

## Capítulo III – Representação do Ambiente

### 3.1

#### Introdução

Neste estudo, foram utilizados dois ambientes urbanos para simulação e dois para testes comparativos, calibração e validação. Neste Capítulo são descritos os métodos utilizados na modelagem dos ambientes. Os ambientes utilizados para comparação, calibração e validação são apresentados no Capítulo V e foram representados utilizando as mesmas técnicas adotadas nos ambientes urbanos destinados à simulação. Os ambientes escolhidos para a simulação de canais urbanos exteriores são: o bairro de Ipanema, Rio de Janeiro, Brasil e uma representação de uma pequena região do centro de Madri, Espanha, recomendada para simulações sobre propagação e técnicas de 5G do projeto METIS 2020 [77]. Para melhor caracterização, cada ambiente foi tratado em três etapas. Inicialmente, é realizada a representação do espaço e construções e suas características elétricas e morfológicas (rugosidade, constante dielétrica, condutividade e dimensões). Em seguida, são definidos os elementos espalhadores (árvores, postes e paredes refletoras) com suas características elétricas e morfológicas. Para tanto, foi realizada uma breve campanha de levantamento de dados, a fim de retratar uma distribuição mais adequada e com características morfológicas mais próximas do verificado nos ambientes reais. Por fim, é definida uma atmosfera homogênea e isotrópica, com perda por gases e vapor de água, definida pelos valores de pressão, temperatura e densidade de vapor de água.

### 3.2

#### Espaço e Construções

A região de Madri utilizada não existe na prática, embora, aparentemente,

tenha sido idealizada com base na área do centro da cidade descrita na Figura 3.1, pois a geometria é parecida, assim como os nomes das ruas e avenidas. É uma representação sintética, obtida sem qualquer manipulação de áreas reais, ainda que possua as mesmas características que definem um ambiente urbano. Nesta representação, os quarteirões são representados por prismas retos que aglutinam os prédios individuais neles inseridos.

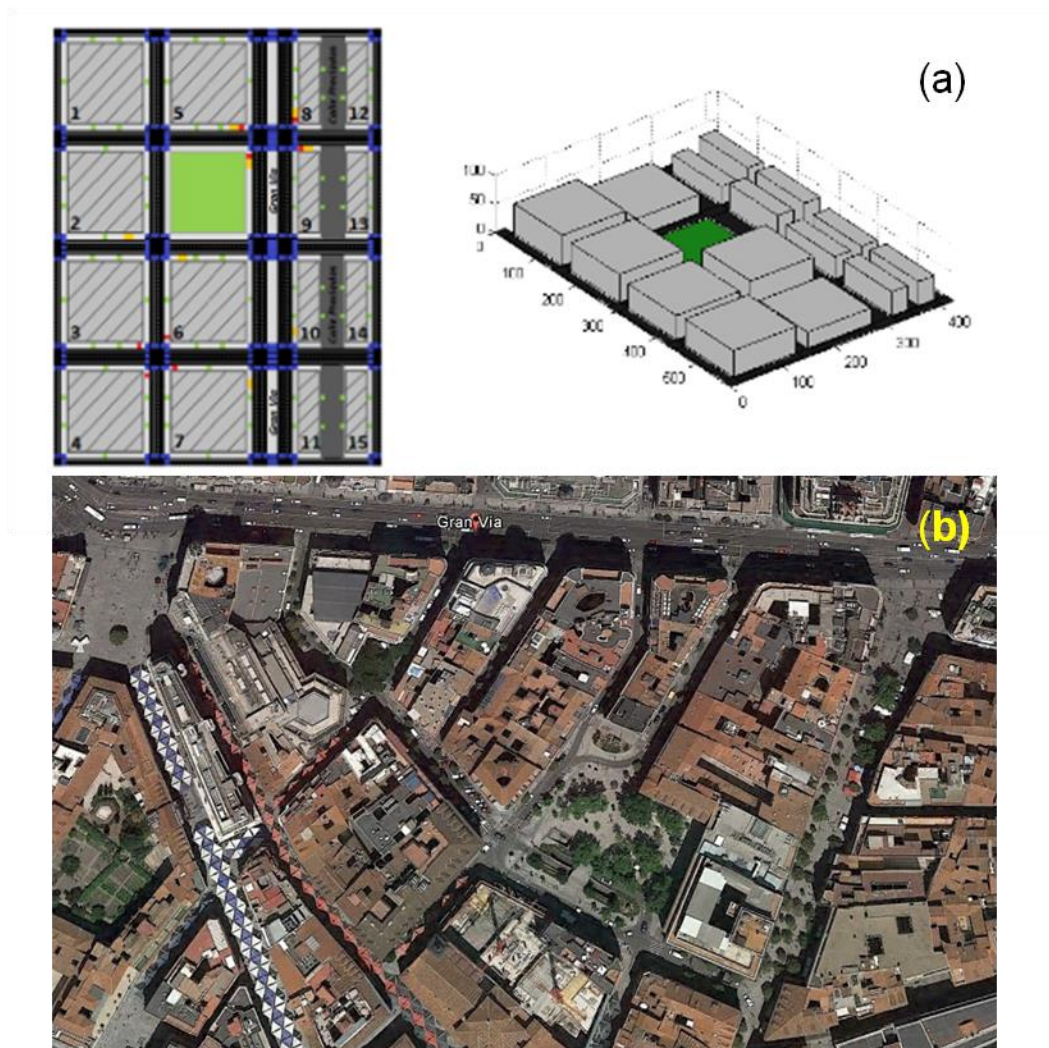


Figura 3.1 – Representação de Madri: (a) modelo simplificado utilizado pelo projeto METIS 2020 [77]; (b) região real com os mesmos nomes de ruas e aparência geral. Fonte: Google Earth.

A maior parte do bairro de Ipanema, apresentada na Figura 3.2, foi representada por um mapa predial elaborado pelo Instituto Pereira Passos. Nele estão contidas as faces dos prédios e ainda o meio fio, o que ajuda na distribuição de

árvores no espaço limitado pela calçada, tal como é feito na arborização urbana. O grande problema desta representação é a ocorrência de redundâncias e faces que não são externas e não interagem com a onda eletromagnética, além de faces colineares ou ainda duplicadas. A existência destes elementos na representação pode levar o algoritmo a apresentar falhas e lentidão no processamento, em função do trabalho extra. Faces colineares são particularmente prejudiciais, pois exigem o tempo de duas análises de interação com a onda eletromagnética, enquanto apenas uma seria necessária. Contornos não fechados podem representar prédios com uma ou mais faces ausentes, o que pode acarretar erros de interpretação no traçado de raios (na prática, prédios assim representados são raros). Faces pouco representativas usualmente são de faces internas, ou outros elementos tais como: caixas de água, marquises, etc. Desta forma, para representações obtidas de mapas prediais, geralmente é necessário um processamento da representação inicial, de forma a remover estas faces indesejadas e corrigir potenciais erros.

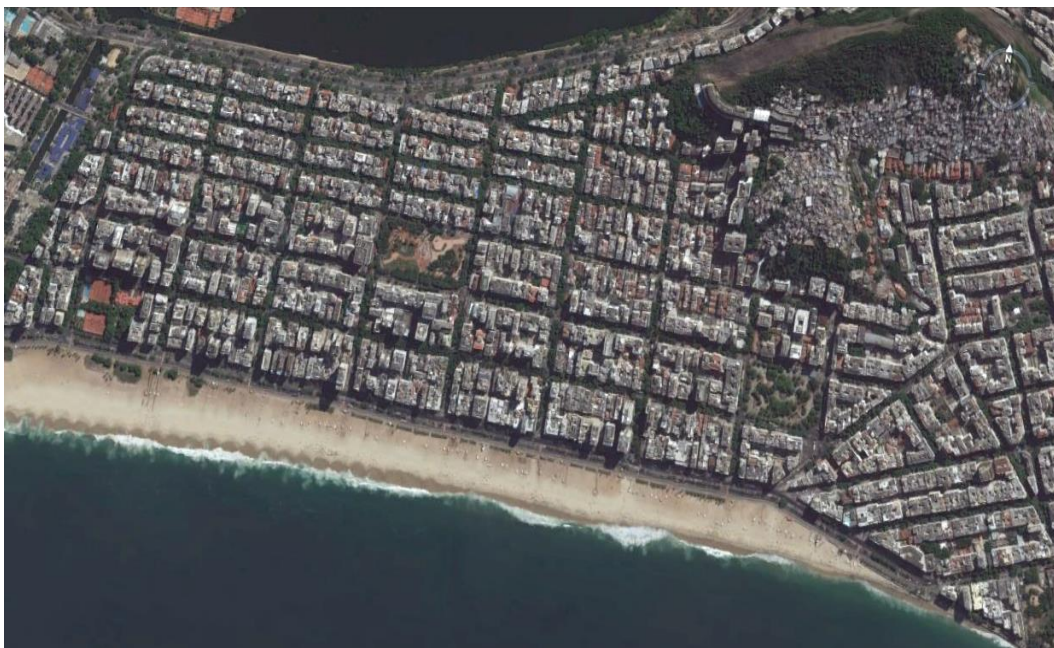


Figura 3.2 – Bairro de Ipanema, Rio de Janeiro. Fonte: Google Earth.

O processamento e ordenação adotados neste estudo utilizam a envoltória convexa dos vértices que caracterizam as bases dos prédios para representar quarteirões completos do ambiente [78]. A envoltória convexa de um conjunto de pontos em um plano é definida como o menor polígono convexo que os engloba. Uma solução clássica para a determinação da envoltória convexa pode ser encontrada partindo-se do ponto mais afastado do centro da distribuição e se verificando qual

ponto está mais à direita do mesmo (obviamente, poderia ser adotado qualquer sentido de rotação). Repetindo-se este procedimento sucessivamente, ao final se encontra o subconjunto formado pelos pontos mais externos da coleção, conforme ilustra a Figura 3.3.

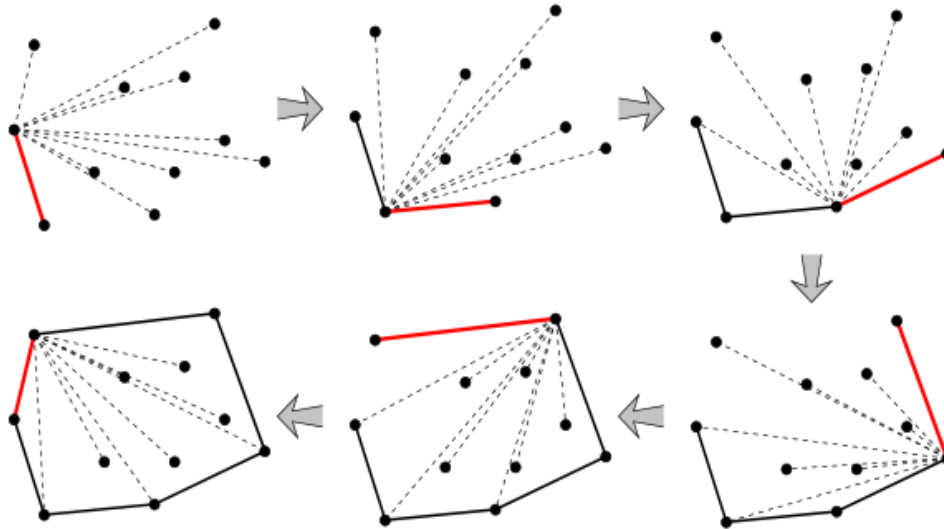


Figura 3.3 – Técnica clássica para a obtenção da envoltória convexa.

Embora o método clássico consiga resolver o problema, costuma ser computacionalmente custoso, pois precisa verificar a geometria a cada novo ponto selecionado. Assim, optou-se por utilizar o método de triangulação de Delaunay [79], que apresenta grande robustez e rapidez, pois agrupa os pontos em triângulos, de tal forma que nenhum segmento atravessasse outro e que o círculo contendo três vértices de um dado triângulo não envolva outro vértice, como mostra a Figura 3.4. Uma das propriedades da triangulação é que o polígono formado pelos vértices mais externos é a envoltória convexa do conjunto de pontos.

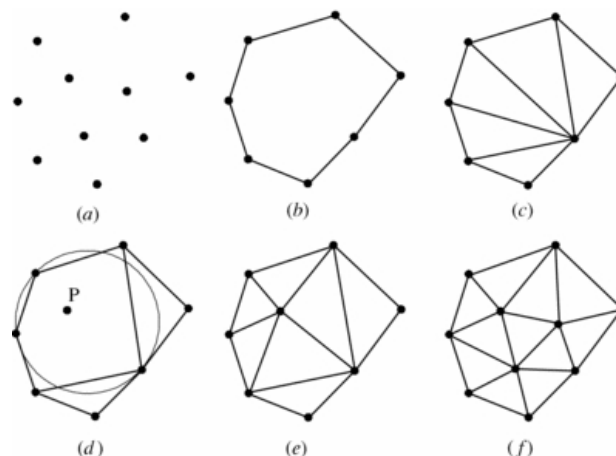


Figura 3.4 – Triangulação de Delaunay. Fonte [82].

Eliminadas as faces indesejadas, resta a representação dos quarteirões pelas envoltórias convexas, mostradas na Figura 3.5 para os mapas de Madri e Ipanema. Pode-se observar que apenas a área central do mapa de Madri foi definida pela Figura 3.1 (a). Esta área, na qual serão realizadas as simulações, foi cercada por suas réplicas, a fim de simplificar o cenário e também criar um isolamento entre ela e a borda. O motivo desta repetição é evitar efeitos da borda nas simulações, causados artificialmente pelos limites da representação. O próximo passo, idêntico para ambas as representações, gera prismas retos cujas bases são os polígonos representativos dos quarteirões.

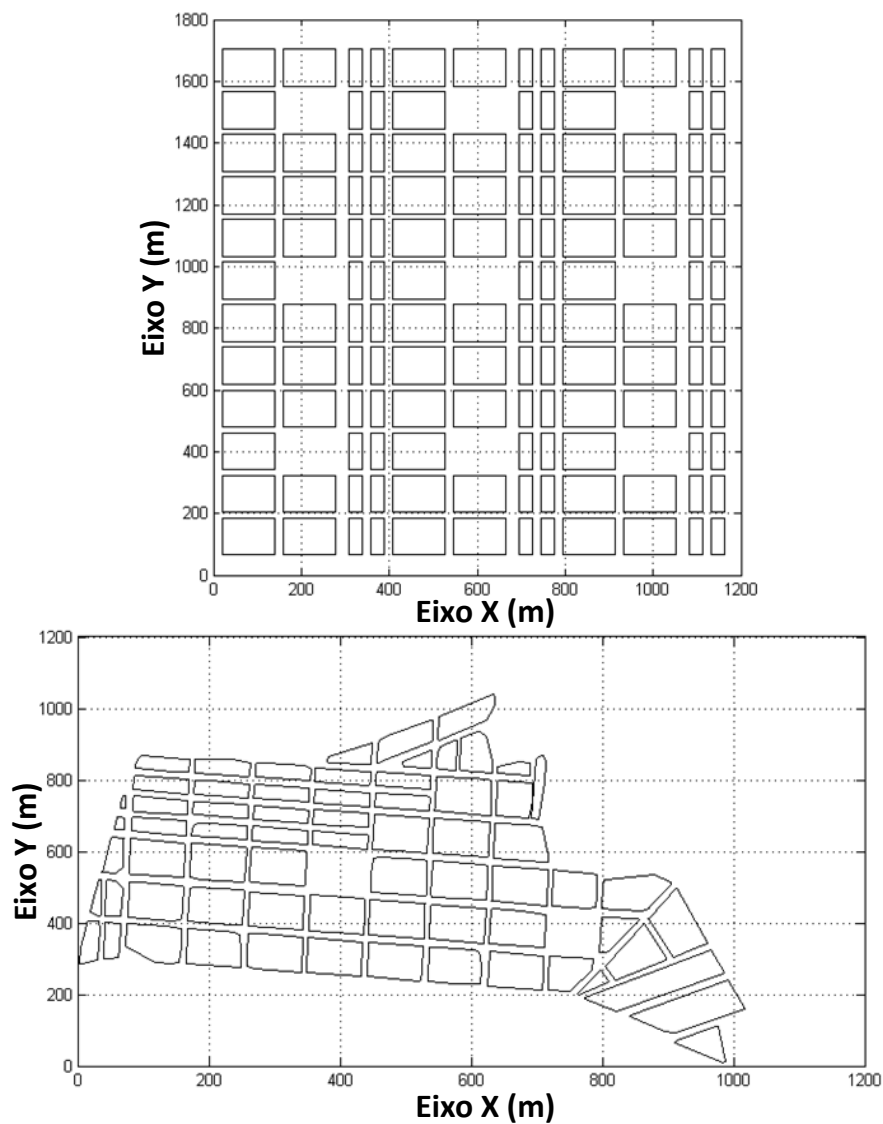


Figura 3.5 – Representação final do espaço e construções: (a) Madri; (b) Ipanema (a parte não plana a leste, observada na Figura 3.2, foi retirada).

A base de dados gerada a partir destas representações consiste, basicamente, de uma sequência de coordenadas  $(x, y)$  obtidas diretamente da envoltória convexa e ordenadas em sentido anti-horário. As coordenadas representam os vértices do polígono da base dos prismas. Não é necessário armazenar as informações dos vértices que estão acima deste plano, pois a difração e a propagação nos topos dos prismas foram desconsideradas.

### 3.3

#### Árvores e Postes

Para a caracterização de canais de comunicação móvel externos na presença de elementos espalhadores distribuídos, a correta definição geométrica e quantitativa destes espalhadores é de grande importância [1]. Assim, optou-se em realizar uma breve campanha de levantamento de dados acerca da quantidade e posicionamento e características geométricas de árvores, postes de trânsito, de iluminação e de distribuição de energia. A campanha não teve a intenção de reproduzir com absoluta fidelidade os ambientes, pois estes são dinâmicos e mudam constantemente, mas prover a simulação de informações confiáveis a respeito dos espalhadores, objetivando melhorar a modelagem geral dos canais analisados.

#### 3.3.1

##### Árvores

Foram usadas as duas representações na campanha de levantamento de dados. A primeira é Ipanema, Rio de Janeiro, um bairro da zona sul bastante arborizado e urbanizado, com alto tráfego de pessoas e automóveis. Para o levantamento de dados, foi utilizado um trecho entre as ruas Maria Quitéria e Joana Angélica e entre as ruas Barão de Jaguaripe e Redentor, conforme mostra a Figura 3.6. A área selecionada possui 870 metros de vias. Foram contadas as 193 árvores contidas no espaço das calçadas das vias. Com a utilização do software livre Google Earth®, é



possível a visualização ao nível da rua em imagens recentes (2016) em alta resolução e com escala, o que permite a contabilização das árvores. A utilização da vista superior torna muito difícil a discriminação individual das árvores, em virtude da interpenetração entre as copas. Fazendo a divisão do número de árvores pelos 870 metros de via, obtém-se 0,22 árvores por metro de via (afastamento médio de aproximadamente 4,5 m entre árvores consecutivas).

Utilizando o mesmo *software*, é ainda possível estimar o raio médio das copas das árvores. Para estimar esse dado, foram utilizadas apenas as árvores da rua Redentor. Os dados correspondentes estão apresentados na Tabela 3.1.

A representação de Madri parece estilizada: os nomes de ruas na representação existem e coincidem com os reais, embora a geometria seja um pouco diferente. O que há de mais semelhante entre a representação e a realidade está apresentado na Figura 3.7. A área utilizada para o levantamento das estatísticas incluem a calle Gran Via, desde a plaza Calao até a calle Salud, e a Preciados, desde seu início na plaza Calao até Puerta del Sol. Também foi usada a calle Mesonero Romano entre a Gran Via e a Preciados, somando 772 metros de vias.



Figura 3.6 – Área selecionada de Ipanema para a coleta de dados. Fonte: Google Earth.

Tabela 3.1 – Árvores no trecho da rua Redentor.

Árvore #	Copa (m)	Árvore #	Copa (m)
1	11,49	17	7,44
2	10,00	18	6,90
3	13,25	19	8,30
4	8,86	20	12,77
5	6,67	21	13,73
6	7,10	22	7,75
7	12,20	23	12,89
8	14,75	24	4,56
9	6,82	25	7,15
10	6,53	26	11,02
11	7,75	27	8,65
12	8,24	28	9,18
13	7,31	29	3,66
14	8,02	30	6,00
15	10,40	31	8,51
16	8,20	<b>Média</b>	<b>8,90</b>

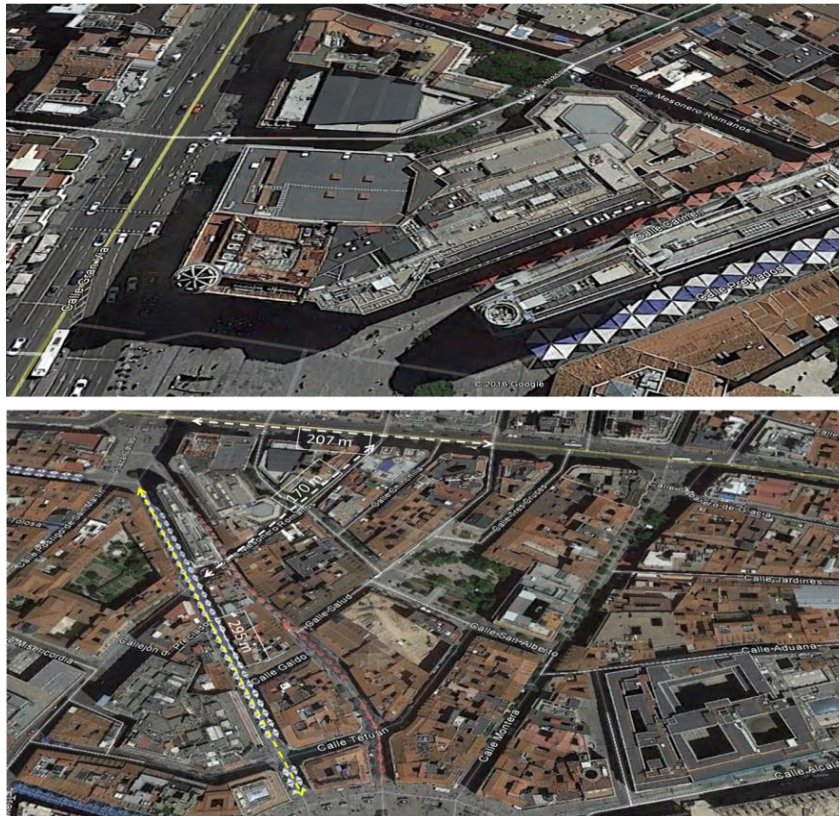


Figura 3.7 – Área selecionada de Madri para o levantamento dos dados. Fonte: Google Earth.



A área de Madri é localizada no centro da cidade, com muitas casas comerciais e hotéis, diferentemente de Ipanema, onde há um predomínio de moradias, embora também haja razoável número de estabelecimentos comerciais. Por outro lado, a área de Madri é bem menos arborizada e as árvores em geral são de espécies de menor porte. O levantamento de dados nas áreas apontou 0,11 árvores por metro de via (afastamento médio de aproximadamente 9,1 m entre árvores consecutivas). A calle Preciados não possui árvores: é uma espécie de boulevard para pedestres. Assim, ela foi descartada da área de coleta de dados. Para definição do tamanho médio da copa, foram usados apenas os dados da Gran Via, apresentados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Dados obtidos na calle Gran Via.

Árvore #	Copa (m)	Árvore #	Copa (m)
1	2,74	11	2,73
2	1,50	12	2,92
3	3,43	13	2,93
4	2,66	14	2,12
5	2,93	15	2,90
6	2,43	16	2,33
7	1,91	17	1,64
8	2,93	18	1,82
9	2,01	19	3,04
10	2,99	<b>Média</b>	<b>2,52</b>

As árvores nos dois ambientes estão dispostas em linhas, plantadas em distâncias regulares e nas calçadas. O algoritmo possui um modo de edição onde as árvores podem ser distribuídas no ambiente de acordo com as densidades médias obtidas. Sob o ponto de vista eletromagnético, uma árvore foi modelada em tronco e copa, sendo o tronco um cilindro condutor que pode refletir e difratar o raio em percursos geodésicos em sua superfície, conforme a Teoria Uniforme da Difração [5]. A copa é um volume cilíndrico compostos por folhas e ramos, que têm suas orientações aleatoriamente distribuídas e possuem dimensões muito maiores que o comprimento de onda, conforme o modelo descrito na Figura 3.8. Seu diagrama de espalhamento pode ser definido pelo trabalho de Ulaby et al. [80], que será descrito em detalhes no próximo capítulo.

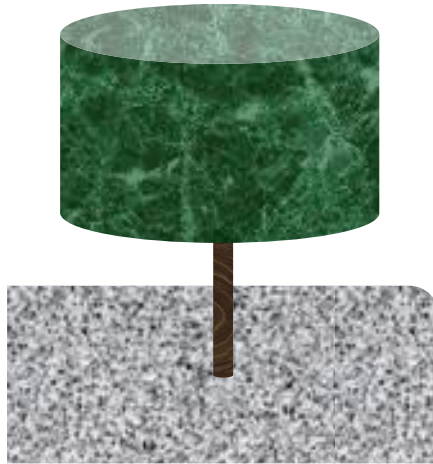


Figura 3.8 – Modelo de árvore, com solo cinza, tronco marrom e copa verde.

Outras definições geométricas importantes como raio médio do tronco e altura da árvore e do começo da copa foram extraídas do trabalho de Silva e Siqueira [81], que mediram as dimensões de linhas de árvores plantadas em intervalos regulares no município de Xerém no Rio de Janeiro e obtiveram como altura média o valor aproximado de 12 m e diâmetro de 0,58 m, assim como altura média do começo da copa de 3,4 m.

### 3.3.2

#### Postes

Para a análise dos postes no ambiente, foram utilizadas as mesmas ruas selecionadas para árvores tanto em Ipanema quanto em Madri. Pode-se notar nas ruas de Ipanema a existência de três tipos principais de postes: distribuição de energia, iluminação e de suporte a placas e semáforos, como indicado na Figura 3.9.

Os primeiros são postes de concreto armado com um formato ligeiramente cônico, distribuídos nas calçadas em espaços geralmente regulares e nos cantos dos quarteirões, tendo uma altura aproximada de 10 m. São dispostos na calçada em distâncias usualmente regulares, embora em muitos casos estejam muito próximos, de forma a facilitar seu posicionamento em relação aos obstáculos encontrados nas calçadas ou nas esquinas das ruas. Seus raios médios medem aproximadamente 0,15 m. Outra classe de postes são os de iluminação, em geral feitos de metal, tendo

altura equivalente aos de distribuição de energia. Contudo, o raio é menor, de aproximadamente 0,1 m, sendo distribuídos ao longo da calçada em espaços regulares, tal como os primeiros. A classe final são os postes de suporte a placas e semáforos. São concentrados nas esquinas, que, em geral, possuem vários destes postes, conforme pode ser visto na Figura 3.9. São metálicos, com altura na ordem de 4 m a 5 m e raios de aproximadamente 0,1 m ou inferiores. Nas ruas analisadas de Ipanema, os postes de distribuição de energia são colocados em apenas um lado da calçada com uma densidade de 0,0025 por metro de via (a cada 40 m). Os de iluminação, com densidade de 0,03 por metro de via (a cada 33 m), dispostos do outro lado da calçada não ocupada por postes de distribuição de energia. Os postes que sustentam placas e semáforos foram encontrados com uma média de três por esquina.

Neste ambiente, há ainda vários outros tipos de postes, mas em pequenas quantidades. Por isso, foram desprezados.

Nas ruas analisadas de Madri, não foram encontrados postes de distribuição de energia. Basicamente, existem os postes de iluminação e os de suporte a placas e semáforos, todos metálicos e de dimensões similares aos encontrados em Ipanema. Estão dispostos uniformemente ao longo das vias e em concentração maior nas esquinas, como ilustrado na Figura 3.10. Utilizando o mesmo método de levantamento adotado em Ipanema, chega-se ao número de 0,15 postes por metro de via (a cada 6,7 m), maior que o visto em Ipanema.

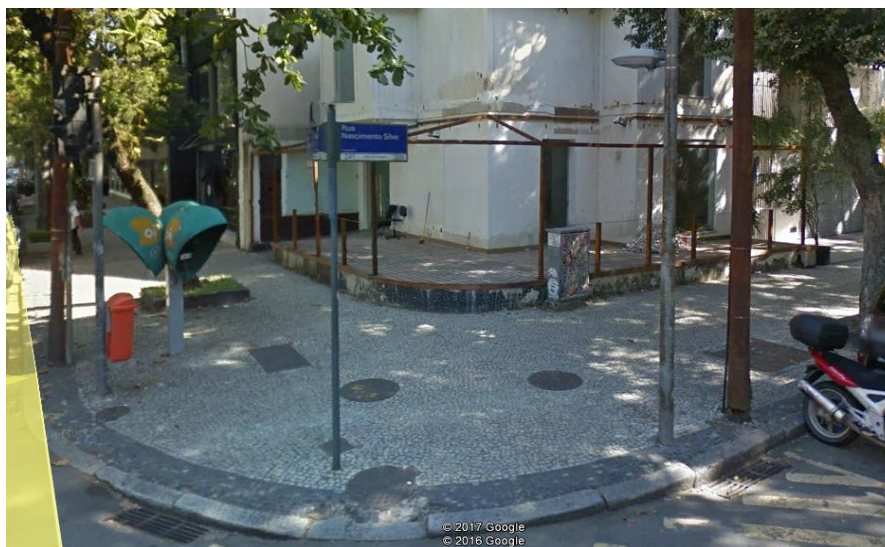


Figura 3.9 – Postes em Ipanema. Fonte: Google Earth.



Figura 3.10 – Postes em Madri. Fonte: Google Earth.

Os postes foram modelados como cilindros condutores de forma análoga ao tronco das árvores, que podem refletir e difratar em percursos geodésicos, conforme descrito no próximo Capítulo.

### 3.3.3

#### Paredes Refletoras

Além do espalhamento provocado pelas árvores e postes distribuídos nos ambientes, foi considerado também o espalhamento ocorrido nas faces dos prismas que representam as paredes das construções de um quarteirão. Tal espalhamento pode ocorrer de forma especular e difusa. No espalhamento especular, ocorre a reflexão segundo a lei de Snell, com ângulos de reflexão iguais aos de incidência, ambos medidos em relação ao vetor unitário normal à face que interage com o raio. No espalhamento difuso, a energia incidente em uma face rugosa pode se espalhar em qualquer direção. Um dado raio, neste trabalho, só pode conter um espalhamento do tipo difuso e até sete reflexões especulares.

Desta forma, para cada canal arbitrário, é necessário encontrar as paredes refletoras (que possuem a face externa voltada para fora do prisma). Durante a fase da triangulação de Delaunay, as faces são definidas como as mais externas do con-



junto inicial de faces. Assim, os prismas formados já podem ser utilizados para implementação deste mecanismo, descrito em detalhes no próximo Capítulo.

### 3.4

#### Representação Final

A adição de árvores e as várias classes de postes ao espaço delineado pelas paredes dos prismas e ruas completam a representação dos ambientes de propagação da onda, de acordo com a Figura 3.11.

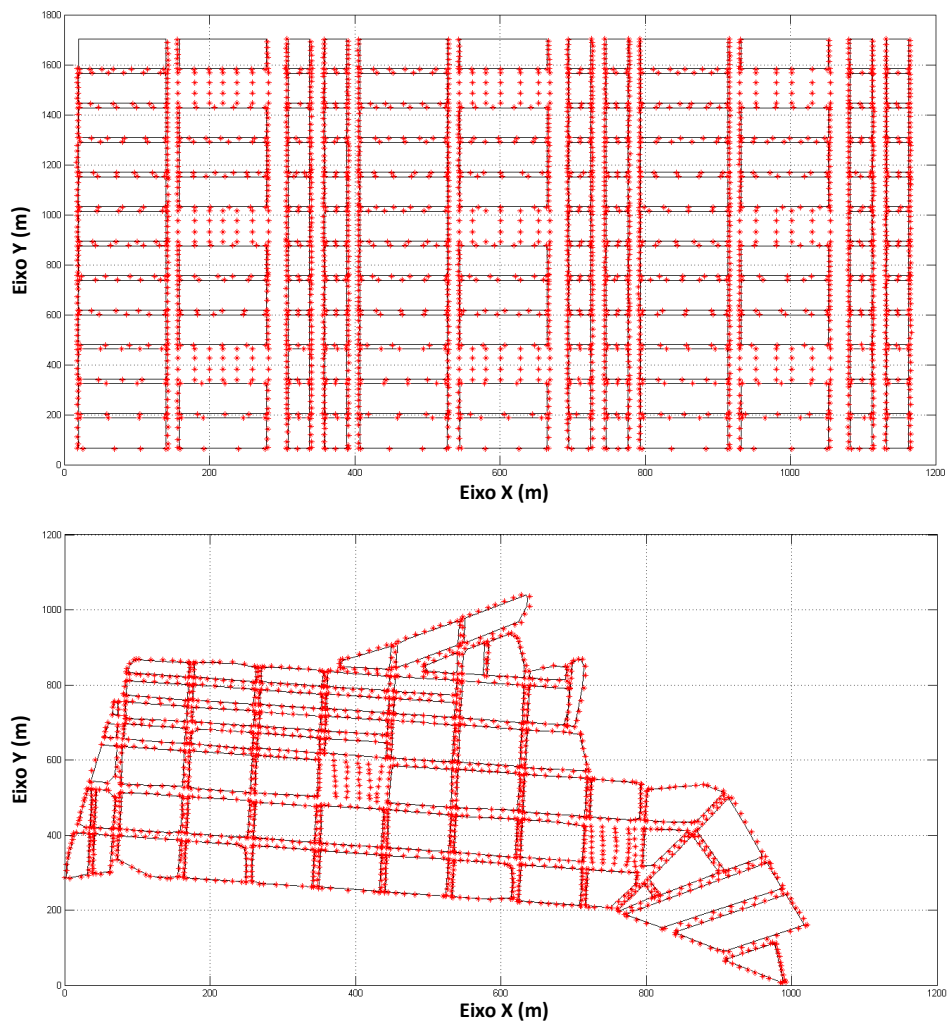


Figura 3.11 – Representação final com todos os espalhadores: acima Madri; abaixo Ipanema. As bases dos blocos (quarteirões) são representadas por polígonos convexos pretos e os espalhadores (todos) por cruzes vermelhas.