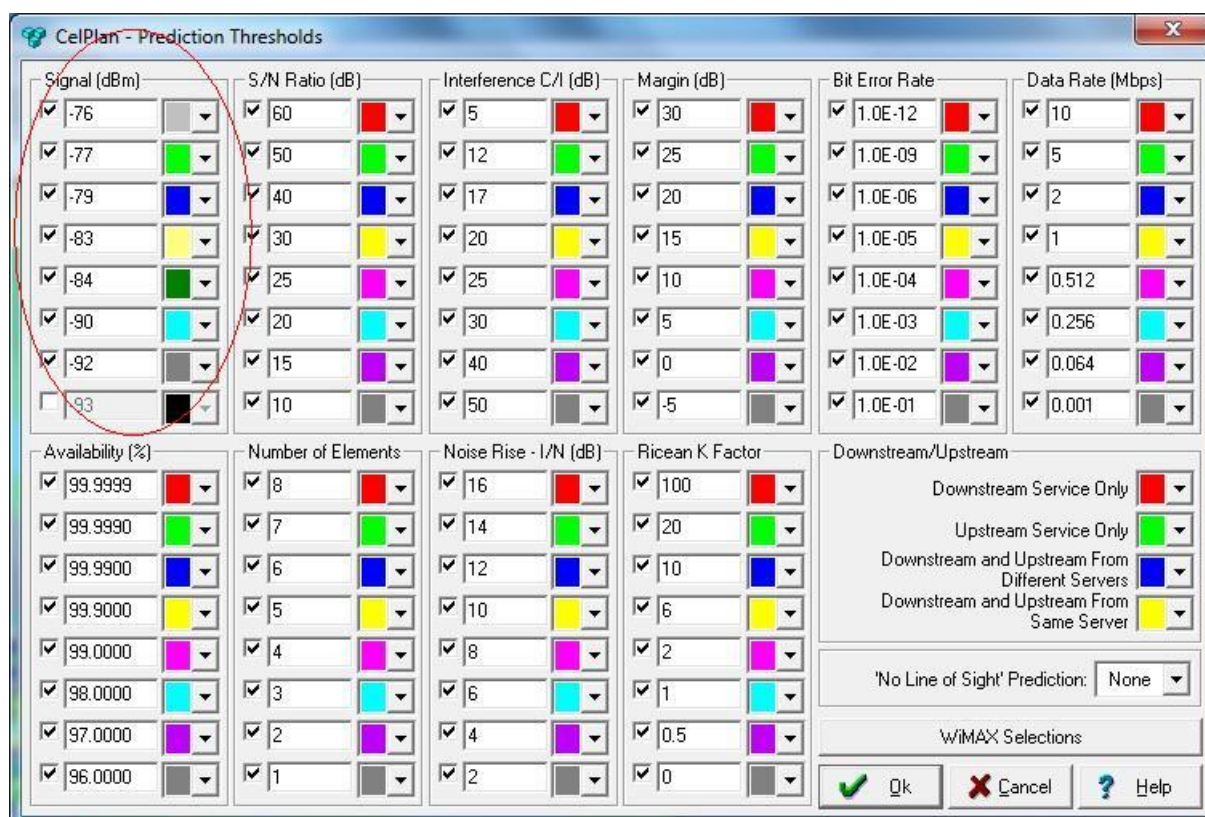


Figura 4.14 – Janela *Prediction Thresholds*

Nesta janela, definem-se as cores que serão mostradas na predição para cada nível de intensidade do sinal. A figura 4.15 mostra essa configuração:

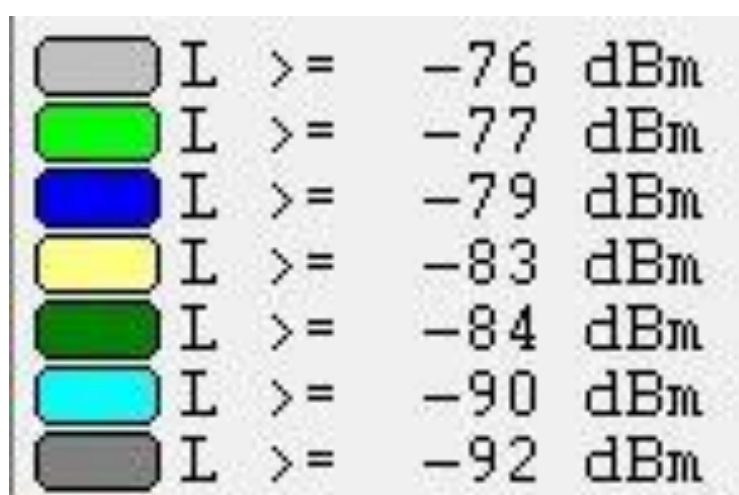


Figura 4.15 – Cores para cada nível de sinal

Os valores para cada nível foram configurados conforme a figura 4.16 [16], para uma banda de frequência de 10 MHz.

Reference Sensitivity

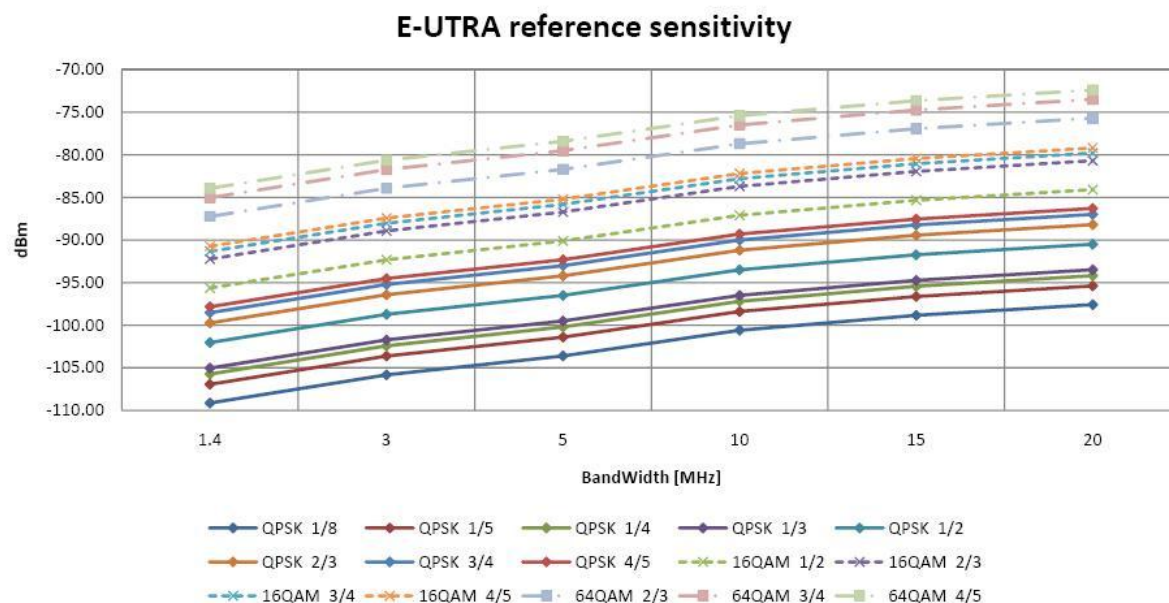


Figura 4.16 – Sensibilidade do sistema [16]

4.2.8 DIRETÓRIOS DA BASE DE DADOS

Ao clicar-se no botão *Database Directories* da janela da figura 4.1 abre-se a janela da figura 4.17:

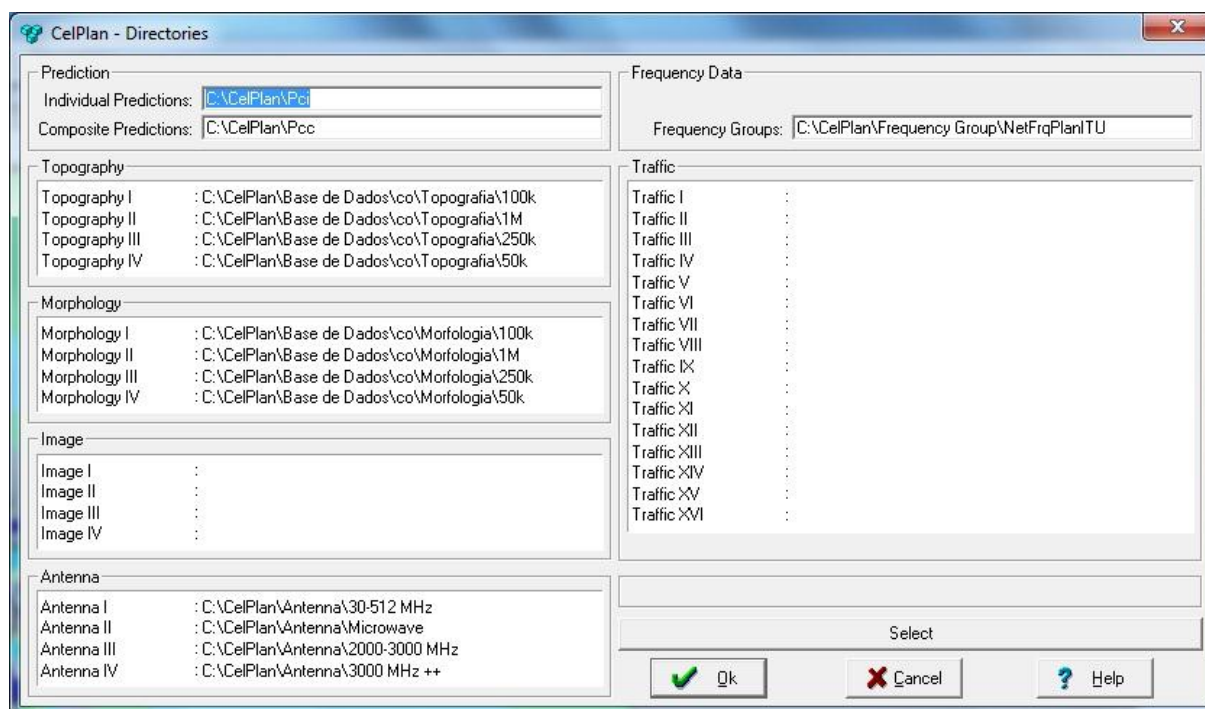


Figura 4.17 – Janela *Directories*

Nesta janela, definem-se os caminhos dos diretórios que contêm as bases de dados utilizadas pelo programa e o caminho de saída para dados gerados pelo programa.

Entre os diretórios que compõem a base de dados do programa tem-se a topografia, morfologia, imagens da região de trabalho, antenas, dados de frequência e tráfego. Os demais diretórios são utilizados para armazenar os dados de predição de cobertura gerados pelo programa ao longo das simulações. A configuração destes itens é de extrema importância e necessária para o funcionamento do programa [10].

4.3 CONCLUSÃO

Neste capítulo foram apresentados a análise da ferramenta CelPlanner™ e todos os ajustes feitos para simular a cobertura LTE com a utilização de femtocélulas. Serão mostradas no capítulo 5 as predições para os ambientes *outdoor* e *indoor*.

5 RESULTADOS DA PREDIÇÃO LTE COM FEMTOCÉLULAS

5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Neste capítulo será mostrado o resultado das predições feitas utilizando o programa CelPlanner™ e será feita uma comparação com as redes de telefonia celular existentes em Brasília. Para isso, serão analisados 5 tipos diferentes de cenário. A saber:

- *Outdoor* com usuário estático e 28 BS's;
- *Outdoor* com usuário estático e 70 BS's;
- *Indoor* com 28 BS's;
- *Indoor* com 70 BS's;
- *Indoor* com 28 BS's e 226 femtocélulas.

5.2 RESULTADOS

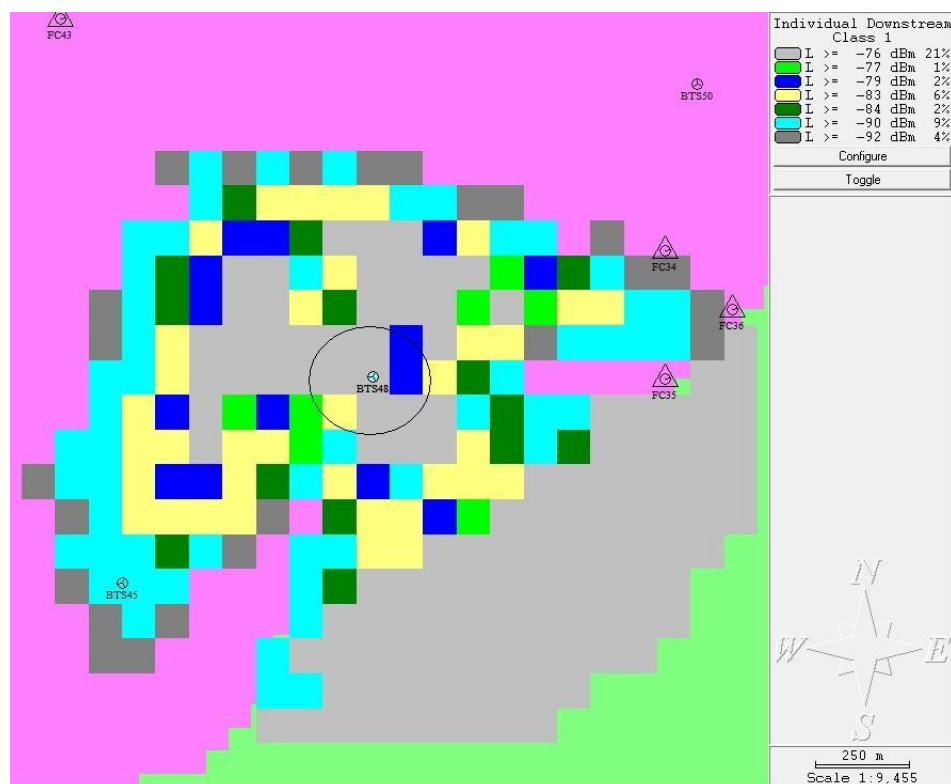


Figura 5.1 – Predição individual de uma BS

A figura 5.1 mostra a predição individual de uma BS (circulada na figura e representada pelo círculo de três setores), onde a parte representada pela cor rosa é a parte não coberta pela célula (escala de 250 m).

A figura 5.2 mostra a predição individual de uma femtocélula (representada pelo triângulo circunscrito ao círculo de um setor), onde a parte representada pela cor rosa é a parte não coberta pela célula (escala de 25 m).

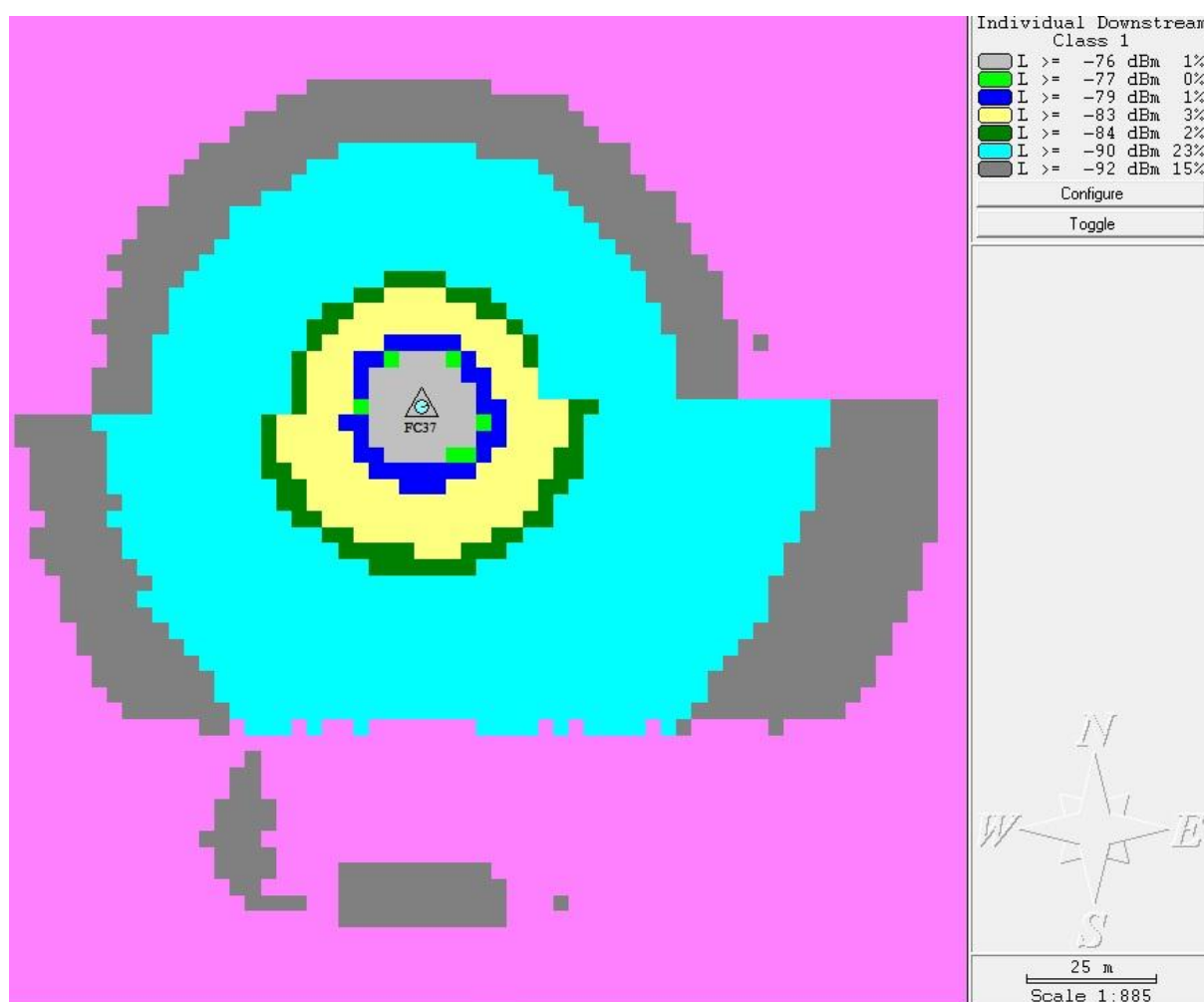


Figura 5.2 - Predição individual de uma femtocélula

5.2.1 OUTDOOR COM USUÁRIO ESTÁTICO E 28 BS's

A figura 5.3 mostra a morfologia da região e as 28 BS's configuradas para este cenário (escala de 2 Km).

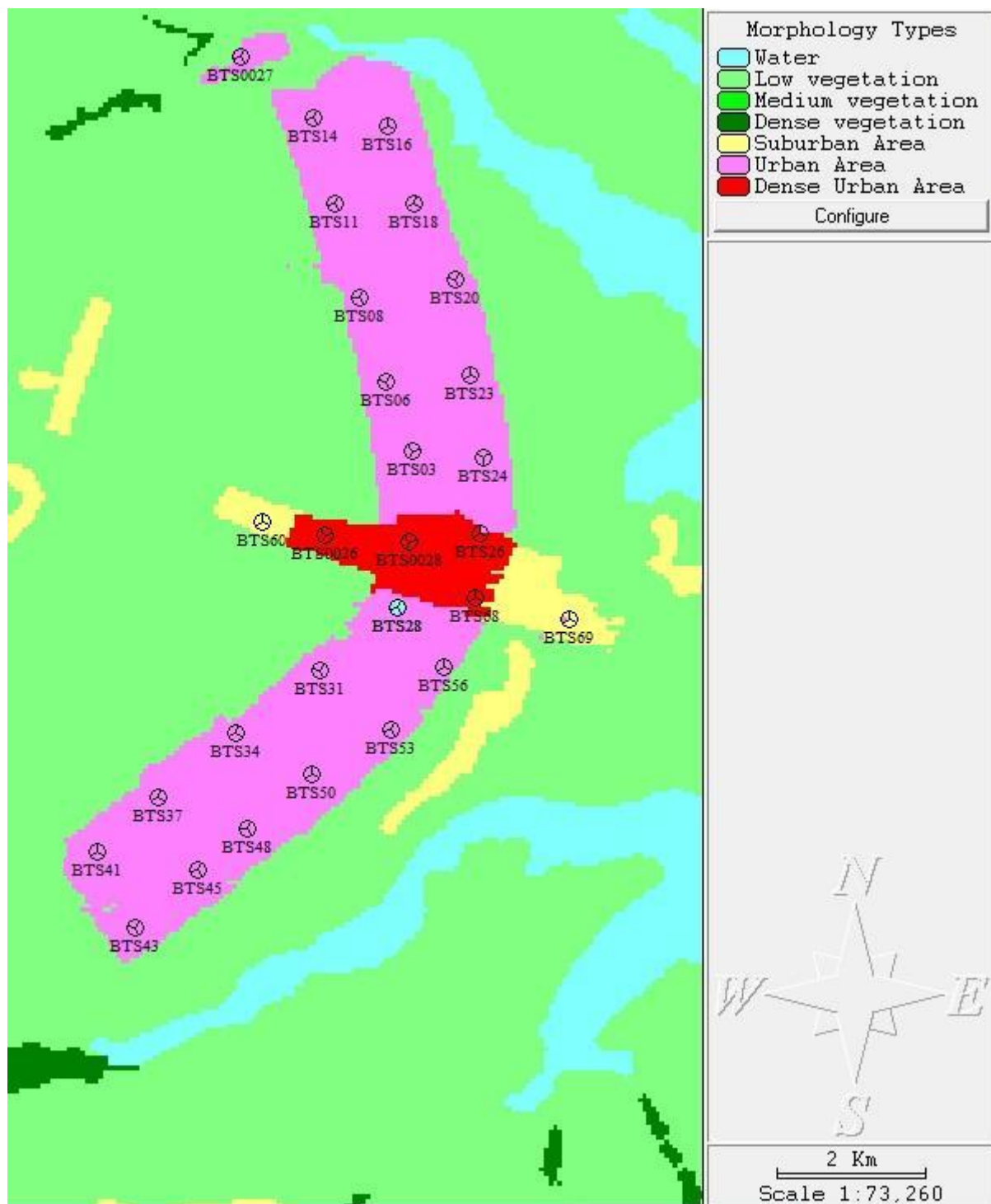


Figura 5.3 – Morfologia do cenário *outdoor* com usuário estático e 28 BS's

As figuras 5.4 e 5.5 mostram, respectivamente, a predição de cobertura *downstream* e *upstream* deste cenário (escala de 2 Km).

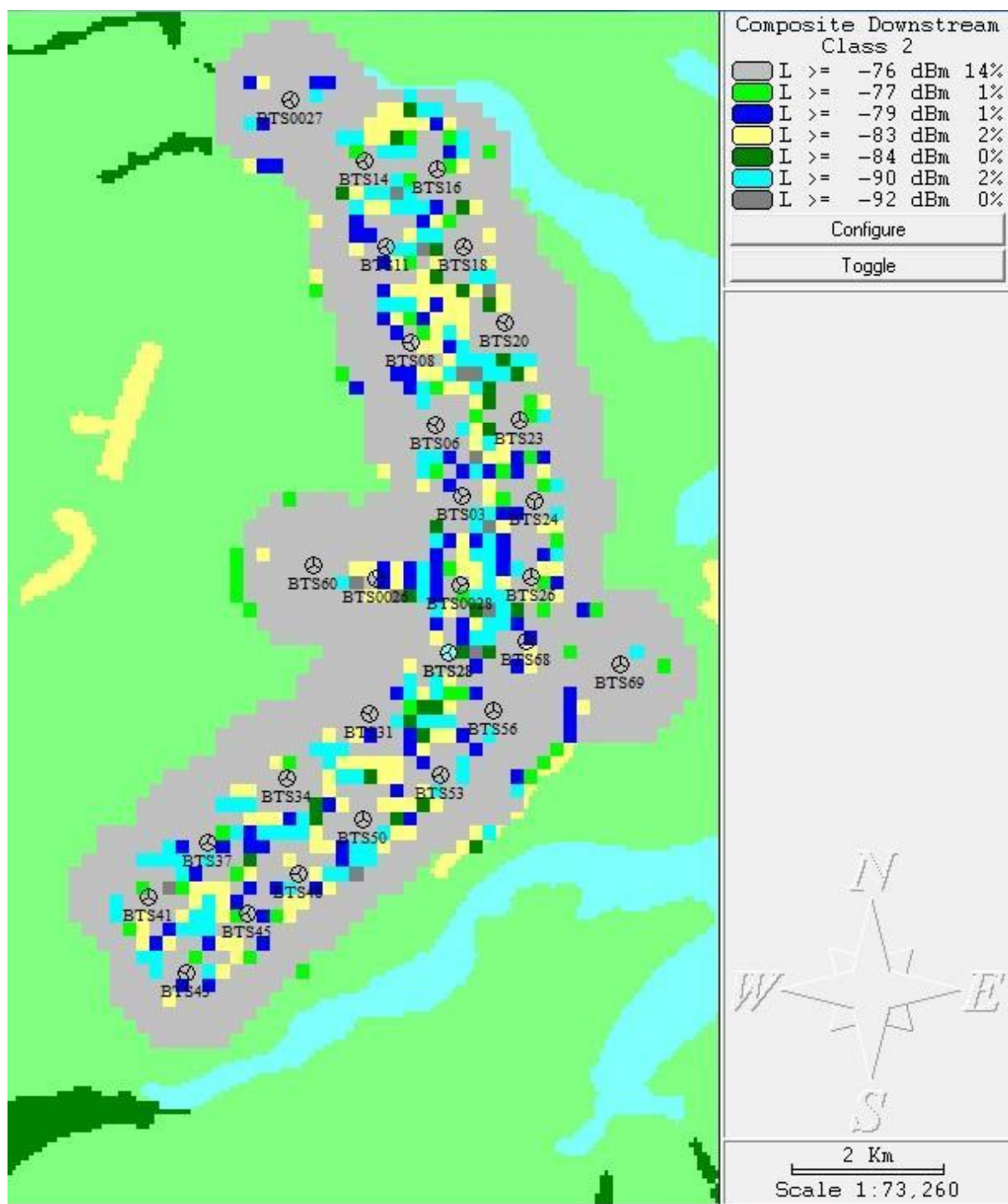


Figura 5.4 – Predição *downstream* do cenário *outdoor* com usuário estático e 28 BS's

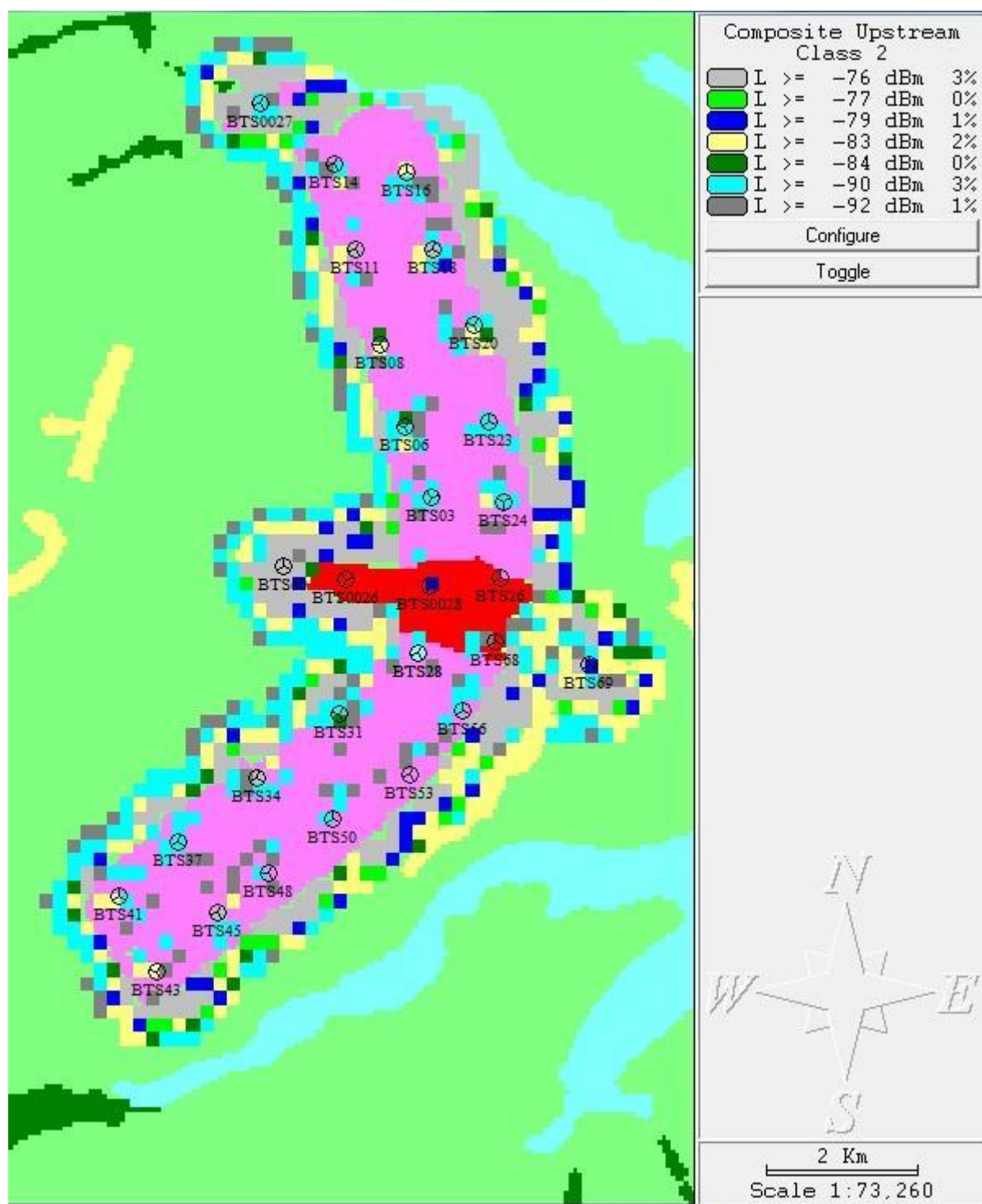


Figura 5.5 - Predição *upstream* do cenário *outdoor* com usuário estático e 28 BS's

Após análise das figuras 5.4 e 5.5 percebe-se que para este cenário a cobertura *downstream* é completamente satisfeita, pois não apresenta nenhuma área de sombra, que são representados pelas cores vermelho e rosa, além de apresentar em sua maior parte sinais com intensidade maior que -76 dBm (a melhor possível, representada pela cor cinza claro). Já para a cobertura *upstream*, somente as bordas do Plano Piloto são contempladas, deixando a maior parte do interior com áreas de sombra na cobertura.

Para melhorar a cobertura *upstream* foram adicionadas mais BS's e a análise será feita no próximo tópico.

5.2.2 OUTDOOR COM USUÁRIO ESTÁTICO E 70 BS's

A figura 5.6 mostra a morfologia da região e as 70 BS's utilizadas neste cenário (escala de 2 Km).

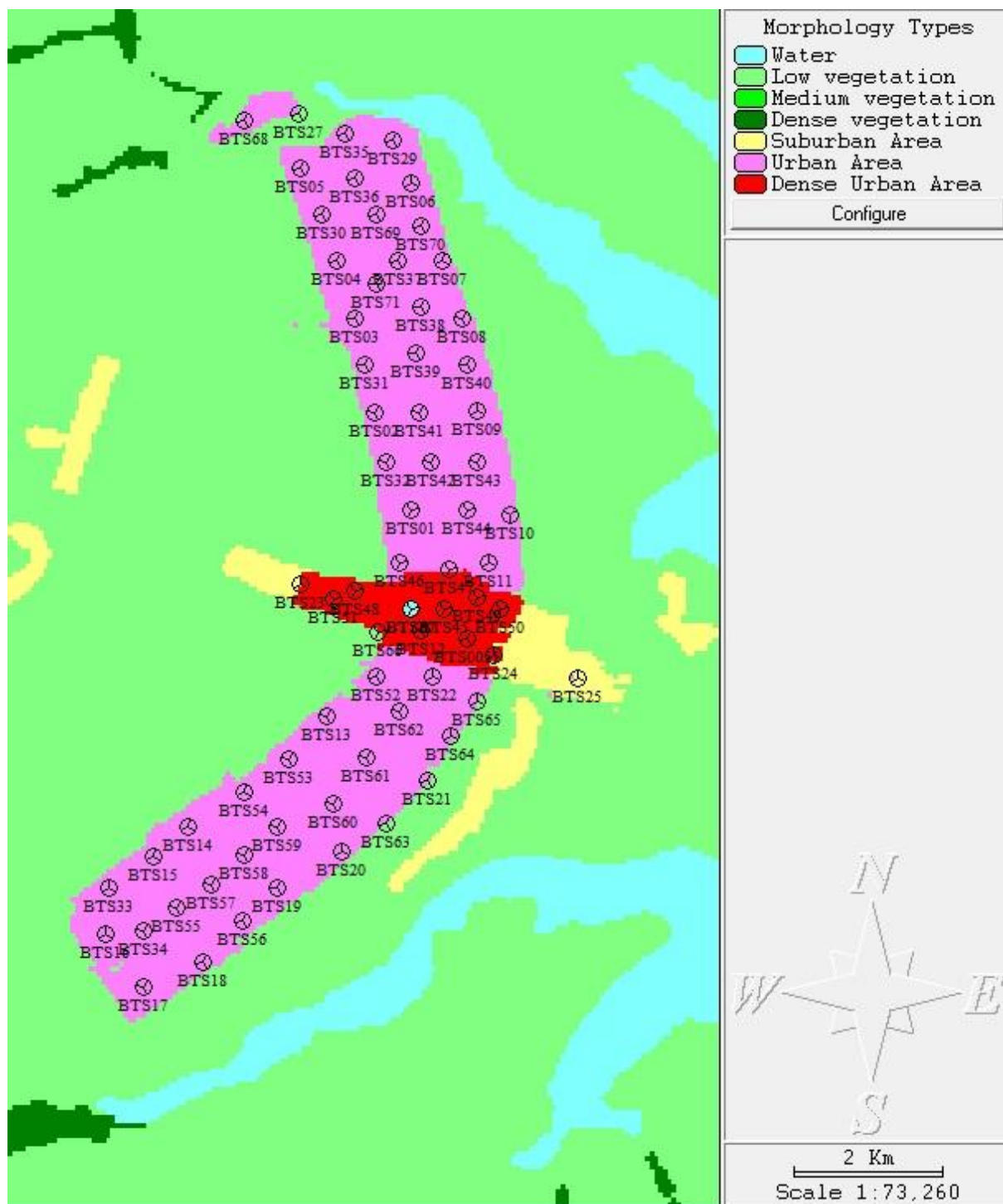


Figura 5.6 - Morfologia do cenário *outdoor* com usuário estático e 70 BS's

As figuras 5.7 e 5.8 mostram, respectivamente, a predição *downstream* e *upstream* deste cenário (escala de 2 Km).

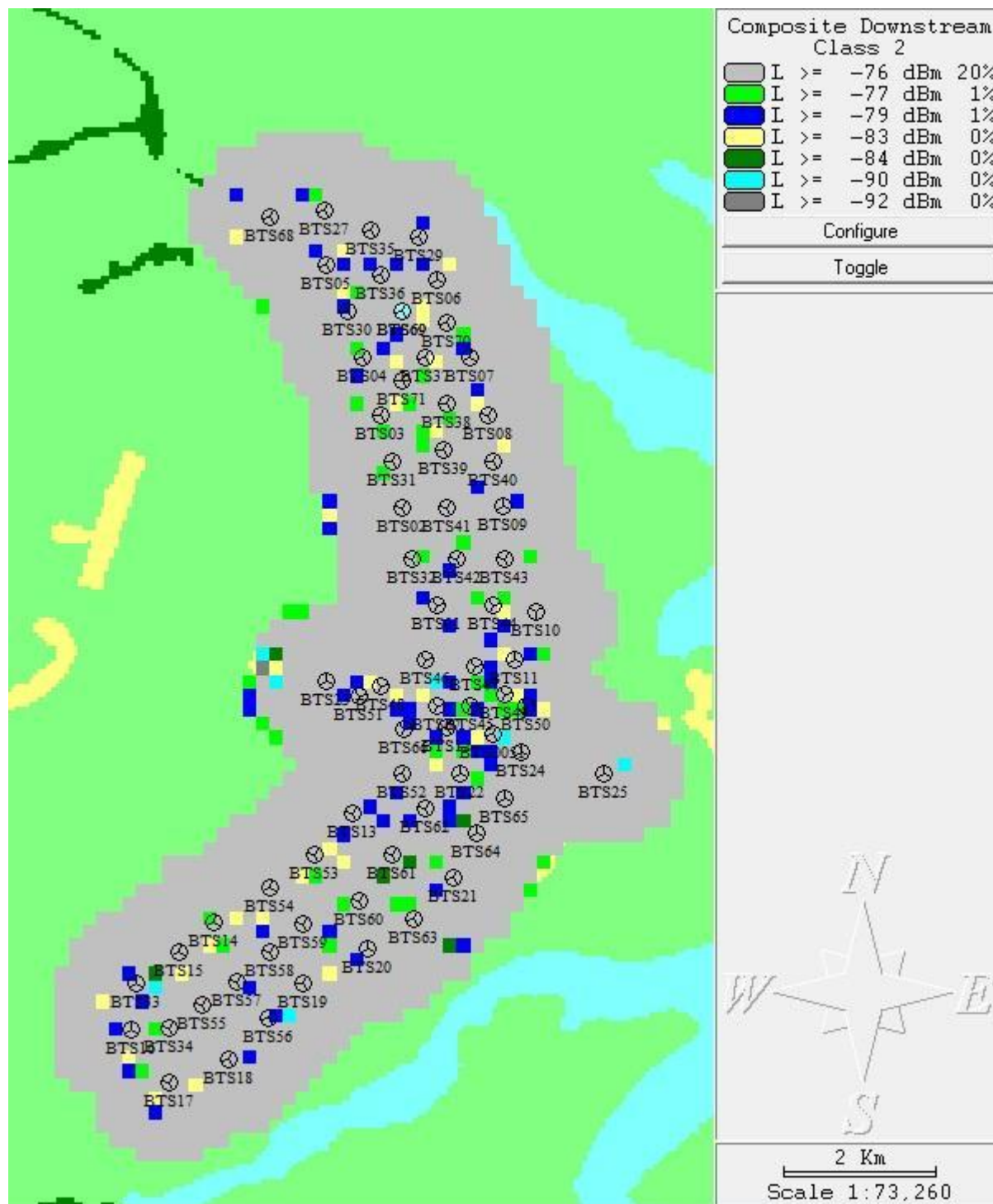


Figura 5.7 - Predição *downstream* do cenário *outdoor* com usuário estático e 70 BS's

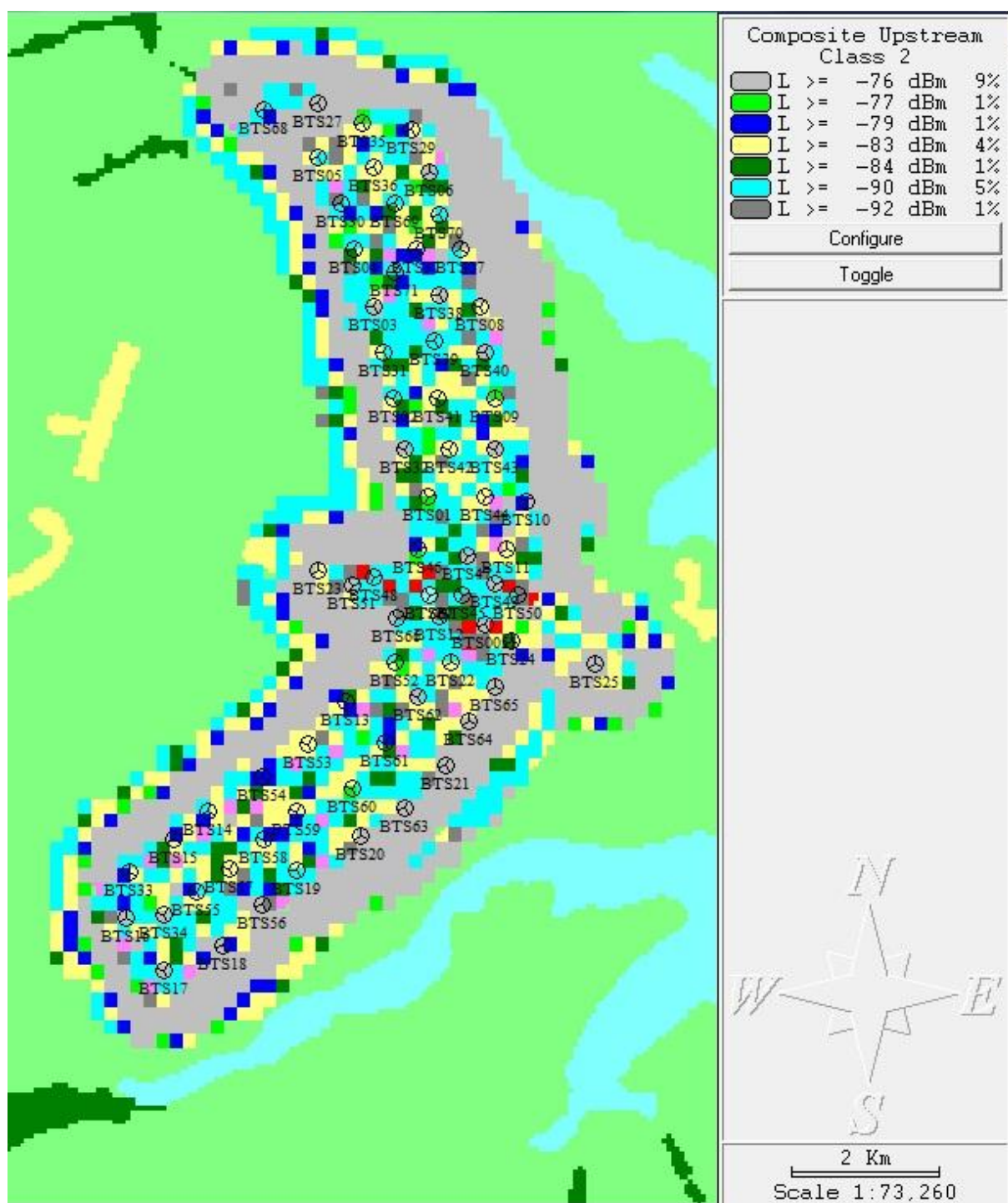


Figura 5.8 - Predição *upstream* do cenário *outdoor* com usuário estático e 70 BS's

Após a análise das figuras 5.7 e 5.8 percebe-se que com a adição de mais BS's a cobertura *downstream*, que já era boa, ficou ainda melhor, com o nível de intensidade dos sinais maior que -76 dBm abrangendo uma área ainda maior. Para a cobertura *upstream* percebe-se uma melhora significativa, porém ainda ocorrem áreas de sombra isoladas na cobertura.

5.2.3 INDOOR COM 28 BS's

A figura 5.9 mostra a morfologia da região e as 28 BS's utilizadas neste cenário (escala de 2 Km).

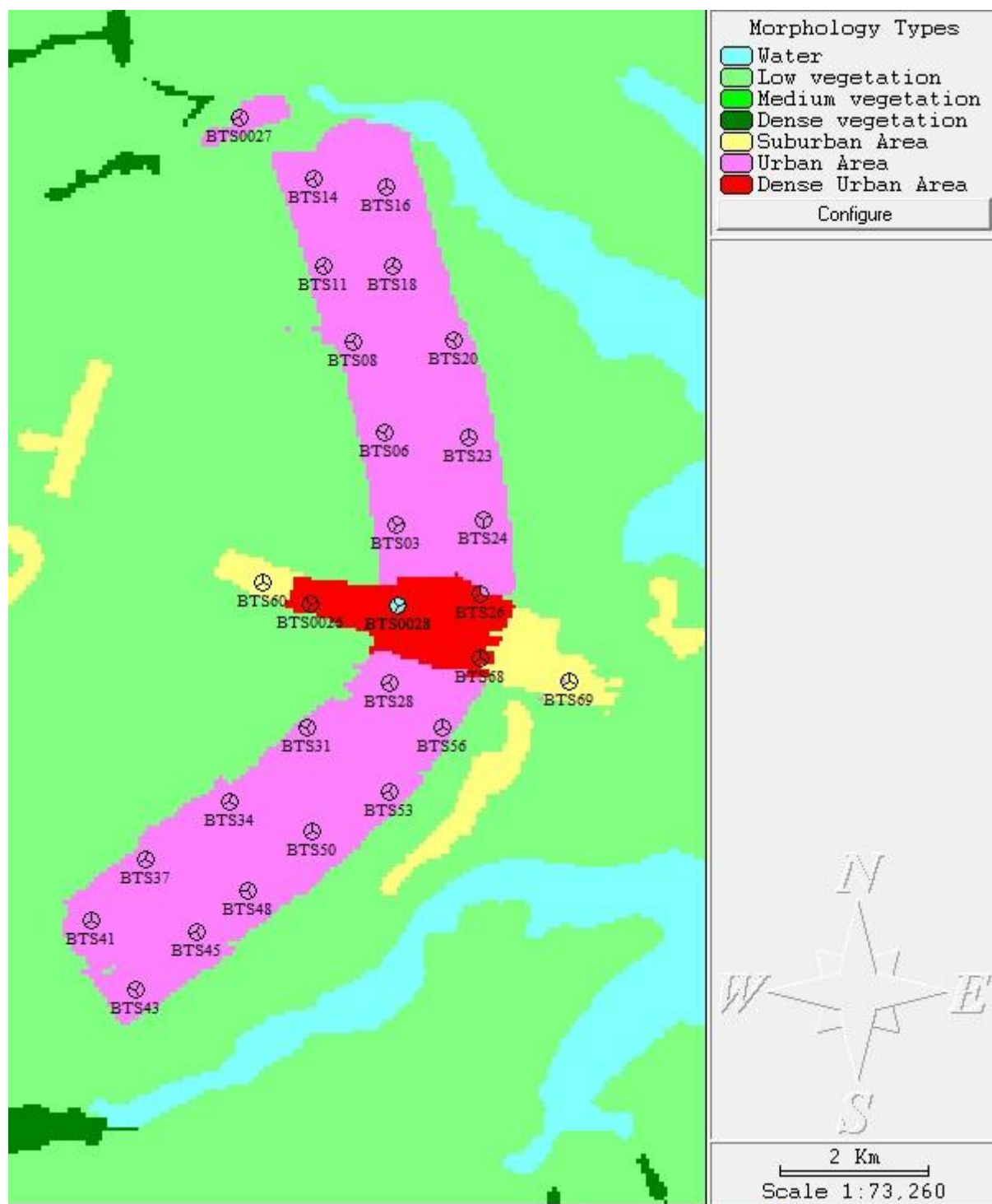


Figura 5.9 - Morfologia do cenário *indoor* com 28 BS's

As figuras 5.10 e 5.11 mostram, respectivamente, a predição *downstream* e *upstream* deste cenário (escala de 2 Km).

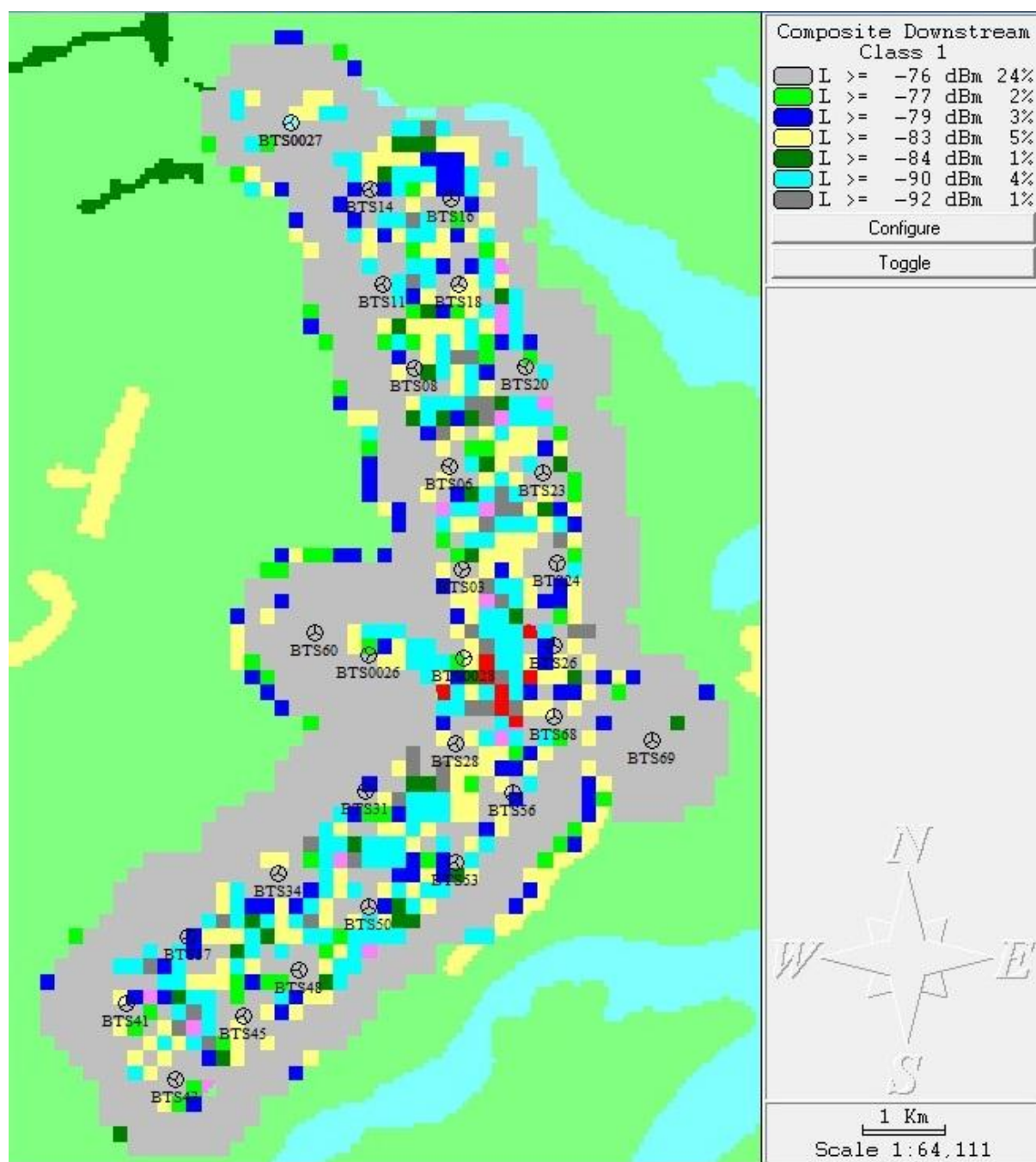


Figura 5.10 - Predição *downstream* do cenário *indoor* com 28 BS's

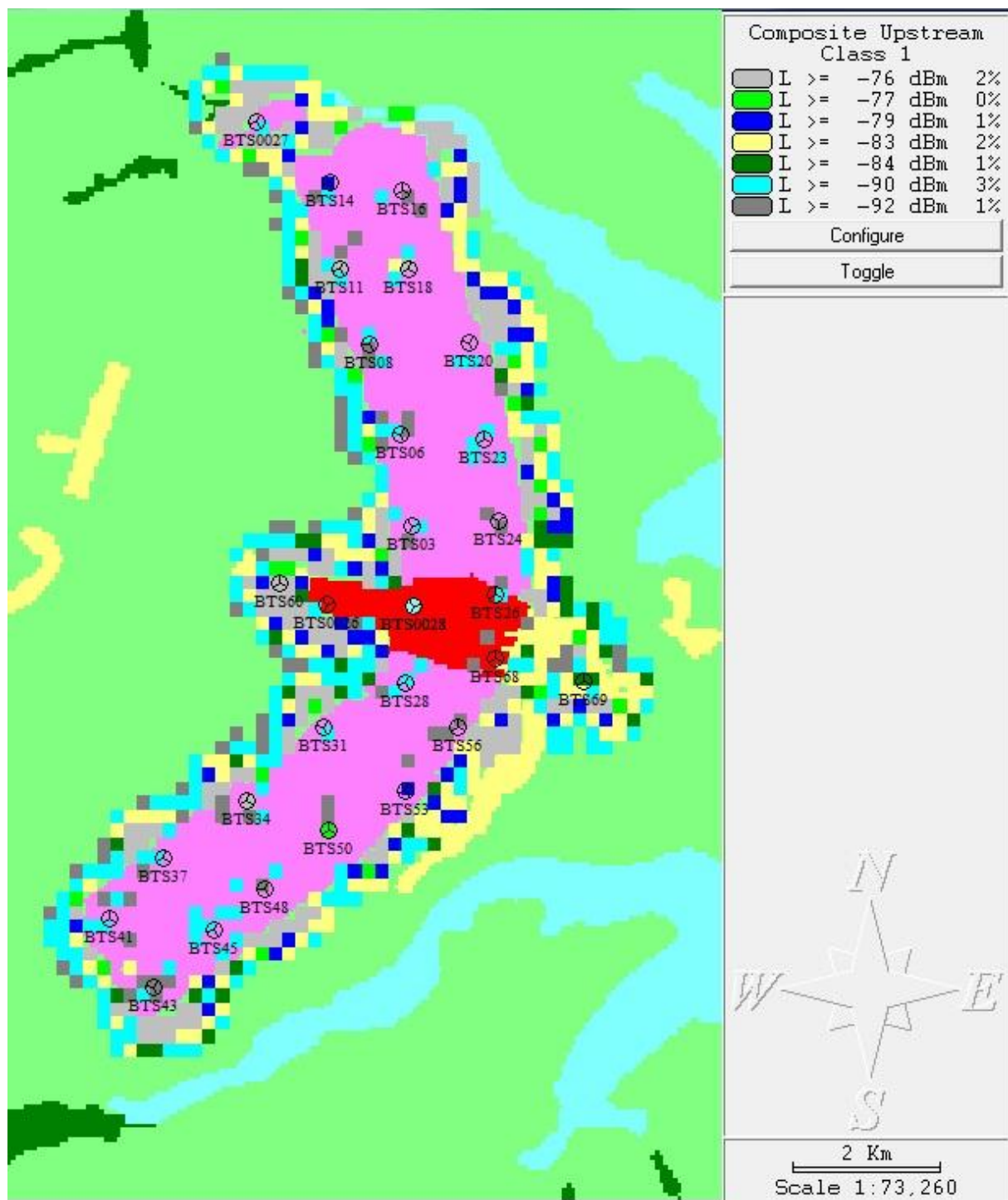


Figura 5.11 - Predição *upstream* do cenário *indoor* com 28 BS's

Comparando a figura 5.10 com a figura 5.4 percebe-se que a cobertura *downstream* do ambiente *indoor* é mais prejudicada que a cobertura *downstream* do ambiente *outdoor* e podemos ver que as áreas de sombra na cobertura aparecem principalmente na região de área urbana densa. Isso se dá devido às edificações, que atenuam grande parte do sinal transmitido.

Para a cobertura *upstream*, assim como no cenário *outdoor*, percebe-se que somente as bordas do Plano Piloto são contempladas, deixando a maior parte do interior com áreas de sombra na cobertura. A cobertura *upstream* do cenário *indoor* com 28 BS's é ainda pior do

que a do cenário *outdoor* com 28 BS's, devido ao problema das edificações já citado. Para melhorar a cobertura *upstream* foram adicionadas mais BS's e a análise será feita no próximo tópico.

5.2.4 INDOOR COM 70 BS's

A figura 5.12 mostra a morfologia da região e as 70 BS's utilizadas neste cenário (escala de 2 Km).

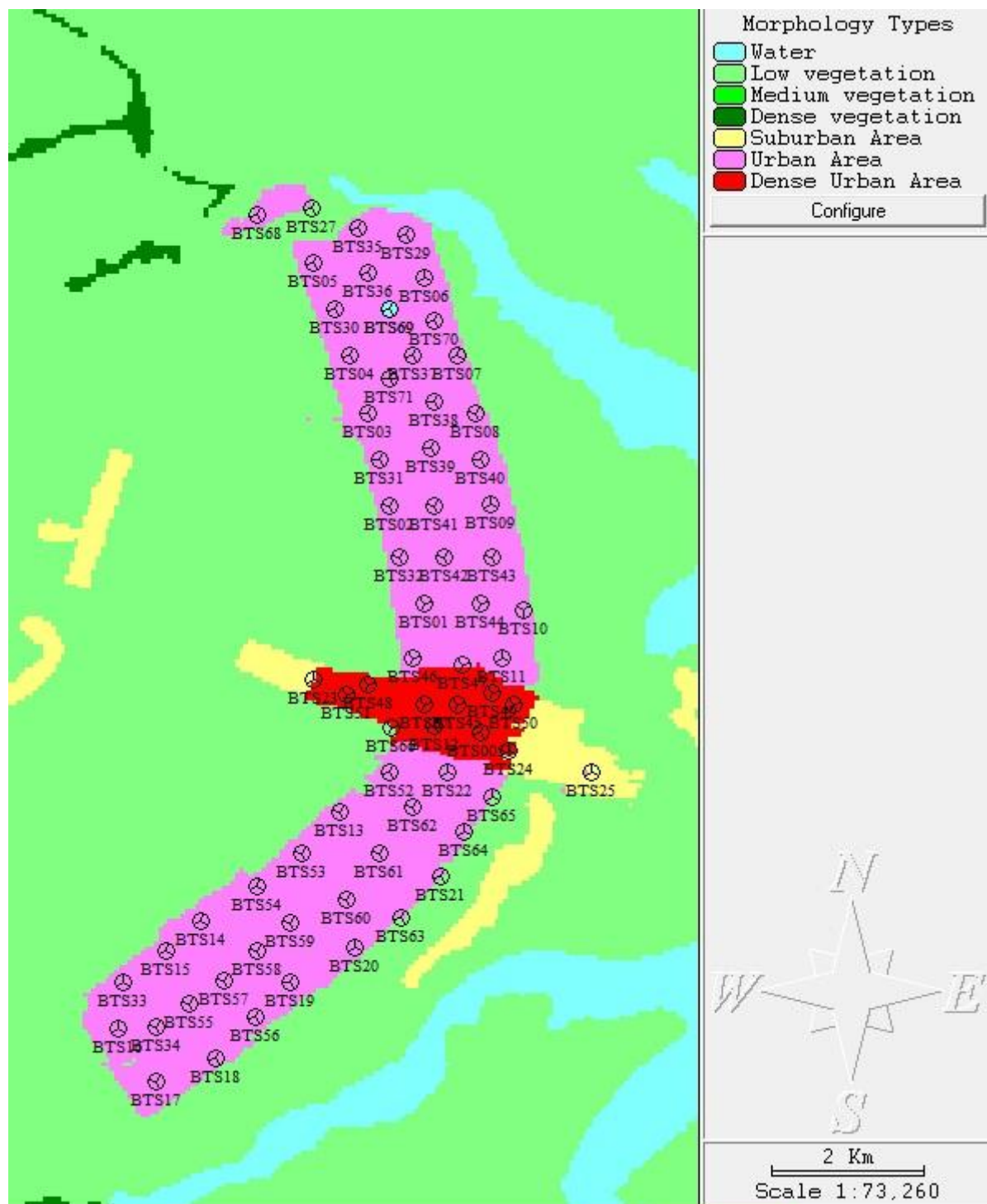


Figura 5.12 - Morfologia do cenário *indoor* com 70 BS's

As figuras 5.13 e 5.14 mostram, respectivamente, a predição *downstream* e *upstream* deste cenário (escala de 2 Km).

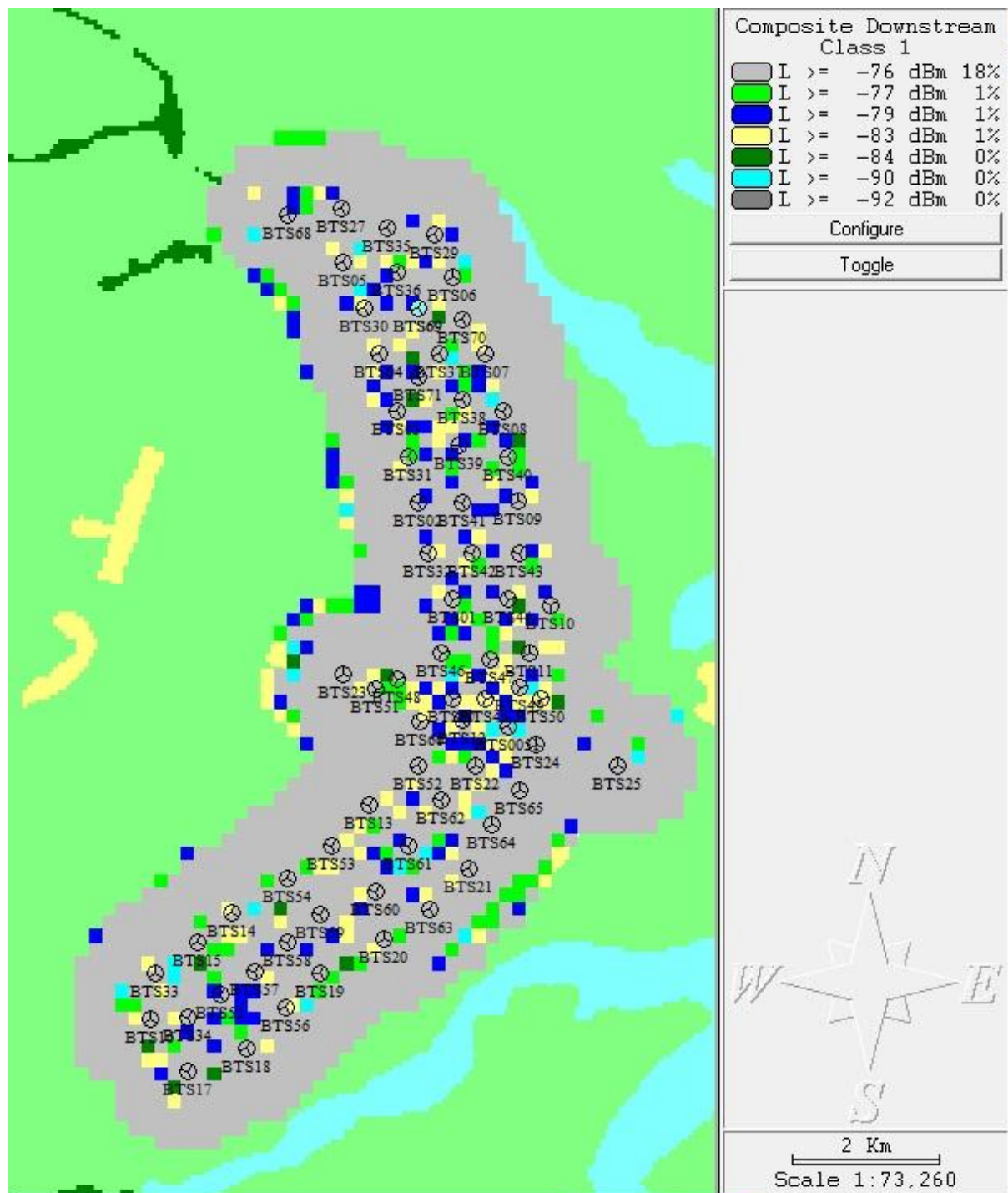


Figura 5.13 - Predição *downstream* do cenário *indoor* com 70 BS's

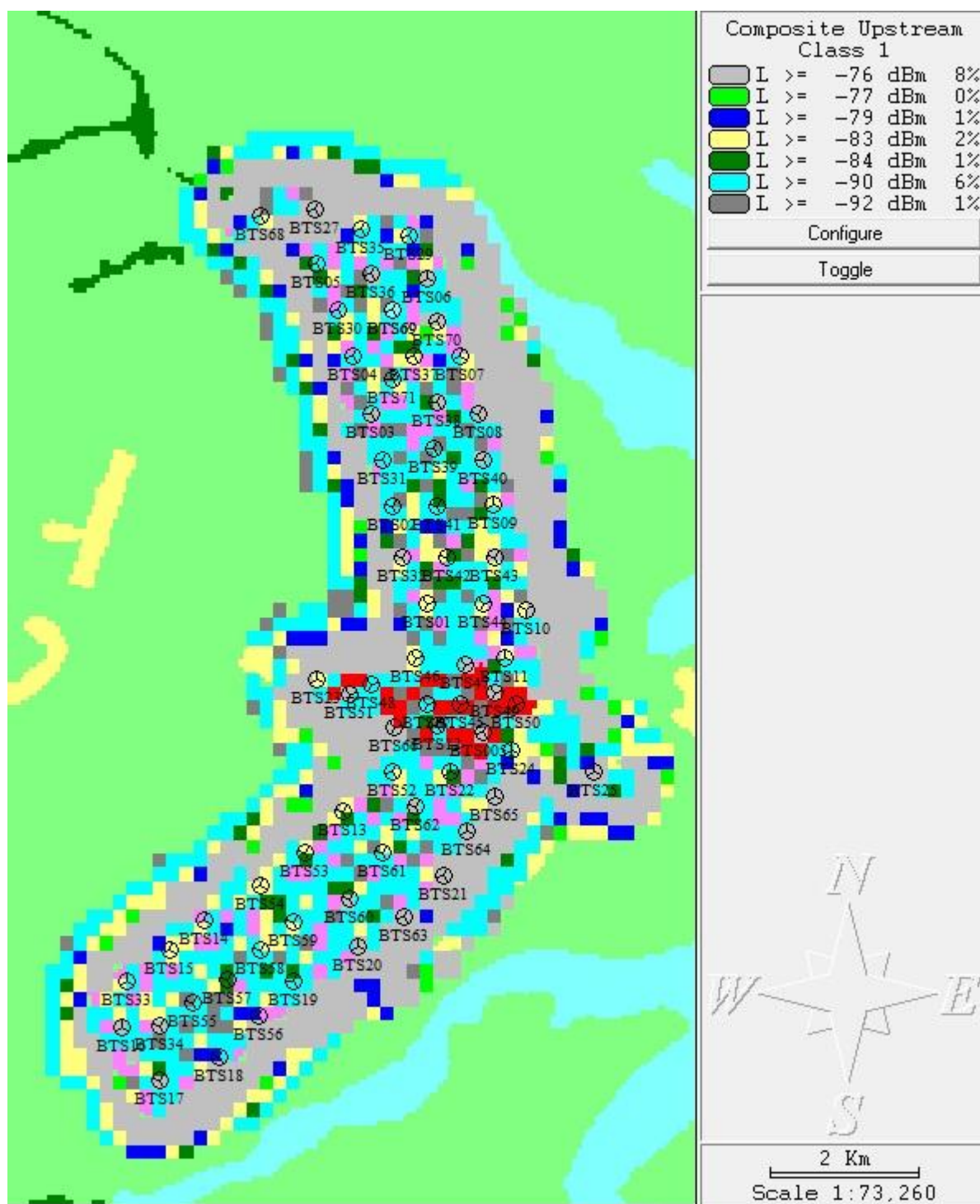


Figura 5.14 - Predição *upstream* do cenário *indoor* com 70 BS's

Assim como para o caso *outdoor* com 70 BS's, percebe-se pela figura 5.13 que a cobertura *downstream*, que já era boa, ficou ainda melhor, não apresenta nenhuma área de sombra e tem uma predominância de sinais com intensidade maior que -76 dBm, representada pela cor cinza claro.

Para a cobertura *upstream*, percebe-se através da figura 5.14 que a adição de mais BS's traz uma melhoria significativa também para o cenário *indoor*. Comparando as figuras

5.14 e 5.8 percebe-se que a cobertura para o cenário *outdoor* com 70 BS's é melhor do que para o cenário *indoor* com 70 BS's, devido ao problema das edificações já citado, que atenua grande parte do sinal transmitido.

5.2.5 INDOOR COM 28 BS's E 226 FEMTOCÉLULAS

Neste tópico será apresentada uma solução para as áreas de sombra na cobertura *downstream* do cenário *indoor* com 28 BS's: a utilização de femtocélulas.

A figura 5.15 mostra a morfologia da região da Asa Norte e as BS's e femtocélulas utilizadas nesta parte do cenário (escala de 750 m).

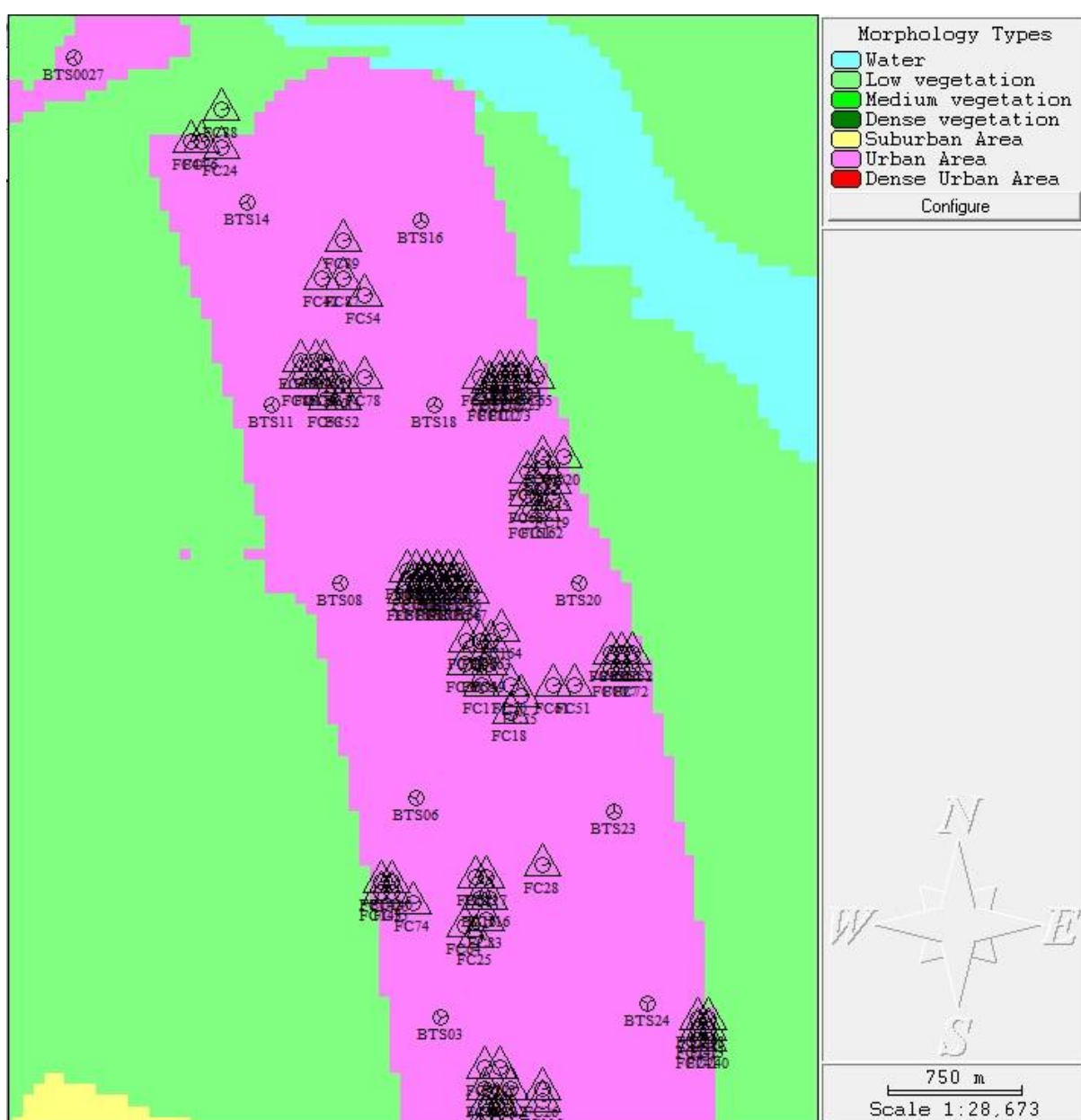


Figura 5.15 – Morfologia da Asa Norte e suas BS's e femtocélulas

A figura 5.16 mostra a morfologia da região do Eixo Monumental e as BS's e femtocélulas utilizadas nesta parte do cenário (escala de 250 m).

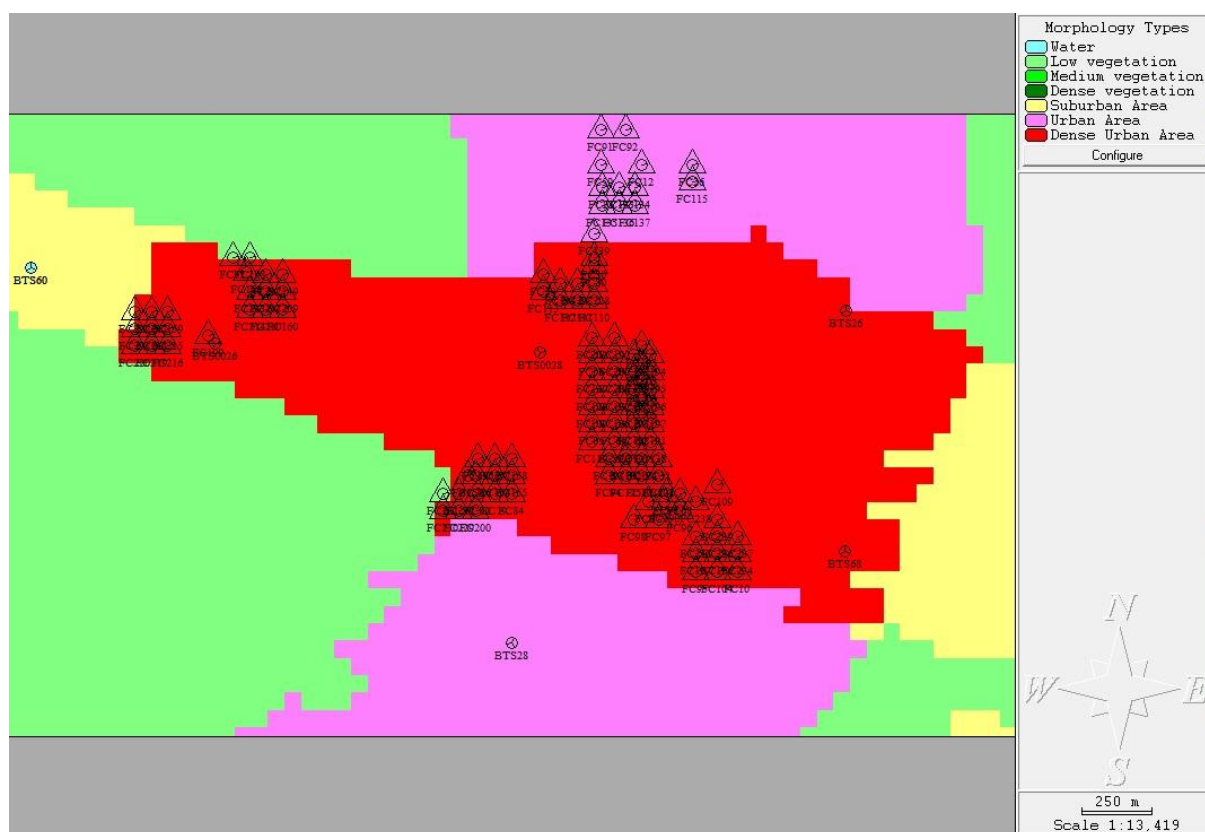


Figura 5.16 – Morfologia do Eixo Monumental e suas BS's e femtocélulas

A figura 5.17 mostra a morfologia da região da Asa Sul e as BS's e femtocélulas utilizadas nesta parte do cenário (escala de 500 m).

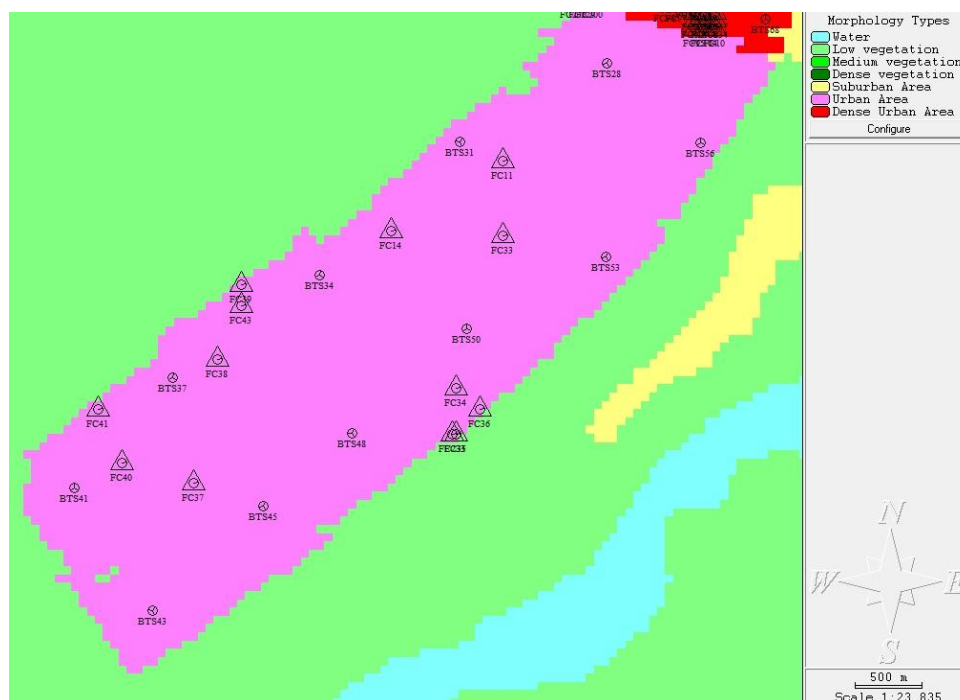


Figura 5.17 – Morfologia da Asa Sul e suas BS's e femtocélulas

Percebe-se uma grande concentração de femtocélulas em determinadas áreas da Asa Norte (figura 5.15) e do Eixo Monumental (figura 5.16). A Asa Sul apresenta uma menor concentração de femtocélulas (figura 5.17) e o Eixo Monumental apresenta a maior concentração de femtocélulas.

Essa grande concentração se dá devido ao fato de que as femtocélulas são projetadas para cobrir uma pequena área, e apresentam baixa potência de transmissão e um pequeno raio de alcance. Assim, várias femtocélulas são necessárias para cobrir uma única área de sombra, conforme mostrado nas figuras 5.18, 5.19 e 5.20 mais à frente. Para o uso desta tecnologia, o ideal é que cada residência ou empresa tenha uma ou mais femtocélulas para fazer a cobertura.

A figura 5.18 mostra a predição *downstream* da Asa Norte e as BS's e femtocélulas utilizadas nesta parte do cenário (escala de 750 m).

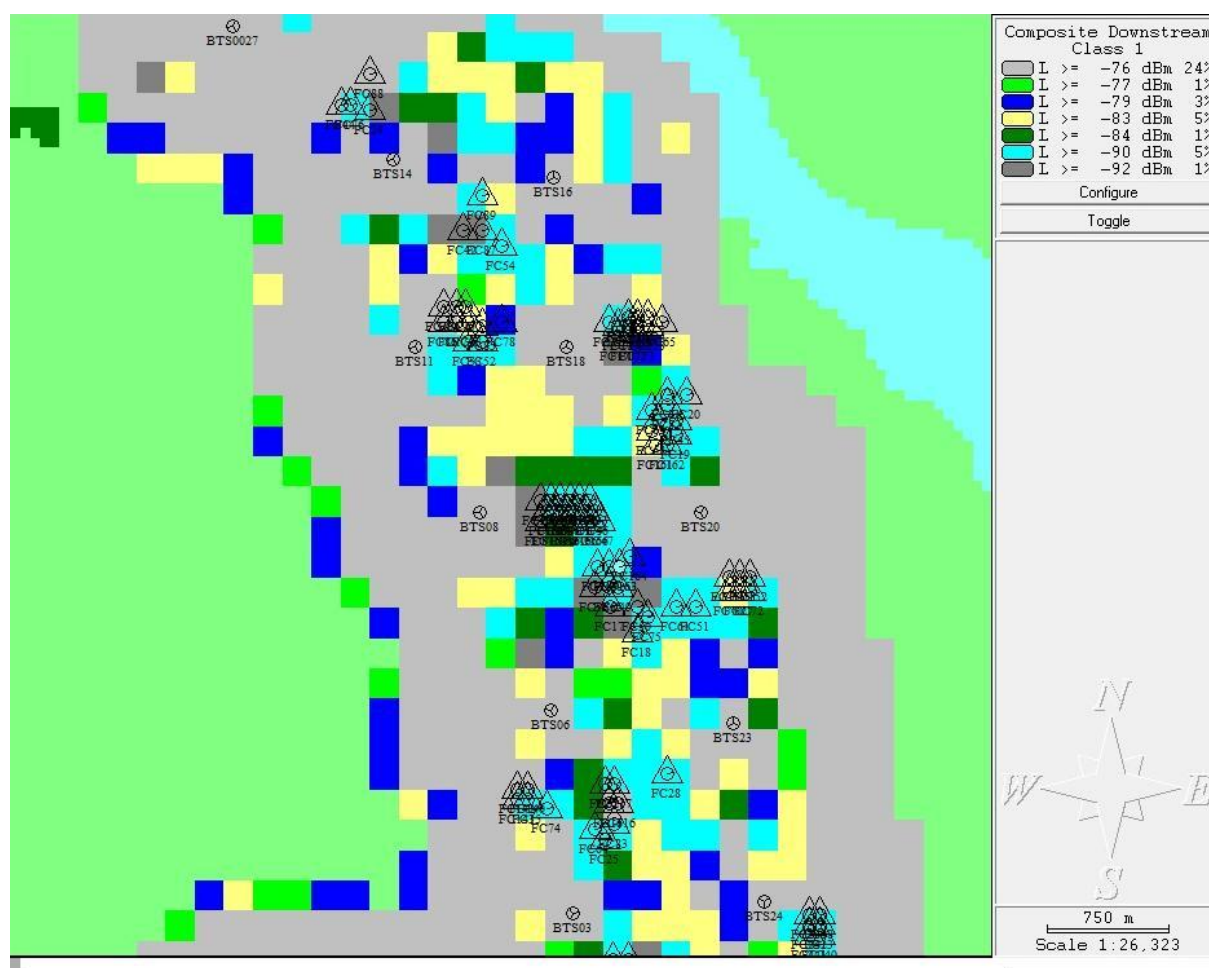


Figura 5.18 – Predição *downstream* da Asa Norte e suas BS's e femtocélulas

A figura 5.19 mostra a predição *downstream* do Eixo Monumental e as BS's e femtocélulas utilizadas nesta parte do cenário (escala de 250 m).

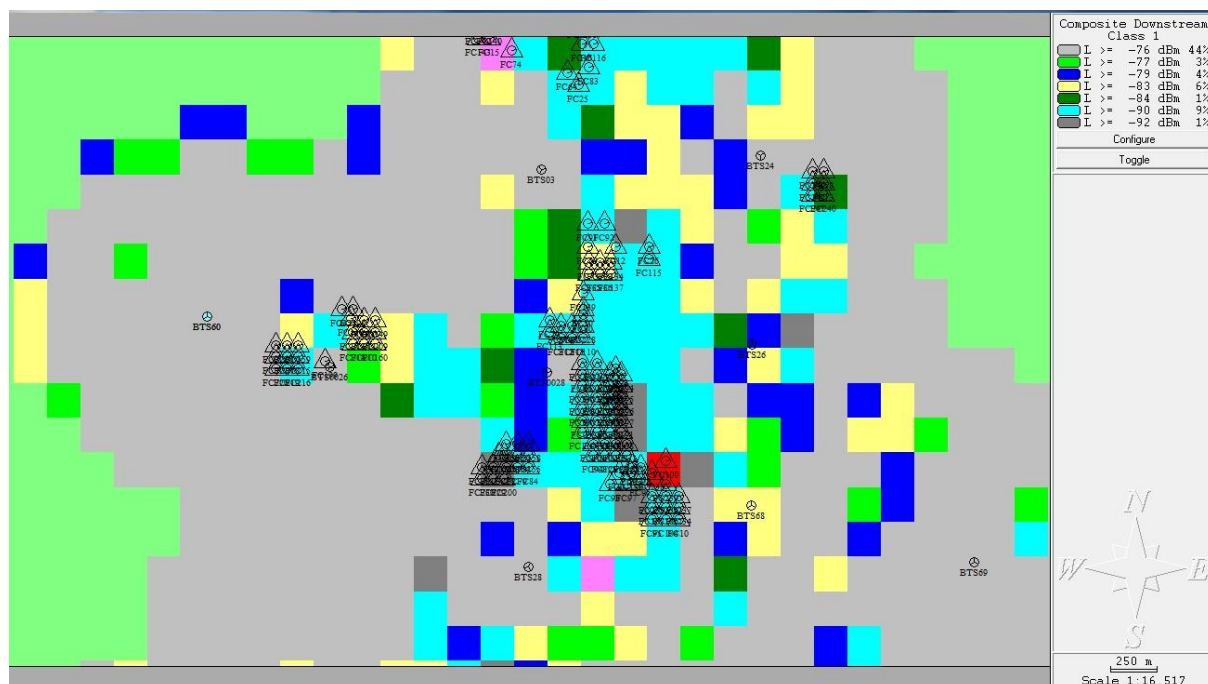


Figura 5.19 – Predição *downstream* do Eixo Monumental e suas BS's e femtocélulas

A figura 5.20 mostra a predição *downstream* da Asa Sul e as BS's e femtocélulas utilizadas nesta parte do cenário (escala de 500 m).

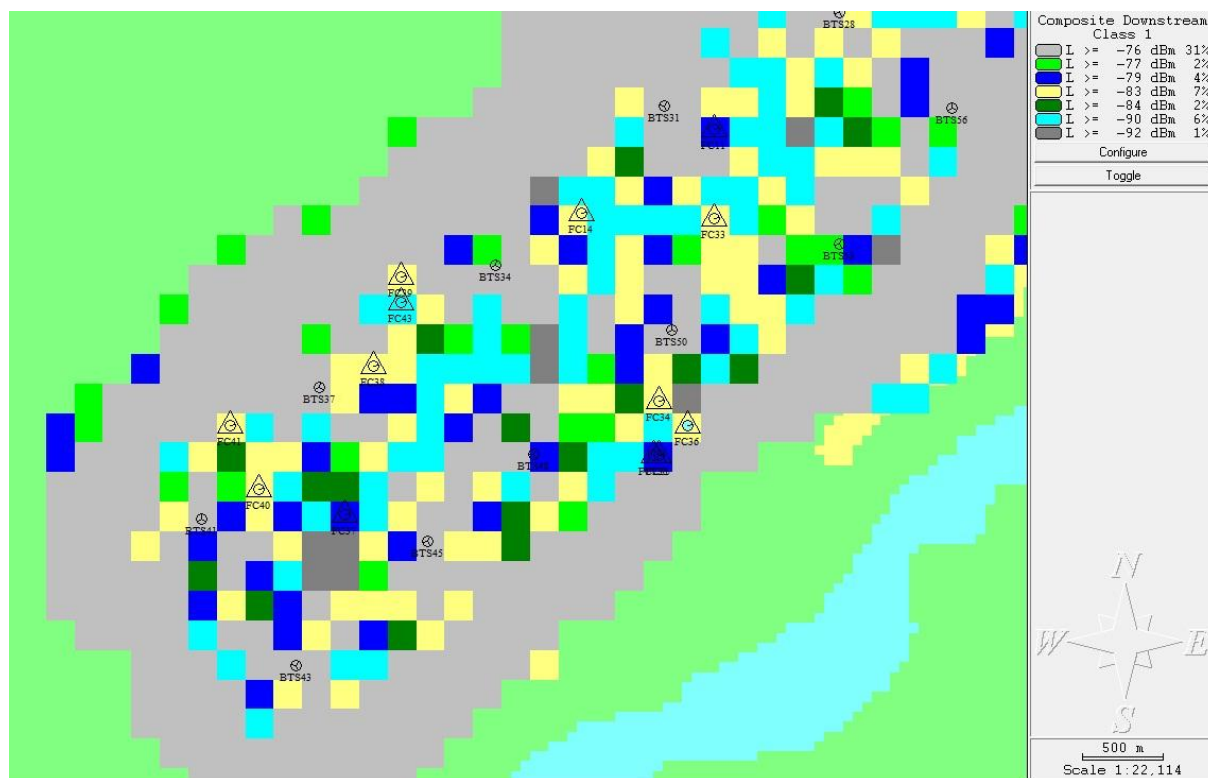


Figura 5.20 – Predição *downstream* da Asa Sul e suas BS's e femtocélulas

Após análise das figuras 5.18, 5.19, e 5.20 percebe-se que o uso de femtocélulas é uma solução viável para cobrir áreas de sombra na cobertura de ambientes *indoor*, onde o sinal transmitido pelas BS's chega com intensidade muito pequena ou nula.

Na figura 5.19 nota-se que mesmo com o uso de femtocélulas apareceram áreas de sombra na cobertura (pontos em vermelho e rosa). Isso significa que a quantidade de femtocélulas utilizadas naquela região não foi suficiente para cobrir a área de sombra. É necessário que mais FAP's sejam utilizados na região. No programa CelPlanner™, há um limite de BS's e femtocélulas que podem ser utilizadas e este limite foi atingido, assim não se pôde utilizar mais femtocélulas para cobrir as áreas de sombra em questão.

5.3 ANÁLISE COMPARATIVA COM AS REDES DE TELEFONIA CELULAR EXISTENTES EM BRASÍLIA

Neste tópico será feita uma comparação entre as predições projetadas neste trabalho e as redes de telefonia celular existentes em Brasília. As figuras a seguir mostram a posição geográfica das BS's no Plano Piloto, conforme consulta ao site da ANATEL [17].

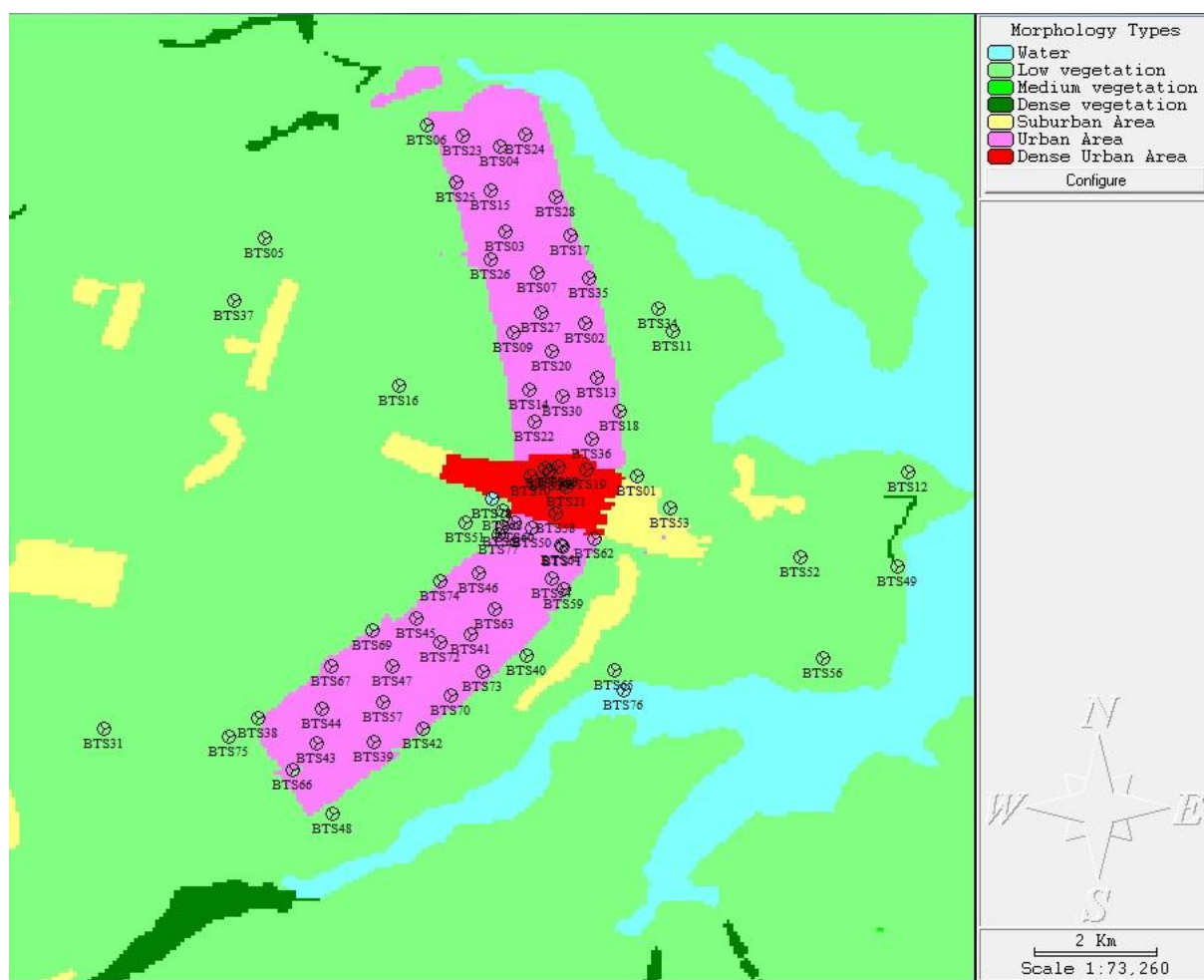


Figura 5.21 – Morfologia de Brasília com as BS's da Claro [17]

A figura 5.21 mostra a morfologia de Brasília com as BS's da Claro. Ela conta com 78 BS's para fazer a cobertura dos seus serviços na região mostrada na figura. Porém pode-se notar que 14 destas BS's se encontram em localizações afastadas do Plano Piloto e assim não serão analisadas neste trabalho, o que nos dá 64 BS's da Claro no Plano Piloto. A tabela 5.1 mostra a distribuição dessas BS's.

ASA NORTE	EIXO MONUMENTAL	ASA SUL
22 BS's	11 BS's	31 BS's

Tabela 5.1 – Distribuição das BS's da Claro no Plano Piloto

A figura 5.22 mostra a morfologia de Brasília com as BS's da Tim.

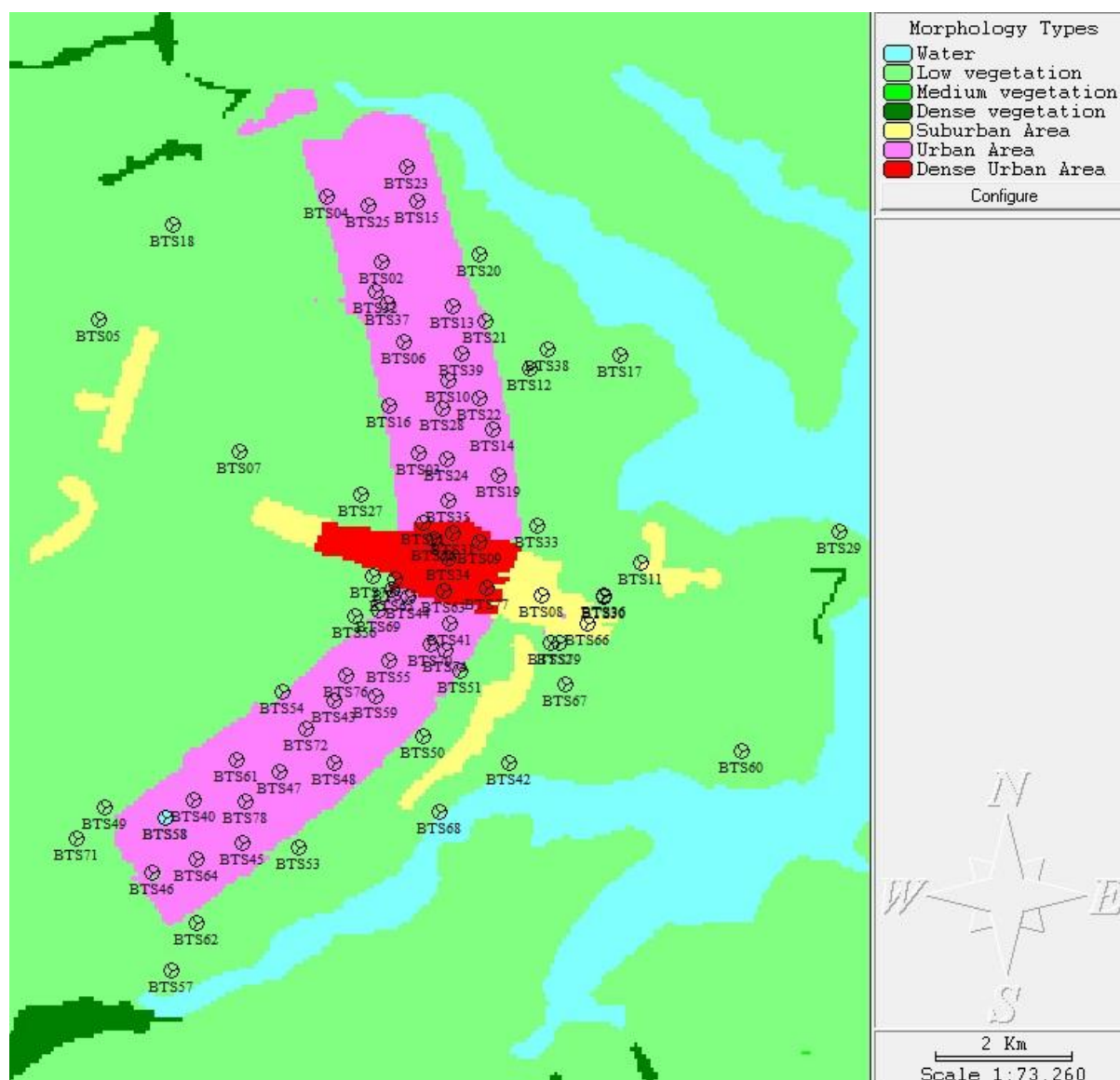


Figura 5.22 – Morfologia de Brasília com as BS's da Tim [17]

Ela conta com 79 BS's para fazer a cobertura dos seus serviços na região mostrada na figura. Porém pode-se notar que 13 destas BS's se encontram em localizações afastadas do Plano Piloto e assim não serão analisadas neste trabalho, o que nos dá 66 BS's da Tim no Plano Piloto. A tabela 5.2 mostra a distribuição dessas BS's.

ASA NORTE	EIXO MONUMENTAL	ASA SUL
24 BS's	17 BS's	25 BS's

Tabela 5.2 – Distribuição das BS's da Tim no Plano Piloto

A figura 5.23 mostra a morfologia de Brasília com as BS's da Vivo.

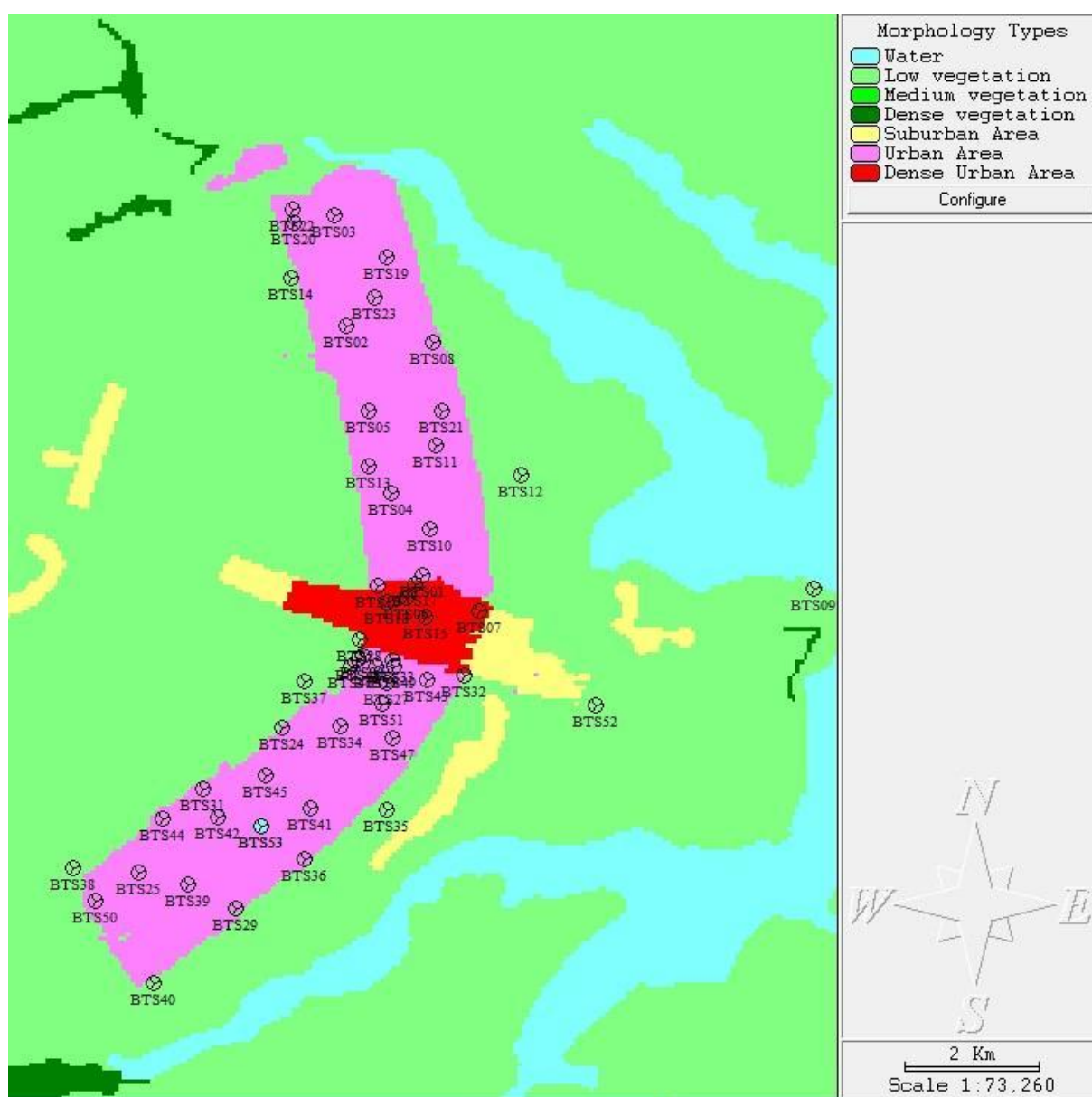


Figura 5.23 – Morfologia de Brasília com as BS's da Vivo [17]

Ela conta com 53 BS's para fazer a cobertura dos seus serviços na região mostrada na figura. Porém pode-se notar que 1 destas BS's se encontra em uma localização afastada do Plano Piloto e assim não será analisadas neste trabalho, o que nos dá 52 BS's da Vivo no Plano Piloto. A tabela 5.3 mostra a distribuição dessas BS's.

ASA NORTE	EIXO MONUMENTAL	ASA SUL
16 BS's	8 BS's	28 BS's

Tabela 5.3 – Distribuição das BS's da Tim no Plano Piloto

A figura 5.24 mostra a morfologia de Brasília com as BS's da Oi.

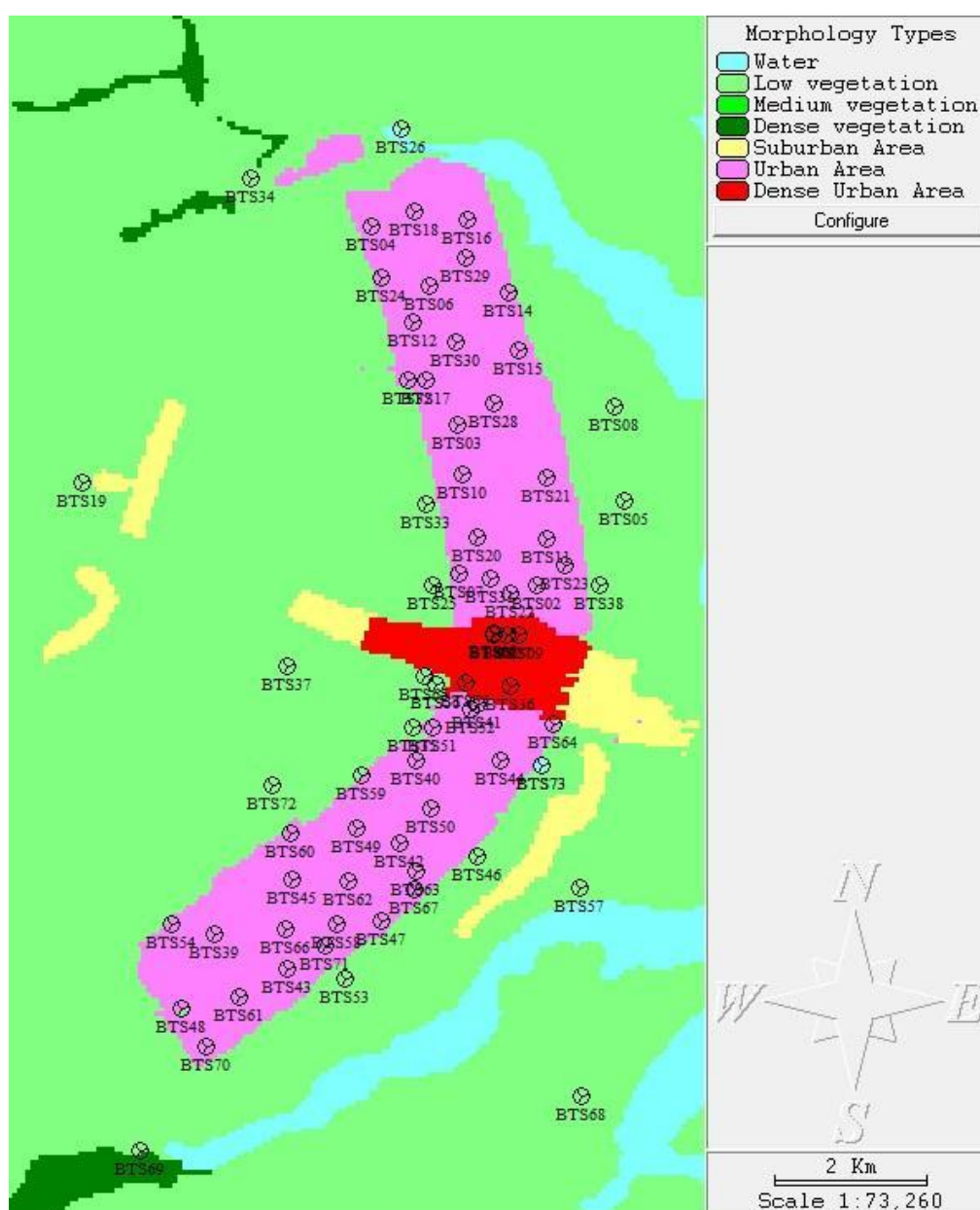


Figura 5.24 – Morfologia de Brasília com as BS's da Oi [17]

Ela conta com 73 BS's para fazer a cobertura dos seus serviços na região mostrada na figura. Porém pode-se notar que 8 destas BS's se encontram em localizações afastadas do Plano Piloto e assim não serão analisadas neste trabalho, o que nos dá 65 BS's da Oi no Plano Piloto. A tabela 5.4 mostra a distribuição dessas BS's.

ASA NORTE	EIXO MONUMENTAL	ASA SUL
28 BS's	8 BS's	29 BS's

Tabela 5.4 – Distribuição das BS's da Oi no Plano Piloto

Após análise das figuras 5.21, 5.22, 5.23, 5.24, podemos perceber que o número de BS's utilizadas pela Claro, 64, pela Tim, 66 e pela Oi, 65, está próximo ao número de BS's utilizadas neste trabalho para a cobertura *outdoor* e *indoor* com 70 BS's, enquanto a Vivo apresenta um número menor de BS's, 53. Percebemos também que há uma predominância de BS's da Oi na Asa Norte, da Tim no Eixo Monumental e da Claro na Asa Sul.

Neste trabalho, a localização das BS's nas simulações foi feita de modo a obter e melhor cobertura possível. Assim, sugere-se como um trabalho futuro uma análise mais aprofundada para definir a localização específica de cada BS, considerando fatores como o relevo e a conveniência do posicionamento das BS's nas áreas urbanas.

A quantidade de pontos de cobertura é importante em um projeto, mas as medições de campo são fatores que determinam qual operadora pode apresentar uma menor área de cobertura em relação às demais. Existem alguns fatores essenciais na determinação da quantidade de BS's que precisarão ser instaladas em uma determinada região, entre eles a frequência de transmissão do sinal. A frequência de transmissão influencia na quantidade de BS's, porque, dependendo de sua faixa de operação, mais ou menos BS's serão necessárias para cobrir uma determinada região. Frequências mais baixas tendem a fazer com que se necessite de menos BS's, ao contrário do que acontece em frequências mais altas [10].

6 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho foi feito com o objetivo de fazer um planejamento de cobertura LTE em Brasília, bem como verificar a utilização de femtocélulas para a cobertura de ambientes *indoor*. Para isso, utilizou-se o programa CelPlanner™ para fazer previsões de cobertura *downstream* e *upstream* na região do Plano Piloto.

No primeiro cenário de simulação, *outdoor* com usuário estático e 28 BS's, constatou-se que este número de BS's é suficiente para atingir uma cobertura *downstream* total na região do Plano Piloto. Porém, a cobertura *upstream* ficou prejudicada e foi necessário adicionar mais BS's ao sistema para contornar este problema.

No segundo cenário de simulação, *outdoor* com usuário estático e 70 BS's, foram adicionadas mais 42 BS's às 28 BS's do primeiro cenário e constatou-se uma melhora significativa na cobertura *upstream*. A cobertura *downstream*, que já era total com 28 BS's ficou ainda melhor com 70 BS's.

No terceiro cenário, *indoor* com 28 BS's, constatou-se uma boa cobertura *downstream*, porém com algumas ocorrências de áreas de sombra, principalmente na região do Eixo Monumental. A cobertura *upstream* ficou mais prejudicada do que a do primeiro cenário. Isso se dá devido à grande quantidade de edificações, que atenuam grande parte do sinal transmitido. Assim, como no primeiro cenário, adicionou-se mais BS's ao sistema para obter uma melhora da cobertura *upstream*.

No quarto cenário, *indoor* com 70 BS's, também foram adicionadas mais 42 BS's às 28 BS's do terceiro cenário e constatou-se uma melhora significativa na cobertura *upstream*. A cobertura *downstream*, que continha algumas áreas de sombra, passou a contemplar toda a região do Plano Piloto.

No quinto e último cenário, apresentou-se uma solução para cobrir as áreas de sombra isolados que apareceram na cobertura *downstream* do terceiro cenário, *indoor* com 28 BS's: a utilização de femtocélulas. Assim, adicionou-se 226 femtocélulas às BS's do terceiro cenário, nas regiões que apresentavam áreas de sombra na cobertura. Constatou-se que a região do Eixo Monumental é a que apresenta a maior concentração de femtocélulas, pois é a região de área urbana mais densa.

Por fim, foi feita uma comparação entre a cobertura atingida com as simulações feitas neste trabalho e a cobertura das empresas de telefonia celular existentes em Brasília, Claro, Oi, Tim e Vivo. Constatou-se que a Tim é a empresa que mais possui BS's no Plano Piloto, enquanto a Vivo é a empresa que possui o menor número de BS's no Plano Piloto. Porém, vários outros fatores devem ser levados em consideração para obter a melhor cobertura possível.

Como forma de enriquecer o estudo apresentado neste trabalho, sugere-se o estudo dos tópicos a seguir:

- Predições de cobertura para usuário pedestre e veicular;
- Utilização de femtocélulas para a cobertura *upstream*, tanto *indoor* como *outdoor*;
- Análise da interferência quando utilizam-se femtocélulas, visto que este é o principal ponto fraco desta tecnologia;
- Análise de cobertura LTE para outras faixas de frequência, visto que esta tecnologia opera de 800 MHz até 3,5 GHz;
- Análise mais aprofundada para definir a localização específica de cada BS, considerando fatores como o relevo e conveniência do posicionamento nas áreas urbanas.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CISCO; <http://www.cisco.com>; acessado em outubro de 2012.
- [2] AIRVANA; <http://www.airvana.com/technology/lte-femtocells>; acessado em outubro de 2012.
- [3] CISCO; *Cisco Femtocell Solution Overview*, 2010.
- [4] 3GPP; <http://www.3gpp.com/About-3GPP>; acessado em outubro de 2012.
- [5] 3GPP; <http://www.3gpp.org/LTE>; acessado em outubro de 2012.
- [6] ZHANG, JIE; DE LA ROCHE, GUILLAUME; *Femtocells Technologies and Deployment*; John Wiley & Sons, 2010.
- [7] THINKSMALLCELL; <http://www.thinksmallcell.com/System/what-is-a-small-cell-or-femtocell.html>; escrito por David Chambers; acessado em outubro de 2012.
- [8] RADIO ELECTRONICS;
<http://www.radioelectronics.com/info/cellulartelecomms/femtocells/femto-cells-tutorial-basics.php>; acessado em outubro de 2012.
- [9] NOKIA SIEMENS NETWORKS; *Improving 4G coverage and capacity indoors and at hotspots with LTE femtocells*, 2011.
- [10] SOUZA, DICKSON RAFAEL RODRIGUES DE OLIVEIRA; Planejamento de Cobertura WiMAX.
- [11] PLITSIS, G.; *Coverage prediction of new elements of systems beyond 3G: the IEEE 802.16 system as a case study*; IEEE 58th, v.4, outubro de 2003.
- [12] GOLDSMITH, A., J.; GREENSTEIN, L., J.; *A Measurement-Based Model for Predicting Coverage Areas of Urban Microcells*, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, v.11, setembro de 1993.
- [13] 3GPP; www.3gpp.org; REV-090003r1 – *IMT-Advanced Evaluation Workshop 17*, 18 de dezembro de 2009, Pequim.
- [14] HOLMA, HARRI; TOSKALA, ANTTI; *LTE for UMTS - OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access*; John Wiley & Sons, 2009.
- [15] DATALINK, Cabos LRM Times Microwave - LRM-400.
- [16] ITU/BDT Arab Regional Workshop on “4G Wireless Systems” - Tunisia 2010.
- [17] <http://sistemas.anatel.gov.br/stel/consultas/ListaEstacoesLocalidade/tela.asp?pNumServico=010>. Acessado em 09/10/2012.