

MORFOLOGIA E QUALIDADE ACÚSTICA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO: ESTUDO DE CASO EM PETRÓPOLIS, NATAL/RN

MARINA MEDEIROS CORTÊS

2013



MORFOLOGIA E QUALIDADE ACÚSTICA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO: ESTUDO
DE CASO EM PETRÓPOLIS, NATAL/RN.

Marina Medeiros Cortês

Dissertação de Mestrado apresentada
ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura,
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da
Universidade Federal do Rio de Janeiro, como
parte dos requisitos necessários à obtenção do
título de Mestre em Ciências em Arquitetura,
Linha de pesquisa em Sustentabilidade, Conforto
Ambiental e Eficiência Energética.

Orientadora: Prof.^a Maria Lygia Niemeyer

Rio de Janeiro

Março de 2013

MORFOLOGIA E QUALIDADE ACÚSTICA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO: ESTUDO
DE CASO EM PETRÓPOLIS, NATAL/RN.

Marina Medeiros Cortês

Orientadora Maria Lygia Niemeyer

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências em Arquitetura, Linha de pesquisa em Sustentabilidade, Conforto Ambiental e Eficiência Energética.

Aprovada por

Presidente, Prof.^a Maria Lygia Niemeyer

Prof.^a Bianca Carla Dantas de Araújo

Prof.^a Mônica Santos Salgado

Rio de Janeiro

Março de 2013

Cortês, Marina Medeiros.

Morfologia e qualidade acústica do ambiente construído: estudo de caso em Petrópolis, Natal/RN/ Marina Medeiros Cortês. – Rio de Janeiro: UFRJ/FAU, 2013.

xiv, 112f.: il.; 31cm.

Orientador: Maria Lygia Niemeyer

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ PROARQ/ Programa de Pós-graduação em Arquitetura, 2013.

Referências Bibliográficas: f. 113-120.

1. Planejamento urbano. 2. Poluição sonora. 3. Conforto acústico. 4. Mapa de ruído. I. Niemeyer, Maria Lygia. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-graduação em Arquitetura. III. Título.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Iuris e Ana Alice, que de todas as formas possíveis me deram o suporte necessário, sempre apoiando minhas decisões;

À Prof.^a Dr.^a. Maria Lygia Niemeyer, não apenas pela orientação, sobretudo pela confiança no meu trabalho, carinho e amizade;

Às professoras Andréa Rego, Bianca Araújo e Mônica Salgado, por contribuírem como membro da banca examinadora e análises construtivas que deram suporte ao trabalho;

Aos meus irmãos Henrique e Milena;

Aos meus avós Osvaldo e Juliêta, pela ajuda, estímulo e orações;

A Gustavo, pelo incentivo. Mesmo que distante sempre tão presente;

À minha família carioca, Daniel, Isabelle, Diana, André, Marcelo, Cipriano, Cristine, Rafael, Bernardo, Nicolas, Danielle e em especial minhas tias Ionis e Gracinha, pela maravilhosa acolhida;

Aos “*roomies*” André e Lyna, pela amizade e presença marcante no meu dia a dia;

A Iuris, Henrique e Victor Martins, pelo auxílio nas medições em campo;

À Andreza Dantas, sempre tão criativa, ajudando nos desenhos e capa do trabalho;

À Débora Nogueira, amiga e companheira de congressos, por todos os conselhos e sugestões;

Às colegas de mestrado, Júlia Emmerick e Mariana Rocha, pela solidariedade e troca de informações relevantes aos trabalhos;

À empresa GROM Acústica e Vibrações, Marcelo Gomes, Gilberto Fuchs e principalmente Sérgio Mendes, pelo suporte e ensinamentos com o programa SoundPLAN;

Ao LABCON/UFRN, em especial à professora Bianca Dantas, pela infraestrutura e equipamentos disponibilizados nos meses de pesquisa em Natal/RN;

Aos professores do PROARQ/UFRJ e todos os membros administrativos, que forneceram um grande apoio em todos os momentos;

À CAPES pelo apoio concedido através da bolsa de auxílio;

A todas as pessoas que acreditaram no sucesso deste trabalho.

RESUMO

MORFOLOGIA E QUALIDADE ACÚSTICA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO: ESTUDO DE CASO EM PETRÓPOLIS, NATAL/RN.

Marina Medeiros Cortês

Orientadora Maria Lygia Niemeyer

Resumo da Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências em Arquitetura.

A poluição sonora degrada a qualidade do meio ambiente e é um dos maiores problemas das grandes cidades. O tráfego de veículos é, de modo geral, o componente que causa o maior desconforto acústico nas pessoas. Porém, a variação do nível sonoro também se relaciona com as características morfológicas do campo de propagação. No Brasil, a falta de metodologias para previsão e prevenção dos problemas acústicos, tanto nas legislações, quanto nas práticas de projeto arquitetônico e urbano, resulta no aumento do ruído e comprometimento da qualidade de vida da população. A cartografia sonora é uma importante ferramenta de planejamento e controle do ruído, capaz de criar mapas acústicos, utilizados para diversos fins, dependendo da escala e finalidade do estudo. A verticalização em Natal-RN tem se desencadeado de forma muito rápida. Por isso, o objetivo principal do trabalho foi avaliar a influência da morfologia urbana na qualidade acústica do espaço construído, através da elaboração de mapas de ruído, com cenários hipotéticos, utilizando o Bairro de Petrópolis como campo experimental. A pesquisa demonstra que os níveis sonoros atuais no Bairro já estão um pouco elevados, principalmente ao longo das vias arteriais e que a tendência da situação é se agravar no futuro. Além disso, as edificações podem influenciar a propagação sonora como barreiras ou como objetos de reflexão. Para a gestão do ruído no edifício, as decisões devem ser pensadas em conjunto, integradas ao entorno.

Palavras-chave: Poluição Sonora; Planejamento urbano; Conforto acústico; Mapeamento sonoro.

Rio de Janeiro

Março de 2013

ABSTRACT

MORPHOLOGY AND ACOUSTIC QUALITY OF THE BUILT ENVIRONMENT: A CASE STUDY IN PETRÓPOLIS, NATAL/RN.

Marina Medeiros Cortês

Orientadora Maria Lygia Niemeyer

Abstract da Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências em Arquitetura.

Noise pollution degrades the quality of the environment and it is one of the biggest problems in a big city. The vehicular traffic is, generally, the element that causes the most acoustic discomfort in people. However, the variation of the noise levels is also related to the morphological characteristics of the field propagation. In Brazil, the absence of methodologies to predict and prevent acoustic problems, both in legislative and in architectural and urban design exercise, leads to the noise increase and affects the population's quality of life. The acoustic mapping is an important tool to plan and control noise, able to create sound maps, used in various purposes, depending on the scale and goal of the study. The verticalization in Natal-RN has initiated in a sudden way. That is why the main goal of this dissertation is to evaluate the influence of the urban morphology on the acoustic quality of the built space, through the elaboration of noise maps with hypothetical scenarios and using the neighborhood of Petrópolis as an experimental field. The research demonstrates that the current noise levels in the neighborhood are already a bit elevated, especially along the arterial roads and the situation tends to worsen in the future. Moreover, the buildings can influence the sound propagation as a barrier or as reflecting objects. For noise management in the building, the design alternatives should be evaluated as a whole and integrated to the surroundings.

Kew-words: Noise pollution; Urban planning; Acoustic comfort; Sound mapping.

Rio de Janeiro

Março de 2013

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1	Som e Ruído.....	5
2.2	Reação do homem ao ruído.....	6
2.2.1	<i>Percepção sonora.....</i>	<i>6</i>
2.2.2	<i>Efeitos sobre a saúde.....</i>	<i>7</i>
2.3	Aspectos físicos do som.....	8
2.3.1	<i>Fontes sonoras.....</i>	<i>9</i>
2.3.2	<i>Campo sonoro</i>	<i>11</i>
2.3.3	<i>Mecanismos básicos da propagação sonora.....</i>	<i>12</i>
2.3.4	<i>Propagação sonora ao ar livre</i>	<i>13</i>
2.3.5	<i>Quantificação do Som</i>	<i>17</i>
2.4	Ruído urbano.....	21
2.4.1	<i>Caracterização do campo sonoro</i>	<i>23</i>
2.4.2	<i>Escalas de gestão do ruído.....</i>	<i>24</i>
2.5	Legislações e Normas Acústicas.....	37
2.5.1	<i>Internacionais.....</i>	<i>38</i>
2.5.2	<i>No Brasil.....</i>	<i>42</i>
2.5.3	<i>No Estado do Rio Grande do Norte</i>	<i>45</i>
3	APLICAÇÃO DO MAPEAMENTO DE RUÍDO EM PETRÓPOLIS-NATAL/RN....	47
3.1	Caracterização da área de estudo	47
3.1.1	<i>Localização e clima.....</i>	<i>47</i>
3.1.2	<i>Evolução urbana de Natal-RN e do Bairro de Petrópolis.....</i>	<i>52</i>
3.1.3	<i>Prescrições Urbanísticas do Bairro de Petrópolis</i>	<i>57</i>
3.1.4	<i>Características físico-ambientais do Bairro de Petrópolis.....</i>	<i>58</i>
3.1.5	<i>Sistema de Transporte</i>	<i>62</i>

3.2	Materiais e Métodos	63
3.2.1	<i>Elaboração de mapas de ruído.....</i>	<i>64</i>
3.2.2	<i>Elaboração do modelo de ocupação atual.....</i>	<i>66</i>
3.2.3	<i>Medição dos níveis de ruído.....</i>	<i>69</i>
3.2.4	<i>Elaboração do modelo de ocupação futuro</i>	<i>70</i>
3.2.5	<i>Elaboração de modelos de ocupação futuro para a quadra selecionada.....</i>	<i>77</i>
3.2.6	<i>Geração dos mapas de ruído.....</i>	<i>78</i>
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	79
4.1	Mapa de ruído da situação atual.....	79
4.2	Validação do mapa de ruído da situação atual	83
4.3	Mapa de ruído cenário futuro	92
4.4	Mapas de ruído hipotéticos para a quadra selecionada	97
4.4.1	<i>Efeito da forma</i>	<i>97</i>
4.4.2	<i>Efeito da implantação.....</i>	<i>101</i>
4.4.3	<i>Efeito da altura.....</i>	<i>104</i>
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	107
	BIBLIOGRAFIA	113
	ANEXOS	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. O conceito de conforto: sensações e emoções subjetivas.	6
Figura 2. Comprimento de onda no ar em função da frequência em condições normais.....	9
Figura 3. Comprimento de onda e Amplitude.	9
Figura 4. Campo livre – Espaço acústico aberto.	11
Figura 5. Campo semi-reverberante – Espaço acústico fechado.	11
Figura 6. Propagação sonora com obstáculo.	12
Figura 7. Reflexão sonora.....	12
Figura 8. Barreira Acústica.....	13
Figura 9. Mecanismos mais significativos da atenuação sonora ao ar livre.....	14
Figura 10. Atenuação pela distância para fonte pontual.....	14
Figura 11. Atenuação pela distância para fonte linear.....	14
Figura 12. Efeitos da velocidade do vento na propagação do som.....	15
Figura 13. Variação devido ao efeito de diminuição da temperatura com a altura.	16
Figura 14. Variação devido ao efeito de aumento da temperatura com a altura.	16
Figura 15. Relação entre pressão sonora e nível de pressão sonora.	18
Figura 16. Curvas de audibilidade para tons puros.	19
Figura 17. Medição de ruído com Leq e níveis estatísticos.....	20
Figura 18. Influência das fontes de ruído dos veículos.	21
Figura 19. Relação tipo de veículo e intensidade sonora.	22
Figura 20. Relação velocidade da via e intensidade sonora.	22
Figura 21. Rua em “U”.	23
Figura 22. Rua em “L”.	23
Figura 23. Separação e mistura espacial das funções, respectivamente.	25
Figura 24. Perfis transversais variando altura dos edifícios e largura das vias.	26
Figura 25. Atenuação sonora em rodovias.	27

Figura 26. Exemplos de barreiras acústicas.....	28
Figura 27. Integração da vegetação nas barreiras acústicas.	28
Figura 28. Edifício como barreira acústica.....	29
Figura 29. Configuração (a) com maior permeabilidade ao ruído e (b) com menor.....	29
Figura 30. Solução de quadra menos exposta e mais exposta ao ruído de tráfego, respectivamente.	30
Figura 31. Organização do tráfego em malha reticulada.....	30
Figura 32. Sistema orgânico.	30
Figura 33. Esquema de hierarquização de vias de tráfego.	31
Figura 34. Desenho urbano com espaços semipúblicos ou privados no interior das quadras..	31
Figura 35. Ruído ambiental e implantação de edifício.....	32
Figura 36. Variadas orientações dos edifícios.	33
Figura 37. Localização de aberturas em edifício próximo à via.....	33
Figura 38. Redução do ruído nas laterais e fundos da construção.....	34
Figura 39. Andares em escalonamento.....	34
Figura 40. Configuração em planta com áreas menos críticas como barreiras para áreas sensíveis.....	35
Figura 41. Localização do Rio Grande do Norte e da Região Metropolitana de Natal, com destaque para Natal.....	48
Figura 42. Mapa de Natal com as quatro Regiões Administrativas.	49
Figura 43. Região Administrativa Leste, com destaque para Petrópolis.....	49
Figura 44. Bairro de Petrópolis.	49
Figura 45. Mapa da Cidade de Natal com entrada dos ventos.	50
Figura 46. Zoneamento Bioclimático Brasileiro.	51
Figura 47. Zona Bioclimática nº 8, com destaque para Natal-RN.	51
Figura 48. Carta Bioclimática adotada no Brasil.....	51
Figura 49. Carta psicrométrica com os dados referentes à Natal.	52

Figura 50. Petrópolis na década de 1960.....	55
Figura 51. Petrópolis na década de 1960.....	56
Figura 52. Petrópolis na década de 1980.....	56
Figura 53. Petrópolis em 2009.....	56
Figura 54. Gráfico da população residente por tipo de domicílio em Petrópolis, baseado no Censo Demográfico de 2000.	57
Figura 55. Mapa topográfico de Petrópolis.	59
Figura 56. Mapa de uso do solo de Petrópolis em 2010.....	59
Figura 57. Mapa de gabarito de Petrópolis em 2010.....	61
Figura 58. Mapa de tipo de recobrimento do solo de Petrópolis em 2010.....	61
Figura 59. Mapa de áreas verdes de Petrópolis em 2010.	62
Figura 60. Carregamentos do Transporte Individual, com “Alternativa Nada a fazer”, 2012 e 2027, respectivamente, no horário de pico da manhã.....	63
Figura 61. Mapa com escalas de estudo – Escala do bairro e da quadra.....	66
Figura 62. Mapa de hierarquia viária de Petrópolis, Natal-RN.	67
Figura 63. Mapa da área de estudo e quadra selecionada.....	68
Figura 64. Mapa de Uso do Solo.	69
Figura 65. Mapa de Altura das edificações.	69
Figura 66. Medidor digital de nível de pressão sonora.	69
Figura 67. Mapa de localização do Gran Parc Petrópolis.	71
Figura 68. Área de lazer do Gran Parc Petrópolis.	71
Figura 69. Gran Parc Petrópolis.	72
Figura 70. Unidade habitacional do Gran Parc Petrópolis.	72
Figura 71. Edifício Alto de Petrópolis.....	72
Figura 72. Área de lazer do Alto de Petrópolis.	72
Figura 73. Implantação do Alto de Petrópolis.....	73
Figura 74. Pavimento tipo do Alto de Petrópolis.	73

Figura 75. Implantação do edifício Geraldo Pinho.....	73
Figura 76. Pavimento tipo do Geraldo Pinho.	73
Figura 77. Edifício Geraldo Pinho.....	73
Figura 78. Área de lazer do Geraldo Pinho.	73
Figura 79. Lâmina e bandeja.	74
Figura 80. Mapa com remembramento dos lotes.	75
Figura 81. Situação atual da quadra e apenas com os lotes, respectivamente.....	77
Figura 82. Situação 01 – Quadra com 02 lotes.....	77
Figura 83. Situação 02 – Quadra com 3 lotes.....	77
Figura 84. Diagrama resumo.	78
Figura 85. Mapa de ruído diurno para todo o Bairro de Petrópolis.....	80
Figura 86. Mapa de ruído noturno para todo o Bairro de Petrópolis.....	81
Figura 87. Mapa das áreas críticas, sensíveis e estáveis em relação ao ruído.	82
Figura 88. Área de estudo com quadra selecionada e pontos de medição.....	83
Figura 89. Ponto 04 – Rua Potengi.....	84
Figura 90. Ponto 07 – Av. Afonso Pena.	84
Figura 91. Ponto 08 – Av. Hermes da Fonseca.	84
Figura 92. Ponto 09 – Rua Trairi.....	84
Figura 93. Gráfico de comparação dos pontos medidos em junho de 2012 e janeiro de 2013.....	85
Figura 94. Gráfico com porcentagem das medições em relação ao nível sonoro.	86
Figura 95. Gráfico com comparação das medições com a legislação para o Rio Grande do Norte, Lei nº 6.621/1994.	86
Figura 96. Gráfico com comparação das medições por horário e por ponto.....	87
Figura 97. Modelo tridimensional da ocupação atual de Petrópolis inserida no programa SoundPLAN.	87
Figura 98. Mapa de ruído da situação atual no período diurno.	89
Figura 99. Mapa de ruído da situação atual no período noturno.	90

Figura 100. Mapa de conflito diurno e noturno, de acordo com a Lei nº 6.621/1994.....	91
Figura 101. Mapa de conflito diurno e noturno, de acordo com a ABNT NBR 10151/2000. .	91
Figura 102. Modelo de ocupação da situação atual.....	92
Figura 103. Modelo de ocupação da situação futura, com edificações hipotéticas em vermelho.	93
Figura 104. Mapa de ruído da situação atual, com malha da simulação a 1,20m de altura.	93
Figura 105. Mapa de ruído da situação futura, com malha da simulação a 1,20m de altura....	93
Figura 106. Mapa de ruído da situação atual, com malha da simulação a 60m de altura.	94
Figura 107. Mapa de ruído da situação futura, com malha da simulação a 60m de altura.....	94
Figura 108. Mapa de ruído da situação futura no período diurno.	96
Figura 109. Forma quadrada.....	98
Figura 110. Forma retangular.	98
Figura 111. Forma circular.	99
Figura 112. Forma em “L”.	99
Figura 113. Forma escalonada.....	100
Figura 114. Destaque da forma escalonada.	100
Figura 115. Edifício sem bandeja, bandeja com 4,5m e 7,5m de altura, respectivamente.....	101
Figura 116. Edifícios paralelos à Av. Hermes da Fonseca.	102
Figura 117. Edifícios perpendiculares à Av. Hermes da Fonseca.....	103
Figura 118. Edifícios com inclinação à Av. Hermes da Fonseca.	104
Figura 119. Locais dos cortes no modelo de ocupação atual.	104
Figura 120. Corte 01 – local apenas com edificações térreas ou de dois pavimentos.....	105
Figura 121. Corte 02 – local com prédio de 17 pavimentos.....	105
Figura 122. Secção no mesmo local do corte 02, com edifícios de 10 pavimentos.	106
Figura 123. Secção no mesmo local do corte 02, com edifícios de 20 pavimentos.	106
Figura 124. Secção no mesmo local do corte 02, com edifícios de 30 pavimentos.	106

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Coeficientes (α) de Absorção Sonora de pavimentações.....	16
Tabela 2. Conversão para dB(A).	19
Tabela 3. Classe de transmissão sonora (STC) de materiais construtivos mais comuns.....	36
Tabela 4. Classificação das infraestruturas de transportes terrestres.....	41
Tabela 5. Determinação do isolamento sonoro para ruas em “U”, em dB(A).	41
Tabela 6. Determinação do isolamento sonoro para tecido aberto, em dB(A).....	41
Tabela 7. Nível Critério de Avaliação para ambientes externos, em dB(A).	44
Tabela 8. Limites de tolerância para ruídos.....	45
Tabela 9. Nível Critério de Avaliação para o Estado do Rio Grande do Norte, em dB(A).	45
Tabela 10. Prescrições Urbanísticas para Petrópolis, Natal-RN.	58
Tabela 11. Parâmetros gerais de cálculo adotados.	65
Tabela 12. Parâmetros usados na definição de Polo gerador de Viagem.....	76
Tabela 13. Taxa de Geração de Viagem x Número de Quartos.	76
Tabela 14. Características gerais das vias.	84
Tabela 15. Resultado das medições em campo.	85
Tabela 16. Correção dos níveis sonoros para os pontos 02, 12 e 14.	86
Tabela 17. Comparação das medições em campo com o modelo simulado.....	88
Tabela 18. Limites permissíveis de ruído, em dB(A).....	92
Tabela 19. Níveis sonoros para o modelo futuro.....	95

1 INTRODUÇÃO

O crescimento e adensamento urbano são inevitáveis e causam diversos danos ao meio ambiente. Um projeto urbano, que visa a colaborar para formação de uma cidade mais sustentável e na eficiência energética das edificações, tenta introduzir a alta densidade em áreas construídas dentro dos limites da infraestrutura local e da qualidade ambiental. Entretanto, ocorre que os espaços públicos e privados refletem as características específicas do modelo de urbanização adotado e seus efeitos na maioria dos casos são negativos. A prática do desenho urbano normalmente não tem levado em conta os impactos que afetam a qualidade ambiental, sentidos não apenas no meio, mas também no conforto e salubridade da população (ROMERO, 2001).

Um dos efeitos negativo da urbanização é o nível de ruído que se torna cada vez mais perturbador. O ruído urbano é um exemplo de poluição ambiental, comparável com a do ar, da água e do solo. A poluição sonora provoca a degradação na qualidade do meio ambiente e se apresenta como um dos maiores problemas de saúde pública das grandes cidades (WHO, 2003).

Vários estudos mostram os malefícios que a exposição ao ruído pode trazer ao ser humano e à cidade. Interfere diretamente na saúde psicológica e fisiológica das pessoas, comprometendo tanto a sua concentração quanto o seu descanso. Na escala urbana, a modificação das características de alguns bairros, que antes eram residenciais e considerados tranquilos, pode provocar a deterioração e desvalorização das residências, devido à exposição aos intensos ruídos provenientes de rodovias, aeroportos, centros comerciais e casas noturnas. O tráfego de veículos é, de modo geral, o componente que causa o maior desconforto acústico, por ser o que atinge a maior parte da população.

Pesquisas demonstram que o aumento da poluição sonora das vias está relacionado não só com o ruído emitido pelos veículos, mas também com as características morfológicas do campo de propagação como densidade da malha urbana, disposição e forma das edificações, perfil de ruas, pavimentações e existência de áreas verdes.

Portanto, o processo de verticalização também tem a capacidade de interferir nas condições sonoras do espaço. O aumento do perfil das ruas implica no aumento da

contribuição no campo direto (consequência do aporte de tráfego) e do campo refletido (sobre as fachadas). Uma grande vantagem do edifício vertical é a capacidade de adensamento populacional, que aproxima diferentes usos e atividades, otimizando assim o sistema de transporte público. Por outro lado, a verticalização pode provocar alterações no microclima urbano, por aumentar a quantidade de superfícies expostas à radiação solar, gerar turbulência de ventos indesejáveis ou por atuar muitas vezes como barreiras, interferindo na ventilação, o que favorece a formação de ilhas de calor (COSTA, 2000b).

Grande parte do território brasileiro possui o clima do tipo quente e úmido e tem a ventilação natural como uma estratégia de fundamental importância (ABNT, 2003). Em locais com este tipo de clima não existe uma fronteira rígida entre o interior e o exterior, já que as janelas permanecem sempre abertas e o uso de espaços transitórios, também abertos, como varandas, terraços ou pátios é um traço muito presente na arquitetura. Entretanto, a utilização da ventilação natural como estratégia de conforto higrotérmico entra em conflito com a necessidade do isolamento sonoro das fachadas. Nesse contexto, o conforto no interior do edifício também está condicionado às características microclimáticas e acústicas do meio em que está inserido. Assim, essa preocupação deve ultrapassar os limites físicos do edifício, abrangendo os espaços externos, de forma que também ocorra uma gestão do ruído no entorno.

O tema do controle da poluição sonora é de difícil assimilação e muitas vezes indesejável, pois em muitos casos exige complexas soluções e o emprego de uma expressiva quantidade de recursos financeiros (BUNN *et al.*, 2009). A falta de previsão e prevenção dos problemas acústicos, advindos muitas vezes dos sistemas e elementos construtivos, além da atenção nas etapas preliminares de concepção do projeto (implantação, setorização, partido, etc.), trazem prejuízos aos usuários comprometendo na qualidade de vida.

Uma importante ferramenta de planejamento e controle do ruído urbano é a cartografia sonora, que possibilita a criação de mapeamentos de ruído. O mapa acústico é a informação gráfica da distribuição dos níveis de ruído, das fontes sonoras consideradas, sobre uma determinada área. Pode ser utilizado para diversos fins, dependendo da escala e objetivo do estudo. Com essa ferramenta é possível, por exemplo, identificar o nível de ruído percebido por pedestres ou no interior dos edifícios, verificar quais áreas estão com níveis acima do permitido pela legislação, simular cenários futuros e avaliar o desempenho de medidas para mitigação.

Os países da Comunidade Europeia utilizam a Diretiva 2002/49/EC, cujos mapas de ruído estratégico são exigidos em aglomerações com mais de 250.000 habitantes e para atividades potencialmente capazes de gerar poluição sonora. No Brasil, existem algumas pesquisas na área como Moraes (2006) que elaborou o mapa acústico na cidade de Belém/PA, Pinto e Mardones (2009) que trouxe o exemplo do Bairro de Copacabana/RJ, Garavelli *et al.* (2010) em Águas Claras/DF, Cantiere *et al.* (2010) na região central da cidade de Curitiba/PR, entre outros. Entretanto, apesar do estado da arte das pesquisas nesta área os métodos de simulação computacional de impacto sonoro não são exigidos nem mesmo para infraestruturas rodoviárias de grande porte.

A Cidade de Natal, local realizado o estudo de caso, se situa no nordeste do Brasil, no Estado do Rio Grande do Norte. Seu processo de verticalização se desencadeou em um período relativamente curto e logo se tornou uma das formas mais utilizadas na expansão imobiliária até os dias atuais. Há uma forte tendência na cidade do processo de verticalização ocorrer normalmente em áreas nobres e valorizadas. Assim, bairros residenciais como Petrópolis, por exemplo, já enfrentam dificuldades com esgotamento dos espaços. Por dispor de infraestrutura urbana básica, o Plano Diretor de Natal (2007) o classifica como “zona adensável”, permitindo a construção de edifícios com até 90 metros de altura.

Desta forma, pretende-se investigar a situação de Petrópolis em relação ao ruído urbano e analisar o impacto sonoro que o processo de verticalização pode causar, através da elaboração de mapas de ruído com cenários hipotéticos. O estudo ocorre também na escala dos edifícios verticais, verificando algumas decisões iniciais de projeto que podem interferir na qualidade acústica do ambiente construído.

Esta dissertação tem como objetivo geral avaliar a influência da morfologia urbana na qualidade acústica do espaço construído, com estudo de caso no Bairro de Petrópolis, em Natal/RN.

Os objetivos específicos são:

- Situar o tema da pesquisa em meio ao estado da arte;
- Identificar quais são as áreas críticas, sensíveis e estáveis do Bairro, em relação à poluição sonora;
- Criar mapas de conflitos entre a situação atual e a legislação vigente para a região de estudo;
- Definir cenários urbanos hipotéticos, de acordo com os parâmetros definidos;

- Simular acusticamente os diferentes cenários, através do programa SoundPLAN;
- Verificar a influência de decisões iniciais de projeto como altura das edificações, forma e implantação, na qualidade sonora do espaço;
- Mostrar a importância do mapeamento de ruído ser utilizado em normas e legislações.

O capítulo 02 apresenta uma revisão bibliográfica, abordando alguns conceitos fundamentais de acústica, necessários para a avaliação e gestão do ruído urbano. Trata de questões relacionadas ao ruído e sua reação no homem; aspectos físicos do som, como os diferentes tipos e classificação de fontes sonoras, campo livre e reverberante, propagação do som ao ar livre, entre outros; métodos para quantificação do som; controle do ruído relacionado à gestão na cidade e no edifício, além de normas e legislações, com referências nacionais e internacionais relativas ao tema.

O capítulo 03 é dedicado à aplicação do mapeamento de ruído. Realiza uma caracterização da área de estudo e dos materiais e métodos utilizados na pesquisa, para atingir os objetivos estabelecidos.

No capítulo 04 são mostrados os resultados e as discussões, contendo os dados das medições em campo e as simulações acústicas no programa SoundPLAN. Foram elaborados mapas de ruído atual e futuro, comparando também com a legislação vigente. Esses mapas que nortearam as discussões acerca da influência do processo de verticalização no ambiente sonoro urbano.

Finalmente, no capítulo 05 são apresentadas as considerações finais e apontadas alternativas para desdobramentos futuros da pesquisa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A poluição sonora é um dos problemas ambientais mais frequentes nas grandes cidades. O ruído urbano é um exemplo de poluição ambiental. Atualmente, depois da poluição do ar e da água, a poluição sonora é considerada um dos problemas ambientais que atinge o maior número de pessoas no planeta, de acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS). Está presente diariamente nas atividades humanas e seus danos são cada vez mais prejudiciais.

A modificação das características de alguns bairros, que antes eram residenciais e considerados tranquilos, pode provocar a deterioração e desvalorização das residências, devido à exposição aos intensos ruídos provenientes de rodovias, aeroportos, centros comerciais e casas noturnas. Assim, as questões da acústica urbana passam a ter mais importância na medida em que se busca um controle do ruído e preservação da qualidade ambiental. Diante desse contexto, serão apresentados nesse capítulo alguns conceitos fundamentais de acústica para a avaliação e gestão do ruído urbano.

2.1 Som e Ruído

O som é o resultado de variações de pressão ou oscilações em um meio elástico (como o ar, a água ou os sólidos), gerado por uma superfície vibratória ou fluxo de fluido turbulento. O som se propaga em forma de onda longitudinal, que envolve uma sucessão de compressões e rarefação do meio elástico (BIES; HANSEN, 2009). É uma variação da pressão ambiente detectável pelo ouvido humano.

A Organização Mundial de Saúde (OMS) define o ruído como todo som indesejado que possa afetar nocivamente a saúde e o bem-estar de indivíduos ou de populações. Marco (1982) sintetiza o ruído como todo som que não é desejado pelo receptor.

Do ponto de vista acústico, som e ruído constituem o mesmo fenômeno de variação da pressão atmosférica. A diferenciação é muito subjetiva, ao passo que alguns sons podem ser extremamente desagradáveis para uma pessoa e agradáveis para outra. Esta aceitação depende dos gostos, da cultura e até da capacidade auditiva de uma pessoa. Segundo

Schmid (2005) a comodidade acústica está associada à conveniência de se ouvir, podendo ser uma necessidade ou um desejo. Buscamos, portanto, ouvir aquilo que não nos cause estresse, nem distração em alguma atividade que porventura esteja sendo realizada. Assim, a adequação sonora requer que o ambiente sonoro seja coerente com a atividade desenvolvida.

2.2 Reação do homem ao ruído

No estudo do conforto ambiental temos o homem cercado por um ambiente provido de suas características físicas, objetivas e quantificáveis que produzem diversos tipos de estímulos ao corpo. Do outro lado, encontramos as reações subjetivas dos usuários desse ambiente, de difícil quantificação, suas sensações e emoções (Figura 1).

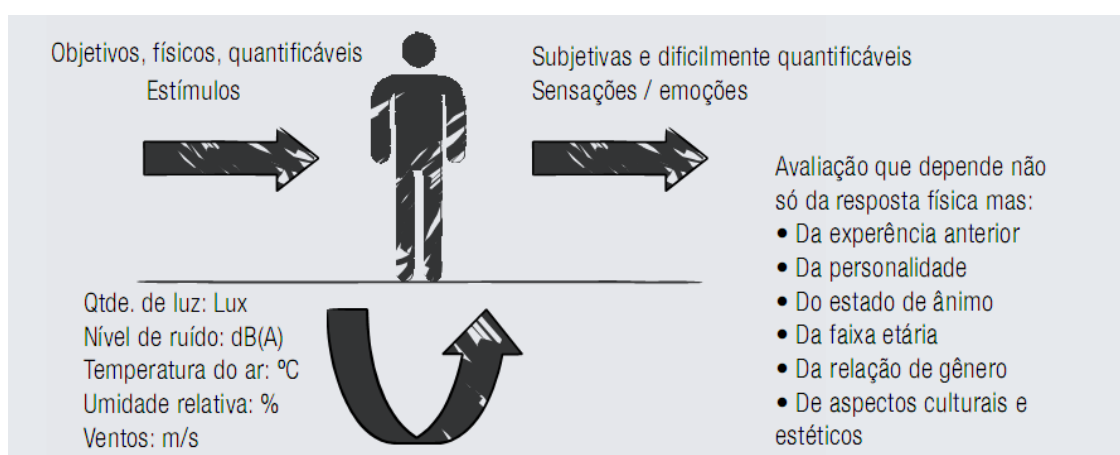


Figura 1. O conceito de conforto: sensações e emoções subjetivas.
Fonte: Apostila de iluminação da OSRAM do Brasil. Disponível em
http://www.osram.com.br/osram_br/index.html

Desta forma, é importante ressaltar a importância do contexto psicológico, das experiências passadas e das características individuais de cada pessoa. Porém, quanto melhor forem as condições propiciadas pelo ambiente, menor será o esforço do homem para se adaptar às condições ambientais e desenvolver bem a atividade em questão, sendo também maior a sua sensação de conforto.

2.2.1 Percepção sonora

Quando conscientemente percebemos sons, o processo fisiológico torna-se psicológico. Nesse momento, o som deixa o mundo físico da vibração e entra no mundo psicológico da informação. Internamente, seria a passagem da sensação à percepção do som (BISTAFA, 2006).

A capacidade de percepção sonora do homem é muito alta, identificando com precisão e em fração de segundos os sons presentes no ambiente cotidiano. O som orienta, informa sobre presenças, mudanças súbitas e perigo. Através dele conseguimos identificar pessoas pela voz quase que imediatamente. Pela entonação de quem fala, sabemos seu estado de espírito. Permite, também, ao homem adquirir informações do contexto ou do ambiente no qual está imerso, se é um ambiente aberto, fechado, mobiliado ou vazio. Ao pensarmos o som automaticamente resgatamos da nossa memória alguma lembrança sonora que pode nos ser agradável ou incômoda. Com essa questão da memória afetiva é possível entender porque cada pessoa reage de modo específico ao som (SCHMID, 2005).

Segundo Schmid (2005) a comodidade acústica está associada à conveniência de se ouvir, podendo ser uma necessidade ou um desejo. Por exemplo, o som do relógio não perturba o sono. O ruído da geladeira ou do trânsito em condições de normalidade também não deveria incomodar. Já a frenagem brusca de um automóvel interrompe esta sensação com um aspecto alarmante. Buscamos, portanto, ouvir aquilo que não nos cause estresse, nem distração em alguma atividade que porventura esteja sendo realizada.

2.2.2 Efeitos sobre a saúde

O reconhecimento do ruído como um sério problema de saúde em oposição a um incômodo é algo recente. Os efeitos da exposição ao ruído na saúde são agora considerados um problema de saúde pública, cada vez mais importante.

A Organização Mundial da Saúde coloca que para a maioria das pessoas, a exposição contínua de um nível de ruído ambiental na média de 70 dB não irá causar perda auditiva. O ruído acima de 80 dB pode aumentar o comportamento agressivo das pessoas. Já a exposição por mais de 8 horas por dia, a um ruído de mais de 85 dB é potencialmente perigoso. Após a exposição a um som típico industrial, em cerca de 90 dB para um dia de trabalho de 8 horas, a audição é temporariamente prejudicada (WHO, 2001).

O “trauma acústico” é muito comum entre operários de metalúrgicas e siderúrgicas, por exemplo. Por estarem expostos constantemente a ruídos, são submetidos a periódicos exames médicos, psicológicos e audiométricos. Deve-se afastá-los temporariamente, quando necessário, de suas atividades, proporcionando um tempo de recuperação auditiva ou até mesmo uma aposentadoria precoce, por lesões “gravíssimas”.

Entretanto, não podemos esquecer algumas atividades cotidianas, em que a população fica exposta a elevados níveis de ruído diariamente, provocado pelo tráfego viário e que geralmente não é dada a sua devida importância. Assim, pessoas que trabalham na rua como, por exemplo, policiais, ambulantes, motoristas de ônibus e caminhões, motoboys, guardas de trânsito, entre outros, também correm o risco de sofrer uma perda auditiva induzida por ruído.

Carvalho (2010) apresenta outros malefícios do ruído no homem como problemas gastrointestinais e cardiovasculares, decorrentes das sucessivas contrações musculares. Causa também problemas respiratórios e de secreções hormonais e o mais inquietante, distúrbios no sistema nervoso, que é o que mais sofre.

O ruído excessivo repercute nas atividades cerebrais, interferindo diretamente nas ações rotineiras do homem como dormir, descansar, pensar, ler, entre outras. Pode lesar o funcionamento de outros órgãos, até mesmo por ação reflexiva, perturbando as funções neurovegetativas. As primeiras manifestações são inquietudes e irritabilidades, que causam alterações no metabolismo basal, resultando em distúrbios neuromusculares. Logo a vítima pode ter queda de produtividade, perda de apetite, aerofagia, insônia, problemas circulatórios ou respiratórios, náuseas, cefaleia, tremores e perda de peso. Afeta também as atividades mentais, pois interfere diretamente no desenvolvimento de sua inteligência e na capacidade do homem se manter atento. Nas grandes cidades, até mesmo quando o homem dorme, não consegue ficar livre da ação do ruído, que age sobre o subconsciente e o sistema nervoso, piorando suas condições de saúde, já abaladas durante o dia (MARCELO, 2006).

2.3 Aspectos físicos do som

Em uma onda sonora, cada molécula repete seu movimento oscilatório de forma cíclica em um determinado período de tempo (T). O número de oscilações completadas por segundo é chamado de frequência (f), medida em ciclos por segundo (c/s) ou em Hertz (Hz), apresentada pela Equação 1 e pela Figura 2:

$$f = \frac{1}{T}$$

Equação 1

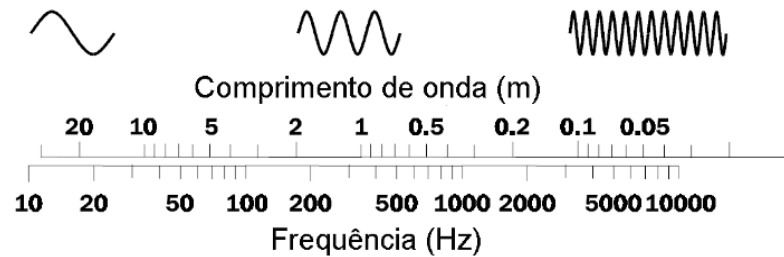


Figura 2. Comprimento de onda no ar em função da frequência em condições normais.
Fonte: Adaptado de BIES e HANSEN, 2009.

O comprimento de onda (λ) é definido pela distância, a partir de qualquer valor de pressão sonora, para que um ciclo se complete na curva pressão sonora versus distância (BISTAFA, 2006). A amplitude (A) é a característica que permite distinguir um som fraco de um som forte. Esta característica está relacionada com a quantidade de energia transportada pela onda sonora (Figura 3).

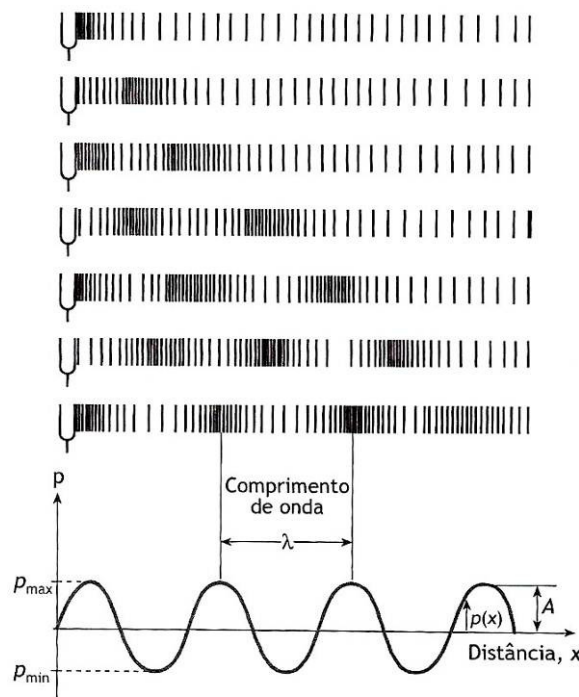


Figura 3. Comprimento de onda e Amplitude.
Fonte: BISTAFA, 2006, p.8.

2.3.1 Fontes sonoras

Fonte sonora é qualquer corpo capaz de fazer o ar oscilar com ondas de frequência e amplitude detectáveis pelos nossos ouvidos, ou seja, é tudo o que possa provocar som. Essas fontes podem ser consideradas móveis ou fixas. São também classificadas em pontuais,

lineares ou superficiais, dependendo do seu tamanho em relação ao receptor. A fonte pontual possui dimensões insignificantes em relação à sua distância ao receptor, como o sino de uma igreja, um veículo isolado ou uma fábrica, no contexto da cidade. A fonte linear apresenta uma de suas dimensões significativa em relação à distância fonte/ receptor. Emitem som de uma forma contínua ao longo de uma linha, por exemplo, uma via de tráfego de veículos. A fonte de superfície ocorre quando ambas as dimensões são significativas, como uma fábrica, no contexto de uma quadra.

Outra forma de classificação das fontes sonoras é em omnidirecionais e direcionais. De acordo com Bistafa (2006) quando o comprimento de onda é muito maior do que a dimensão da fonte, as ondas geradas são esféricas. Entretanto, quando o comprimento de onda é da ordem da dimensão ou menor do que a fonte, a radiação sonora tende a ser direcional. Então, na fonte omnidirecional o som é distribuído de maneira uniforme, em todas as direções, já na fonte direcional, possui uma direção em que é mais intenso.

Para que uma fonte sonora seja percebida pelo receptor, vai depender da sua quantidade de energia sonora emitida e das características do meio de propagação. Assim, qualquer situação acústica envolve, necessariamente, três elementos:



O controle do ruído na fonte requer a eliminação ou minimização do ruído em sua origem. Consiste, por exemplo, na modificação do processo de geração de ruído de determinada máquina, o que envolve o fabricante do produto. Além disto, na maioria dos casos, o problema só aparece depois da fonte instalada, em que quase sempre é inviável a sua troca por uma mais silenciosa.

Desta forma, o controle do ruído recai para a trajetória de transmissão, que inclui invariavelmente o ar, as estruturas sólidas (paredes, divisórias, tubulações, etc.) e até mesmo os líquidos. São exemplos de soluções o enclausuramento da fonte, as barreiras acústicas, o tratamento da absorção do som, o uso de silenciadores, o tratamento das superfícies das edificações, etc.

O receptor normalmente é o ser humano. Afinal, se existe problema de ruído é porque alguém está se sentindo incomodado. A atuação é bastante viável no ambiente de trabalho, onde se pode fazer uso de protetores auditivos, salas isoladas de refúgio e cabines acústicas de monitoramento. Porém, uma comunidade próxima a uma rodovia ou instalação

industrial, por exemplo, é considerada como sendo um único receptor num problema de poluição sonora ambiental (BISTAFA, 2006).

2.3.2 Campo sonoro

Segundo Niemeyer (2007) o Campo Acústico é a região do espaço onde ocorrem as vibrações. No campo **livre** não existem obstáculos modificando o trajeto das ondas sonoras entre a fonte e o receptor (Figura 4). Assim, em um espaço acústico aberto a atenuação do som vai variar em função da potência da fonte sonora e da sua distância em relação ao receptor. Nesses espaços o som se dispersa na atmosfera sem retornar.

No campo **reverberante**, a onda sonora encontra obstáculos e sofre múltiplas reflexões. O espaço acústico fechado é aquele no qual o campo sonoro se aproxima do campo reverberante. Neste tipo de campo, o nível sonoro não depende apenas da distância entre a fonte e o receptor, varia também em função das características geométricas do meio de propagação e dos coeficientes de absorção dos materiais das superfícies refletoras. A atenuação ocorre pela perda de energia sonora a cada reflexão ou quando a onda sonora encontra um ângulo de escape para o campo livre.

Os espaços acústicos fechados como, por exemplo, pátios internos cercados por edifícios ou muros relativamente altos, ruas do tipo cânion com edifícios limitando os dois lados via de tráfego, devem ser classificados como **semi-reverberantes** (Figura 5). Já os túneis, passagens subterrâneas e espaços abaixo de viadutos configuram os espaços reverberantes.

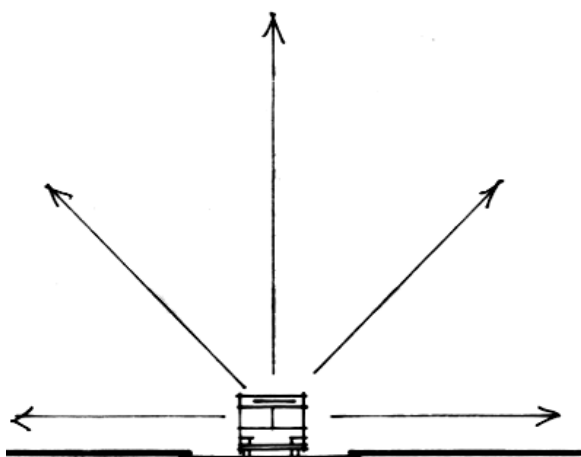


Figura 4. Campo livre – Espaço acústico aberto.
Fonte: NIEMEYER, 2007, p. 98.

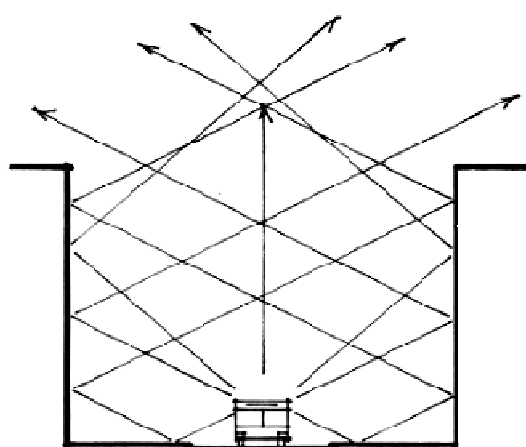


Figura 5. Campo semi-reverberante – Espaço acústico fechado.
Fonte: NIEMEYER, 2007, p. 99.

2.3.3 Mecanismos básicos da propagação sonora

A onda sonora, partindo da fonte, propaga-se pelo ar até perder sua intensidade ou encontrar algum obstáculo. Independente de como foi gerada, a onda tem um comportamento singular quando atinge uma superfície qualquer, podendo ser: Refletida (R), voltando ao meio de incidência; Absorvida (A) pelo obstáculo; Transmitida (T) ao meio posterior ao obstáculo; Difrata (D), através de frestas ou “contornando” o obstáculo (Figura 6).

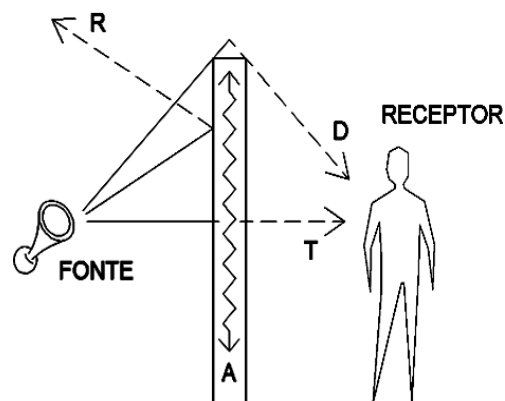


Figura 6. Propagação sonora com obstáculo.

Fonte: Adaptado de FHWA, 2000, p. 3.

Na **reflexão**, o ângulo do raio refletido segue o mesmo ângulo do raio incidente, considerando-se uma reta perpendicular à superfície, no exato ponto atingido pelo raio incidente (Figura 7). Entretanto, este princípio só é válido se a menor dimensão da superfície refletora for maior ou igual a quatro vezes o comprimento da onda sonora incidente. A quantidade de energia refletida depende do coeficiente de absorção do plano refletor e a sua distribuição espacial depende da forma e rugosidade das superfícies.

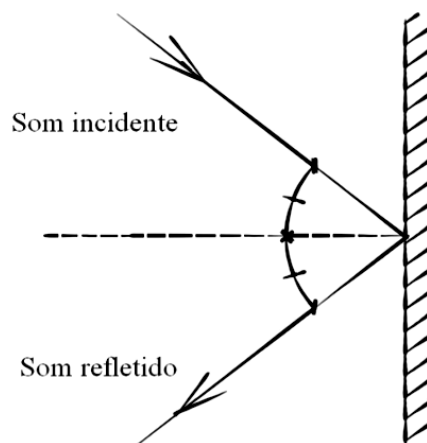


Figura 7. Reflexão sonora
Fonte: Imagem da autora.

A **absorção** é o processo no qual a onda sonora perde energia ao incidir sobre uma superfície. As ondas sonoras penetram através dos poros que se intercomunicam. O ar contido nos poros, sob o efeito das variações de pressão acústica, é posto em movimento, sendo assim a energia sonora dissipada sob a forma de calor. O coeficiente de absorção sonora (α) exprime a relação entre a energia absorvida pelo material e a energia incidente. Os valores de (α) variam de 0 (totalmente reflexivo) a 1 (totalmente absorvente).

De modo geral, materiais “macios”, porosos ou fibrosos apresentam bom desempenho como absorvedores acústicos. Porém, os materiais típicos de meio urbano como concreto, asfalto, vidro e alvenaria apresentam baixos coeficientes de absorção sonora, para todas as faixas de frequência. Ocorre que a porosidade característica da maioria dos materiais

absorventes resulta em baixa resistência às intempéries, limitando as possibilidades de aplicação no meio externo (NIEMEYER, 2007).

A absorção atmosférica apresenta certa complexidade, dependendo de aspectos como distância da fonte, conteúdo espectral do ruído, temperatura, umidade relativa e pressão atmosférica do ambiente. Porém, seus efeitos são considerados insignificantes quando comparados aos demais fatores ambientais, principalmente em áreas urbanas, devido à presença de distâncias relativamente pequenas nesses espaços (BERANEK; VÉR, 1992).

A **difração** é a propriedade da onda sonora de contornar obstáculos. Sua extensão dependerá da relação entre o comprimento da onda e o tamanho do obstáculo (SILVA, 2002). Quando o obstáculo não é muito grande em relação ao comprimento de onda, acontece o fenômeno de espalhamento. Já no caso do objeto possuir dimensões bem maiores, ocorre formação de sombra acústica, que é o princípio pelo qual se explica o funcionamento de barreiras acústicas, que são um importante meio de controle do ruído urbano.

Edifícios, muros e a própria topografia podem servir de barreiras acústicas. O seu desempenho vai variar em função do material, da altura, comprimento, posicionamento entre a fonte sonora e o receptor, além das frequências sonoras em questão, pois nas baixas frequências se tem uma maior difração do que nas altas (Figura 8).

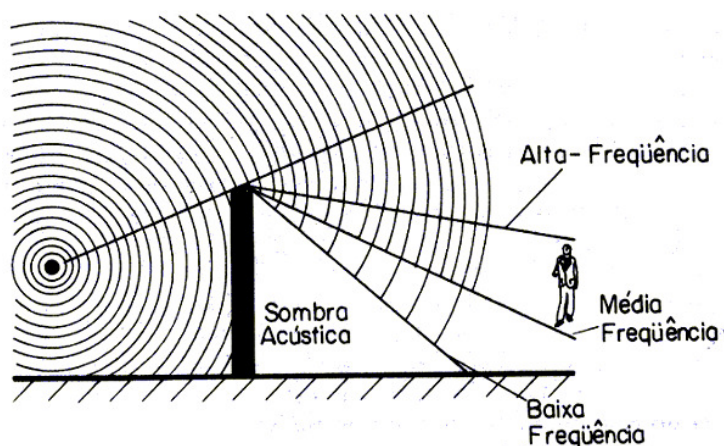


Figura 8. Barreira Acústica.
Fonte: GERGES, 2000.

2.3.4 Propagação sonora ao ar livre

A energia gerada pelas fontes sonoras sofre variações durante sua propagação ao ar livre, devido a diversos fatores, tais como: variação das condições normais de pressão e temperatura, absorção do ar, variações devidas a gradientes de temperatura e vento, presença

de fenômenos atmosféricos tais como chuva, neve ou granizo, presença de barreiras acústicas e os feitos da vegetação (Figura 9).

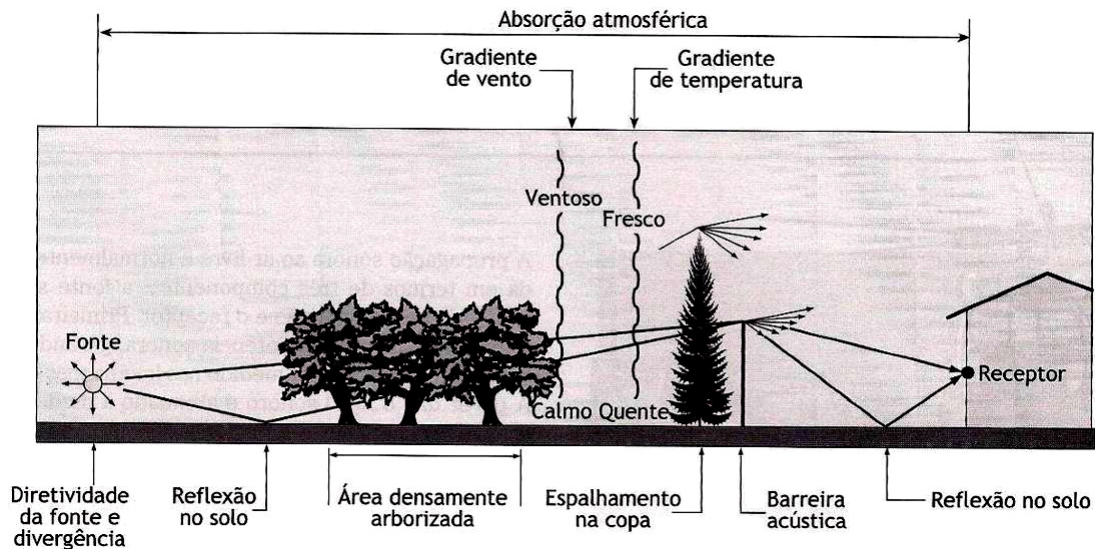


Figura 9. Mecanismos mais significativos da atenuação sonora ao ar livre.
Fonte: BISTAFA, 2006, p. 188.

Ao ar livre, em condições normais de temperatura e vento, a intensidade do som varia na razão inversa do quadrado da distância entre a fonte e o receptor. O valor da **atenuação pela distância** depende da forma da fonte, que determina o padrão de propagação. Para fontes pontuais (propagação esférica) a atenuação é de 6 dB (Figura 10) e para fontes lineares (propagação cilíndrica) de 3 dB (Figura 11) (GEP MOSELLE, 1978).

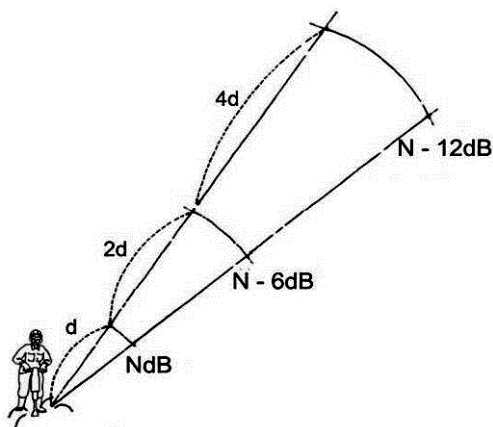


Figura 10. Atenuação pela distância para fonte pontual.
Fonte: Adaptado de GEP MOSELLE, 1978, p. 15.

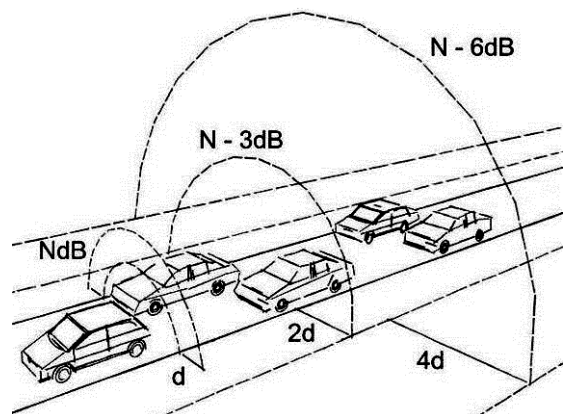


Figura 11. Atenuação pela distância para fonte linear.
Fonte: Adaptado de GEP MOSELLE, 1978, p. 15.

Isto mostra a importância em aumentar a distância o máximo possível entre as vias de tráfego e os alinhamentos dos prédios, para garantir menores níveis sonoros nas

proximidades e nos interiores das edificações. Niemeyer e Slama (1998) destacam que muitas vezes, por causa do tamanho do terreno, do custo do solo ou ainda da consolidação do tecido urbano a utilização desses recursos é dificultada, adotando-se em alguns casos a implantação de barreiras acústicas.

O **vento** tem influência marcante na propagação e determinação da área de alcance sonoro. Se o som se propaga no sentido e direção do vento, os efeitos se somam. A velocidade final da propagação é a resultante da soma dos valores da velocidade do som mais a do vento. Além disto, os raios sonoros tendem a se defletir em direção ao receptor, tornando-o mais suscetível ao ruído. Porém, se o som possui sentido inverso, a resultante será a diferença entre as velocidades do som e do vento. O movimento do ar tende também a gerar uma região de sombra acústica, dificultando a propagação sonora nesse sentido, uma vez que o gradiente de vento promove a deflexão da onda para a região superior, já que o ar próximo ao solo tem menores velocidades em razão do atrito com a superfície da terra. Assim, existe um gradiente de velocidade do ar que aumenta com a altitude (SILVA, 2002) (Figura 12).

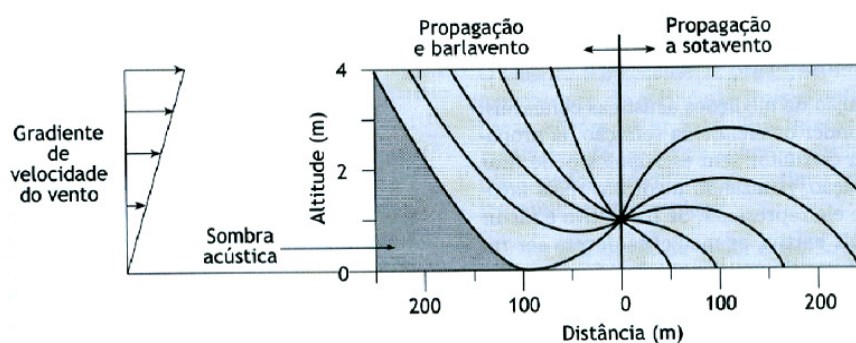


Figura 12. Efeitos da velocidade do vento na propagação do som.
Fonte: BISTAFA, 2006, p. 211.

Ao alterar **temperatura do ar**, modifica-se também a densidade do mesmo e, conseqüentemente, a velocidade do som no seu meio (SILVA, 2002). Quanto mais quente o ar, mais rápido as ondas se propagam. Essa diferença de velocidade leva ao fenômeno da refração das ondas sonoras, mudando a sua direção.

Durante o período do diurno, o ar é aquecido próximo ao solo pela radiação solar, tornando-se mais frio com a altitude. Assim, quando a temperatura diminui com a altura, as frentes de onda descendentes divergem, afastando-se do solo e ocorre a formação das sombras acústicas (GERGES, 2000) (Figura 13). À noite, esta situação é invertida. Ocorre a elevação da temperatura com a altitude, provocando um acréscimo nas velocidades de frente de ondas e mudança na direção das ondas ascendentes, empurrando-as na direção do solo (Figura 14).

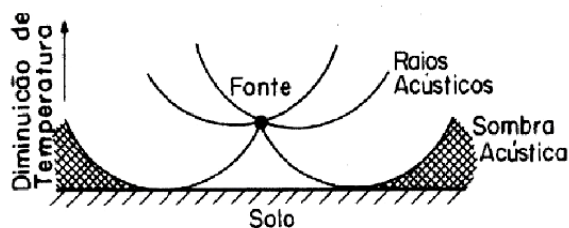


Figura 13. Variação devido ao efeito de diminuição da temperatura com a altura.
Fonte: GERGES, 2000.

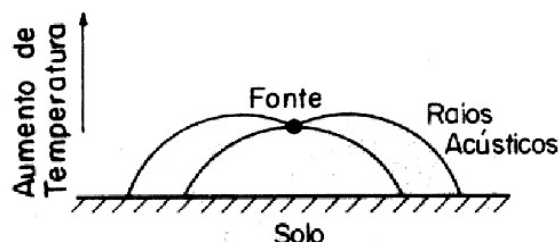


Figura 14. Variação devido ao efeito de aumento da temperatura com a altura.
Fonte: GERGES, 2000.

O tipo de **cobertura do solo** também interfere na propagação sonora ao ar livre, atenuando mais o som quando o solo for revestido com materiais absorventes. De acordo com Bistafa (2006), a reflexão no solo gera um raio sonoro que interfere com o raio direto, resultando em atenuação ou amplificação do nível sonoro.

Os diferentes tipos de solo são designados em termos acústicos por “duros” e “macios”. Os pisos duros são associados a superfícies altamente refletoras como água, betão e cimento, que podem conduzir a aumentos de ruído de 1 a 2 dB(A). Os pisos macios podem atenuar o ruído ao nível das médias e altas frequências. Desta forma, são considerados pisos absorventes, tais como terra, areia, vegetação e neve (FHWA, 2000). Specht *et al.* (2007), por exemplo, demonstraram que os pavimentos mais ruidosos são aqueles de concreto, sendo o pavimento poroso o que apresentou os menores níveis de ruído. Obtiveram resultados com diferença de até 5 dB(A), entre uma Camada Porosa de Atrito (CPA) e o Concreto de Cimento Portland (CCP), aplicados sobre uma camada de concreto asfáltico, o que é bastante expressivo e representa 67% de perda na energia acústica. A Tabela 1 apresenta alguns materiais para pavimentação com seus respectivos coeficientes de absorção sonora.

Tabela 1. Coeficientes (α) de Absorção Sonora de pavimentações.

PAVIMENTAÇÃO	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	NRC*
Asfalto	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,05
Cascalho, solto	0,25	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,70
Concreto	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00
Espelho d'água	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,00
Gramma	0,11	0,25	0,60	0,69	0,92	0,99	0,60
Madeira	0,15	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07	0,10
Mármore ou cerâmica	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,00
Terreno natural	0,25	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,70

* NCR é a média dos coeficientes de absorção sonora (α), para as frequências de 250, 500, 1.000 e 2.000 Hz.

Fonte: EGAN, 1984.

A presença de **vegetação** como folhagens, pequenos ramos e arbustos possuem a propriedade de absorver o som, ainda que parcialmente. Os troncos, ramos grandes e folhagem densa espalham o som. Assim, um cinturão verde situado entre a fonte e o receptor funcionará como uma barreira acústica vazada, podendo tanto absorver como espalhar o som. Porém, o processo de espalhamento do som tem maior importância que a absorção na determinação do poder do cinturão verde (BISTAFA, 2006).

Na prática, uma quantidade densa de árvores, com cerca de 30m de profundidade, pode atenuar apenas de 6 a 7dB, em uma frequência qualquer entre 125 e 8.000 Hz (EGAN, 1988). Portanto, seria necessária uma vasta e muito densa vegetação para suprir os mesmos resultados de uma barreira acústica, por exemplo.

2.3.5 Quantificação do Som

A **potência acústica** é medida em watt (W) e se apresenta como a resultante da emissão de energia sonora, emitida por uma fonte, por unidade de tempo. Indica a capacidade de uma fonte sonora em gerar som.

“A **intensidade sonora** é a energia com que o som chega ao receptor, energia essa que não altera a frequência do som” (CARVALHO, 2010, p.28). A intensidade (*I*) se dá pela quantidade de energia sonora (*W*) que atravessa um metro quadrado de área, perpendicular à direção em que o som se propaga (SILVA, 2002), como apresenta a equação:

$$I(\text{intensidade}) = \frac{W(\text{Potência})}{S(\text{Área})} \quad \text{Equação 2}$$

Não é possível medir diretamente a potência sonora de uma fonte, mas pode ser calculada através de medidas de pressão sonora, em laboratório ou através de medidas de intensidade sonora, em qualquer ambiente. A **pressão sonora** é a variação média de pressão em relação à pressão atmosférica, medida em pascal (Pa) ou newtons por metro quadrado (N/m²). Conforme Bistafa (2006, p.14), “quando o objetivo é avaliar o perigo e a perturbação causada por fontes de ruído, a pressão sonora é a grandeza mais pertinente”. É uma grandeza física fortemente correlacionada com a sensação subjetiva de intensidade do som.

O bel é a unidade de intensidade física relativa ao som e recebe esse nome em homenagem a Alexander Graham Bell, inventor do telefone (CARVALHO, 2010). É a

unidade utilizada para exprimir a relação entre dois valores de potência, intensidade ou pressão sonora (EGAN, 1984).

A percepção auditiva humana abrange uma larga faixa de níveis sonoros. A aplicação direta de escalas lineares em Pascal (Pa), para medição do nível de pressão sonora, conduz a números altos, que dificulta quando se deseja expressar ordens de grandezas tão diferentes. Para 1.000Hz, o limiar de audibilidade está situado nos 10^{-12} watt/m², enquanto que o limiar da dor é, aproximadamente, da ordem de 1 watt/m², ou seja, 1 milhão de vezes maior. Assim, para facilitar o uso destas unidades foi necessário criar uma escala, que determinasse as diversas intensidades sonoras, o que é classificado como **Nível Sonoro de Intensidade (NSI)** ou às vezes definido como nível de pressão sonora. O **Nível de Pressão Sonora** em um determinado ponto é expresso em decibel (dB), que é a décima parte do Bel (Figura 15) (MARCO, 1982).

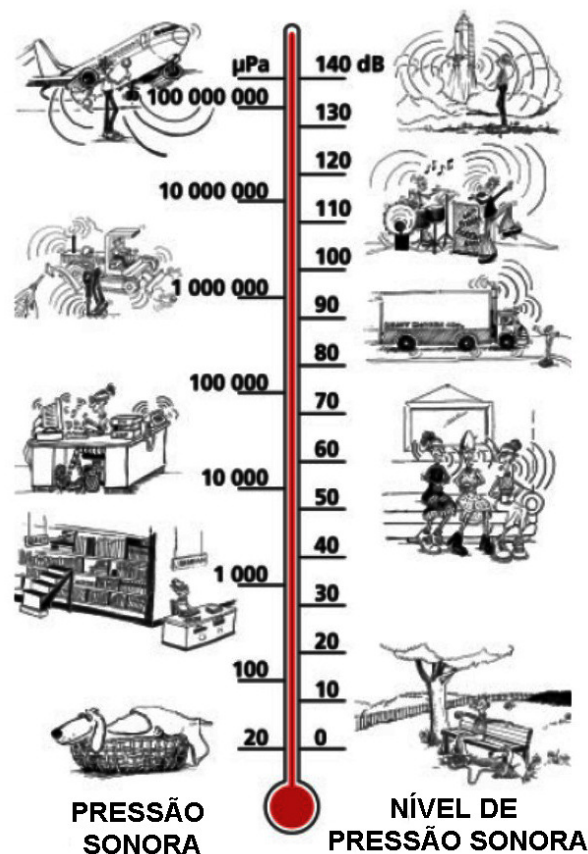


Figura 15. Relação entre pressão sonora e nível de pressão sonora.
Fonte: BRÜEL & KJAER, 2000.

O ouvido humano não percebe sons de frequências diferentes de forma igual. Por exemplo, um tom puro em 100 Hz será subjetivamente percebido com menor intensidade do que em 1.000 Hz, com o mesmo nível de pressão sonora (BISTAFA, 2006).

Segundo Carvalho (2010), Fletcher e Munson construíram curvas de variação em função da frequência dos sons, as **curvas isofônicas**. No que diz respeito à intensidade sonora, o ouvido humano evidencia uma menor sensibilidade nas baixas frequências do que nas altas. Portanto, necessita-se de mais energia nas baixas frequências do que nas altas para provocar o mesmo nível de audibilidade (Figura 16).

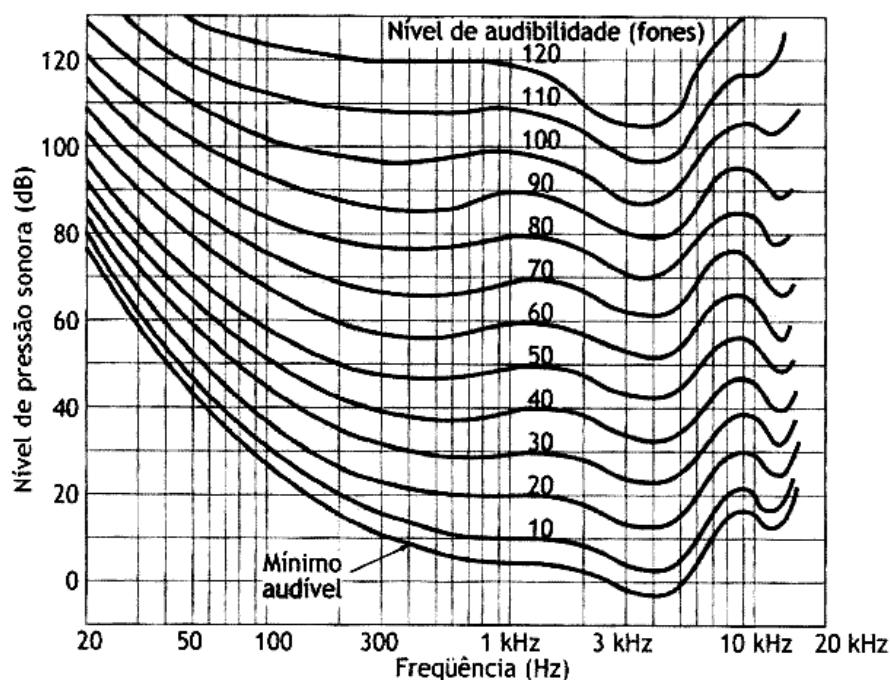


Figura 16. Curvas de audibilidade para tons puros.

Fonte: BISTAFA, 2006, p.55.

A área de audição para os seres humanos é diferente da maioria dos outros animais. A curva “A” é a que melhor simula a resposta do ouvido humano. O dB(A), então, é o nível de pressão sonora em decibel ponderado na curva “A”. A conversão de dB para dB(A) se processa pela adição ou subtração de valores, por faixa de frequência, aos resultados obtidos nas medições, de acordo com a Tabela 2:

Tabela 2. Conversão para dB(A).

Frequência em Hz	125	250	500	1000	2000	4000
Ponderação em A	-16,1	-8,6	-3,2	0	+1,2	+1
Exemplo prático: aferidos 100 dB(A), teremos, devidamente corrigidos:						
	83,9dB	91,4dB	96,8dB	100dB	101,2dB	101,0dB

Fonte: CARVALHO, 2010, p.47.

No caso de uma via de trânsito, o sinal emitido pelo fluxo de veículos é extremamente complexo. Segundo Bistafa (2006), para registros de níveis sonoros é natural que se procure por um nível médio durante o tempo de registro. O Leq é a média energética

ponderada, onde cada fator de ponderação é a fração do tempo de ocorrência do nível sonoro (Equação 3). É uma grandeza utilizada por diversas normas e legislações. Existem medidores (decibelímetros) comercialmente disponíveis que fornecem uma leitura direta desse valor.

$$Leq = 10 \log \left[\frac{1}{T} \int_0^T 10^{Lp(t)/10} dt \right] \text{ (dB)} \quad \text{Equação 3}$$

$Lp(t)$ é o nível sonoro no instante t , e T é o intervalo de tempo de registro. Quando o nível sonoro é ponderado na curva “A” temos o resultado em dB(A).

Podemos também calcular a porcentagem do tempo que um determinado nível sonoro foi excedido durante o período de medição. Esses níveis sonoros são denominados níveis estatísticos ou de excedência. Os mais utilizados são (Figura 17):

- L10: nível sonoro que foi excedido em 10% do tempo de medição;
- L50: nível sonoro que foi excedido em 50% do tempo de medição;
- L90: nível sonoro que foi excedido em 90% do tempo de medição.

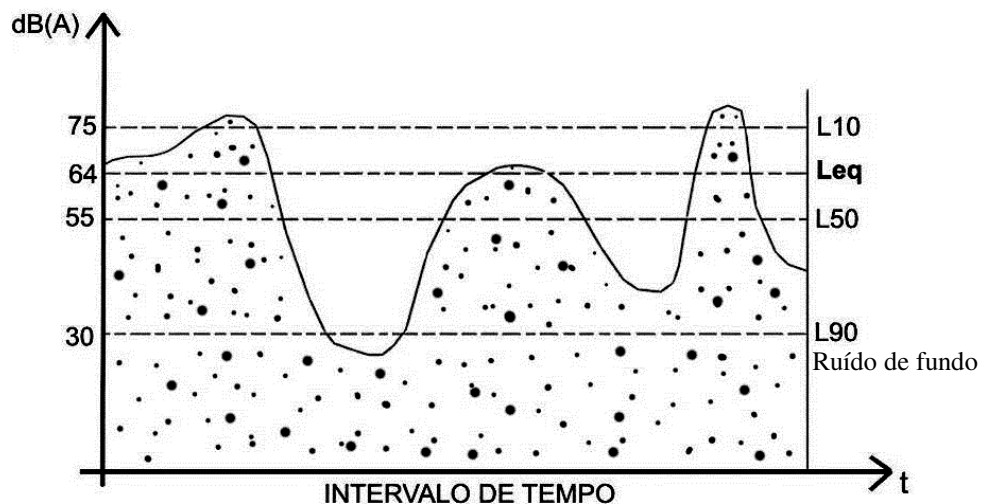


Figura 17. Medição de ruído com Leq e níveis estatísticos.
Fonte: Adaptado de GEP MOSELLE, 1978, p.13.

O nível de ruído de fundo (ruído ambiente) é a média dos níveis de som mínimos no local e hora considerados em uma medição, na ausência do ruído que está sendo avaliado. Para a ABNT NBR 10151/2000, que será tratada mais adiante no item 2.5, quando for empregada a análise estatística dos níveis sonoros, o nível de ruído de fundo deve ser considerado como o nível que é superado em 90% do tempo de observação, ou seja, o L90.

2.4 Ruído urbano

São inúmeras as fontes sonoras no meio urbano como o tráfego rodoviário, ferroviário e aéreo, construções, indústrias, comércios e serviços. O ruído gerado pelo trânsito é o mais comum e com o grande desenvolvimento do setor se tornou o maior problema para o conforto acústico urbano. Em qualquer local de uma grande cidade existe um fundo sonoro contínuo produzido pela superposição dos ruídos dos veículos (MARCO, 1982).

No estudo do ruído urbano, a via de tráfego, que é o espaço destinado à circulação de veículos, se constitui como fonte sonora. Uma rodovia com tráfego intenso, com grande número de veículos, por exemplo, pode chegar a gerar níveis sonoros de cerca de 80 dB(A) à margem da mesma, acerca de 30 metros do eixo da pista (GOLEBIEWSKI *et al.*, 2003). Este nível de potência sonora é determinado pela combinação de diversos fatores relacionada aos veículos e às características do entorno. No livro “Quando a rua vira casa”, Carlos Nelson (1985) exemplifica como a qualidade ambiental de uma via depende do controle entre a densidade do uso do solo e a capacidade de suporte do sistema de circulação.

O ruído originado dos veículos é provocado pelo sistema de motor, escapamento e sistema de transmissão, contato pneu/pavimento e efeito aerodinâmico. A Figura 18 apresenta a contribuição de cada parcela no ruído total, mostrando a importância da interação entre pneu/pavimento (HANSON *et al.*, 2005). O ruído proveniente da interação pneu/pavimento, do escapamento e do motor tem sido amplamente estudado no meio da indústria automobilística, obtendo-se atualmente uma clara redução das emissões (SANTOS, 2007). Além disto, todos esses aspectos também sofrem influência do estado de conservação do veículo.

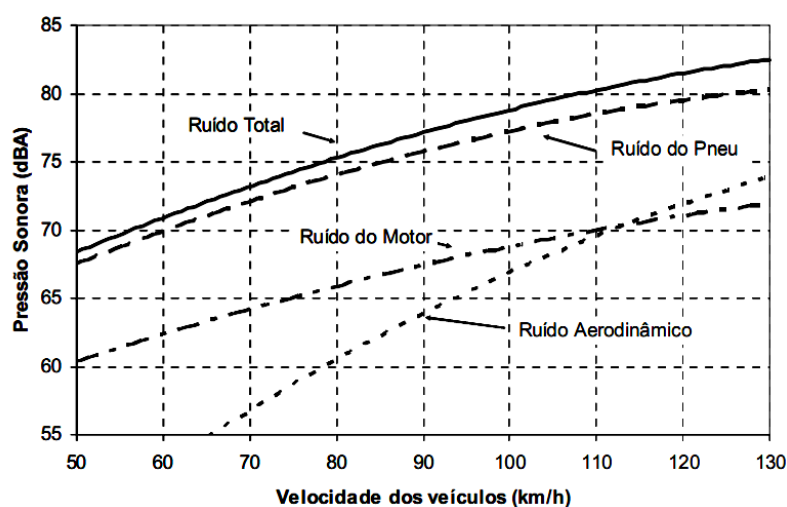


Figura 18. Influência das fontes de ruído dos veículos.
Fonte: HANSON *et al.*, 2005.

Os diversos tipos de veículos, como os automóveis, caminhões e motocicletas, emitem diferentes níveis sonoros com diversos conteúdos espectrais, por isso a necessidade de considerá-los de forma independente. Este aspecto, aliado às características dos componentes dos veículos, produz significativas interferências no ruído gerado pelo tráfego (HARRIS, 1979) (Figura 19). De acordo com o CERTU (1980) São considerados leves os veículos com peso bruto total inferior a 3,5 toneladas como, por exemplo, os automóveis. Já os pesados possuem o peso bruto total superior a 3,5 toneladas, como os ônibus e caminhões.

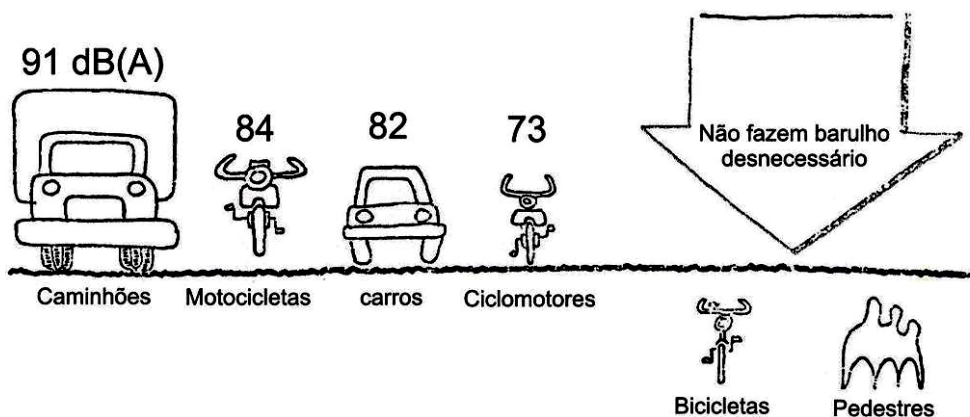


Figura 19. Relação tipo de veículo e intensidade sonora.
Fonte: Adaptado de GEP MOSELLE, 1978, p.26.

Outros fatores a considerar são o número total de veículos circulando, a velocidade e o padrão de escoamento, assim como a fluidez do tráfego. Em zonas urbanas os veículos dificilmente se movem com fluidez, em contraste com o tipo de tráfego em estradas e autopistas. Além disto, a necessidade do uso de quebra-molas ou redutores de velocidade também contribui para o aumento do nível sonoro, devido ao efeito da aceleração e desaceleração. Entretanto, a limitação fixa de velocidade de uma via permite baixar o nível sonoro de 6 dB(A) até 8 dB(A) (Figura 20) (GEP MOSELLES, 1978).

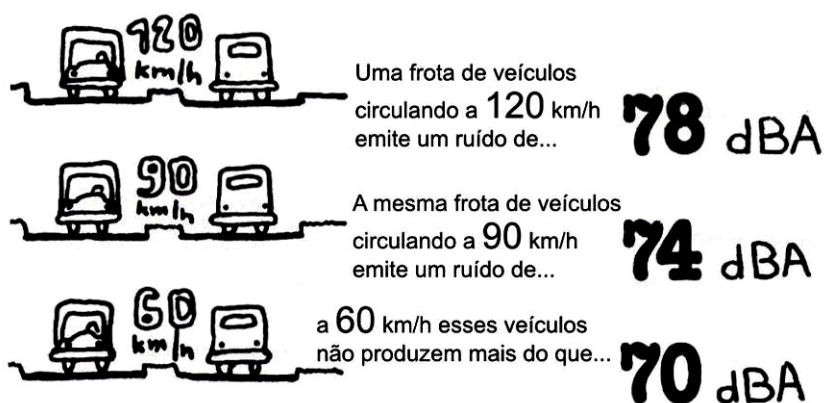
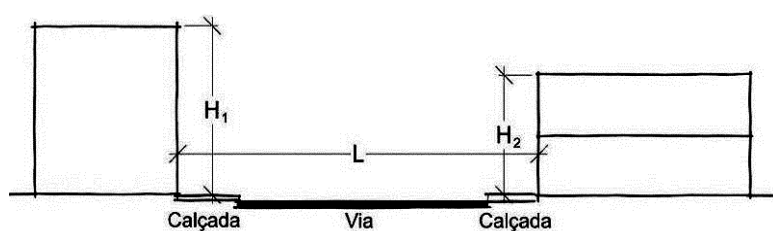


Figura 20. Relação velocidade da via e intensidade sonora.
Fonte: Adaptado de GEP MOSELLE, 1978, p.28.

2.4.1 Caracterização do campo sonoro

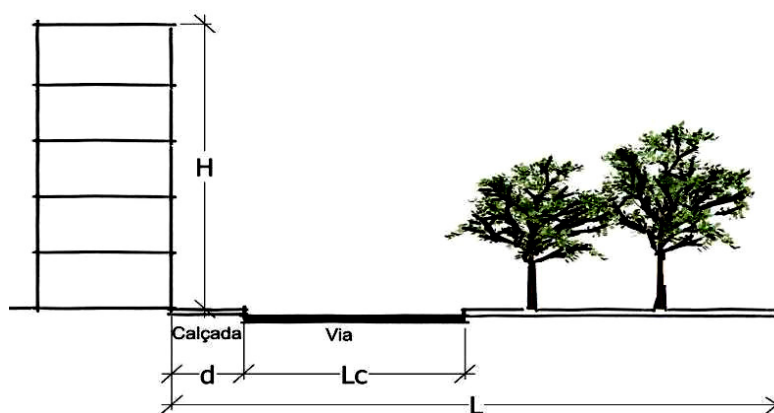
Para realizar uma estimativa do Leq, o *Centre d'Études des Transports Urbaines* (CERTU, 1980) considera que as condições de propagação são fortemente influenciadas pela natureza das construções que existem ao redor de uma via. Portanto, apresenta duas formas para cálculo do nível sonoro. Uma quando a rua é em “U” (Figura 21, Equação 4), ou seja, com o tecido urbano fechado, margeado por barreiras contínuas de edificações coladas nas divisas, como as ruas do tipo cânion. A outra é para as ruas em “L” (Figura 22, Equação 5), quando o tecido é aberto, com edifícios em apenas um dos lados ou quando as ruas são largas, margeadas por edifícios relativamente baixos.



$$\text{Rua em "U"} \\ \frac{H_{\text{MÉDIA}}}{L} \geq 0,2$$

Equação 4

Figura 21. Rua em “U”.
Fonte: Adaptado de CERTU, 1980, p. 31.



$$\text{Rua em "L"} \\ \frac{H_{\text{MÉDIA}}}{L} < 0,2$$

Equação 5

Figura 22. Rua em “L”.
Fonte: Adaptado de CERTU, 1980, p. 32.

Depois de classificada o tipo de rua, a previsão do Nível de Pressão Sonora Equivalente pode ser obtida através de uma fórmula geral ou com ábacos de leitura direta, apresentados no guia de ruído para transportes terrestres, em anexo (CERTU, 1980).

- Rua em “U”

Fórmula geral:

$$Leq = 55 + 10 \log(Q_{VL} + EQ_{VP}) - 10 \log L + K_h + K_v + K_r + K_c$$

Equação 6

Onde:

Q_{VL} = número de veículos leves, por hora;

Q_{VP} = número de veículos pesados, por hora;

E = fator de equivalência entre veículos leves e pesados;

L = largura entre as fachadas, em metros;

K_h = fator de correção de altura;

K_v = fator de correção de velocidade;

K_r = fator de correção de rampa (declividade);

K_c = fator de correção de cruzamento;

- Rua em “L”

Fórmula geral:

$$Leq = 20 + 10 \log(Q_{VL} + EQ_{VP}) + 20 \log V - 12 \log \left(d + \frac{Lc}{3} \right) + 10 \log \frac{\theta}{180^\circ}$$

Equação 7

Onde:

Q_{VL} = número de veículos leves, por hora;

Q_{VP} = número de veículos pesados, por hora;

E = fator de equivalência entre veículos leves e pesados;

V = velocidade em km/h;

d = distância entre a margem da via e o receptor, em metros (ver Figura 22);

L_c = largura da rua, da faixa pavimentada, em metros (ver Figura 22);

θ = ângulo entre o ponto de recepção e a via, em graus;

2.4.2 Escalas de gestão do ruído

- **Na cidade**

Os espaços externos, também chamados de abertos ou livres, refletem as características do modelo de urbanização adotado. Na maioria dos casos, esses efeitos são negativos e não levam em conta as características do meio em que está implantado. No ponto de vista ambiental, por exemplo, quando a urbanização é alta, a quantidade de radiação armazenada é maior, como também a produção de calor e contaminantes atmosféricos. Em consequência, impactos são sentidos não somente no meio, mas também no conforto e na salubridade da população (ROMERO, 2001).

Arizmendi (1980) apresenta que o urbanismo moderno, proveniente do desenvolvimento de uma sociedade industrial, enfatiza o consumo intensivo e extensivo do espaço. Prinz (1980) coloca que as instalações das necessidades diárias e regulares estão muito afastadas das habitações e que não podem ser alcançadas a pé, apenas com o automóvel, proporcionando assim uma mobilidade condicionada. Se as instalações estiverem próximas da habitação, apresentando uma mistura espacial das funções, podemos alcançá-las a pé ou de bicicleta. Assim, a utilização do automóvel não seria imprescindível para as necessidades vitais (Figura 23).

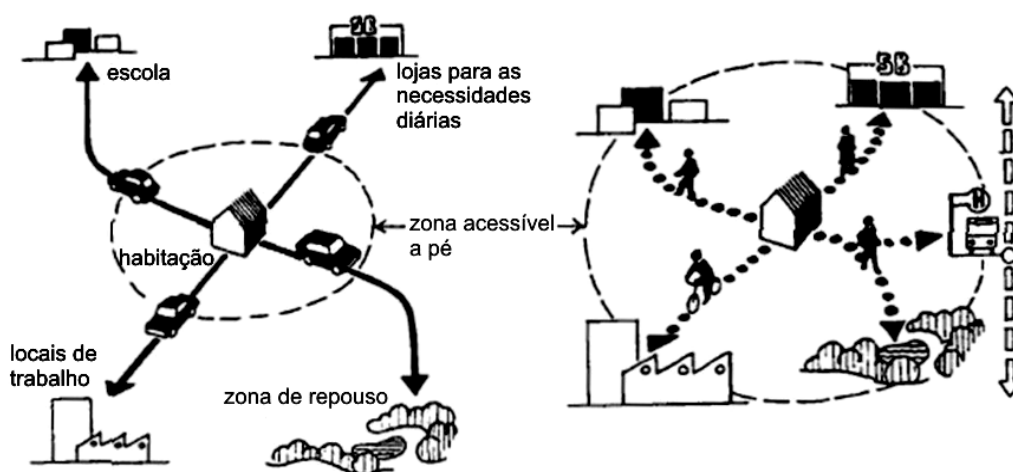


Figura 23. Separação e mistura espacial das funções, respectivamente.

Fonte: Adaptado de PRINZ, 1980, p.57.

Caso as bicicletas fossem mais difundidas ou se as pessoas se deslocassem mais a pé, o nível de ruído nas cidades diminuiria consideravelmente. Amenizariam também os transtornos de engarrafamento, poluição atmosférica e favoreceria a atividade física necessária para a saúde e o bem-estar geral das pessoas. Várias cidades europeias (Amsterdã, Barcelona, Bremen, Copenhague, etc.) demonstram todos os dias que uma diminuição do uso do automóvel individual é um objetivo não apenas desejável, mas também razoável. Assim, aplicam medidas que estimulam o uso dos transportes públicos, da bicicleta e a partilha de

veículos, além de medidas restritivas ao uso do automóvel individual nos seus centros. Estas cidades não prejudicam o seu crescimento econômico ou a acessibilidade do centro comercial, pelo contrário, compreenderam que o uso imoderado do automóvel nas deslocações individuais já não pode garantir a mobilidade da maioria dos cidadãos (COMISSÃO EUROPEIA, 2000).

O ruído que chega aos pedestres e usuários dos edifícios sofre influência além das questões dos veículos, das características físicas da forma urbana como densidade construtiva, superfícies refletoras, altura e distância entre edifícios, tipo de pavimentação da via e calçadas, revestimento e relevo das fachadas, áreas verdes, traçado e declividade do solo, entre outros.

Então, o dimensionamento das ruas deve ser realizado em função do volume de tráfego, evitando a concentração de poluentes, bolsões de calor e reflexões do ruído. A relação entre a largura da rua e altura dos edifícios também influencia na propagação sonora, pelo tipo de campo sonoro que determina.

Hincu (2003) analisou perfis de ruas na cidade de Bucareste, na Romênia, através de medições acústicas e métodos computacionais (Figura 24). Seu estudo mostrou que ao reduzir a altura das edificações, às margens das ruas tipo “U” de 9 para 5 pavimentos (caso “a” e “b”) levou ao decréscimo de mais de 10 dB(A) no nível de ruído. Notou também que ao modificar um dos lados de uma rua do tipo “U” margeadas por edifícios de 9 pavimentos em ambos os lados, para um dos lados com 5 pavimentos (caso “a” e “d”), ocorreu uma redução de 12 a 15 dB(A). Além disso, o aumento da distância entre as fachadas de 43m para 83m (caso “b” e “c”) foi acompanhada por uma redução de 2 a 3 dB(A).

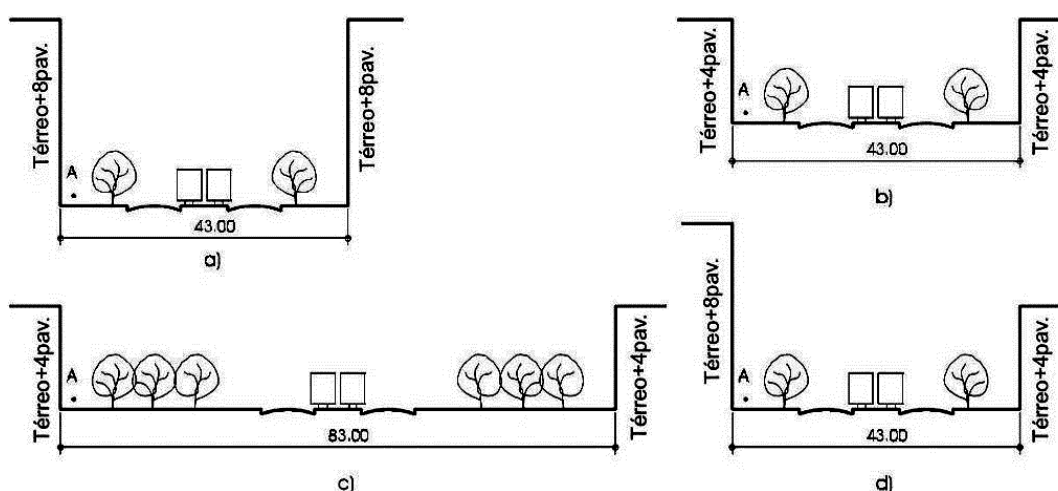


Figura 24. Perfis transversais variando altura dos edifícios e largura das vias.

Fonte: HINCUI, 2003, p.5.

A atenuação sonora também pode ser provocada pela presença de elementos que normalmente encontramos ao longo de uma rodovia. A duplicação da distância e o tipo do solo já provocam certa atenuação, assim como a presença de considerável área com vegetação densa. Além disso, muros e bermas (barreiras de terra) são bastante eficazes. Observa-se que ao comparar uma barreira sólida e uma berma da mesma altura, a berma oferece uma atenuação adicional de 3dB. Isso ocorre devido à absorção do som pela terra e ao fator da forma (Figura 25) (BISTAFA, 2006).

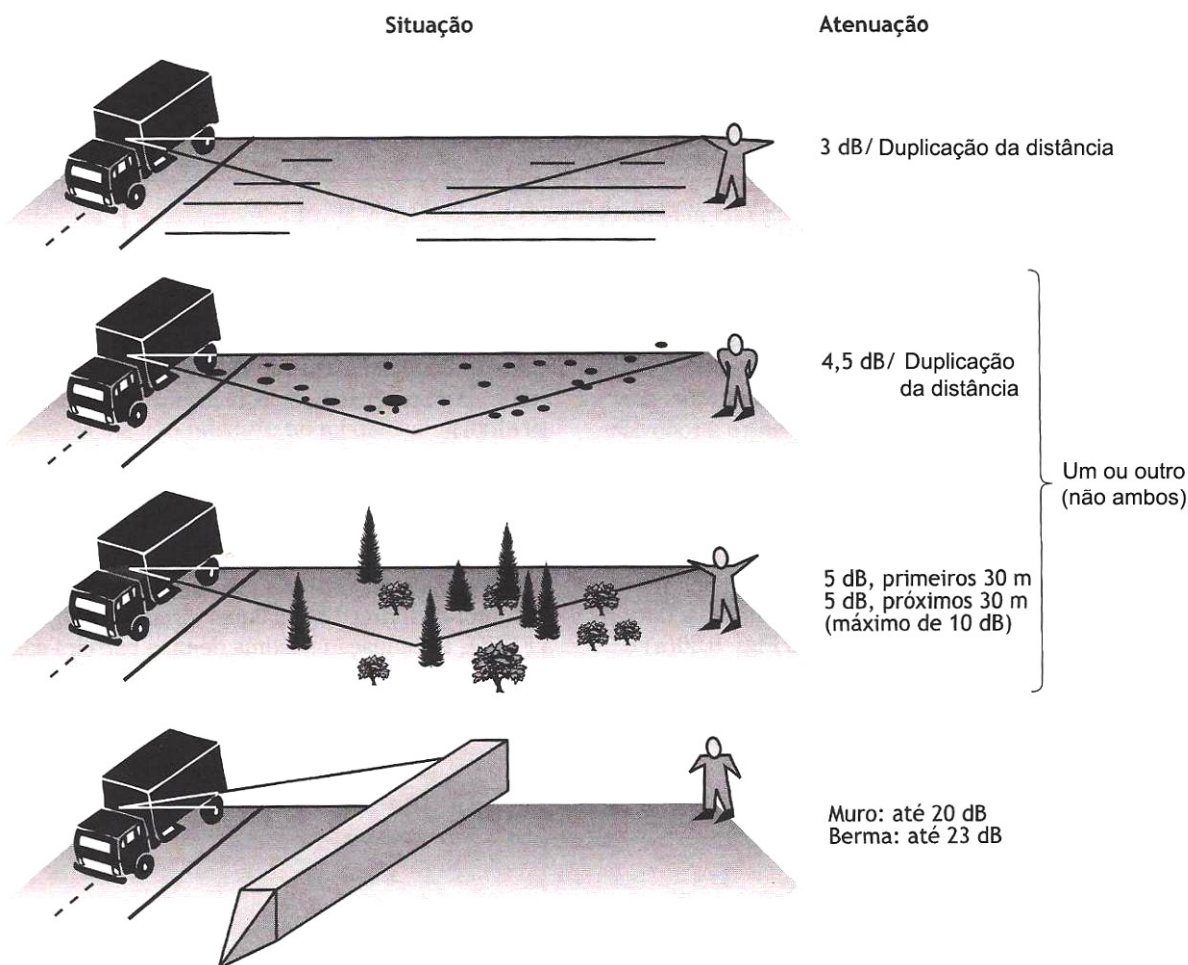


Figura 25. Atenuação sonora em rodovias.
Fonte: Adaptado de BISTAFA, 2006, p.218.

As barreiras acústicas se apresentam como uma das soluções mais eficientes para o controle de ruído ao longo das vias de tráfego pesado. São muros verticais, elevações de terra e coberturas parciais ou totais das vias, que quando bem elaboradas podem ter um bom desempenho acústico (Figura 26).

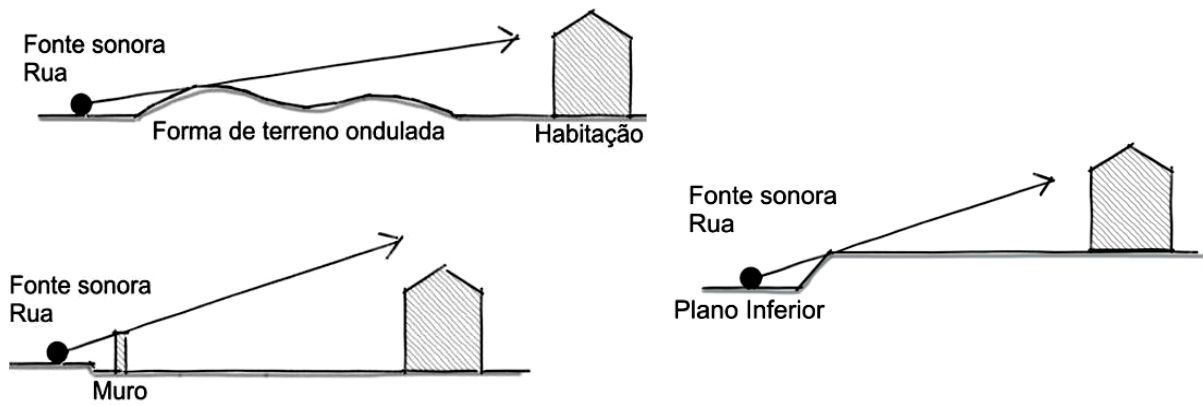


Figura 26. Exemplos de barreiras acústicas.
Fonte: Adaptado de PRINZ, 1980, p. 146.

Segundo Niemeyer (2007), os aspectos negativos decorrentes da implantação de uma barreira acústica (redução da ventilação, bloqueio da vista) devem ser minimizados através de sua integração paisagística com o entorno. Para um menor impacto visual é interessante adotar soluções com o uso de movimentos de terra como desníveis, taludes, rebaixamento das vias ou a combinação destes com muros de concreto, pois oferecem bom desempenho. O tratamento integrado com a vegetação também gera um agradável efeito visual, o que facilita a aceitação e simpatia da população local (Figura 27). Ressalta que o plantio de árvores sobre taludes de terra, às margens das vias de tráfego, contribui na ambiência sonora de um determinado espaço urbano devido ao efeito de mascaramento e de aspectos psicológicos.

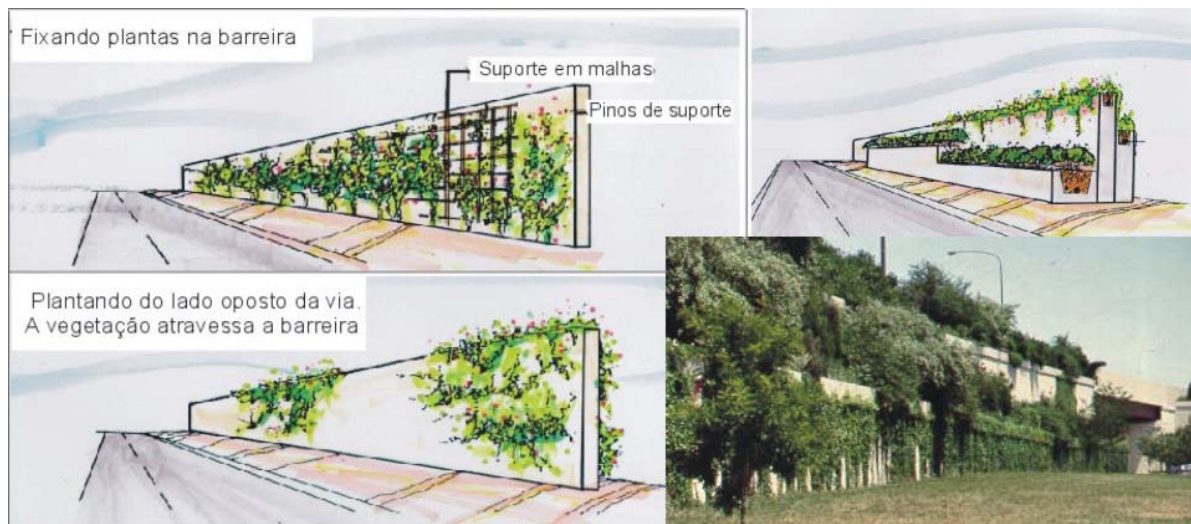


Figura 27. Integração da vegetação nas barreiras acústicas.
Fonte: MALAFAIA *et al.*, 2005, p. 1112.

Outra forma de constituir uma barreira é utilizando o próprio edifício. O edifício barreira é uma solução que reduz sensivelmente o ruído nos espaços protegidos, porém expõe excessivamente a barreira (Figura 28). Assim, alguns cuidados precisam ser levados em consideração como manter a maior distância possível entre a barreira e a via de tráfego, destinar ao edifício atividades que não tenham muita sensibilidade ao ruído (estacionamento, armazenagem, locais técnicos), além de tratar a fachada com materiais que ofereçam bom isolamento sonoro.

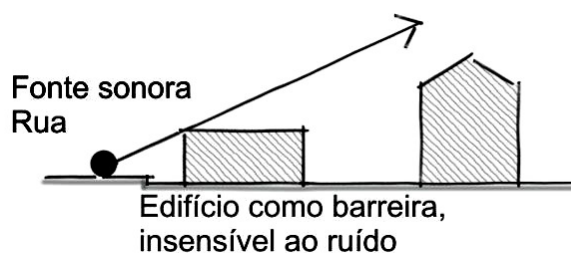


Figura 28. Edifício como barreira acústica.
Fonte: Adaptado de PRINZ, 1980, p. 146.

A aplicação deste conceito do edifício como barreira pode ser levada a um conjunto de edifícios, deixando assim o tecido mais permeável ou não ao ruído. Por exemplo, na Figura 29, a configuração (a) é mais permeável ao ruído que a configuração (b), em que os edifícios paralelos às vias de tráfego funcionam como barreiras, protegendo o fundo do lote. A configuração (b), apesar da exposição direta ao ruído das fachadas voltadas para a rua, permite que a ocupação seja hierarquizada em função da maior ou menor sensibilidade dos edifícios ao ruído. Na configuração (a) não existe grande variação entre os níveis de ruído percebidos nos edifícios e as áreas de convivência situadas na testada e no fundo do lote.

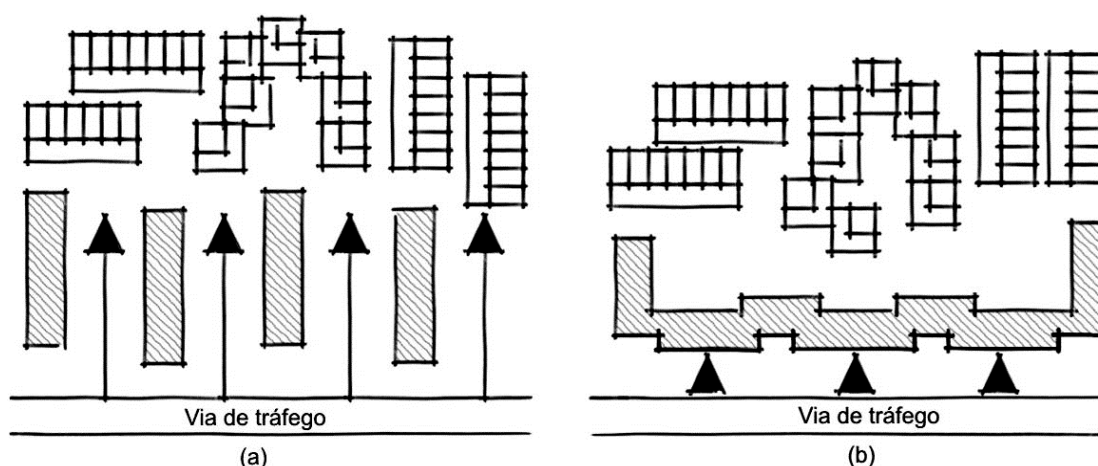


Figura 29. Configuração (a) com maior permeabilidade ao ruído e (b) com menor.
Fonte: Adaptado de PRINZ, 1980, p. 149.

Outra questão a considerar é o traçado das vias, principalmente em áreas que precisam de silêncio como hospitais, escolas e habitações. Se canalizarmos o tráfego de 10 ruas para uma única, o ruído nesta última terá o dobro de intensidade. Entretanto, em todas as outras ruas voltariamos a escutar os ruídos comunitários, que há anos desapareceram do nosso cotidiano. Devemos, assim, buscar soluções de segregação e separação, criando espaços tranquilos (ARIZMENDI, 1980) (Figura 30).

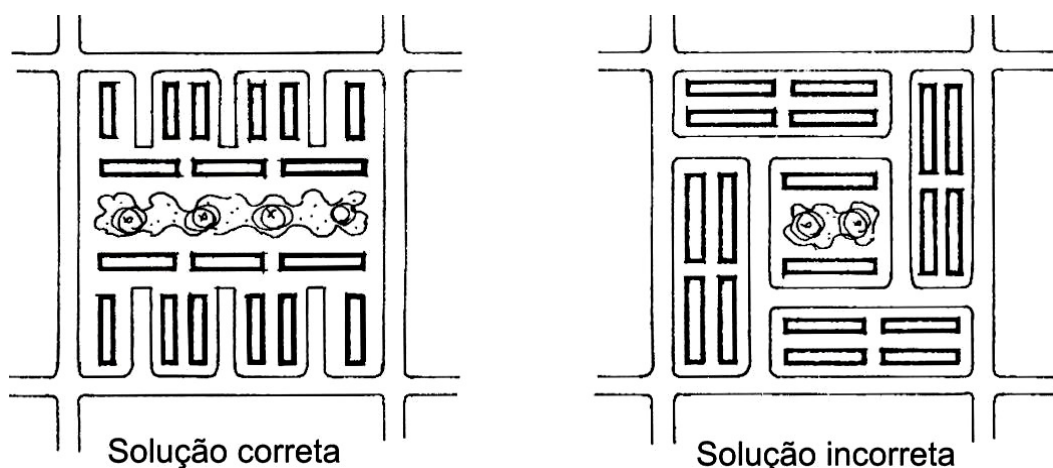


Figura 30. Solução de quadra menos exposta e mais exposta ao ruído de tráfego, respectivamente.
Fonte: ARIZMENDI, 1980, p. 198.

Arizmendi (1980) demonstra a diferença entre o tradicional plano viário com malha reticular e o plano orgânico. O tradicional possui um grande número de cruzamentos (Figura 31), que se opõe a um elemento fundamental do sistema orgânico: o *cul de sac*, que são as ruas sem saídas, com balão de retorno. Assim, o sistema orgânico segue o princípio da ramificação, ao qual não tem cruzamentos, criando espaços tranquilos (Figura 32).

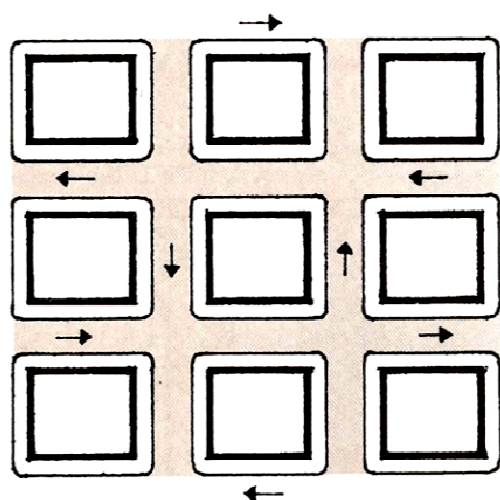


Figura 31. Organização do tráfego em malha reticulada.
Fonte: ARIZMENDI, 1980, p.195.

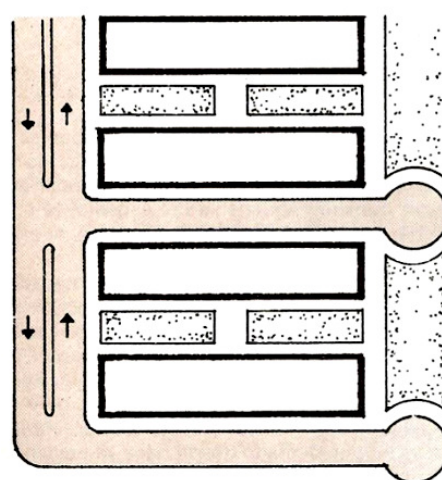


Figura 32. Sistema orgânico.
Fonte: ARIZMENDI, 1980, p.195.

Percebe-se então a importância das vias no planejamento de um espaço urbano, podendo comprometer o funcionamento das atividades diárias. Entretanto, a implantação de uma via de tráfego pesado ou o aumento do volume de tráfego que por ela flui não pode desconhecer as características do tecido urbano que a envolve. Desta forma, um dos critérios para o planejamento da malha viária deve ser a distribuição das vias de tráfego em função do ruído por elas emitido, visando preservar a qualidade acústica dos edifícios e áreas de convivência, situados em seu entorno (Figura 33) (NIEMEYER, 2007).

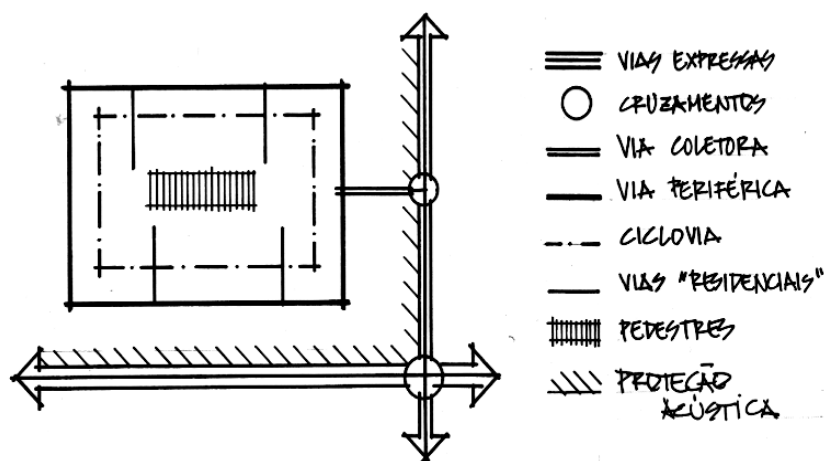


Figura 33. Esquema de hierarquização de vias de tráfego.
Fonte: NIEMEYER, 2007, p. 117.

Outro elemento pouco explorado no nosso desenho urbano são os espaços semipúblicos situados no interior das quadras. Esses espaços possibilitam áreas com ambiência acústica agradável, estimulando a permanência de seus usuários (Figura 34) (KRIER, 1985).

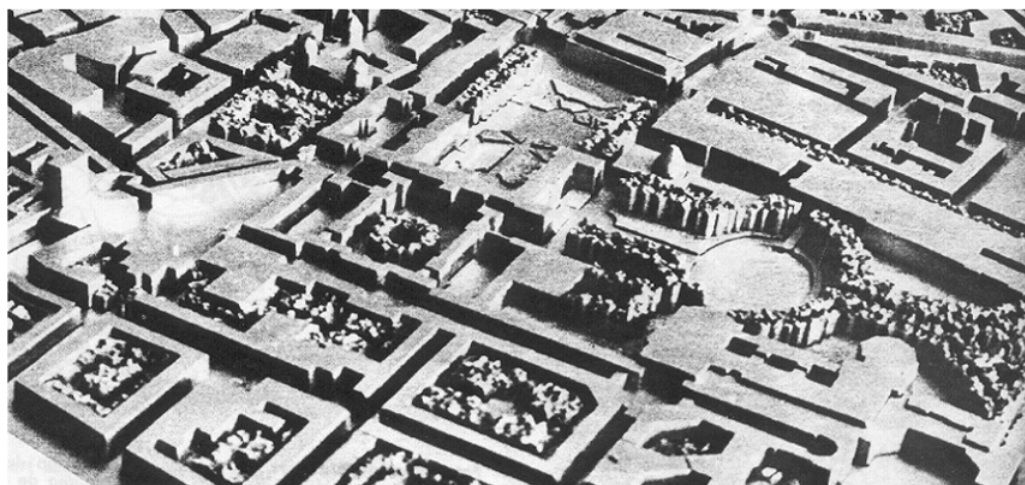


Figura 34. Desenho urbano com espaços semipúblicos ou privados no interior das quadras.
Fonte: KRIER, 1985.

- No edifício

Os estudos do conforto acústico na escala do edifício são direcionados para questões de isolamento e de condicionamento acústico. No isolamento acústico, a forma de tratamento varia de acordo com o tipo de ruído considerado, compreendendo assim ao isolamento contra ruídos aéreo ou de impacto. Já o condicionamento acústico procura garantir uma boa distribuição do som no ambiente, focando a preocupação na composição do ambiente interno.

Entretanto, como este trabalho visa um estudo em relação ao ruído de tráfego, serão tratadas diversas soluções arquitetônicas referentes à como bloquear o ruído aéreo externo, de forma a proporcionar um melhor conforto acústico no interior de edifícios residenciais. Percebe-se, assim, que as soluções para obter um bom desempenho acústico em uma edificação devem aparecer não apenas na escolha dos materiais e revestimentos, mas principalmente nas decisões iniciais de projeto, podendo influenciar muito no desempenho final da edificação.

A escolha do terreno, bem como a implantação da edificação são as primeiras etapas a se pensar na elaboração de um projeto. Os afastamentos da construção em relação às ruas e a orientação em relação ao sol e aos ventos são necessários para a adequação da construção a sua função.

Em relação à acústica, a primeira solução seria trabalhar na escala urbana, instalando os edifícios em áreas calmas do tecido urbano. A implantação do edifício o mais distante possível da via de circulação já proporciona certa atenuação sonora. Porém, Arizmendi (1980) coloca que este efeito por si só não é tão eficiente, pois precisa de muito espaço para obter um bom resultado. A Figura 35 mostra que para manter níveis de ruído na ordem dos 70 dB(A) devemos afastar a edificação de uma via com grande circulação de veículos em 80 a 100 metros.

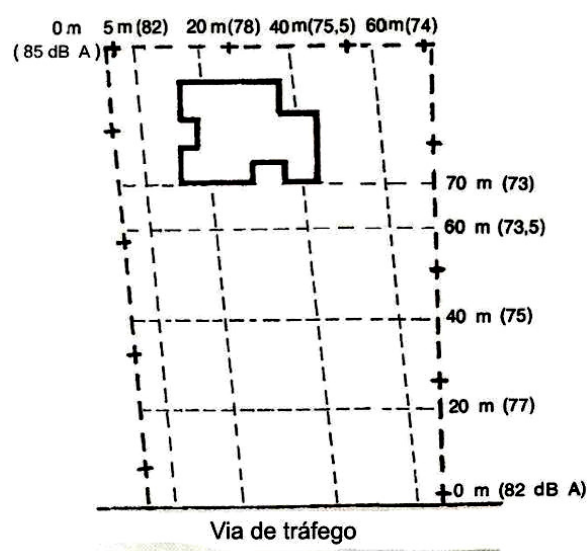


Figura 35. Ruído ambiental e implantação de edifício.

Fonte: Adaptado de ARIZMENDI, 1980, p.189.

A orientação do edifício também tem capacidade de dificultar ou não a propagação sonora, uma vez que as fachadas podem facilitar a existência de múltiplas reflexões do som nas mesmas. A Figura 36 apresenta três volumetrias com diferentes orientações das fachadas. Os exemplos mostram que com uma orientação cuidadosa é possível reduzir as superfícies das fachadas expostas ao ruído e gerar fachadas calmas.

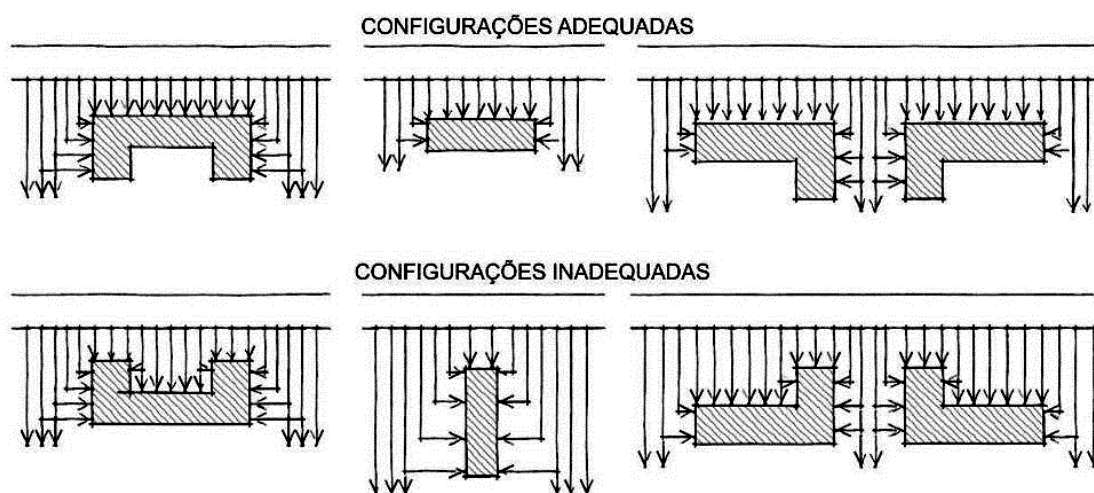


Figura 36. Variadas orientações dos edifícios.
Fonte: Adaptado de GEP MOSELLE, 1978, p.35.

O posicionamento das aberturas nos edifícios é um fator fundamental. Entretanto, a maioria das aberturas está voltada para as vias, ou seja, para a parte mais ruidosa. O IPT (1986), em seu trabalho sobre implantação de conjuntos habitacionais, indica que devemos evitar aberturas nas fachadas voltadas para a via e garantir nas fachadas laterais esquadrias com bom desempenho acústico (Figura 37).

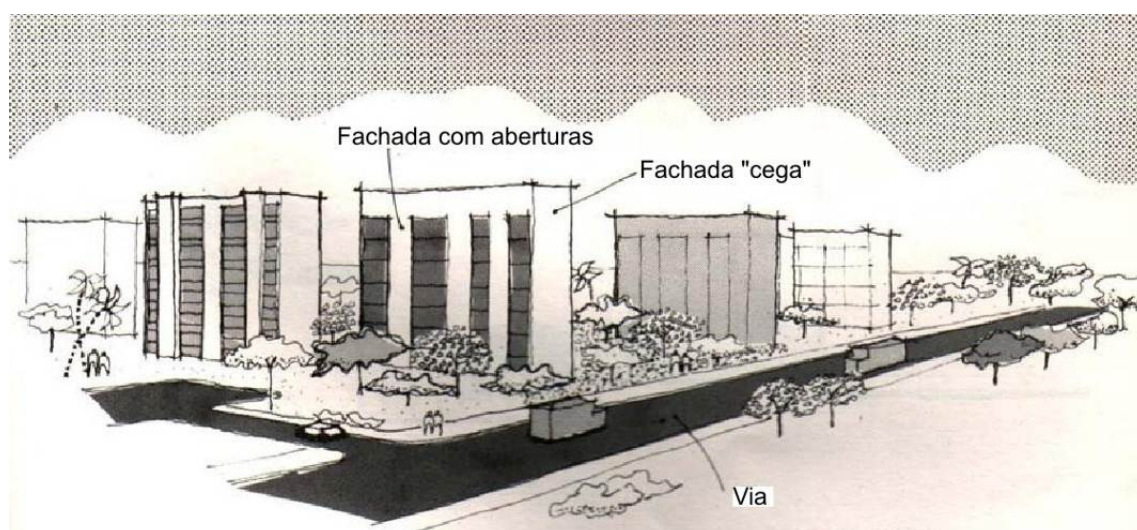


Figura 37. Localização de aberturas em edifício próximo à via.
Fonte: IPT, 1986.

Niemeyer (1998) apresenta um estudo com um edifício retangular implantado no limite de uma via, mostrando que as fachadas laterais sofrem uma redução de 3 dB em relação ao nível sonoro incidente na fachada frontal à via. Além disto, a fachada posterior proporciona uma redução de 10 dB (Figura 38).

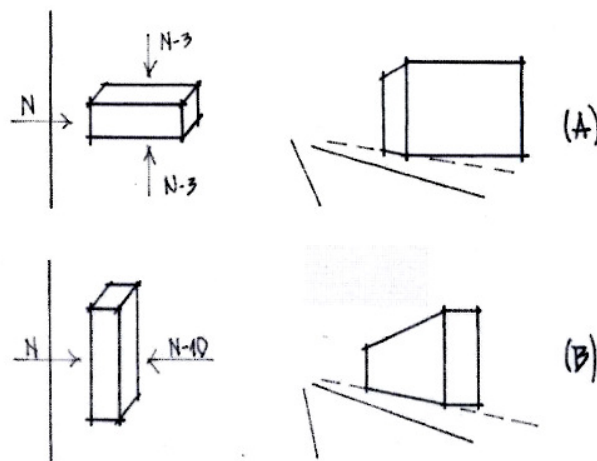


Figura 38. Redução do ruído nas laterais e fundos da construção.

Fonte: NIEMEYER, 1998, p.94.

A forma do edifício também pode auxiliar na proteção aos ruídos externos. Sacadas e varandas (comum em clima quente e úmido) podem ser usadas para amenizar os efeitos do ruído do trânsito, por interromper a linha de visão acústica das fontes sonoras. O edifício também tem condições de aproveitar o escalonamento como barreira acústica. Pavimentos com diferentes recuos na fachada funcionam como barreira ao pavimento superior (Figura 39).

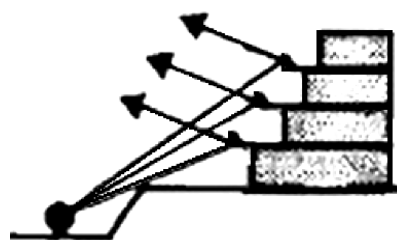


Figura 39. Andares em escalonamento.

Fonte: PRINZ, 1980, p.146.

Além de limitar o número de fachadas expostas ao ruído através da forma e orientação, Gep Moselle (1978) indica outras maneiras para se agir sobre a edificação. Destaca, assim, que a localização dos ambientes seja organizada em função do ruído e que ocorra um tratamento das fachadas, tornando o edifício impermeável ao ruído.

Desta forma, a configuração da planta de um edifício deve ser idealizada de maneira a fazer com que espaços menos críticos (garagem, depósito, banheiro, cozinha, área de serviço, etc.) funcionem como barreiras entre áreas sensíveis (quarto, sala de estar) e fontes de ruídos. (Figura 40) (EGAN, 1988).

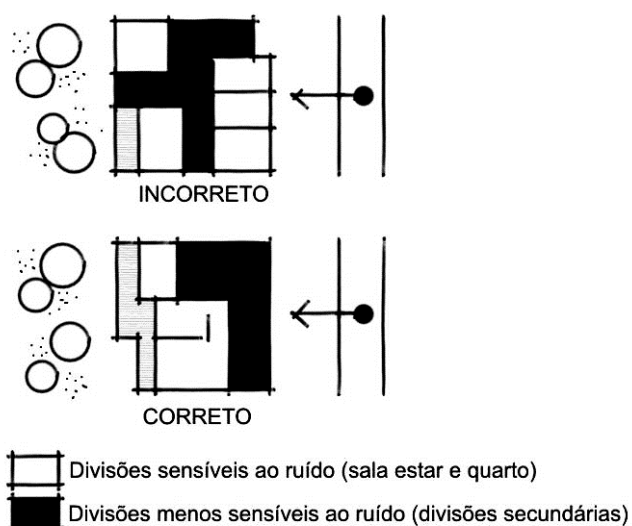


Figura 40. Configuração em planta com áreas menos críticas como barreiras para áreas sensíveis.
Fonte: Adaptado de PRINZ, 1980, p.149.

A fachada é um elemento da edificação que está totalmente exposta aos efeitos do ruído. O som ao incidir sobre os elementos de vedação os fazem vibrar, transmitindo parte dele para o local receptor. A crescente verticalização das cidades também gerou uma busca por novas tecnologias que permitissem um menor custo, maior flexibilidade de espaço e agilidade no tempo de construção. Isto levou ao desenvolvimento de novos materiais e sistemas estruturais que nos coloca a refletir quanto ao seu desempenho e qualidade, diante dos problemas de acústica encontrados.

Duarte e Viveiros (2007) realizaram um estudo da habitação brasileira descrevendo transformações da casa ao longo do tempo, em relação aos aspectos sonoros. As edificações foram diminuindo sua qualidade acústica, em razão do uso de materiais mais leves e paredes menos espessas. Além disto, as construções brasileiras geralmente apresentam grandes áreas de abertura e pouca densidade nas envoltórias, dois aspectos desfavoráveis para um bom isolamento sonoro.

O parâmetro que caracteriza a capacidade de uma parede transmitir ou isolar o som é o coeficiente de transmissão sonora (τ). Quanto menor esse índice, menor a intensidade sonora transmitida, ou seja, mais isolante será a parede e maior a perda na transmissão. Dele deriva uma grandeza que normalmente se utiliza para caracterizar a isolação sonora, a *perda na transmissão sonora (PT)*. Na prática, é desejável caracterizar a *perda na transmissão sonora* de uma partição por meio de um número único, com o objetivo de facilitar a comparação entre materiais. Assim, foi desenvolvido um método chamado *classe de transmissão sonora* (“*sound transmission class*”, STC). A Tabela 3 apresenta o valor do STC

de algumas partições feitas com materiais construtivos mais comuns. O ideal é que sempre se utilize os valores fornecidos pelos fabricantes (BISTAFA, 2006).

Tabela 3. Classe de transmissão sonora (STC) de materiais construtivos mais comuns.

Partição	STC
Vidro de 6 mm de espessura	26
Chapa de madeira compensada de 18 mm de espessura	28
Parede dupla de chapas <i>dry-wall</i> de 12 mm de espessura, fixadas em caibros de 5 x 10 cm	33
Chapa de aço de 6 mm de espessura	36
Parede de tijolos de 10 cm de espessura	41
Parede de blocos de cimento de 15 cm de espessura	42
Parede de concreto armado de 30 cm de espessura	56
Parede dupla: tijolos de 20 cm, cavidade de 5 cm, tijolos de 10 cm de espessura	65

Fonte: BISTAFA, 2006, p. 282.

Além disto, os materiais mais utilizados para o revestimento das fachadas são o concreto, a cerâmica e o vidro, que possuem a característica de refletir quase toda a energia incidente. A desvantagem da aplicação de outros materiais, tidos como absorventes (porosos), é a baixa resistência às intempéries.

A transmissão do som através de uma parede plana, não porosa, homogênea e flexível é em função da sua massa superficial ou por unidade de área. Assim, nos casos normais, a lei que rege o isolamento dos sons aéreos para as vedações é a lei da massa ou da densidade. Quanto mais pesada a parede mais isolará. Porém, a duplicação da massa de um determinado material não implica em dobrar seu índice de isolamento acústico. Ocorre um acréscimo em cerca de 6 dB de isolamento (CARVALHO, 2010).

O efeito Massa/mola/massa também é bastante relevante no que diz respeito à capacidade de isolamento sonoro. Consiste em gerar espaços vazios no interior de superfícies, que também podem ser preenchidos com material absorvente. É o chamado efeito “sanduíche”, utilizado no *dry-wall*, por exemplo, formado por lâ de vidro entre duas chapas de gesso e que se apresenta como um sistema muito utilizado em divisórias internas.

Entretanto, o ponto fraco do isolamento acústico das fachadas são as esquadrias. As esquadrias acústicas possuem uma maior capacidade de isolamento do que as convencionais. Quando compostas com vidro, pode ocorrer o acréscimo da massa (duplos, triplos, etc.), além da distância de afastamento entre as folhas de vidro. Deve-se, também, atentar para outros fatores como as conexões dos vidros com os caixilhos das esquadrias, utilizando borracha ou equivalente e a hipótese de criação de vácuo entre duas lâminas de vidro. Para as portas em geral, além das conexões das mesmas com o portal e o uso de portas

duplas, um bom resultado também depende da criação de artifícios de vedação junto ao piso (CARVALHO, 2010). Percebe-se, assim, que a forma de construção também é importante, devendo assegurar boas condições de vedações. Desta forma, as frestas devem ser eliminadas, pois o som passa através de qualquer mínima abertura.

Verifica-se que se a questão do conforto acústico for tratada apenas na escala da fachada, para que ocorra um bom desempenho é necessário que exista a total vedação da mesma. Entretanto, retira-se a possibilidade de promover o uso da ventilação natural como estratégia passiva de conforto térmico.

Porém, o clima quente e úmido está presente em grande parte do território brasileiro. Este tipo de clima possui a ventilação natural como uma estratégia passiva que pode ser usada para melhorar a sensação térmica. Assim, a ventilação cruzada é a estratégia mais simples a ser adotada, fazendo com que a temperatura interior acompanhe a variação da temperatura exterior (LAMBERTS *et al.*, 1997).

Para Losso e Viveiros (2003), a questão de como resolver o problema dos aspectos conflitantes no conforto ambiental, como o acústico e o térmico, é recorrente e deve ser avaliado. Uma alternativa reportada pelos autores é usar nos edifícios elementos que permitam a passagem da ventilação, mas que parcialmente bloqueiem o ruído externo, para possibilitar bons resultados. Alguns estudos foram realizados seguindo esta linha como o cobogó acústico (ARAÚJO, 2010), o peitoril ventilado (OITICICA e BERTOLI, 2011) e a veneziana acústica (SILVA, 1998).

2.5 Legislações e Normas Acústicas

O homem transforma a paisagem quando ocupa o espaço, mas nem sempre o ocupa da maneira mais adequada para a vida humana, no sentido das condições de salubridade, conforto e economia dos recursos naturais. As normas e legislações devem conter instrumentos fundamentados em princípios de conforto ambiental, que ajudam na regulamentação e na forma de ocupação do espaço. Este item aborda normas e leis que tratam da problemática do ruído ambiental.

2.5.1 Internacionais

As normas internacionais são importantes na avaliação do ruído, pois podem ser aplicadas diretamente ou servir como referência às normas nacionais. Existem duas principais organizações para normatização internacional. A *International Organization for Standardization* (ISO) trata, principalmente, da metodologia e procedimentos de comparação dos resultados e a *International Electrotechnical Commission* (IEC), que aborda os aspectos relacionados às instrumentações necessárias para avaliação de ruído ambiental (BRÜEL & KJÆR, 2000).

A norma **ISO 1996** *Acoustics: Description and Measurement of Environmental Noise* se apresenta como a principal norma para avaliação de ruído ambiental, estando dividida em três partes: ISO 1996, Parte 1 (1982) - *Basic quantities and procedures*; ISO 1996, Parte 2 (1987) - *Acquisition of data pertinent to land use*; ISO 1996, Parte 3 (1987) - *Application to noise limits*. Esta norma define a terminologia básica, incluindo o parâmetro de nível corrigido e descreve as melhores práticas para avaliação de ruído ambiental.

A norma **ISO 9613** *Acoustics: Attenuation of Sound during Propagation Outdoors* possui duas partes: ISO 9613, Parte 1 (1993) - *Calculation of the absorption of sound by the atmosphere* e a ISO 9613, Parte 2 (1996) - *General method of calculation*. Define um método de cálculo para propagação sonora ao ar livre.

Para ensaios em campo, de medição do isolamento sonoro, é utilizada a norma **ISO 140** *Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements*. A Parte 5 (1998) estabelece dois métodos de medição, o de isolamento sonoro aéreo de fachadas (método global) e o de elementos de fachada (método dos elementos). A norma sugere que cada organização determine os procedimentos para os testes, mas que obedeçam a alguns critérios.

De acordo com BRÜEL & KJÆR (2000) existem três normas que juntas tratam dos medidores de nível sonoro. Seus padrões são aceitos pela maioria dos países do mundo e no Brasil são adotadas como referência pelas normas ABNT 10151. Estas normas são:

IEC 60651 - *Sound level meters*. Define os medidores de nível sonoro em quatro graus de precisão (Tipos 0, 1, 2 e 3). Especifica características incluindo direcionalidade, frequência e tempo de ponderação, além de sensibilidade a vários ambientes. Estabelece testes para verificar a conformidade com as características especificadas.

IEC 60804 - *Integrating-averaging sound level meters*. É uma norma adicional a IEC 651 que descreve os tipos de instrumentos, que medem o Leq.

IEC 61672 - *Sound Level Meters*. Apresenta-se como um novo projeto que substitui a norma IEC 60651 e a IEC 60804. As maiores alterações são as especificações que ficaram mais rigorosas, em que o medidor do tipo 03 desaparece. Isto significa um melhor teste e um controle de qualidade de instrumentação com maior precisão.

Além do *Centre d'Études des Transports Urbaines* (CERTU, 1980), já tratado no subitem 2.4.1, dentre os modelos mais populares de predição acústica encontra-se a norma alemã *Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen*, conhecida como **RLS-90**. A norma estabelece técnicas específicas, procedimentos de medição e redução de ruído de tráfego rodoviário e de estacionamento.

A **RLS-90** utiliza o método da fonte pontual com espalhamento, atenuação sonora, refração e reflexão. Seus procedimentos de cálculo apresentam o modelo da fonte e o da propagação sonora. Com relação ao modelo da fonte são usados dados de tráfego para prever o nível de ruído referencial em 25 metros de distância da estrada (L_{25}) e 4 metros acima do solo. Já o modelo da propagação tem como dados de entrada a emissão média durante o dia e a noite, resultando em níveis de ruído no receptor durante os respectivos períodos (GUEDES, 2005). O mesmo autor ainda coloca quais são os dados necessários para se calcular o nível sonoro L_{25} . São indispensáveis os dados de tráfego (número de veículos por hora, porcentagem de veículos pesados), a velocidade dos veículos leves e pesados, as correções pela superfície da rua, ao gradiente da rua e adições devido às múltiplas reflexões.

Percebe-se, desta forma, que o nível sonoro pode ser obtido a partir de medições diretas ou calculado, através de modelos de predição acústica. Cada uma das técnicas apresentam vantagens e desvantagens. O método com cálculo consegue fornecer informações detalhadas das principais fontes sonoras, possibilidades de análises em maior número de pontos, não sofrem interrupções diante de condições meteorológicas adversas, permitem a avaliação de situações hipotéticas, simples atualizações e demonstram uma menor sensibilidade aos efeitos do ruído de fundo. Entretanto, esses modelos possuem também desvantagens, principalmente da necessidade de muitas informações na coleta de dados (acústicos e geométricos) e da dependência entre a precisão dos resultados com as habilidades acústicas e experiências em modelagem por parte do usuário (BRÜEL & KJÆR, 2000).

Nos países da Comunidade Europeia são exigidos mapas estratégicos de ruído pela **Directiva 2002/49/EC**, para aglomerações com mais de 250.000 habitantes, equipamento

industrial e para grandes eixos e terminais rodoviários, ferroviários e aeroportos. O seu objetivo é definir uma abordagem comum para evitar, prevenir ou reduzir os efeitos prejudiciais da exposição ao ruído ambiente. Para isso, coloca a prática das seguintes ações:

- Determinação da exposição ao ruído ambiente, através da elaboração de mapas de ruído;
- Informação do público sobre o ruído ambiente e seus efeitos;
- Planos de ação baseados nos resultados dos mapas de ruído, a fim de prevenir e reduzir o ruído, sempre que necessário e preservar a qualidade do ambiente acústico, quando boa.

O mapeamento de ruído é uma importante ferramenta de planejamento urbano para o estudo, diagnóstico e controle do ruído ambiental. É uma representação gráfica do comportamento acústico de uma determinada região. São diversas as suas finalidades como, por exemplo, quantificar o nível de ruído existente, identificando as fontes emissoras e as áreas com níveis acima do admitido, verificar o número de pessoas e de edificações sensíveis (habitações, escolas e hospitais) que estão sendo afetadas; criar diferentes cenários futuros e prever o impacto de novas estruturas e atividades.

O nível sonoro dos mapas de ruído pode ser obtido a partir de medições diretas ou calculado, através de modelos de predição acústica, como já comentado no item anterior. Além disto, existem diversos softwares comerciais, que se norteiam em alguns desses modelos de predição como o Predictor e Lima, da Empresa Brüel & Kjær, o Mithra da Empresa 01 dB e o SoundPLAN, da Empresa Braunstein + Berndt GmbH (GUEDES, 2005).

As determinações gerais da Diretiva 2002/49/EC podem ser complementadas por legislação específica para cada país da Comunidade Europeia como, por exemplo, **Arrêté du 30 mai 1996** - Relatif aux modalités de classement des infrastructures de transports terrestres et isolement acoustique des bâtiments d'habitation dans les secteurs affectés par le bruit. Este decreto define regras para classificação da infraestrutura de transportes terrestres e sua relação com os níveis de isolamento acústico dos edifícios residenciais em áreas afetadas pelo ruído. Desta forma, os objetivos são:

- Determinar, em função dos níveis sonoros de referencia diurno e noturno, cinco categorias classificadas na infraestrutura de transportes terrestres identificadas;
- Fixar a largura máxima das áreas afetadas pelo ruído situadas em ambos os lados destas infraestruturas;

- Fixar os métodos de medição dos níveis sonoros de referência e os requisitos que devem respeitar os métodos de cálculo previsional;
- Determinar, para garantir a proteção dos ocupantes dos edifícios residenciais a construir nestas áreas, o isolamento acústico mínimo das fachadas, das partes principais e de serviços contra o ruído dos transportes terrestres.

A classificação das infraestruturas dos transportes terrestres e a largura máxima das áreas afetadas pelo ruído são definidas em função dos níveis sonoros de referência, apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Classificação das infraestruturas de transportes terrestres.

Nível sonoro de referência LAeq (6h-22h) dB (A)	Nível sonoro de referência LAeq (22h-6h) dB (A)	Categoria de infraestrutura	Largura máxima das áreas afetadas pelo ruído de ambos os lados da infraestrutura
$L > 81$	$L > 76$	1	$d = 300\text{m}$
$76 < L \leq 81$	$71 < L \leq 76$	2	$d = 250\text{m}$
$70 < L \leq 76$	$65 < L \leq 71$	3	$d = 100\text{m}$
$65 < L \leq 70$	$60 < L \leq 65$	4	$d = 30\text{m}$
$60 < L \leq 65$	$55 < L \leq 60$	5	$d = 10\text{m}$

Fonte: Ministère de L'environnement (1996).

A determinação do isolamento acústico mínimo dos edifícios habitacionais é diferenciada em duas situações, para tecidos fechados e abertos. Para ruas em “U”, o isolamento é caracterizado pela categoria da infraestrutura e orientação do edifício (Tabela 5).

Tabela 5. Determinação do isolamento sonoro para ruas em “U”, em dB(A).

Categoria da infraestrutura	1	2	3	4	5
Partes diretamente expostas	45	42	38	35	30
Fachadas laterais	42	38	35	30	30
Fachadas posteriores	38	35	30	30	30

Fonte: Ministère de L'environnement (1996).

Para o tecido urbano aberto, leva-se em consideração a categoria de infraestrutura e a distância entre o edifício e a borda exterior da via mais próxima (Tabela 6).

Tabela 6. Determinação do isolamento sonoro para tecido aberto, em dB(A).

Distância	0	10	15	20	25	30	40	50	65	80	100	125	160	200	250	300
Categoria	1	45	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32
	2	42	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	
	3	38	38	37	36	35	34	33	32	31	30					
	4	35	33	32	31	30										
	5	30														

Fonte: Ministère de L'environnement (1996).

A norma prevê também a correção do nível sonoro das fachadas de acordo com a presença de alguma barreiras de proteção ao edifício estudado.

2.5.2 No Brasil

A **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**, no artigo 23, inciso VI, estabelece a competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios da proteção do meio ambiente e o combate da poluição em qualquer de suas formas. Além disto, no Capítulo VI, relacionado ao meio ambiente, estabelece que “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, [...]” (BRASIL, 1998).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) publicou também várias resoluções, fixando normas de preservação do meio ambiente. A **Resolução nº 001**, de 08 de março de 1990, define limites de ruído ambiental no território brasileiro, em decorrência de quaisquer atividades comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política:

“São prejudiciais à saúde e ao sossego público, [...], os ruídos com níveis superiores aos considerados aceitáveis pela Norma NBR - 10.151 - Avaliações do Ruído em Áreas Habitadas visando o conforto da comunidade” (CONAMA nº 001, 1990). Além disto, coloca que as medições deverão ser efetuadas também de acordo com a NBR-10.151. Porém, essa Resolução não menciona especificamente o ruído de tráfego (aéreo, veicular e ferroviário), mas indica que a emissão dos ruídos dos veículos automotores deve obedecer à norma do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN, 2006).

A **Resolução nº 002**, de 08 de março de 1990, institui em caráter nacional o Programa Nacional de Educação e Controle da Poluição Sonora, chamado de Programa Silêncio. Dentre alguns dos objetivos estão o de promover cursos de capacitação técnica, divulgar junto à população matérias educativas e de conscientização dos efeitos prejudiciais causados pelo excesso de ruído, introduzir o tema “poluição sonora” nos cursos secundários da rede oficial e privada de ensino e incentivar a fabricação e uso de máquina, motores, equipamentos e dispositivos com menor intensidade de ruído, o que inclui os automóveis.

A **Resolução nº 252**, de 01 de fevereiro de 1999, considera que o ruído excessivo, principalmente o ruído proveniente do tráfego dos veículos rodoviários automotores, causa prejuízo à saúde física e mental. Desta forma, apresenta a necessidade de se reduzir estes altos índices de poluição sonora nos principais centros urbanos do Brasil. Estabelece, assim, para

os veículos rodoviários automotores limites máximos de ruído nas proximidades do escapamento, para fins de inspeção obrigatória e fiscalização de veículos em uso.

O **Estatuto da Cidade** (2001) é uma lei federal que “estabelece normas de ordem pública e interesse social, que regulam o uso da propriedade urbana em prol do bem coletivo, da segurança e do bem-estar dos cidadãos, bem como do equilíbrio ambiental”. O Estatuto prevê, nos artigos 36 a 38, o *Estudo de Impacto de Vizinhança* (EIV), que está entre os instrumentos de gestão que depende de regulamentação municipal. Permite, também, a avaliação dos impactos causados por empreendimentos e atividades urbanas. O EIV é executado de forma a contemplar os efeitos positivos e negativos do empreendimento ou atividade e um dos itens que devem ser analisados é a geração de tráfego.

Entretanto, Ventura *et al.* (2008) mostra que essa preocupação fica concentrada, na grande maioria das vezes, no aumento do fluxo de veículos. Novas medidas para o sistema viário são criadas de forma a comportar o aumento de veículos e de certa forma, “tranquilizar” os moradores pelos transtornos. No entanto, o que as autoridades parecem ignorar é que o acréscimo de automóveis tem relação direta com o aumento dos níveis de ruído e nada é feito para se avaliar, diagnosticar e remediar, se for o caso, o cenário futuro. Enfatiza, assim, que os instrumentos de gestão urbano-ambiental deveriam ser utilizados tanto para avaliação dos impactos decorrente dos ruídos excessivos, quanto para mitigar e compensar sua existência. Se a questão do ruído fosse pensada pelos legisladores e pelos próprios cidadãos de maneira preventiva, através do EIV, se poderiam mitigar os seus efeitos.

Para regulamentar os padrões e limites, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) possui a norma **NBR 10151/2000**: Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – procedimento¹. Dispõe sobre a medição e avaliação dos níveis de sons urbanos e estabelece níveis de ruído para áreas específicas de ocupação. Esta norma está atualmente em processo de revisão (CE-02:135.01) e deverá ter seu nome alterado para Acústica – Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em ambientes externos às edificações.

Trata basicamente da medição do LAeq, em que deve ser realizada uma correção de +5dB para ruído com características impulsivas, de impacto ou caso o ruído tenha componentes tonais. Assim, o nível sonoro corrigido (Lc) é comparado com o Nível Critério

¹ De acordo com a resolução CONAMA 001/1990, os parâmetros da norma devem ser adotados como referência pelas legislações municipais de controle de ruído ambiental.

de Avaliação (NCA), indicando se está na faixa tolerável ou se são necessárias medidas para reduzi-lo. A Tabela 7 apresenta os valores para ambientes externos em função dos horários diurno e noturno:

Tabela 7. Nível Critério de Avaliação para ambientes externos, em dB(A).

Tipos de áreas	Diurno	Noturno
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Fonte: ABNT NBR 10151/2000.

Em áreas urbanas, o ruído ambiente com frequência ultrapassa o Nível Critério de Avaliação (NCA) recomendado, principalmente devido à emissão sonora do tráfego veicular. Nesses casos, a norma recomenda que o NCA assuma o valor do nível de ruído ambiente medido *in situ*. A aceitação do ruído existente como referencia para avaliação do impacto, leva a população a conviver diariamente com valores além dos limites de conforto, tolerância e até mesmo salubridade.

A Norma também indica equipamentos de medição, a calibração e ajustes dos instrumentos, os procedimentos e condições da medição, os parâmetros a se considerar e as informações necessárias que o relatório do ensaio deve conter. Entretanto, foi elaborada para ser aplicada em situações existentes, ou seja, depois que os danos já estão estabelecidos.

Para avaliação do nível de ruído no interior das edificações, a norma acústica utilizada é a **ABNT NBR 10152/1987: Níveis de ruído para conforto acústico**. Apresenta-se atualmente em processo de revisão (CE-02:135.01) e passará a se chamar Acústica – Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em ambientes internos às edificações.

A **Norma Regulamentadora do Ministério do Trabalho - NR 17** se refere à ergonomia, estabelecendo parâmetros que permitam a adaptação das condições de trabalho a proporcionar um máximo de conforto, segurança e desempenho. Reporta, assim, aos níveis da ABNT NBR 10152. Já a **NR 15** serve para atividades e operações insalubres, apresentando os limites máximos permissíveis de exposições diárias a determinados níveis sonoros (Tabela 8). São consideradas atividades ou operações insalubres as que se desenvolvem acima dos limites de tolerância. Caso sejam ultrapassados, comprometem seriamente a audição do ser humano.

Tabela 8. Limites de tolerância para ruídos.

Limites de Tolerância para Ruído Contínuo ou Intermitente	
Níveis de Ruído dB(A)	Máxima Exposição Diária Permissível
85	8 horas
86	7 horas
87	6 horas
88	5 horas
89	4 horas e 30 minutos
90	4 horas
91	3 horas e 30 minutos
92	3 horas
93	2 horas e 40 minutos
94	2 horas e 15 minutos
95	2 horas
96	1 hora e 45 minutos
98	1 hora e 15 minutos
100	1 hora
102	45 minutos
104	35 minutos
105	30 minutos
106	25 minutos
108	20 minutos
110	15 minutos
112	10 minutos
114	8 minutos
115	7 minutos

Fonte: NR 15, 1978.

2.5.3 No Estado do Rio Grande do Norte

A **Lei nº 6.621**, de 12 de julho de 1994, dispõe sobre o controle da poluição sonora e condicionantes do meio ambiente no Rio Grande do Norte. Coloca que a emissão de ruídos, em decorrência de quaisquer atividades deve obedecer aos padrões e critérios estabelecidos no Art. 6º:

- O nível de som proveniente de fonte poluidora, medido dentro dos limites reais da propriedade, não poderá exceder dos 10 dB(A) o nível de ruído de fundo existente no local.

- Independentemente do ruído de fundo, o nível de som proveniente da fonte poluidora, medida dentro dos limites reais da propriedade, não poderá exceder aos níveis fixados na Tabela 9:

Tabela 9. Nível Critério de Avaliação para o Estado do Rio Grande do Norte, em dB(A).

Tipos de Áreas	Diurno	Noturno
Zona Residencial (ZR)	55	45
Zona Diversificada (ZD)	65	55
Zona Industrial (ZI)	70	60

Fonte: LEI Nº 6.621, 1994.

Esta Lei, além de ser do Estado, diferente de outros municípios do Brasil, que possuem a sua legislação específica, deveria ser atualizada e seguir as recomendações colocadas pela ABNT NBR 10151/2000. Os valores empregados são diferentes, além de fazerem uso de uma denominação muito ampla para “Zona Diversificada”.

A **Lei nº 8.052**, de 10 de janeiro de 2002 altera alguns artigos da Lei anterior (Lei nº 6.621/1994). A principal diferença observada ocorre no Art. 6º, em que “consideram-se prejudicial à saúde, à segurança ou ao sossego públicos quaisquer ruídos que atinjam, no exterior ao recinto em que tem origem, nível sonoro superior a 85 (oitenta e cinco) decibéis”. Além disso, a Tabela 9 não está mais presente nessa alteração, dificultando o seu entendimento. Por esse motivo, as comparações com as medições realizadas na área da pesquisa foram feitas com a tabela da Lei nº 6.621/ 1994.

3 APLICAÇÃO DO MAPEAMENTO DE RUÍDO EM PETRÓPOLIS-NATAL/RN

A verticalização é um elemento de transformação urbana da cidade, podendo produzir fatores positivos e impactos negativos à população em geral. De acordo com Costa (2000b) a verticalização é importante, pois além de atender às necessidades do modelo econômico e da sociedade em que vivemos, é vista como a solução de problemas espaciais por favorecer, até certo ponto, a otimização do uso do solo. Além disto, oferece aos usuários comodidade, conforto, segurança, maior oferta de moradia em locais com localização privilegiada e racionalização dos custos com a habitação.

Por outro lado, a maioria das cidades brasileiras cresce com carência de infraestrutura. Assim, a verticalização excessiva em local que não está preparado pode resultar em problemas sócio-espaciais dos mais diversos, como congestionamento no trânsito, poluição, esgotamento sanitário, etc. Também pode provocar problemas com o microclima da cidade. Ao construir verticalmente, as superfícies expostas à radiação aumentam, provocando mais acúmulo de calor e mais calor irradiado para a cidade. Além disto, dependendo da forma em que os edifícios sejam implantados ocorre a formação de barreira arquitetônica, que compromete a circulação do ar nas áreas adjacentes (COSTA, 2000b).

Natal passa por um acelerado processo de transformação do seu espaço e alteração da sua paisagem provocada pela verticalização. Diversos bairros já enfrentam dificuldades com a carência dos espaços e com esse processo de verticalização. Portanto, o interesse em analisar uma área especificamente valorizada da cidade, como o Bairro de Petrópolis.

3.1 Caracterização da área de estudo

3.1.1 Localização e clima

Natal está localizada no nordeste do Brasil, no Estado do Rio Grande do Norte, às margens do Oceano Atlântico. É a capital do Estado e se apresenta como uma das regiões de

maior dinamismo econômico e social da Região Metropolitana de Natal, constituída atualmente por nove municípios: Natal, Parnamirim, Macaíba, Extremoz, São Gonçalo do Amarante, Ceará-Mirim, São José de Mipibu, Nísia Floresta e Monte Alegre (Figura 41).

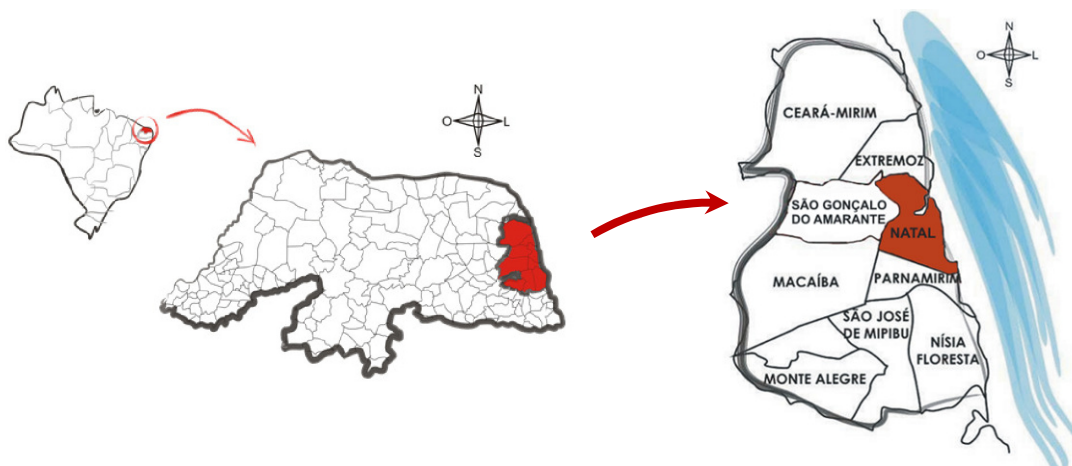


Figura 41. Localização do Rio Grande do Norte e da Região Metropolitana de Natal, com destaque para Natal.

Fonte: Imagem elaborada por Andreza Dantas.

A cidade está dividida em quatro regiões administrativas (Figura 42). Porém, segundo Costa (2000a), mesmo com as intervenções e os planos urbanísticos é possível perceber que o seu crescimento urbano ocorreu de forma tendenciosa à segregação social e espacial, bastante comum nas cidades brasileiras. Neste sentido, nota-se que nas áreas como as Zonas Administrativas Norte e Oeste se fixaram a população mais pobre, já as Zonas Sul e Leste uma população de maior poder aquisitivo.

Natal, a exemplo de outras cidades de médio porte, passa atualmente por um acelerado crescimento urbano, caracterizado pela expansão da malha urbana em direção às cidades vizinhas e pela criação de estruturas verticais em alguns bairros, principalmente em Ponta Negra, Petrópolis, Tirol e Candelária (ARAÚJO *et al.*, 2000). Desta forma, foi escolhido o Bairro de Petrópolis para realização do trabalho, um dos pioneiros no processo de verticalização na cidade.

O Bairro se localiza na Zona Administrativa Leste (Figura 43), de acordo com a Secretaria Meio Ambiente e Urbanismo (SEMURB, 2008), tem uma área de 77,63 ha e uma densidade demográfica de 78,72 hab/ha (Figura 44). Dispõe de infraestrutura básica com oferta de energia elétrica, distribuição de água potável, coleta de lixo e de esgoto sanitário, pavimentação e drenagem em quase todas as vias. Estes dados mostram que do ponto de vista da infraestrutura existente, o Bairro dispõe de capacidade para adensamento.

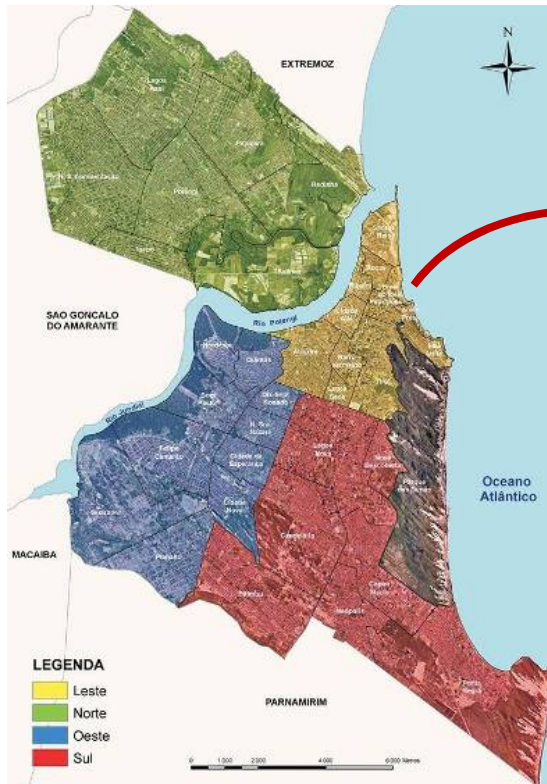


Figura 42. Mapa de Natal com as quatro Regiões Administrativas.
Fonte: SEMURB, 2008.

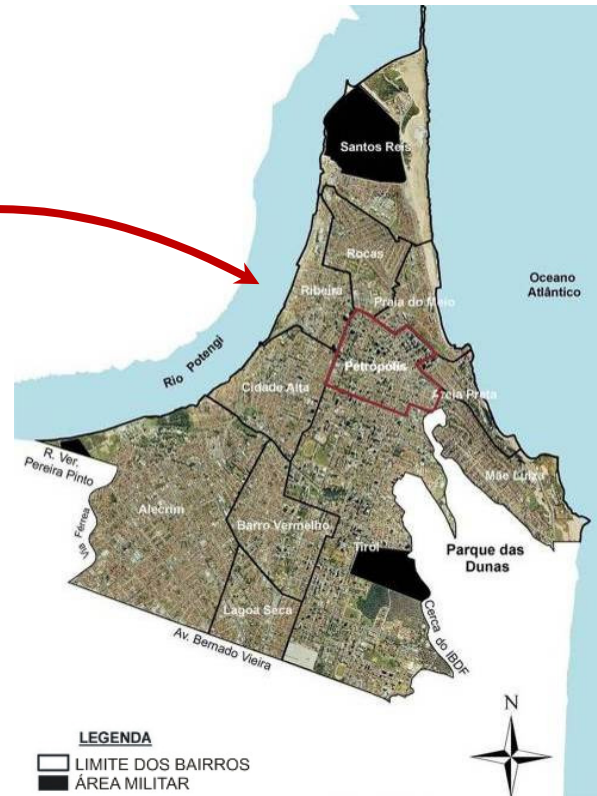


Figura 43. Região Administrativa Leste, com destaque para Petrópolis.
Fonte: Adaptado de SEMURB, 2008.



Figura 44. Bairro de Petrópolis.
Fonte: Elaborado pela autora, a partir de imagem do Google Earth.

Em relação às características climáticas, Natal possui o clima quente e úmido. Suas coordenadas (latitude 5°45'54'' Sul e longitude 35°12'05'' Oeste) definem a posição intertropical, muito próxima à linha do equador. O céu típico é parcialmente nublado, o que produz elevada radiação difusa e intensa luminosidade. Apresenta também o nível de umidade alto, temperaturas elevadas e amplitude térmica pequena, tanto diária quanto sazonal. Os ventos têm velocidades variáveis, predominante na direção sudeste. Não apresenta quatro estações do ano marcadas, mas duas características épocas anuais, com pequenas variações. O período de abril a setembro possui temperaturas do ar mais amenas, umidades relativas do ar mais elevadas e velocidades dos ventos mais intensas, com predominância de ventos de sudeste com tendência para a direção sul. Outubro a março possui temperaturas do ar mais altas, umidades relativas mais baixas, velocidades dos ventos menores e com predominância também sudeste, mas com tendência na direção leste (ARAÚJO, 2010).

Segundo Araújo *et al.* (2000), existem duas áreas de entrada de ventilação: uma próxima ao Morro do Careca e a outra na Orla entre a Ponta do Morcego e o Forte dos Reis Magos. O Parque das Dunas, formado por 1.172 ha de Reserva da Biosfera da Mata Atlântica Brasileira, exerce influência como barreira para a ventilação natural, ocasionando nas regiões a sota-vento, com o Campus da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, uma sombra de vento, além de um redirecionamento dos ventos que vêm do mar (Figura 45).

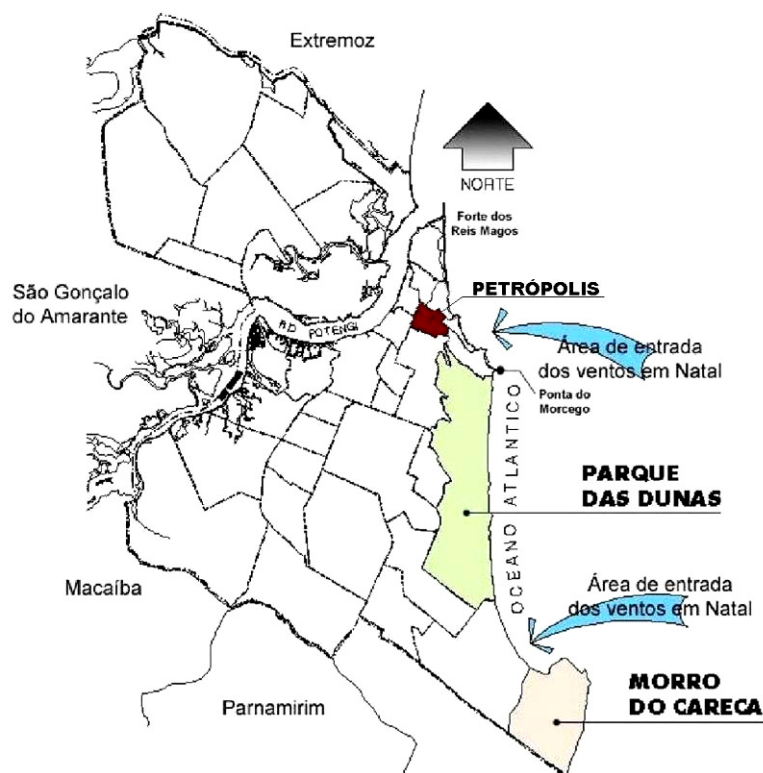


Figura 45. Mapa da Cidade de Natal com entrada dos ventos.
Fonte: MARQUES, 2003, modificado.

De acordo com a NBR 15220-3 (ABNT, 2003), que trata do desempenho térmico de edificações e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, Natal está localizada na Zona Bioclimática nº 8 (Figura 46 e Figura 47). Apesar de ser uma norma para habitações de interesse social, o que se pretende é identificar a sua aplicabilidade no contexto brasileiro para o clima quente e úmido, característico da região em estudo. A norma divide o território brasileiro em 08 zonas relativamente homogêneas quanto ao clima. Para cada zona foram direcionadas recomendações técnico-construtivas, que otimizam o desempenho térmico das edificações, através de sua melhor adequação climática.

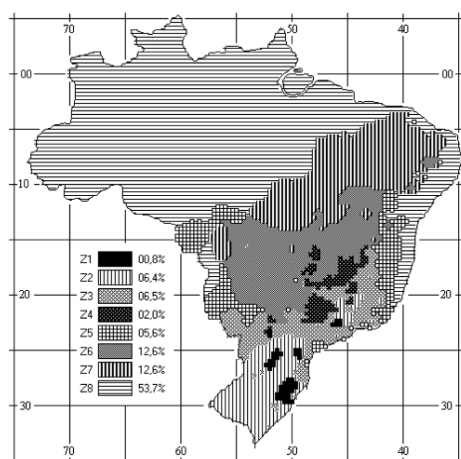
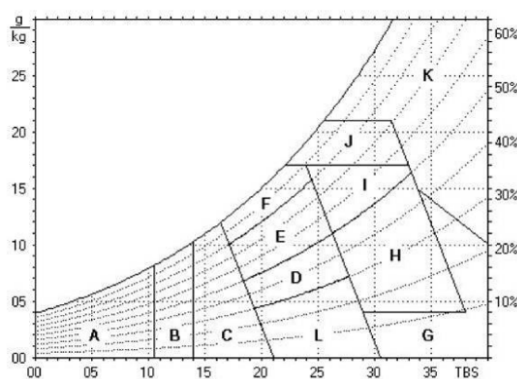


Figura 46. Zoneamento Bioclimático Brasileiro.
Fonte: ABNT, 2003.



Figura 47. Zona Bioclimática nº 8, com destaque para Natal-RN.
Fonte: Adaptado de ABNT, 2003.

O Zoneamento Bioclimático Brasileiro (ABNT, 2003) adota uma Carta Bioclimática para o país, a partir da sugerida por Givoni (1992), construída sobre o diagrama psicrométrico que relaciona a temperatura do ar e a umidade relativa. Ao plotar na carta os valores destas variáveis, para os principais períodos do ano climático da localidade em questão, são possíveis identificar zonas de atuação, com indicações sobre estratégias bioclimáticas (Figura 48).



- A – Zona de aquecimento artificial (calefação)
- B – Zona de aquecimento solar da edificação
- C – Zona de massa térmica para aquecimento
- D – Zona de Conforto Térmico (baixa umidade)
- E – Zona de Conforto Térmico
- F – Zona de desumidificação (renovação do ar)
- G + H – Zona de resfriamento evaporativo
- H + I – Zona de massa térmica de refrigeração
- I + J – Zona de ventilação
- K – Zona de refrigeração artificial
- L – Zona de umidificação do ar

Figura 48. Carta Bioclimática adotada no Brasil.
Fonte: ABNT, 2003.

Ao inserir os dados de Natal-RN (Figura 49), a carta indica seguir as estratégias F, I e J, ou seja, construir de forma que possibilite a desumidificação dos ambientes, promovendo a ventilação. Outros parâmetros são destacados como a utilização de grandes aberturas para ventilação, com área da abertura maior do que 40% da área de piso para ambientes de longa permanência, o sombreamento dessas aberturas e a utilização de materiais leves e refletores nas vedações externas.

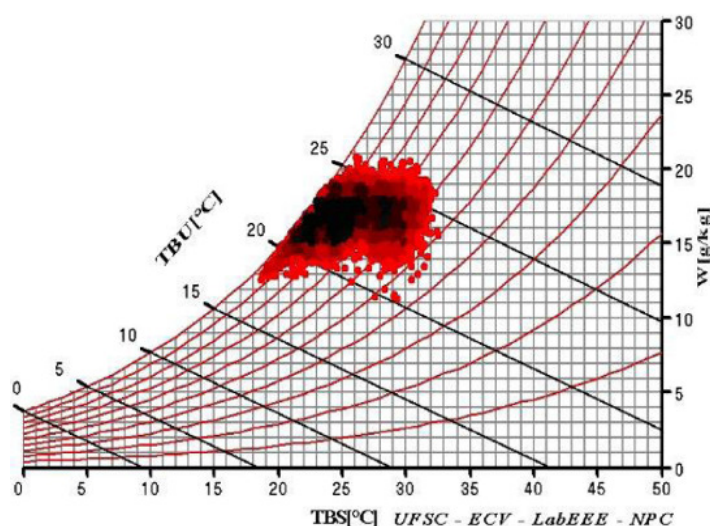


Figura 49. Carta psicrométrica com os dados referentes à Natal.
Fonte: LAMBERTS *et al.*, 2003.

Percebe-se, portanto, que a área de estudo também apresenta a problemática da dicotomia entre o conforto térmico e o acústico. Desta forma, se destaca novamente a importância de se trabalhar as questões de acústica na escala urbana e nas decisões iniciais de projeto, favorecendo assim a utilização da ventilação natural como estratégia passiva de resfriamento.

3.1.2 Evolução urbana de Natal-RN e do Bairro de Petrópolis

Natal não teve crescimento acentuado desde sua fundação em 1599, até o fim do século XIX. Segundo Câmara Cascudo (1999), em 1805 tinha apenas 6.393 habitantes. Porém, no último ano do século XIX, já possuía uma população de mais de 16.000 pessoas. Começou a se desenvolver em ritmo mais acelerado somente a partir de 1922. As primeiras atividades urbanas tiveram início no Bairro da Ribeira, situado na parte baixa da cidade, próximo à foz do Rio Potengi. Depois, expandiu em direção ao Centro, atual Cidade Alta.

Na primeira metade do século XX ocorreu um maior investimento em infraestrutura urbana, principalmente no período da II Guerra Mundial. Por causa da privilegiada posição geográfica, foi transformada em palco de operações militares. A cidade cresceu e evoluiu com a presença dos aliados (particularmente norte-americanos), mudando também profundamente o modo de vida da população. Na segunda metade do século XX, intensificou-se o investimento em infraestrutura, devido políticas públicas como as promovidas pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), como habitação popular, investimento na indústria e no turismo, que se torna a principal economia a partir dos anos de 1980. Percebe-se, então, que o século XX foi de amplas transformações, grande crescimento populacional, limites geográficos expandidos, bairros multiplicados e também apareceram novos sistemas de produção imobiliária, como a verticalização.

De acordo com Costa (2000a), existem edifícios verticais construídos na década de 1930. Entretanto, o processo de verticalização propriamente dito só teve início na década de 1970 e acelerado apenas em 1980. Além disto, até o final da década de 1970 a verticalização era predominantemente voltada para fins comerciais e serviços, não tendo ainda uma tendência residencial. Somente na década de 80 é que a verticalização toma impulso e apresenta uma tendência para construções com fins residenciais.

Além disto, nos anos de 1980 o turismo se torna a principal economia da cidade. Começa a ocorrer, também, um entrelaçamento do setor turístico com o imobiliário, criando uma busca de “segundas residências” para um público estrangeiro. Isto é justificado pelas facilidades na compra de imóveis baratos, tendo em vista o elevado poder aquisitivo de suas moedas (euro ou dólar) no mercado local. Nos aglomerados urbanos fortemente atrativos, como cidades balneárias de grande procura turística, a demanda aumenta ainda mais, pois é maior a expectativa de valorização do investimento (SILVA *et al.*, 2006). Percebe-se, além disto, que Natal tem sido “vendida” associada à imagem da natureza, do verde e do ar puro, principalmente em bairros próximos do litoral como Ponta Negra e Areia Preta.

A década de 1990 se caracteriza em dois momentos bem distintos. Os primeiros anos foram marcados por maiores restrições, impostas pelo Governo Federal aos financiamentos da habitação. Entretanto, na segunda fase, observamos um reaquecimento, que representou um crescimento médio mensal na ordem de 172% e um percentual de 54% de todos os edifícios construídos na cidade. A principal causa se deve à aprovação do Plano Diretor de Natal de 1994, que se tornava mais restritivo, gerando um aquecimento imobiliário pela aprovação de projetos na lei anterior (COSTA, 2000a).

Os primeiros anos do novo milênio foram de retração para economia, não sendo diferente para o setor civil, um dos setores que mais sentiu a crise econômica que predominou nos dois primeiros anos do decênio. A verticalização nesse período apresenta números modestos, com poucos edifícios residenciais e uma tendência a explorar o setor de turismo, com construção de *flats* e hotéis verticais (DUARTE, 2006). Atualmente, Natal é uma das cidades que mais cresce no Nordeste, com demanda de investimentos e grande especulação de preços devido às melhorias em infraestrutura, já que será uma das cidades hospedeiras da Copa do Mundo de 2014.

O Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) foi lançado pelo Governo Federal no ano de 2007, como instrumento de planejamento de médio e longo prazo, o qual engloba um conjunto de políticas econômicas destinadas a superar problemas críticos na infraestrutura de diversos setores, como por exemplo, energia, habitação, saneamento ambiental, mobilidade urbana e recursos hídricos. Em relação ao tema da infraestrutura, notadamente as questões relativas à habitação, tendo como universo de análise a Região Metropolitana de Natal, identifica-se que há dificuldades para os estados e municípios recepcionarem os projetos do PAC. Nessa perspectiva, não há interações significativas entre as ações do PAC e as ações de planejamento e gestão em curso nos municípios (FERREIRA; SOBRINHA, 2010). Percebe-se que, ao menos em Natal, foi promovida uma grande campanha destinada ao cadastramento de famílias no programa “Minha Casa Minha Vida”, integrado ao PAC. Porém, não se registra um desdobramento da publicidade para divulgar os resultados e programação de atendimento das demandas derivadas do referido cadastramento (OLIVEIRA *et al.*, 2010).

Em relação a Petrópolis, foi o terceiro Bairro de Natal, criado em 1901 e a primeira intervenção urbanística sistematizada da cidade, através do Plano Cidade Nova. Consistiu em um parcelamento e arruamento do solo em xadrez, para uma área que abrangia os atuais bairros de Petrópolis e Tirol (FERREIRA *et al.*, 2003). Teve sua demarcação e alinhamento iniciado por Jeremias Pinheiro da Câmara e continuado pelo agrimensor italiano Antônio Polidrelli, a quem foi atribuída sua autoria. Concluído em 1904, com um total de 60 quarteirões de 144 ha aproximadamente, interligados por avenidas de até 30 metros de largura, permitindo a fluidez da ventilação, conseqüentemente a qualidade do ar e a amenização climática (COSTA, 2003).

Segundo Costa (2003), a sua ocupação ocorreu de forma lenta e gradual ao longo dos anos, inicialmente a partir de grandes sítios. Em 1929, o arquiteto Giacomino Palumbo

elaborou o Plano Geral de Sistematização que previa o macrozoneamento da cidade e o projeto de dois novos bairros. O plano incorporava ações de melhoramentos como drenagem, saneamento e pavimentação de ruas. Avançou em relação ao Plano Cidade Nova ao expandir a trama inicial, de forma a organizar a expansão da cidade, que se planejava para 100 mil habitantes, abordando questões ambientais baseadas em parte no conceito de Cidade Jardim.

A partir da década de 1940, com os altos índices de crescimento demográfico, devido principalmente pela II Guerra Mundial, com consequente surgimento de um mercado imobiliário, o bairro foi loteado e rapidamente ocupado. Esta ocupação se deu principalmente por residências sofisticadas e de alto padrão construtivo (Figura 50), seguindo preceitos de salubridade, ventilação e insolação (FERREIRA *et al.*, 2003).



Figura 50. Petrópolis na década de 1960.
Fonte: SEMURB, 2006.

Apresenta-se como um dos bairros pioneiros no processo de verticalização, no início da década de 1980. Tal processo foi favorecido pela existência de infraestrutura básica de serviços e pelo sistema viário, bem hierarquizado e com acessibilidade satisfatória. Isto ocasionou uma valorização do solo urbano, gerando forte especulação imobiliária e tornando o bairro um dos endereços mais cobiçados da cidade para fixação de residências da classe média/alta, empreendimentos comerciais e de serviços de alto padrão. As imagens a seguir mostram a evolução urbana do Bairro, com vista para a Av. Getúlio Vargas (Figura 51, Figura 52 e Figura 53).



Figura 51. Petrópolis na década de 1960.
Fonte: SEMURB, 2006.



Figura 52. Petrópolis na década de 1980.
Fonte: SEMURB, 2006.



Figura 53. Petrópolis em 2009.
Fonte: www.fotosdenatal.com.br

Ferreira (1996) identifica que no período entre os anos de 1967 a 1990, 10,2% do número de empreendimentos imobiliários da cidade se localizavam em Petrópolis. Em 2000, grande parte da população do Bairro, 2.582 de um total de 5.105 habitantes, já residia em apartamentos (Figura 54) e esse processo de verticalização se dá com intensidade até hoje.

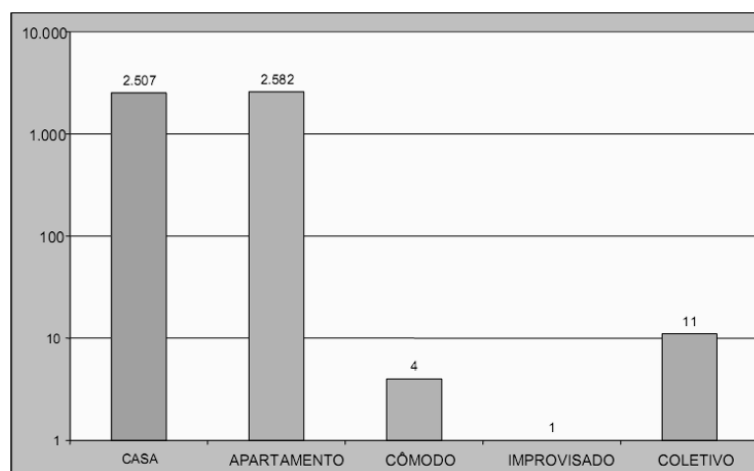


Figura 54. Gráfico da população residente por tipo de domicílio em Petrópolis, baseado no Censo Demográfico de 2000.

Fonte: SEMURB, 2008.

De acordo com Costa (2003), mesmo que tenha existido uma preocupação inicial de proporcionar conforto a seus habitantes, atualmente o Bairro se apresenta exposto a diversos problemas ambientais. O aumento de áreas impermeáveis devido à ocupação quase que total dos lotes (80% do lote, de acordo com o Plano Diretor vigente), a carência de área verde, tanto pública quanto privada, o alagamento de alguns trechos em dias de chuva, o aumento da área exposta à radiação (em virtude da crescente verticalização), o esgotamento da estrutura viária (em função da falta de estacionamento dentro dos lotes e a ocupação indevida dos canteiros centrais), entre outros.

3.1.3 Prescrições Urbanísticas do Bairro de Petrópolis

A Lei Complementar nº 082, de 21 de junho de 2007 dispõe sobre o Plano Diretor de Natal vigente. Em relação ao uso e ocupação do solo da zona urbana do Município, apresenta um macrozoneamento que divide a totalidade do território em três zonas: Zona de Adensamento Básico; Zona Adensável; Zona de Proteção Ambiental. Porém, não possui um zoneamento baseado na distribuição pelo tipo de uso. Assim, todos os usos são permitidos, mediante as normas específicas de licenciamento. Além disso, o Plano Diretor de Natal (2007, Seção I, Art. 33) indica que “os usos que, segundo a natureza, porte e grau de incomodidade,

estiverem incompatíveis com o uso residencial, deverão obedecer aos critérios estabelecidos em legislação específica”.

Em relação ao Bairro de Petrópolis, a Tabela 10 apresenta um resumo das prescrições mais relevantes para o trabalho.

Tabela 10. Prescrições Urbanísticas para Petrópolis, Natal-RN.

Tipo de zona	Zona adensável		
Taxa de ocupação	80% para subsolo, térreo e 2º pavimento. Acima disto é em função da área resultante da aplicação dos recuos		
Coefficiente de aproveitamento	3,5 para todos os usos		
Taxa de impermeabilização	80%		
Gabarito	Até 90 metros de altura		
Muros	Altura máxima de 6 metros		
Subsolo	Aflora até 1,25 metros em relação ao nível médio do meio fio, na testada correspondente do lote		
Recuos (m)*	Frontal	Até 2º pavto.	3,00
		Acima do 2º pavto.	3,00 + H/10
	Lateral	Térreo	Não obrigatório
		2º pavto.	1,50 para ambas laterais do lote
		Acima do 2º pavto.	1,50 + H/10
	Fundos	Térreo	Não obrigatório
		2º pavto.	1,50
		Acima do 2º pavto.	1,50 + H/10

*Nos recuos - H é a distância entre a laje do 2º pavimento e a laje de piso do último pavimento útil.
- 2º Pavimento – primeiro pavimento elevado.

Fonte: Adaptado do Plano Diretor de Natal, 2007.

3.1.4 Características físico-ambientais do Bairro de Petrópolis

Costa (2003) realizou sua pesquisa de mestrado em Petrópolis e levantou vários dados do Bairro. Posteriormente, Pinto *et al.* (2011) fez uma atualização desses dados, que serão descritos e apresentados a seguir.

O Bairro possui diversidade de altura em relação à topografia, com cotas que variam entre 20m e 40m. Porém, quando comparada à sua grande extensão, essa diversidade torna-se quase insignificante. Sua maior parcela, localizada justamente na região central do bairro, área de aprofundamento do estudo, encontra-se entre 30m e 40m acima do nível do mar, formando um grande platô (Figura 55).

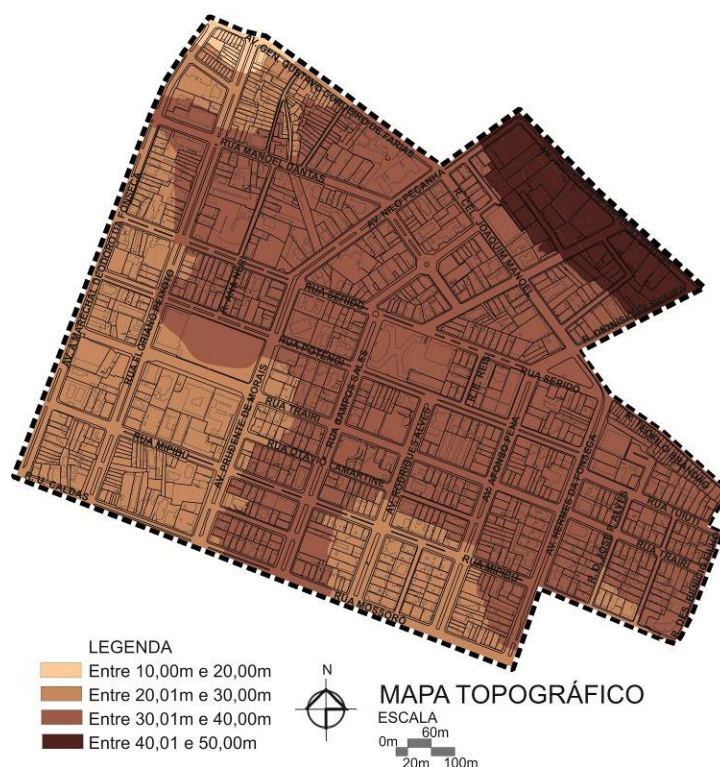


Figura 55. Mapa topográfico de Petrópolis.

Fonte: Elaborado pela autora, a partir de dados topográficos do IDEMA, 2007.

Apresenta os mais diversos tipos de uso (residencial, comercial, serviço e institucional), além de alguns terrenos vazios. É importante ressaltar ainda a existência de alguns imóveis atualmente sem uso, que juntos com os terrenos não edificados podem, num futuro próximo, dar origem a novas construções inclusive verticalizadas (Figura 56).

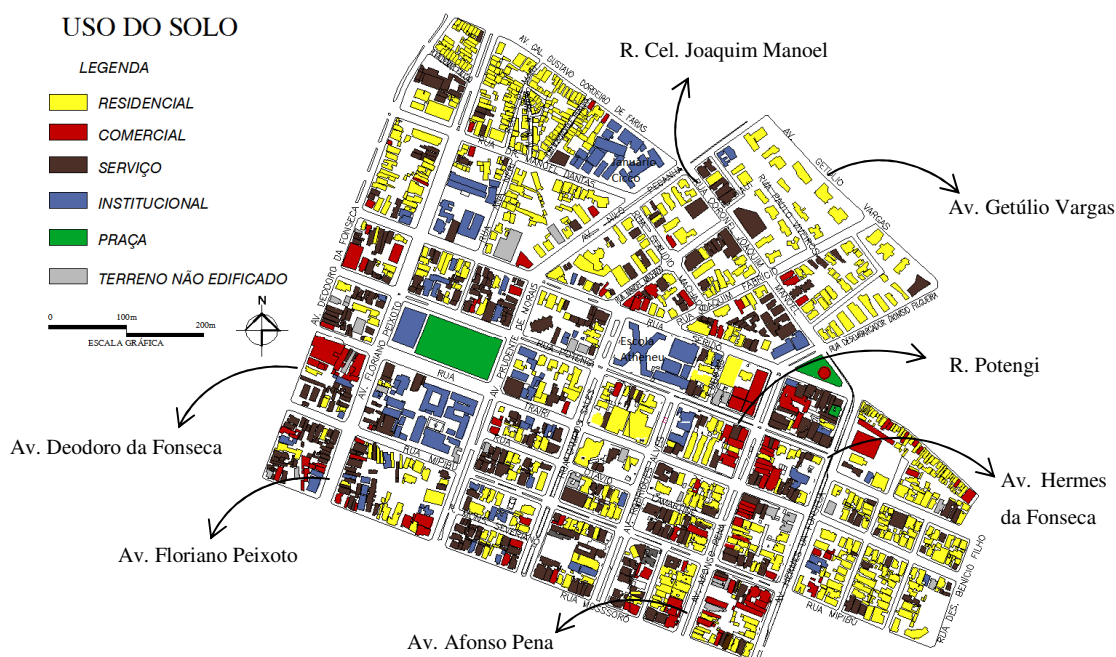


Figura 56. Mapa de uso do solo de Petrópolis em 2010.

Fonte: Adaptado de PINTO *et al.*, 2011.

O uso residencial ainda é o mais frequente, presente em quase todas as quadras. Ocorre tanto em edificações térreas como em edifícios com mais de 10 pavimentos. Contudo, há uma tendência visível para uma ocupação cada vez maior de usos de comércio e serviços. Estes sobrecarregam a estrutura viária do bairro, evidenciada pela falta de estacionamentos, que continua sendo um dos maiores problemas encontrados.

Para o uso comercial, destacam-se duas áreas de concentração, com predomínio de lojas de pequeno porte. A primeira ao longo da Av. Afonso Pena e a segunda nos quarteirões entre as Avenidas Deodoro da Fonseca e Floriano Peixoto.

O uso de serviço é bastante presente em todo o bairro. Existe um polo na área de saúde, na R. Coronel Joaquim Manoel, com a presença de dois hospitais e inúmeras clínicas especializadas, além da localização, nas proximidades, da Maternidade Escola Januário Cicco e do Hospital Universitário Onofre Lopes. Além disto, quase todas as quadras do bairro possui uma gama variada de serviços (escritórios autônomos, restaurantes, clínicas, etc.).

Por fim, o uso institucional, que também está bastante presente, é constituído principalmente por escolas e órgãos públicos relacionados à saúde e educação. A Escola Estadual Atheneu, por exemplo, ocupa quase todo um quarteirão entre as ruas Potengi, Campos Sales e Seridó. Além disto, é notável a presença de escolas de idiomas privadas espalhadas por várias localidades. Apesar da forte presença de instituições do Estado relacionadas à saúde e à educação se observa também algumas associações e cooperativas de organizações não governamentais.

O Bairro possui grande diversidade de altura, apresentando desde edificações térreas até edifícios com mais de 25 pavimentos (Figura 57). Verifica-se que as edificações térreas ainda são mais presentes, em praticamente todas as quadras. As edificações com mais de 10 pavimentos concentram-se na Av. Getúlio Vargas, R. Desembargador Dionísio Filgueira e Rua Coronel Joaquim. Na Av. Getúlio Vargas, essas edificações chegam a formar um paredão de estruturas verticais e coincide com a cota mais elevada, identificada na topografia do bairro.

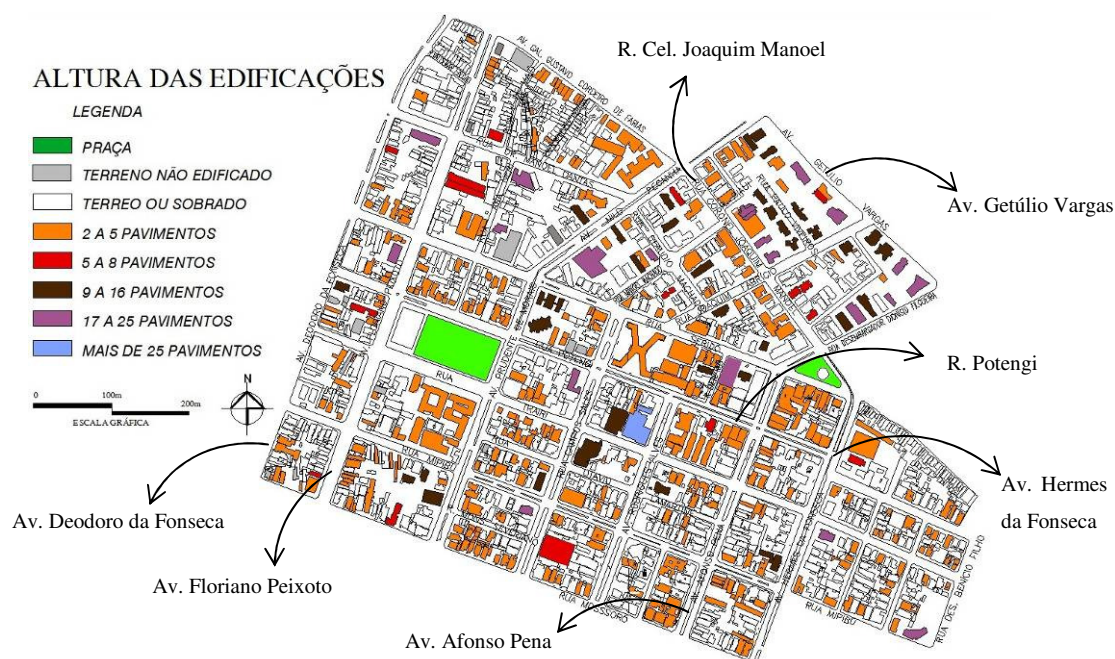


Figura 57. Mapa de gabarito de Petrópolis em 2010.
Fonte: Adaptado de PINTO *et al.*, 2011.

Todas as vias do bairro são pavimentadas. A grande maioria é de asfalto e as demais em paralelepípedo (Figura 58). O asfalto é um grande emissor de calor e impermeável às águas pluviais. Problemas de alagamento em alguns trechos do Bairro são encontrados em dias de chuva, causados principalmente pela impermeabilização excessiva do solo, aliados a questões topográficas, engenharia e manutenção das galerias de água.

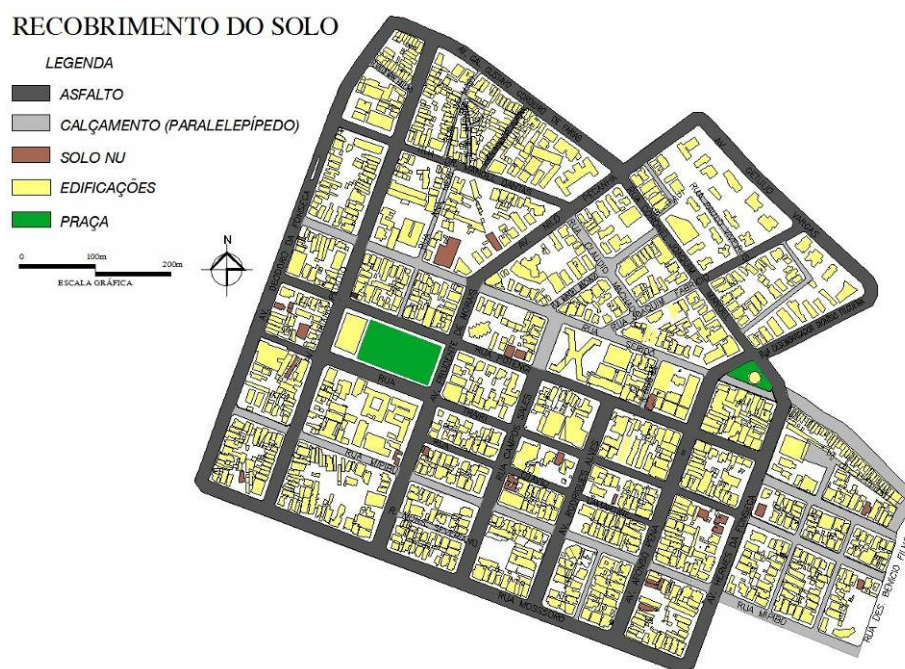


Figura 58. Mapa de tipo de recobrimento do solo de Petrópolis em 2010.
Fonte: Adaptado de PINTO *et al.*, 2011.

Ao analisar a arborização urbana, pode-se constatar a grande deficiência de vegetação no Bairro. A maior parte da vegetação existente encontra-se nos canteiros centrais das avenidas e não nos terrenos particulares. A via mais arborizada é a Av. Floriano Peixoto, com árvores de grande porte, como castanholas e oitis (Figura 59).

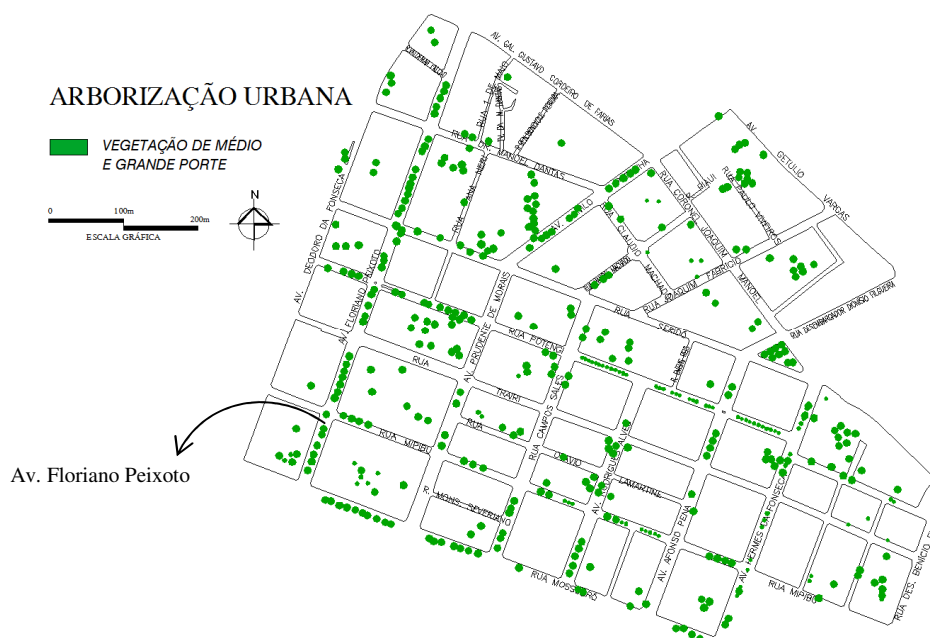


Figura 59. Mapa de áreas verdes de Petrópolis em 2010.
Fonte: Adaptado de PINTO *et al.*, 2011.

3.1.5 Sistema de Transporte

No Plano Diretor de Transporte Metropolitano da Região Metropolitana do Natal-RN – PDTM/RMN (SIN-RN, 2008) mostra que a frota de veículos na cidade subiu de 100.988 em 2001 para 139.731 em 2007. Verificou-se, também, que o crescimento das viagens por transporte coletivo será de 36% e de 74% por transporte individual até o ano de 2027. Este fenômeno certamente trará maiores impactos no sistema viário e a previsão é que o tempo dentro do veículo aumente e a velocidade diminua devido à falta de estrutura urbana que não suporta o crescimento da cidade.

No PDTM/RMN (SIN-RN, 2008) também apresentam estimativas das demandas de viagens futuras para o transporte individual nos anos de 2012, 2017 e 2027. A Figura 60 apresenta essa estimativa, destacando Petrópolis, em 2012 e 2027, no horário de pico da manhã, caso seja utilizado a “Alternativa Nada a Fazer”, indicada pelo relatório do PDTM/RMN. Esta alternativa não prevê intervenções físicas no sistema viário e administra o

crescimento da demanda de transporte coletivo, consistindo basicamente na manutenção e continuidade da configuração da rede em termos físicos e tecnológicos.

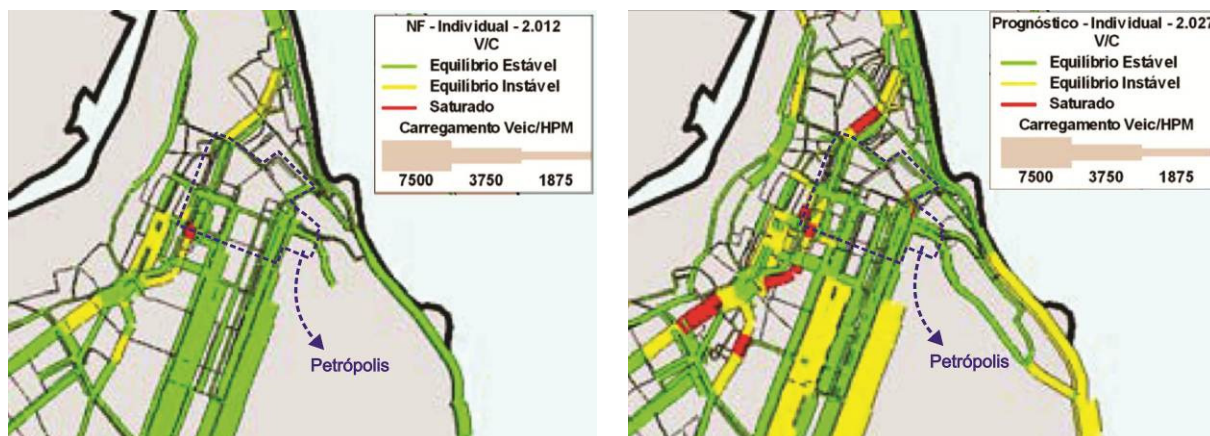


Figura 60. Carregamentos do Transporte Individual, com “Alternativa Nada a fazer”, 2012 e 2027, respectivamente, no horário de pico da manhã.

Fonte: Adaptado de SIN-RN, 2008, p.32 e 40.

Em relação à rede de transporte coletivo municipal, a mesma pesquisa mostra que é formada por 90 linhas do sistema regular e 24 linhas do sistema opcional, envolvendo uma frota na operação do dia útil de 813 veículos no total, para os dois sistemas. A demanda de transporte coletivo diário foi estimada em 492,2 mil passageiros, o que equivale a um volume de passageiros/mês de 12,8 milhões. Analisando-se a procura de cada linha do sistema municipal regular, verifica-se que há uma concentração em poucas linhas. Cerca de 50% da demanda é atendida por apenas 28% das linhas, enquanto que 50% das linhas transportam 73% dos passageiros.

Além disto, observa-se que 50% das viagens ofertadas no horário de pico estão concentradas em 34% das linhas, ou seja, em 31 linhas, e que 50% das linhas representam 78,2% da oferta. Isso é um indicador de que há uma concentração de demanda em poucas linhas. Diga-se, no entanto, que esta situação é melhor do que a encontrada no sistema intermunicipal (SIN-RN, 2008).

3.2 Materiais e Métodos

Para este trabalho, foi aplicada a metodologia de mapa de ruído através de simulações com o SoundPLAN, que é um software comercial desenvolvido pela empresa alemã Braunstein + Berndt GmbH, voltado para análises ambientais.

O programa permite gerar mapas sonoros de situações existentes e cenários futuros. Além disso, realiza avaliações de conflito com a legislação e do impacto acústico gerado pelos cenários ambientais simulados. Apresenta ferramentas para criação de modelos 3D, para importar e exportar dados, concordância com principais normas internacionais de ruído de estradas, ferrovias, indústria e aeronaves. O software também considera os principais fatores de atenuação sonora ao ar livre (BRAUNSTEIN e BERNDT, 2004).

3.2.1 *Elaboração de mapas de ruído*

De acordo com PINTO *et al.* (2004), o processo de elaboração de mapas de ruído através de modelos de previsão é geralmente dividido em quatro fases distintas:

1. Definição da "área do mapa" e da "área de estudo";
2. Aquisição de dados;
3. Cálculo do mapa de ruído;
4. Validação do mapa de ruído.

Na primeira fase é necessário, geralmente, considerar uma “área de estudo” maior do que a “área do mapa” onde se pretende conhecer os níveis sonoros. Podem existir fontes de ruído que apesar de se localizarem fora da área do mapa, influenciam os níveis sonoros aí existentes. Esta distância a considerar depende do tipo e intensidade da fonte em causa, bem como das características de ocupação do solo no limite da área do mapa (PINTO *et al.*, 2004).

Durante a segunda etapa ocorre a coleta de informações que servem como base necessária à alimentação do modelo, divididas em três grupos:

- A introdução de dados meteorológicos: Temperatura e Umidade Relativa do ar.
- A base cartográfica contendo: a topografia do local; a localização e altura das edificações ou alturas médias, caso seja um aglomerado de edifícios; a existência de obstáculos à propagação do ruído, como muros e barreiras acústicas.
- Os dados das fontes de ruído, que neste caso é a via como fonte linear. As vias precisam ser caracterizadas em relação ao número de faixas, largura, presença e dimensão de canteiro central. Quanto ao nível sonoro a ser inserido, pode ser calculado (como no método do CERTU, 1980), obtido através de medições *in loco* ou simulado através da quantidade de veículos leves e pesados por hora. Para o mapa elaborado a partir da quantidade de veículos, precisa-se também de dados referentes à velocidade do fluxo e ao tipo de revestimento do

solo. Quando o nível sonoro é medido ou calculado esses fatores já estão considerados, pois representam o valor final do nível sonoro com todas as variáveis embutidas nele.

Em relação às medições *in loco*, os pontos precisam ser previamente definidos, de acordo com alguns critérios como, por exemplo, a influência predominante de um só tipo de fonte e a medição que não deve ser realizada em locais com cruzamento de ruas, para evitar a aceleração e desaceleração de veículos.

Na terceira fase, o cálculo do mapa de ruído, precisa ser decidido os parâmetros para realização da simulação. Define-se, então, o número de pontos de cálculo e altura em que será realizado, o número de reflexões, as normas e legislação em que será baseado e os indicadores de níveis sonoros (LAeq,diurno; LAeq,noturno; etc.). No processo de cálculo propriamente dito, essas variáveis é que vão tornar ou não o processo mais simples e menos demorado. São, assim, características intrínsecas do modelo e dependem do grau de precisão que se pretende obter, além da escala em que o mapa será realizado (PINTO *et al.*, 2004).

A validação e calibração dos mapas, que é a quarta fase, é feita ao confrontar os valores simulados com os valores medidos. Mesmo quando os dados de entrada são baseados em medições *in loco*, é interessante que ocorra essa comparação para verificar se os valores são condizentes. Segundo Pinto *et al.* (2004), a simulação será aceita caso a diferença entre os valores simulados e medidos não ultrapasse ± 2 dB(A).

Foram utilizados para este trabalho dois tipos de mapa de ruído, o mapa acústico horizontal e o de secção. Assim, foram definidos alguns parâmetros gerais de simulação, utilizados no programa SoundPlan, apresentados na Tabela 11:

Tabela 11. Parâmetros gerais de cálculo adotados.

Dados gerais	
Índice calculado	LAeq, diurno; LAeq, noturno
Normas e legislações	RLS 90, ABNT NBR 10151/2000, Lei nº 6.621/1994
Dados climáticos	Temperatura do ar - 26°C e Umidade relativa de 80% (Araújo; Martins; Araújo, 1998).
Mapa acústico horizontal	
Tipo de simulação	Módulo gráfico <i>Grid noise map</i>
Altura do mapa acima da cota do solo	1,20m
Espaçamento dos pontos da malha de simulação	Escala do bairro - 25m / Escala da quadra - 15m
Número de reflexões	3 ou 2 – dependendo da qualidade desejada
Mapa acústico de secção	
Tipo de simulação	Módulo gráfico <i>Cross Section map</i>
Altura da malha de simulação	120m
Espaçamento dos pontos da malha de simulação	5m
Número de reflexões	3 ou 2 – dependendo da qualidade desejada

dos casos, semelhantes ao comparar por tipo de via, por exemplo, as vias arteriais se apresentavam asfaltadas e geralmente com largura de 25m. Por ser um bairro planejado, contribuiu para que essas características fossem semelhantes. Desta forma, os níveis sonoros foram calculados seguindo os procedimentos do *Guide du Bruit des Transports Terrestres* (CETUR, 1980), de acordo com o padrão para cada tipo de via (Figura 62), ou seja, cada categoria recebeu um valor igual do nível sonoro. A intenção deste primeiro mapa seria o de criar um “esboço” inicial, como forma de partida para analisar o Bairro em termos acústicos.

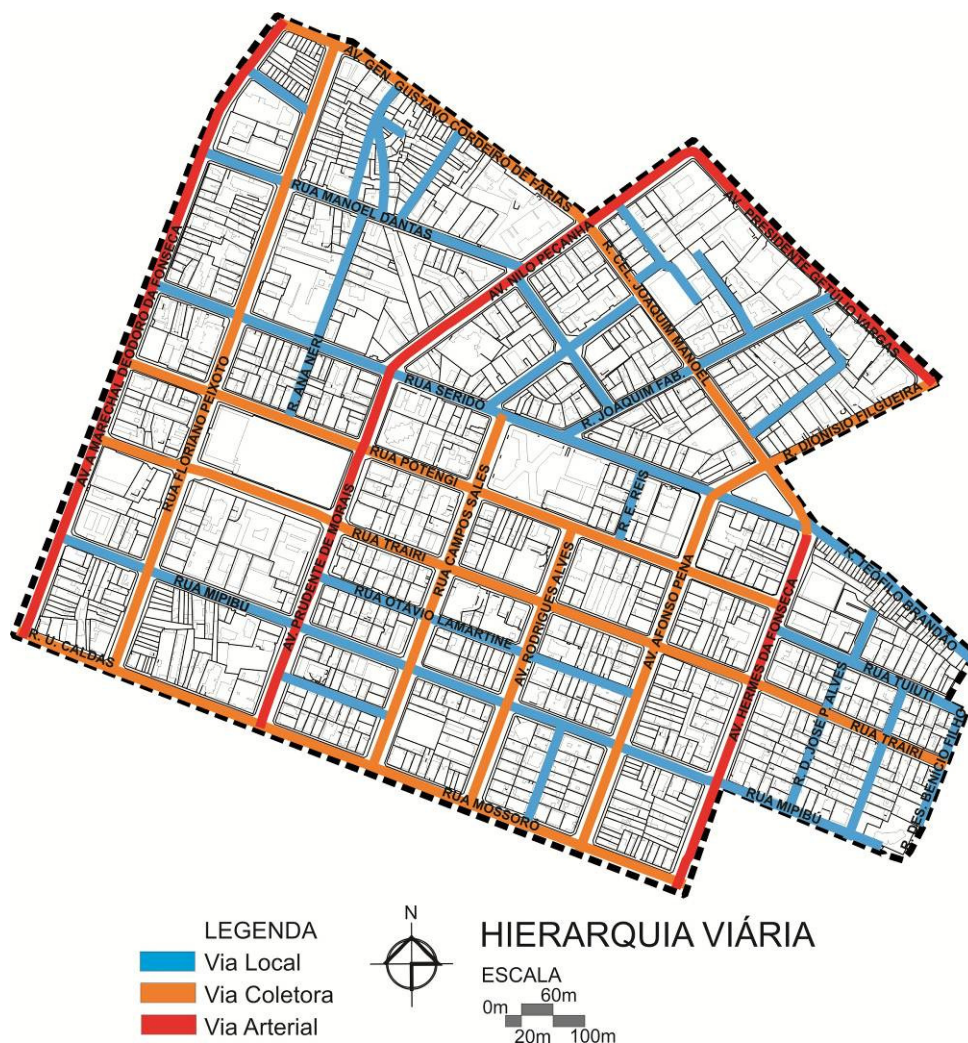


Figura 62. Mapa de hierarquia viária de Petrópolis, Natal-RN.

Depois, o mapa de ruído elaborado para a escala do Bairro precisava ser validado. Apresentou-se, portanto, delimitada uma parcela do mesmo, baseada na quadra em que se aprofundou o estudo, no caso, a número 05. Desta forma, foi adicionado um quarteirão a mais para todos os lados da quadra, já que a “área de estudo” precisava ser maior do que a “área do mapa” (Figura 63).

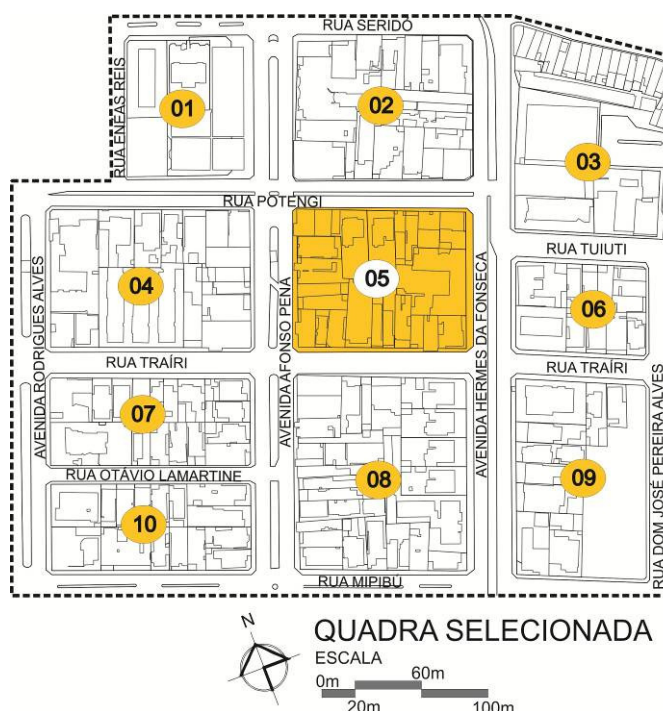


Figura 63. Mapa da área de estudo e quadra selecionada.

Analizou-se uma área do Bairro que possuísse alguns exemplares verticais, demonstrando a já manifestada tendência à verticalização, porém que não estivesse totalmente consolidada, como no caso da região próxima à Av. Getúlio Vargas (Figura 53). A Av. Hermes da Fonseca é uma das mais importantes da cidade e uma das mais críticas em relação à poluição sonora, por isso o interesse em que a área também a englobasse. Assim, escolha da quadra 05 se justifica por diversos motivos: localização; tamanho; características dos lotes, com dimensões que facilitam o remembramento; possibilidade da substituição de construções baixas, já que não possui nenhuma edificação de grande porte. Percebe-se, então, que a quadra 05 era a que oferecia mais flexibilidade para estudos com variadas formas e implantações de edifícios verticais.

Para a escala da quadra os dados de morfologia urbana foram atualizados a partir de levantamento em campo e da planta cadastral de 2007, fornecida pelo Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte (IDEMA). Além das informações de alturas das edificações e uso do solo, também se mostrou verificada a presença de muros nos lotes, utilizados nas simulações com altura de 1,90m, por ser a altura média encontrada na maioria dos casos. De acordo com Guedes (2005) atenuação sonora no meio urbano também está associada à participação dos muros, que funcionam como obstáculos à propagação do ruído gerado pelo tráfego das avenidas principais (Figura 64, Figura 65).

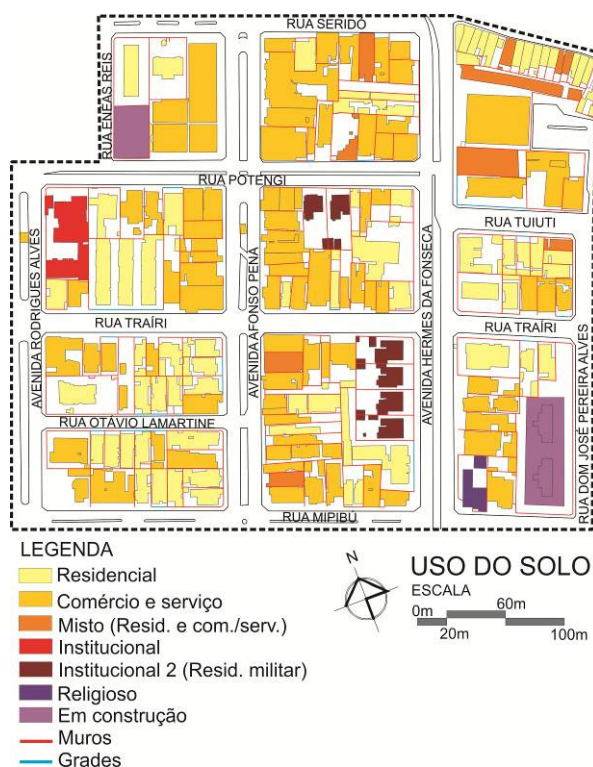


Figura 64. Mapa de Uso do Solo.

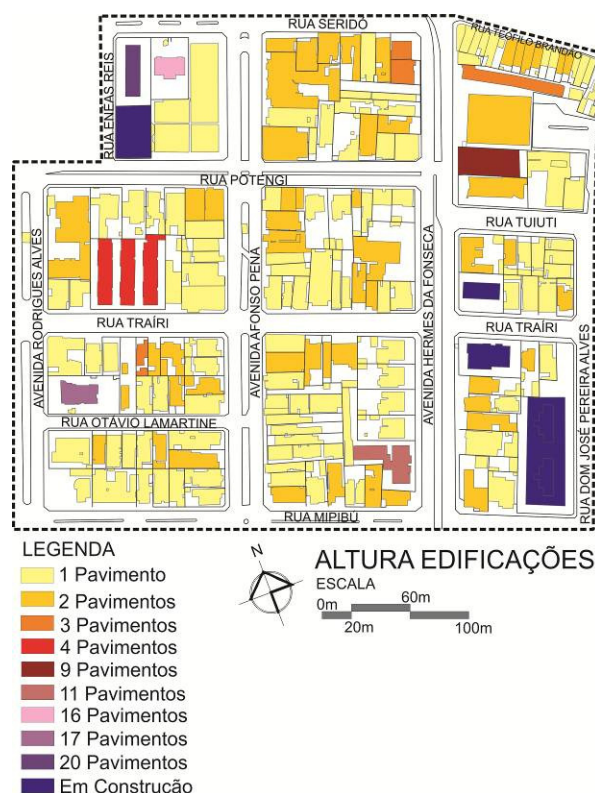


Figura 65. Mapa de Altura das edificações.

3.2.3 Medição dos níveis de ruído

Para as medições do nível de pressão sonora *in loco* foi utilizado o Medidor de Nível Sonoro 01dB, modelo SOLO SLM², Tipo 2 (Figura 66). O equipamento possui filtros de 1/3 de bandas de oitava, recursos de medição de nível de pressão sonora equivalente (LAeq), conforme a IEC 60804, medições paralelas de Lp, Lpk (com ponderação temporal) e faixa de medição de 30 a 140 dB.



Figura 66. Medidor digital de nível de pressão sonora.

Fonte: ARAÚJO, 2010.

As medições foram realizadas em conformidade com os procedimentos da NBR 10151/2000:

² Disponibilizado pelo Laboratório de Conforto Ambiental do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

- Medições afastadas a aproximadamente 1,2 m do piso e 2 m do limite de quaisquer superfícies refletoras (muros, paredes, etc.), sempre que possível.
- Medição do LAeq, simultaneamente com a contagem de veículos leves e pesados;
- Média energética dos níveis sonoros medidos em três dias distintos (terça, quarta e quinta) do mês de junho de 2012 e janeiro de 2013;
- Medições nos horários de pico da cidade (7:00h-9:00h / 11:00h-13:00h / 17:00h-19:00h / 22:00h-00:00h);
- Quinze pontos de medição dentro da área de pesquisa;
- Um ou dois pontos de medição por via, dependendo variação do cenário acústico;
- Pontos de medição localizados no centro da quadra, para não sofrer interferência da aceleração e desaceleração dos veículos nos cruzamentos.

Durante as medições, além do ruído das vias, foram observadas outras fontes sonoras como obras, locais com música alta, campainhas de garagem, mas em bem menor escala. Procurou-se, assim, um distanciamento das mesmas, de forma a não influenciar nos resultados. Desta forma, possibilitou a utilização das vias de trânsito como as únicas fontes consideradas nas simulações acústicas.

As medições em campo foram iniciadas no mês de junho de 2012. Porém, devido alterações na área escolhida, alguns pontos ficaram desfalcados, tendo a necessidade de realizar novas medições em janeiro de 2013. O mês de janeiro é considerado um período atípico, pois é época de férias escolares. Desta forma, para verificar a diferença de nível sonoro de uma época para outra e validar os dados, dois pontos medidos em 2012 se apresentaram novamente medidos em 2013.

3.2.4 Elaboração do modelo de ocupação futuro

O modelo de ocupação futuro foi realizado apenas na escala da quadra. Para a elaboração das edificações hipotéticas, apresentou-se relevante o estudo de Sousa (2005). As evidentes modificações nas edificações verticais natalenses ao longo das décadas despertou o interesse do autor em abordar o tema da habitação vertical, tratando principalmente de questões referentes à aparência externa. Assim, estudou a forma na arquitetura residencial verticalizada, lançando um olhar sobre a produção da cidade. Estas modificações demonstraram estar correlacionadas a determinantes socioeconômicos e especialmente de

ordem legal. Isto é, as implantações das edificações pareceram ser fruto, sobretudo de ordenações dos Planos Diretores. De uma forma geral, os edifícios se apresentaram implantados de modo a aproveitar o melhor da insolação e da ventilação, mesmo quando necessário adaptar a volumetria dentro do lote. As fachadas que recebem tratamento privilegiado também coincidem com as melhores orientações em relação aos condicionantes climáticos. Porém, o que realmente gera as volumetrias dos edifícios é o formato do lote, em sua maioria retangular. Além disto, notou que ao considerar a incidência das legislações urbanísticas sobre as edificações, a principal influência são os recuos, que atuam de modo determinante na volumetria final, em que na maioria dos casos verificados, as edificações se situavam no alinhamento do recuo mínimo, tanto para recuos frontais como laterais.

Foram pesquisados vários edifícios em lançamento ou recentemente construídos no Bairro, na tentativa de encontrar um padrão de características e volumetria. Porém, apenas alguns exemplos considerados mais relevantes que serão apresentados neste trabalho.

Na área de estudo, está sendo edificado o Gran Parc Petrópolis³. O empreendimento é formado por duas torres, com 30 pavimentos (27 pavimentos tipo e 03 de garagem e de uso comum). Constitui um total de 15.870,15 m² de área construída, 108 unidades habitacionais e 216 vagas na garagem. A unidade habitacional do pavimento tipo tem 103,07m² de área (Figura 67 a Figura 70).



Figura 67. Mapa de localização do Gran Parc Petrópolis.

Fonte: www.gabrielbacelar.com.br.

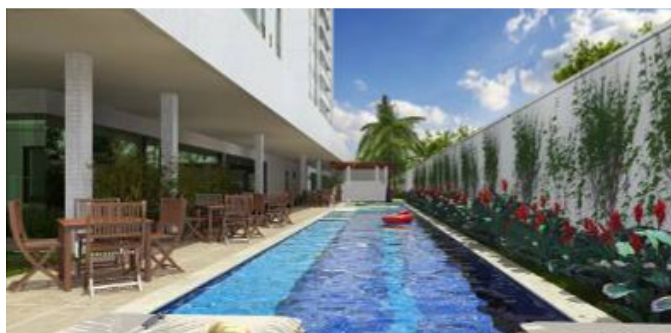


Figura 68. Área de lazer do Gran Parc Petrópolis.

Fonte: www.gabrielbacelar.com.br.

³ Localizado na Rua Mipibu. Construído pela Gabriel Bacelar Construções, com obra iniciada em 2012 e previsão de término em 2015. Empreendimento formado por duas torres de 30 pavimentos (27 pavimentos tipo), com 15.870,15 m² de área construída. Possui dois apartamentos por andar, 54 unidades por torre e 108 no total. A unidade habitacional apresenta 103,07m², com varanda, sala de estar/jantar, circulação, três quartos (uma suíte), banheiro social, área de serviço, cozinha e dependência com banheiro. Possui como item opcional, a varanda gourmet. Tem duas vagas na garagem por unidade e área de lazer com espaço *kids*, salão de festas, salão de jogos, espaço *fitness*, piscina, *playground* e outros itens.



Figura 69. Gran Parc Petrópolis.
Fonte: www.gabrielbacelar.com.br.



Figura 70. Unidade habitacional do Gran Parc Petrópolis.
Fonte: www.gabrielbacelar.com.br.

Outro edifício estudado foi o Alto de Petrópolis⁴. O terreno em que está implantado possui 1.667,68 m². É composto por uma torre com 24 pavimentos (18 pavimentos tipo, 01 atípico, 02 duplex e 03 pavimentos para garagem e área de uso comum). Cada apartamento tipo tem 02 vagas de garagem, já os atípicos e duplex, 03 vagas. Assim, apresenta um total de 40 unidades e 84 vagas de garagem. Além disso, a área da unidade habitacional do pavimento tipo é de 120,00m². (Figura 71 a Figura 74).



Figura 71. Edifício Alto de Petrópolis.
Fonte: www.conisa.com.br.



Figura 72. Área de lazer do Alto de Petrópolis.
Fonte: www.conisa.com.br.

⁴ Localizado na Rua Ana Neri. Construído pela Conisa Construções Civis Ltda., com obra em fase de finalização atualmente. Empreendimento formado por uma torre, com 24 pavimentos (18 pavimentos tipo, com 02 apartamentos por andar de 120,00m² cada; 01 pavimento atípico, com 02 apartamentos por andar de 167,00m²; 02 pavimentos, com 02 apartamentos duplex de 240,00m²; por fim, 03 pavimentos para garagem e área de uso comum). Cada apartamento tipo tem 02 vagas de garagem, já os apartamentos atípicos e duplex, 03 vagas. A área de lazer é formada por piscina, churrasqueira, salão de festas, salão de jogos e kidsroom.



Figura 73. Implantação do Alto de Petrópolis.
Fonte: www.conisa.com.br.



Figura 74. Pavimento tipo do Alto de Petrópolis.
Fonte: www.conisa.com.br.

O último empreendimento exposto é o Geraldo Pinho⁵. Formado por um único bloco arquitetônico com 30 pavimentos (25 pavimentos tipo, 01 cobertura, e 04 pavimentos de garagem e área comum), com cada apartamento possuindo 03 vagas de garagem coberta. Representa um total de 51 unidades e 153 vagas de garagem. A unidade habitacional do pavimento tipo possui 149 m² de área (Figura 75 a Figura 78).



Figura 75. Implantação do edifício Geraldo Pinho.
Fonte: www.mouradubeux.com.br.



Figura 76. Pavimento tipo do Geraldo Pinho.
Fonte: www.mouradubeux.com.br.



Figura 77. Edifício Geraldo Pinho.
Fonte: www.mouradubeux.com.br.



Figura 78. Área de lazer do Geraldo Pinho.
Fonte: www.mouradubeux.com.br.

⁵ Localizado na R. Gen. Gustavo Cordeiro de Farias. Construído pela Moura Dubeux, com obra iniciada em 2010 e previsão de término em 2013. Empreendimento formado por uma torre, com 30 pavimentos (25 pavimentos tipo, com unidade habitacional de 149 m²; 01 cobertura, com 208,50m²; 04 pavimentos de garagem e área comum). Cada pavimento tipo possui duas unidades habitacionais, constituída por varanda, sala estar/jantar, circulação, lavabo, quarto 01, wc (social), suíte 01, suíte 02, suíte máster, cozinha, serviço, quarto (serviço) e wc (serviço). Além disto, cada apartamento tem 03 vagas de garagem cobertas. A área de lazer possui piscina, deck, salão de festas, sauna, jardineiras, quadra poliesportiva, local para brinquedoteca e ginástica.

Verificou-se, através desta pesquisa, que os edifícios residenciais em Petrópolis apresentam um padrão de construção de classe média/alta, com unidade habitacional em torno de 100 a 150 m² e pavimento tipo variando de 210 a 350 m². Possui uma média de 3 quartos e duas vagas de garagem. Em relação à altura, é bastante diversificada, mas sempre aproveitando o máximo permitido pela legislação.

Além disto, os empreendimentos são compostos por bandeja e torre, que também pode ser chamada de lâmina. A bandeja é ocupada pela parte de garagem e área de lazer, normalmente formada por dois pavimentos e podendo ter ou não subsolo. A lâmina é a parte dedicada aos apartamentos (Figura 79).

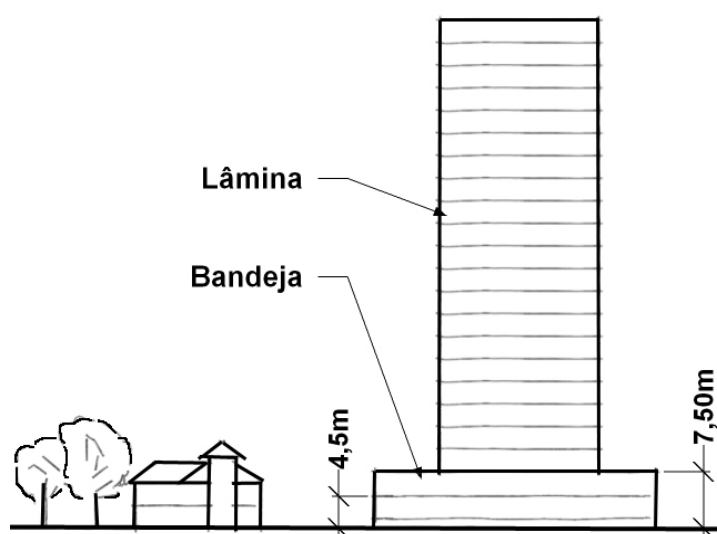


Figura 79. Lâmina e bandeja.
Fonte: Adaptado de SOUZA, 2010, p.74.

Em função da análise da legislação foram estudados possíveis remembramentos dos lotes da parcela do Bairro e verificados os imóveis que, por diferentes razões, provavelmente não sofrerão modificação.

Assim, permaneceu um edifício do governo (INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária), um edifício que é representativo para a comunidade (Mercado Público de Petrópolis) e algumas edificações já verticalizadas, que são mais improváveis economicamente de serem demolidas (Figura 80).

A área de estudo possui algumas residências institucionais de militares. Porém, não foram considerados como edifícios a permanecer, devido alguns casos semelhantes na cidade já terem sofrido permutas (LIMA, 2012).

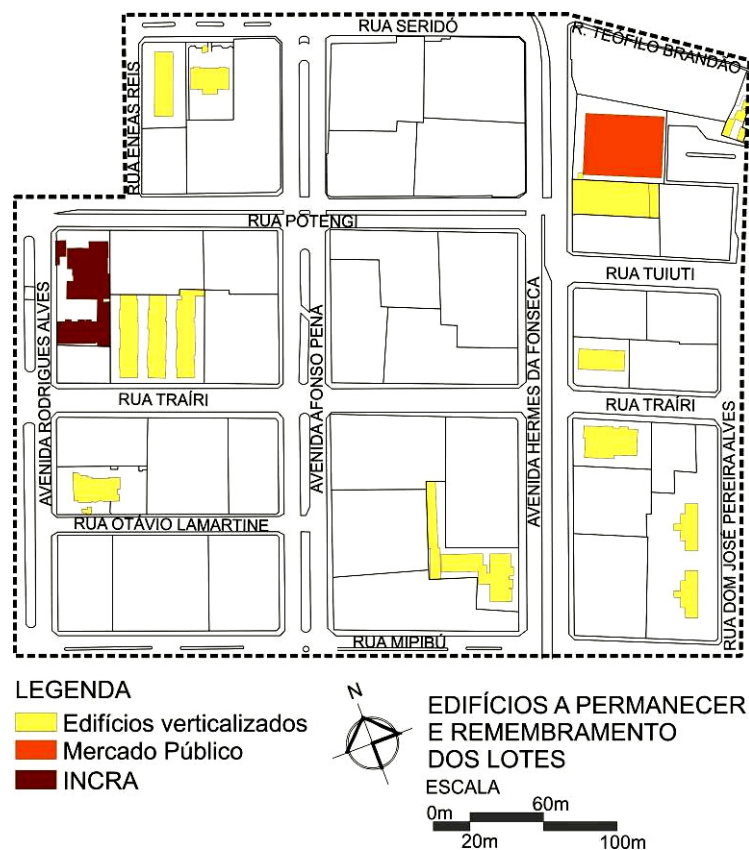


Figura 80. Mapa com remembramento dos lotes.

Depois do estudo do remembramento dos lotes, foram avaliadas três situações hipotéticas, para definir o modelo de ocupação do cenário futuro: edifícios com gabaritos de 10, 20 e 30 pavimentos.

Os edifícios de 10 pavimentos, para não diminuir a área de construção permitida, de acordo com o potencial construtivo do terreno, precisavam ocupar uma maior parte dos lotes, não deixando espaço para a parte de lazer. Entretanto, a área de lazer hoje em dia é bastante visada, além de ser utilizada pelas construtoras como forma de propaganda, oferecendo uma melhor qualidade de vida aos usuários.

Já os edifícios com 30 pavimentos, muitas vezes ficavam com valores abaixo da área da unidade habitacional padrão da região de estudo. Outro problema dessa ocupação eram os recuos exigidos, que dificultavam a implantação dos edifícios nos lotes. Assim, para elaboração dos mapas de ruído do cenário futuro foi selecionada a hipótese de ocupação por edifícios de 20 pavimentos, que foi a que mais se aproximou da tendência observada pelos edifícios projetados e em construção no Bairro.

Além disso, o modelo futuro foi calculado apenas para edificações do tipo de uso residencial. De acordo com GRIECO *et al.* (2012) é difícil determinar a partir de que porte um

empreendimento residencial pode ser considerado um Polo Gerador de Viagens, que são capazes de produzir grande número de viagens, causando reflexos negativos na circulação viária em seu entorno imediato e, em certos casos, prejudicando a acessibilidade de toda a região (DENATRAN, 2001). No Brasil, algumas cidades colocam parâmetros para esta definição (Tabela 12).

Tabela 12. Parâmetros usados na definição de Polo gerador de Viagem.

Cidade	Uso do Solo Residencial como Polo Gerador de Viagem
Curitiba	> 5.000 m ² de área construída
Niterói	> 25.000 m ² de área construída
Belo Horizonte	150 unidades
Juiz de Fora	100 unidades (tipologia vertical)
	50 unidades (tipologia horizontal)
Rio de Janeiro	200 unidades residenciais
São Paulo	> 40.000m ² de área construída

Fonte: Adaptado de GRIECO *et al.*(2012), p. 213.

De acordo com GRIECO *et al.*(2012), existe uma relação direta entre o número de quartos e a taxa de geração de viagens. Em estudo de caso realizado em Icaraí, Niterói/RJ foi possível obter as seguintes Taxas (Tabela 13).

Tabela 13. Taxa de Geração de Viagem x Número de Quartos.

Número de Quartos	Taxa de Geração de Viagens
1 Quarto	0,52 viagem / Unidade Residencial
2 Quarto	1,20 viagem / Unidade Residencial
3 Quarto	1,87 viagem / Unidade Residencial
4 Quarto	2,55 viagem / Unidade Residencial

Fonte: GRIECO *et al.*(2012), p. 230.

O uso residencial é um dos que menos provoca poluição sonora em um meio urbano, quando comparado a tipos como o de comércio, serviço e indústria. É também, um tipo de uso que não atrai pessoas de outras regiões, para realização de diferentes atividades. Então, o mapa de ruído futuro foi feito para a atividade que pudesse oferecer o menor impacto possível no tecido urbano. Caso apresentasse construído um outro tipo de empreendimento na região, como shopping, supermercados, entre outros, os transtornos seriam piores.

Para a previsão do nível sonoro do modelo futuro foi realizado um levantamento na quantidade de unidades habitacionais existentes na parcela do Bairro e a contagem de veículos por ruas. Depois, com o número de unidades futuras é possível verificar qual o aumento no fluxo de veículos e aplicar novamente a metodologia para cálculo do nível sonoro do *Centre d'Études des Transports Urbaines* (CERTU, 1980). Não se pode esquecer que Natal é uma cidade com o sistema de transporte público bastante deficiente. A população,

principalmente de bairros classe média/alta como Petrópolis, utiliza o automóvel praticamente como único meio de transporte.

3.2.5 Elaboração de modelos de ocupação futuro para a quadra selecionada

O trabalho teve a intenção de verificar, na quadra selecionada, a influência de algumas decisões arquitetônicas como variadas volumetrias, implantações e alturas de edifícios verticais. Para isto, o primeiro passo foi estudar as possibilidades de remembramento, a partir da situação atual dos lotes (Figura 81 a Figura 83).

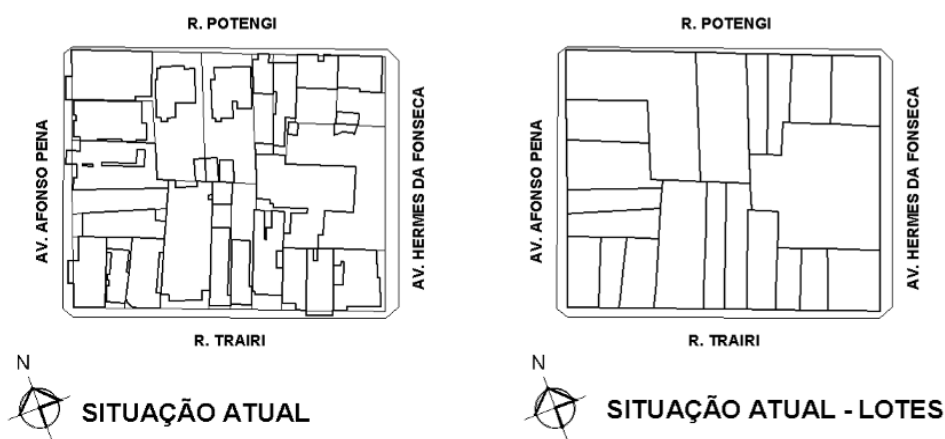


Figura 81. Situação atual da quadra e apenas com os lotes, respectivamente.

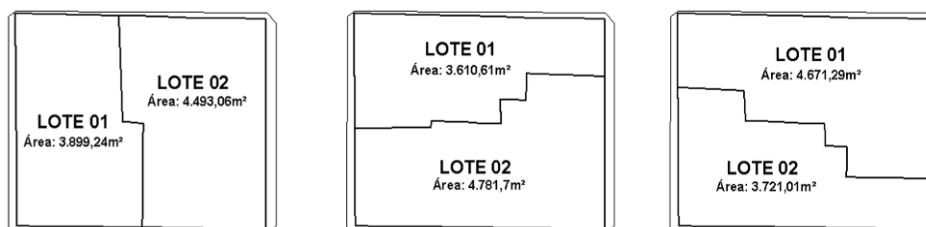


Figura 82. Situação 01 – Quadra com 02 lotes.

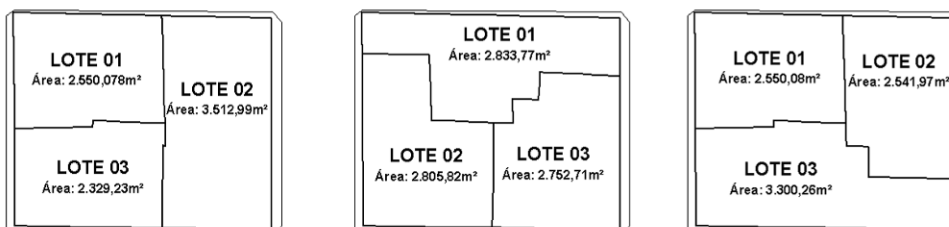


Figura 83. Situação 02 – Quadra com 3 lotes.

A situação 01, com o primeiro modelo, foi a mais flexível para o estudo, possibilitando a implantação de edifícios com gabarito alto ou de dois edifícios no mesmo terreno. Além disto, os formatos dos lotes ficaram semelhantes, o que ajuda o emprego de

edifícios com as mesmas características (dimensões, implantação, forma e altura), facilitando a preparação dos mapas e comparação dos resultados.

3.2.6 Geração dos mapas de ruído

Para auxiliar no entendimento da metodologia proposta neste trabalho, foi elaborado um diagrama resumo (Figura 84), cujos resultados obtidos com os mapas acústicos serão tratados no Capítulo 04.

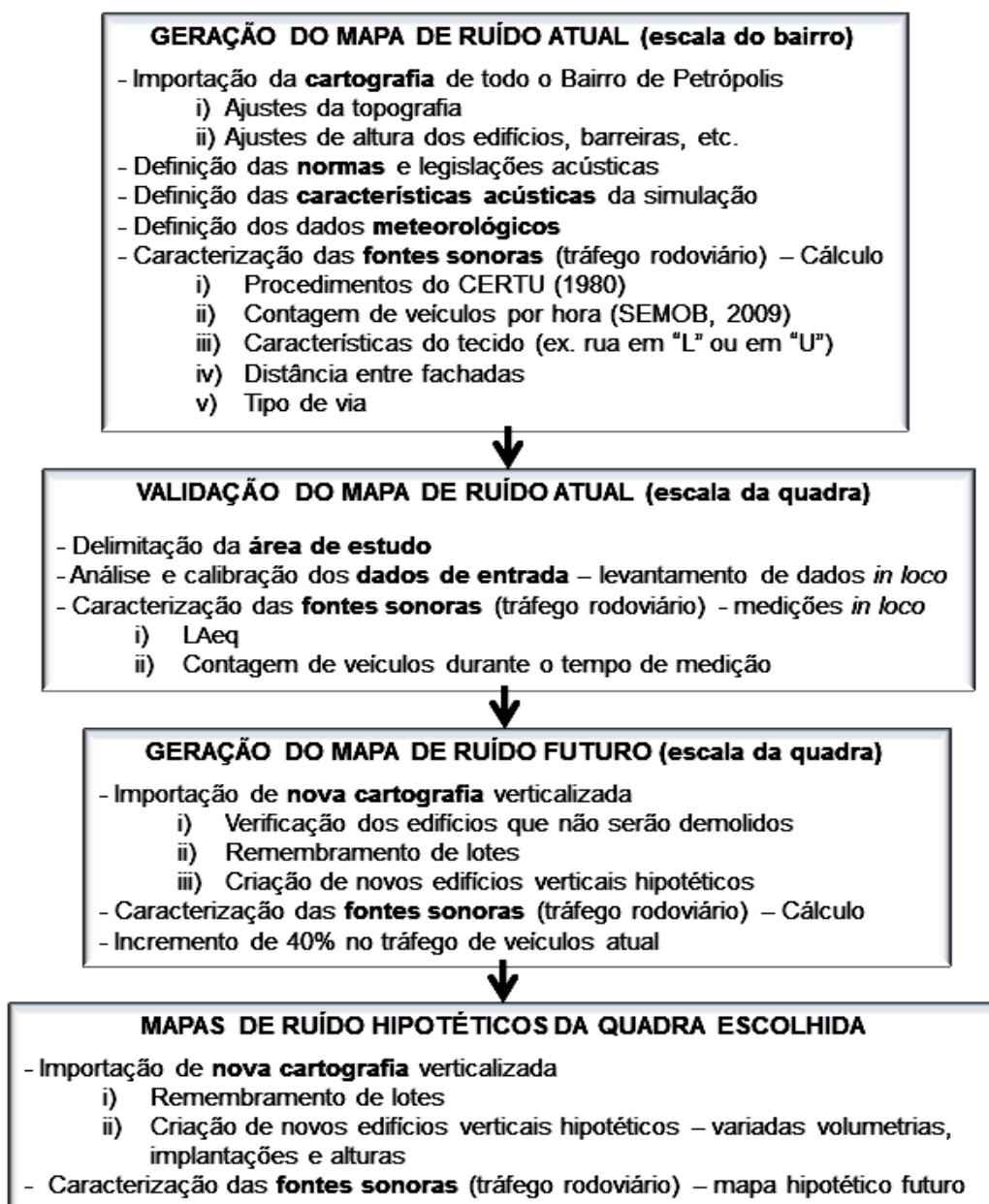


Figura 84. Diagrama resumo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo está dividido em três etapas. A primeira se refere à elaboração de mapas de ruído diurno e noturno para todo o Bairro de Petrópolis. A segunda trata da validação desses mapas através de medições em campo e elaboração de novos mapas para uma parcela do Bairro. Na última etapa foi selecionada uma quadra para verificar melhor a influência de aspectos gerais de projeto no ambiente sonoro urbano.

4.1 Mapa de ruído da situação atual

A simulação para o modelo de ocupação atual na escala de todo o Bairro foi realizada para o horário diurno e noturno, para uma altura de 1,20m do solo. Como foi baseado a partir de uma estimativa dos valores, já que se apresentou elaborado a partir da junção de dados de outros trabalhos e de contagem de veículos de apenas algumas ruas, esse primeiro mapa se mostrou desenvolvido com a intenção de se obter um reconhecimento inicial em relação às características acústicas da região de estudo.

Percebe-se que os níveis sonoros estão elevados tanto no horário diurno como no noturno. No mapa diurno, as manchas verdes, que compreendem as faixas sonoras de 60 a 70 dB(A), predominam. As manchas azuis, até 59 dB(A), estão localizadas no interior das quadras e em trechos de algumas ruas. As amarelas e laranjas, que são de 70 a 80 dB(A), nas vias principais. Além disto, não apresentou nenhum nível acima de 83dB(A) (Figura 85).

No mapa noturno, a situação não foi tão diferente do diurno, em relação às avenidas principais, pois continuaram com níveis sonoros altos, na faixa dos 70 a 80 dB(A). Entretanto, as manchas azuis, referentes ao nível sonoro até 59dB(A), prevaleceram não apenas no interior das quadras, como também ao longo das outras vias do Bairro (Figura 86).

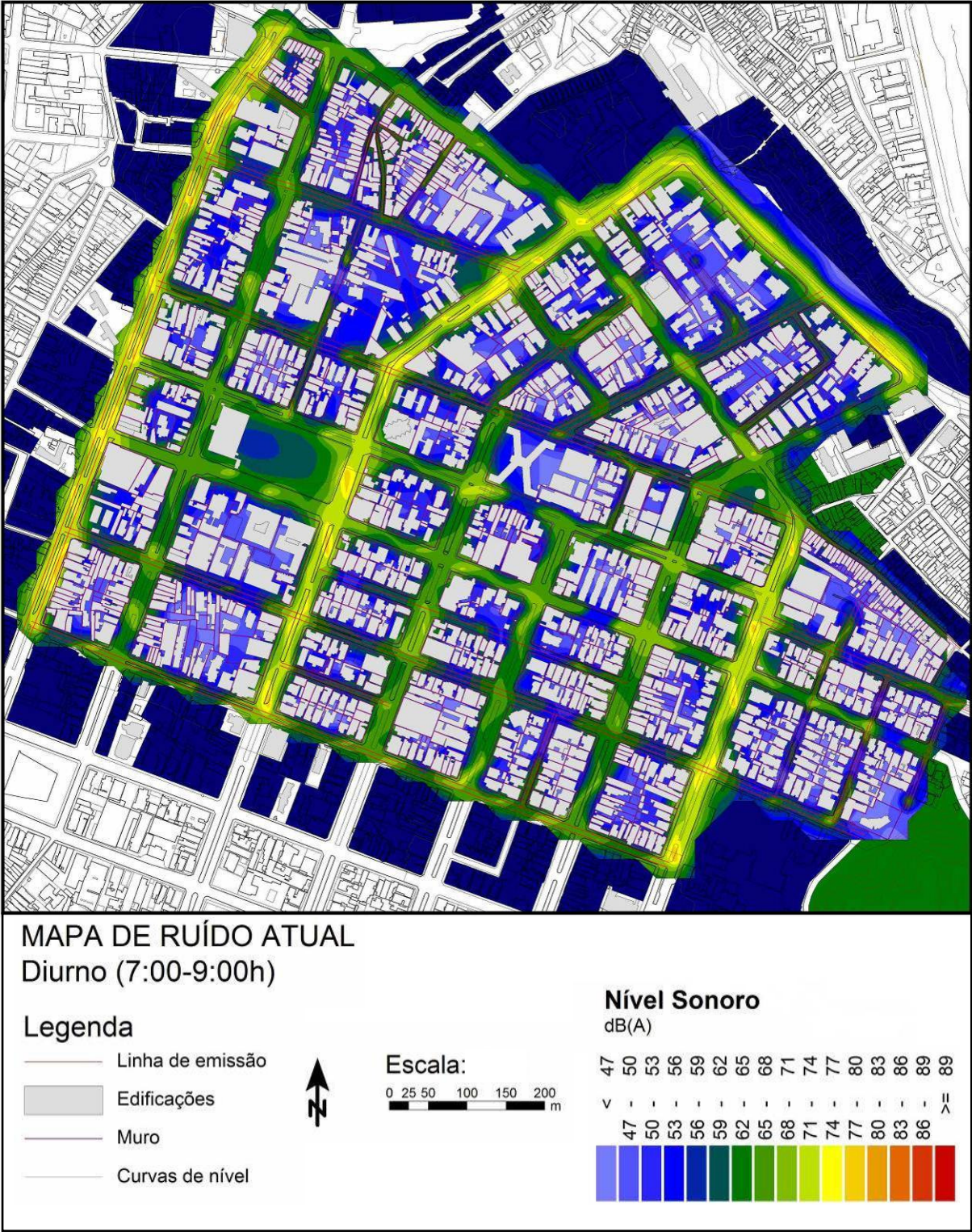


Figura 85. Mapa de ruído diurno para todo o Bairro de Petrópolis.

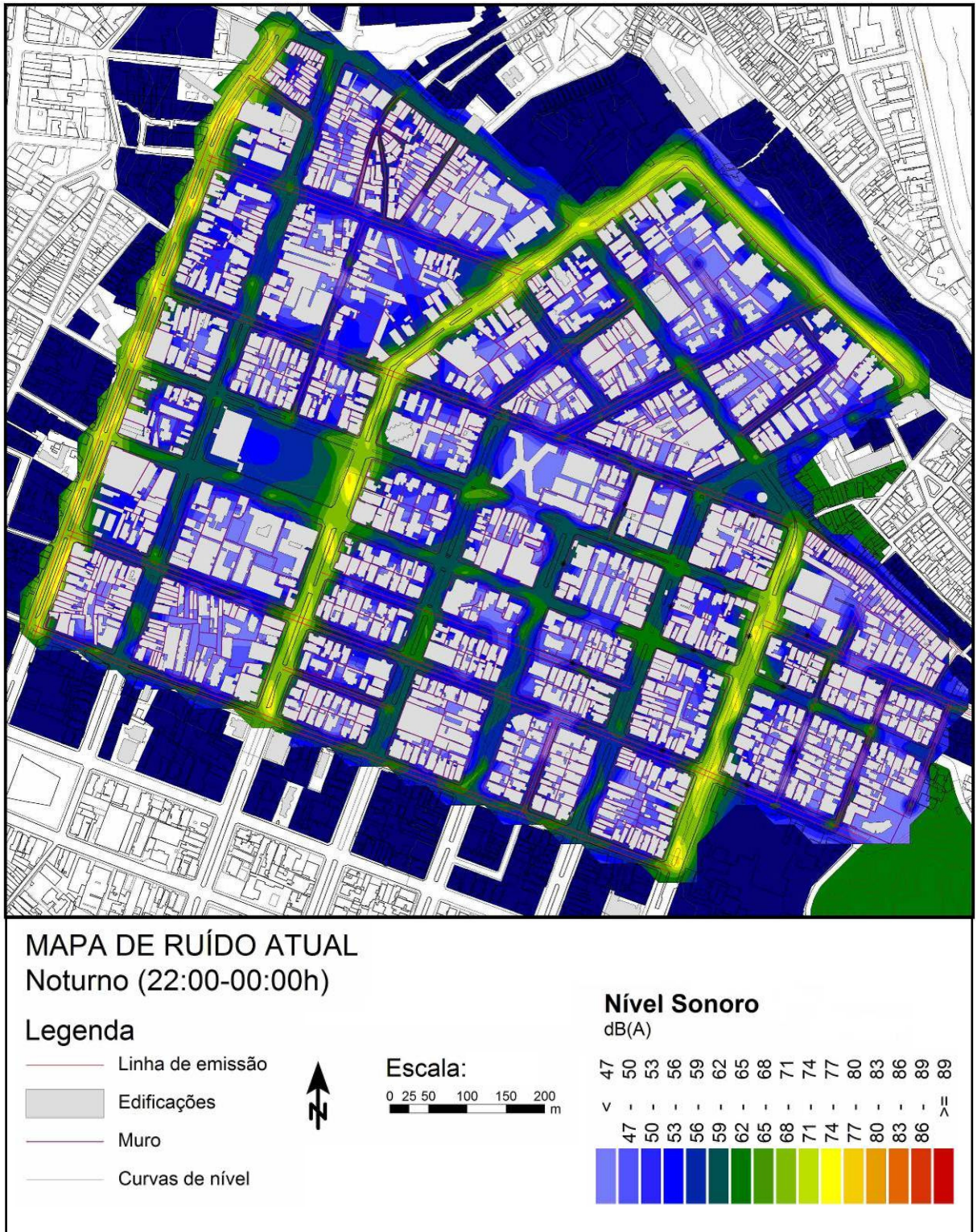


Figura 86. Mapa de ruído noturno para todo o Bairro de Petrópolis.

Para essa parte do estudo na escala do Bairro, foram também aplicados os procedimentos utilizados por Araújo *et al.* (2012), em que faz uso da metodologia de Katzchner (1997), porém para identificar áreas críticas em relação às características acústicas do meio urbano. O método de Katzchner propõe dentre outros fatores, uma análise bioclimática urbana, em que trabalha com mapas de uso do solo, topografia das estruturas da cidade, altura dos prédios, vegetação e sistemas de drenagem, a fim de analisa-los segundo um padrão climático. Depois, são analisadas as áreas críticas, fruto de um resultado de uma discussão combinada.

Apresentou-se, dessa forma, feita uma análise integrada com fatores relacionados à qualidade acústica urbana, como os mapas de uso do solo, hierarquia viária, recobrimento do solo, gabarito das edificações, áreas verdes e topografia. Além disso, foram acrescentados os fluxos de veículos das vias disponibilizadas pela Secretaria Municipal de Mobilidade Urbana (SEMOB). Como resultado, foi elaborado um mapa em que se destacaram as áreas críticas, sensíveis e estáveis, ou seja, quais as áreas que precisam de maior atenção, com intervenções em que também se pense em medidas de atenuação sonora (Figura 87).

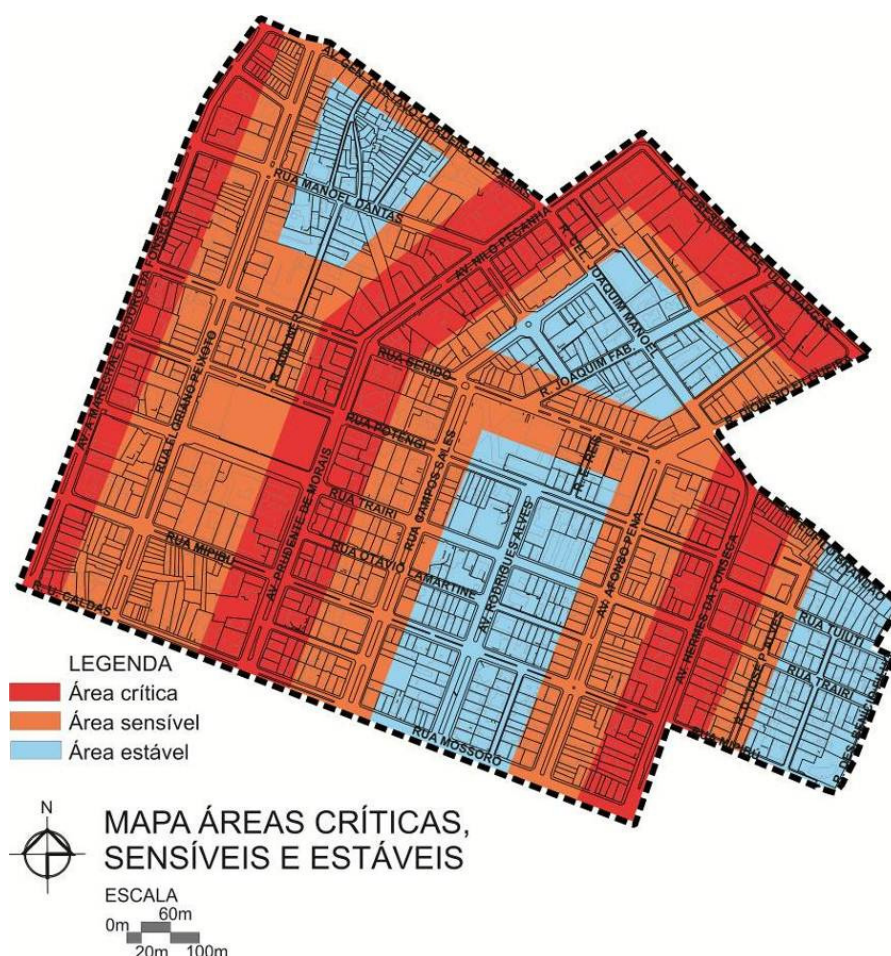


Figura 87. Mapa das áreas críticas, sensíveis e estáveis em relação ao ruído.

4.2 Validação do mapa de ruído da situação atual

Para validação do mapa de ruído, foi realizada uma pesquisa em campo com atualização dos dados (gabarito, uso do solo e a presença de muros ou barreiras), medições do nível sonoro das vias e contagem de veículos, em uma parcela do Bairro. Esta parcela se apresentou dividida em 14 pontos de medição, localizados ao redor da quadra selecionada para desenvolvimento do estudo (Figura 88).

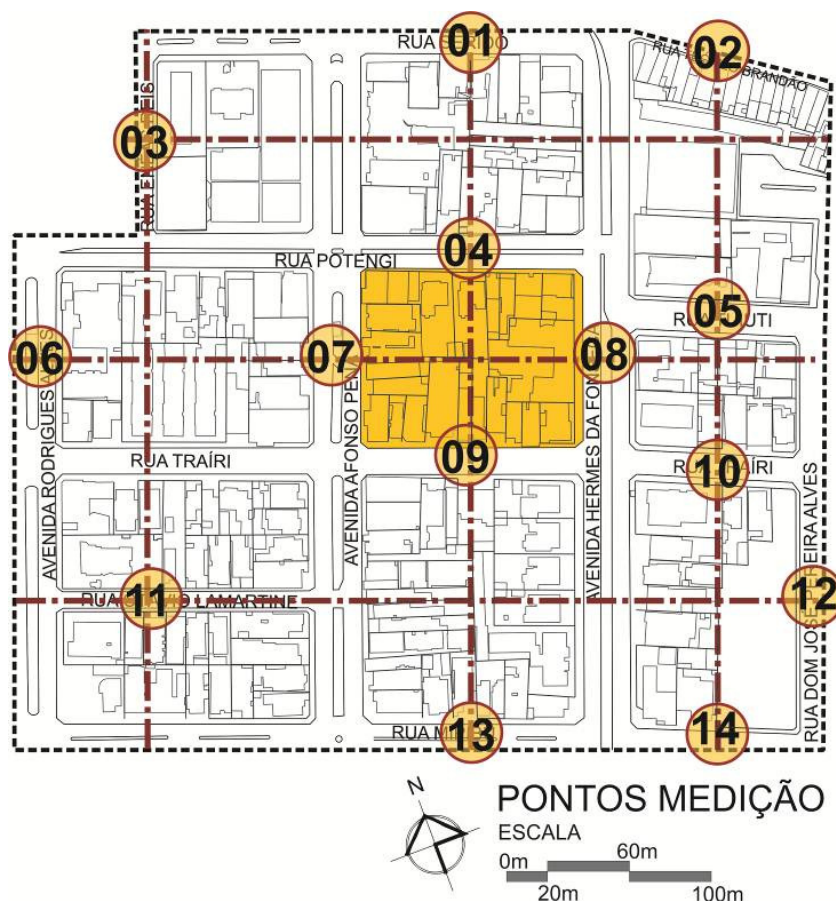


Figura 88. Área de estudo com quadra selecionada e pontos de medição.

Os pontos 04, 07, 08 e 09 circundam a quadra escolhida. A quadra em questão é constituída apenas por edificações térreas ou com dois pavimentos e predomínio de construções destinadas a comércio e serviços. Os quatro pontos possuem algumas características em comum como o recobrimento da via em asfalto e a presença de canteiro central com vegetação, com excessão do ponto 09. O ponto 08 se localiza na Av. Hermes da Fonseca, via arterial com intenso tráfego de veículos leves e pesados. Apresenta-se formada por 06 faixas de rolamento, 03 para cada sentido da via, além de ser o único ponto em que não permitem estacionamento de veículos no acostamento.



Figura 89. Ponto 04 – Rua Potengi.
Fonte: <http://maps.google.com/>



Figura 90. Ponto 07 – Av. Afonso Pena.
Fonte: <http://maps.google.com/>



Figura 91. Ponto 08 – Av. Hermes da Fonseca.
Fonte: <http://maps.google.com/>



Figura 92. Ponto 09 – Rua Trairi.
Fonte: <http://maps.google.com/>

A Tabela 14 mostra um resumo geral das características de todas as vias da parcela do Bairro estudada e a Tabela 15, os resultados das medições e contagem dos veículos.

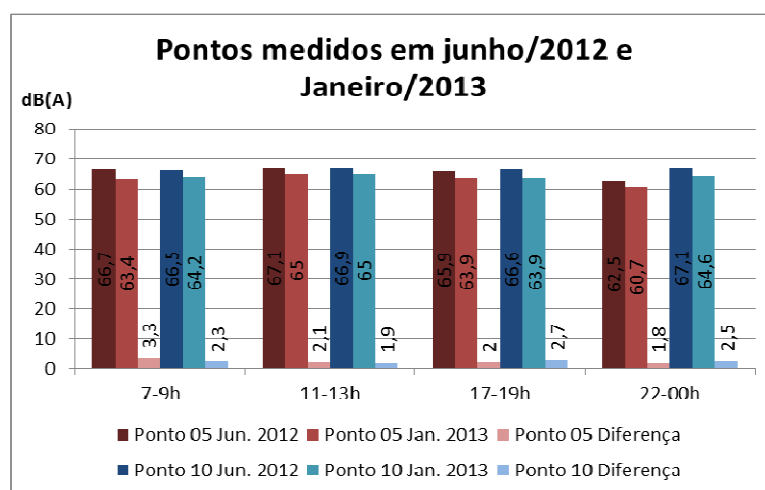
Tabela 14. Características gerais das vias.

Pontos	Nome	Tipo	Recobrimento do solo	Largura (m)	Perfil
01	R. Seridó	Local	Paralelepípedo	12,90	“L”
02	R. Teófilo Brandão	Local	Paralelepípedo	4,30	“U”
03	R. Éneas Reis	Local	Paralelepípedo	6,60	“U”
04	R. Potengi	Coletora	Asfalto	16,30	“U”
05	R. Tuiuti	Local	Asfalto	14,40	“U”
06	Av. Rodrigues Alves	Coletora	Asfalto	23,50	“U”
07	Av. Afonso Pena	Coletora	Asfalto	23,00	“U”
08	Av. Hermes da Fonseca	Arterial	Asfalto	23,00	“U”
09	R. Trairi	Coletora	Asfalto	12,90	“U”
10	R. Trairi	Coletora	Asfalto	11,90	“U”
11	R. Otávio Lamartine	Local	Paralelepípedo	8,10	“U”
12	R. Dom José Pereira Alves	Local	Asfalto	6,40	“U”
13	R. Mipibu	Local	Asfalto	13,20	“U”
14	R. Mipibu	Local	Asfalto	13,80	“U”

Tabela 15. Resultado das medições em campo.

Pontos	7:00-9:00h		11:00-13:00h		17:00-19:00h		22:00-00:00h	
	Leq - dB(A)	Número Veículos Leves / Pesados	Leq - dB(A)	Número Veículos Leves / Pesados	Leq - dB(A)	Número Veículos Leves / Pesados	Leq - dB(A)	Número Veículos Leves / Pesados
01	60,5	3 / 0	60,5	7 / 1	62,3	7 / 0	60,3	4 / 1
02	61,7	1 / 1	60,0	2 / 0	59,3	3 / 0	44,8	0 / 0
03	58,0	3 / 1	58,0	5 / 0	60,6	8 / 0	51,9	1 / 0
04	66,2	65 / 3	65,6	59 / 3	63,0	62 / 2	64,7	17 / 2
05	66,7	27 / 2	67,1	31 / 1	65,9	17 / 3	62,5	10 / 0
06	62,9	29 / 1	60,9	33 / 0	60,3	32 / 1	51,5	2 / 1
07	67,8	98 / 4	67,4	95 / 3	68,5	106 / 4	62,1	17 / 1
08	72,9	217 / 17	73,0	202 / 20	72,9	237 / 11	71,1	82 / 9
09	64,4	11 / 1	61,0	11 / 0	60,8	16 / 0	61,0	4 / 0
10	66,5	39 / 2	66,9	40 / 2	66,6	45 / 2	67,1	28 / 1
11	58,2	2 / 0	56,2	2 / 0	57,2	5 / 0	49,9	1 / 0
12	59,4	4 / 1	58,6	2 / 1	59,5	4 / 1	54,4	2 / 0
13	59,4	8 / 1	58,9	12 / 0	59,1	7 / 0	54,7	1 / 0
14	58,6	4 / 1	56,4	2 / 1	55,9	8 / 0	54,8	1 / 0

Enquanto que todos os pontos foram medidos em junho de 2012, as medições dos pontos 02, 12 e 14 foram realizadas no mês de janeiro de 2013, devido mudanças na área em questão. Como janeiro é considerado um período atípico, para comparar a diferença entre as épocas de medição, os pontos 05 e 10 também foram medidos em janeiro. A Figura 93 mostra esses valores e a diferença de um período para outro.

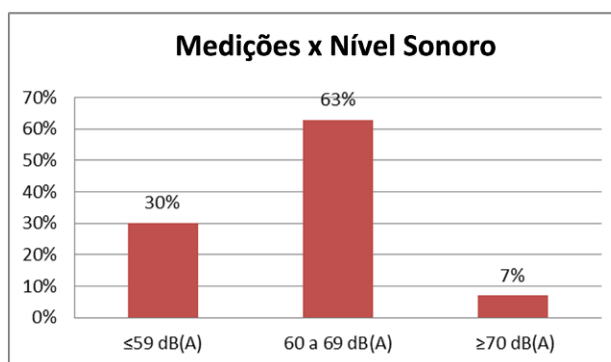
**Figura 93. Gráfico de comparação dos pontos medidos em junho de 2012 e janeiro de 2013.**

Percebe-se que os pontos medidos no mês junho de 2012 apresentaram uma variação de 1,8 a 3,3 dB(A) a mais do que em janeiro de 2013. Assim, optou-se em fazer uma correção de 2 dB(A) a mais nos valores utilizados nas simulações (Tabela 16).

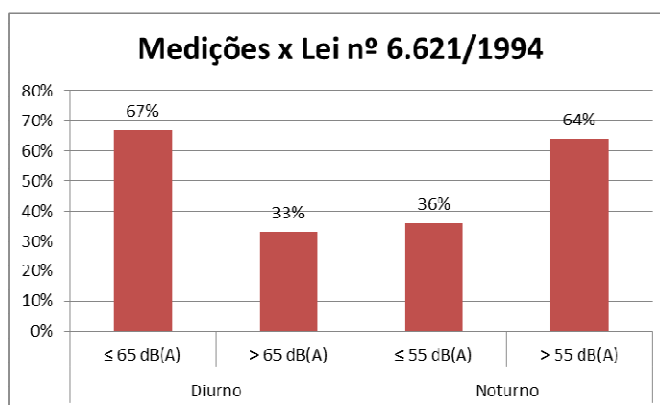
Tabela 16. Correção dos níveis sonoros para os pontos 02, 12 e 14.

	Ponto 02		Ponto 12		Ponto 14	
	Jan. 2013	Correção	Jan. 2013	Correção	Jan. 2013	Correção
Leq dB (A) 7:00-9:00h	61,7	63,7	59,4	61,4	58,6	60,6
Leq dB (A) 11:00-13:00h	60,0	62,0	58,6	60,6	56,4	58,4
Leq dB (A) 17:00-19:00h	59,3	61,3	59,5	61,5	55,9	57,9
Leq dB (A) 22:00-00:00h	45,0	47,0	54,4	56,4	54,8	56,8

Em relação às medições, 63% do total ficaram na faixa entre 60 a 69 dB(A), 30% com menos de 59 dB(A) e apenas 7% acima de 70 dB(A) (Figura 94).

**Figura 94. Gráfico com porcentagem das medições em relação ao nível sonoro.**

Os resultados das medições foram comparados com os limites máximos permissíveis de ruído, segundo a Lei nº 6.621/1994, para o Rio Grande do Norte. Ao colocar Petrópolis como zona diversificada, o período diurno apresenta a maior parte das medições dentro do limite estabelecido, ou seja, abaixo dos 65 dB(A). Porém, para o período noturno, a situação inverte (Figura 95), com a maioria dos valores acima dos 55 dB(A).

**Figura 95. Gráfico com comparação das medições com a legislação para o Rio Grande do Norte, Lei nº 6.621/1994.**

Os níveis diurnos apresentaram valores bastante semelhantes em relação aos horários das medições. O horário de 7:00 às 9:00h foi o que indicou níveis sonoros um pouco mais elevados do que os demais e, por isso, mostrou-se escolhido para a realização das simulações. O nível noturno foi menor na maioria dos pontos. Porém, nos pontos 01, 04, 09 e 10 as medições noturnas ficaram bem parecidas das diurnas (Figura 96).

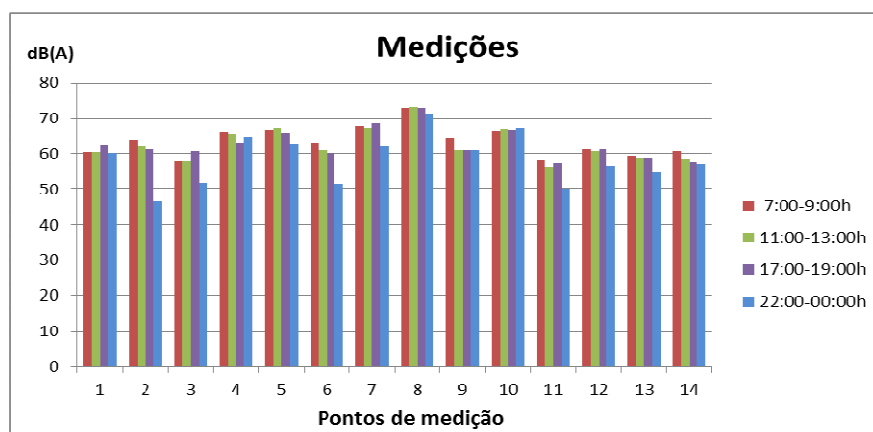


Figura 96. Gráfico com comparação das medições por horário e por ponto.

A Figura 97 é a representação tridimensional de Petrópolis inserida no programa SoundPLAN, com destaque para a parcela estudada.

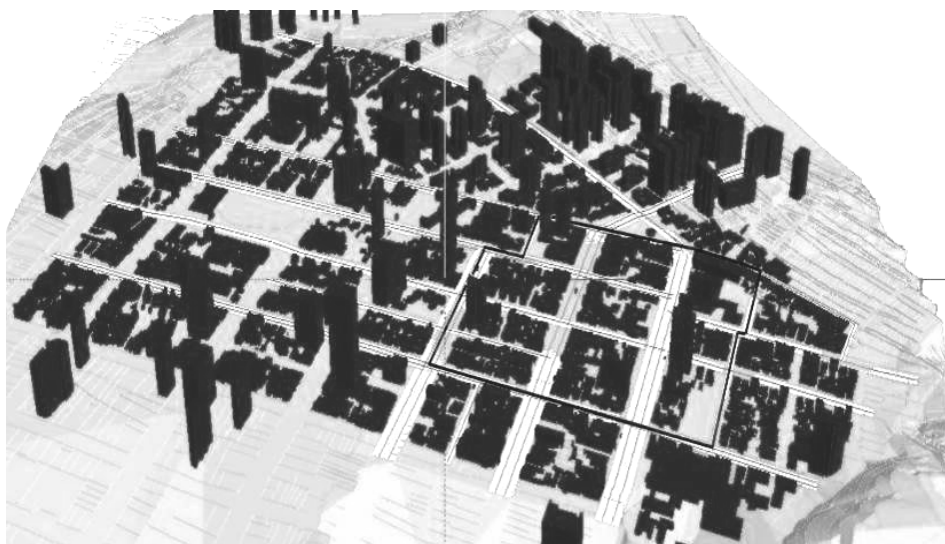


Figura 97. Modelo tridimensional da ocupação atual de Petrópolis inserida no programa SoundPLAN.

Para saber o nível sonoro gerado pelo programa exatamente no mesmo lugar das medições, utilizou-se a opção do programa *Single Point Sound*. Assim, em cada ponto de medição foi inserido um receptor, que indica através de tabelas, os resultados do cálculo de

ponto único, mostrando o quanto foi afetado pela poluição sonora. A Tabela 17 mostra uma comparação das medições em campo com o resultado das simulações para o período diurno e noturno. Percebe-se, então, que todos os valores obtiveram variações de no máximo ± 2 dB(A), ou seja, dentro da faixa para validação.

Tabela 17. Comparação das medições em campo com o modelo simulado.

Pontos	Leq dB(A) - Diurno (7:00-9:00h)			Leq dB(A) - Noturno (22:00-00:00h)		
	Valor medido	Valor simulado	Diferença para validação	Valor medido	Valor simulado	Diferença para validação
01	60,5	62,5	2,0	60,3	59,4	-0,9
02	63,7	65,2	1,5	47,0	48,6	1,6
03	58,0	59,6	1,6	51,9	53,6	1,7
04	66,2	67,8	1,6	64,7	64,9	0,2
05	66,7	67,1	0,4	62,5	63,6	1,1
06	62,9	63,7	0,8	51,5	53,5	2,0
07	67,8	68	0,2	62,1	62,4	0,3
08	72,9	73,8	0,9	71,1	72	0,9
09	64,4	65,6	1,2	61,0	62,8	1,8
10	66,5	67,2	0,7	67,1	67,3	0,2
11	58,2	59	0,8	49,9	51,8	1,9
12	61,4	62,7	1,3	56,4	55,9	-0,5
13	59,4	61,2	1,8	54,7	56,7	2,0
14	60,6	62,3	1,7	56,8	58,8	2,0

Ao inserir os dados das fontes sonoras, apesar de uma via ter o mesmo valor em toda a sua extensão, a distribuição do som no espaço será diferente de um lugar para outro. Isto se deve ao fato de que o programa leva em consideração todos os aspectos morfológicos do lugar como a inclinação da topografia, pavimentação, altura das edificações, material das superfícies, massa construída e vegetação.

A Figura 98 exibe o mapa de ruído da situação atual no horário de 7:00 às 9:00h. A simulação mostra que a Av. Hermes da Fonseca (Ponto 08) é a via com maiores problemas de ruído, com níveis na faixa dos 70 dB(A), na cor amarela. Nas demais vias, a cor verde claro – 65 a 68 dB(A) – prevalece, porém com a presença de diversas manchas amarelas, principalmente nos cruzamentos. No centro das quadras e em pequenos trechos de poucas ruas que aparece a cor azul, com os níveis sonoros mais baixos, menores do que 59 dB(A).

A Figura 99, compreende ao horário de 22:00 às 00:00h. No mapa noturno, a situação do Ponto 08 continua problemática, ainda com valores dentro dos 70 dB(A). Nos demais pontos, entretanto, percebe-se uma diminuição nos níveis. A faixa da cor azul aparece além do interior dos lotes, chegando a englobar algumas ruas. Já a cor verde escuro – 62 a 65 dB(A) – substitui o lugar do verde claro, que passa a ficar concentrado nos cruzamentos e em alguns pontos isolados.

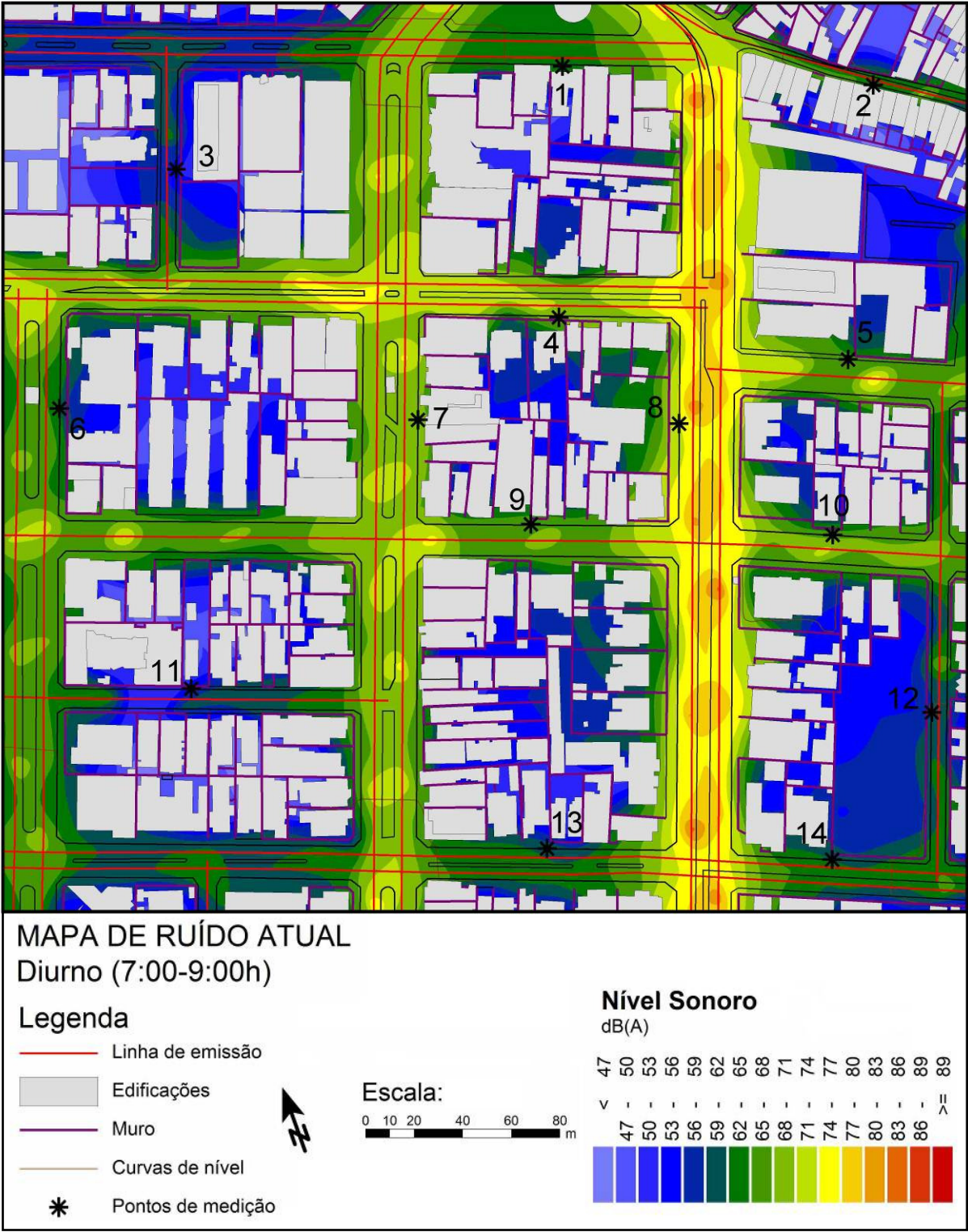


Figura 98. Mapa de ruído da situação atual no período diurno.



Figura 99. Mapa de ruído da situação atual no período noturno.

O Plano Diretor de Natal (2007) não tem um zoneamento baseado na distribuição pelo tipo de uso. Como Petrópolis possui muita diversidade de usos, para comparação com a legislação do Rio Grande do Norte (Lei nº 6.621/1994), o Bairro foi simulado como Zona Diversificada. Já em relação à ABNT NBR 10151/2000, como área mista, com

compredominância residencial. A Figura 100 apresenta os mapas de conflito diurno e noturno, comparando com a Lei nº 6.621/1994 e a Figura 101, com norma ABNT NBR 10151/2000.

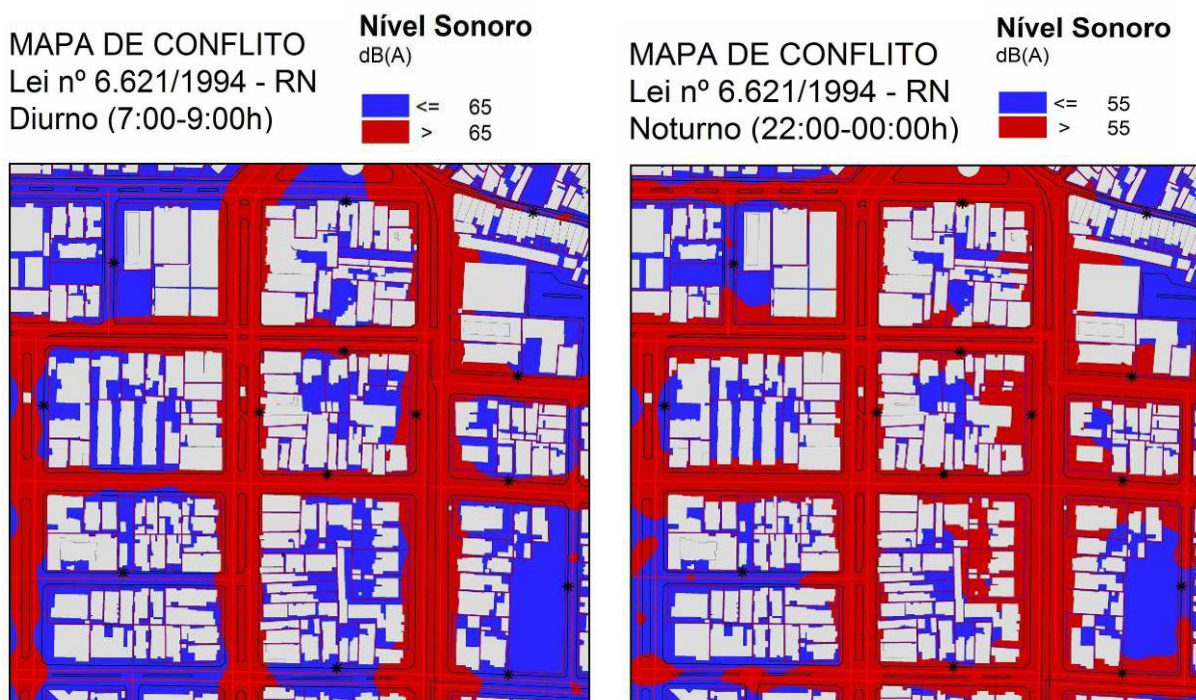


Figura 100. Mapa de conflito diurno e noturno, de acordo com a Lei nº 6.621/1994.

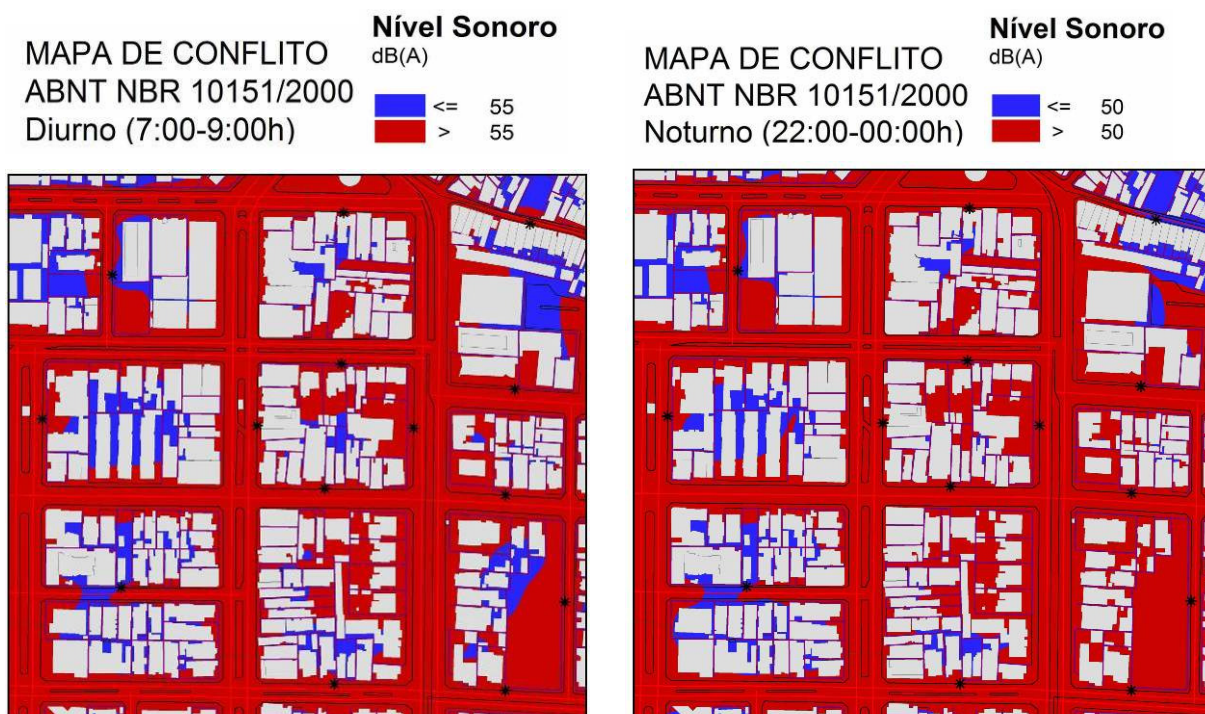


Figura 101. Mapa de conflito diurno e noturno, de acordo com a ABNT NBR 10151/2000.

Percebe-se que em todas as situações, os valores estão acima dos limites estabelecidos pela norma e pela lei. O mapa de conflito com a legislação para o Rio Grande do Norte

apresentou uma situação um pouco menos crítica do que quando comparado com a ABNT NBR 10151/2000. Entretanto, merece a discussão de que a legislação deveria ser mais restritiva do que a norma, o que não ocorre. Para a legislação do Rio Grande do Norte uma zona residencial tem 55 dB(A) como limite diurno e 45 dB(A), noturno. Já para a NBR 10151, o limite diurno possui 5 dB(A) a menos. Para zonas mistas, onde a área de estudo se enquadrou, a zona diversificada da Lei do RN tem valores iguais ao limite utilizado para a área mista com vocação recreacional, o que não ocorre no bairro. Ao comparar com a área mista, predominantemente residencial, o nível limite diurno da ABNT é 10 dB(A) a menos do que a Lei nº 6.621/1994 e o nível noturno, 5 dB(A) (Tabela 18).

Tabela 18. Limites permissíveis de ruído, em dB(A).

Lei nº 6.621/1994			ABNT NBR 10151/2000		
Tipos de áreas	Diurno	Noturno	Tipos de áreas	Diurno	Noturno
Residencial (ZR)	55	45	Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Diversificada (ZD)	65	55	Área mista, predominantemente residencial	55	50
			Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
			Área mista, com vocação recreacional	65	55

Fonte: Lei nº 6.621/1994 e ABNT NBR 10151/2000.

4.3 Mapa de ruído cenário futuro

As edificações hipotéticas foram feitas com altura de 60m (20 pavimentos), seguindo a legislação vigente, utilizando o máximo potencial construtivo dos terrenos e mantendo a área padrão da unidade habitacional verificada em Petrópolis. Outro fator considerado, por estar presente na maioria dos edifícios do Bairro, é a bandeja como lugar para estacionamento e ambientes de lazer. Para melhor comparação, seguem os modelos tridimensionais utilizados na situação atual (Figura 102) e no cenário futuro (Figura 103).

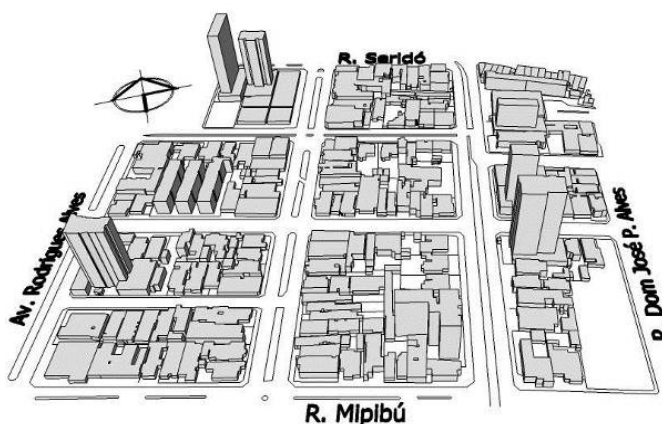


Figura 102. Modelo de ocupação da situação atual.

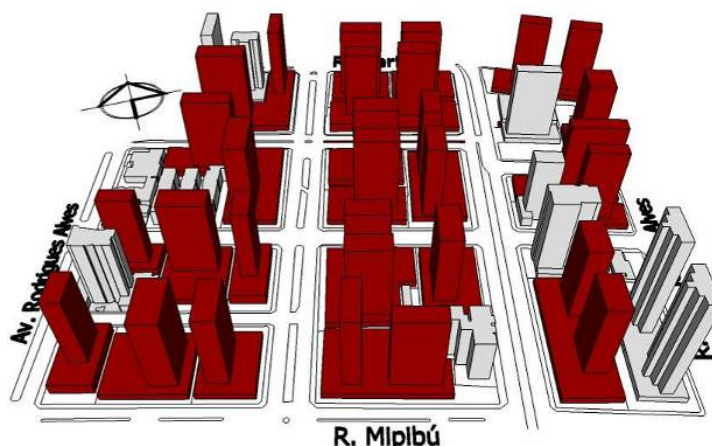


Figura 103. Modelo de ocupação da situação futura, com edificações hipotéticas em vermelho.

Inicialmente foi realizada uma simulação com o modelo futuro, porém com o nível sonoro da situação atual, para verificar apenas a influência da mudança na morfologia do espaço. Os resultados dos mapas, com a malha da simulação passando na altura de 1,20m, praticamente não apresentaram diferença. Isto ocorreu, provavelmente, porque as bandejas fizeram o papel das edificações térreas e de um pavimento, não modificando muito a densidade construtiva que existe atualmente, servindo até algumas vezes como elementos de maior proteção acústica no interior das quadras. Apresenta, assim, no modelo futuro maiores manchas na cor azul claro, com valores abaixo de 47 dB(A) (Figura 104 e Figura 105).

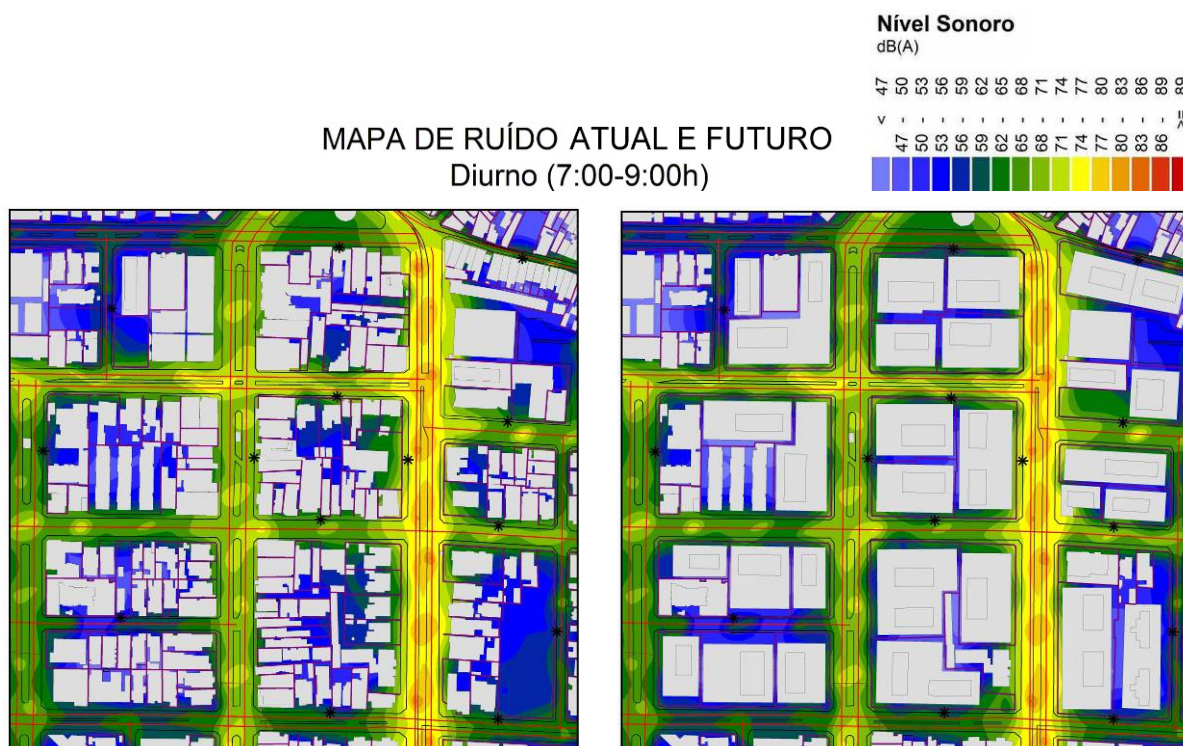


Figura 104. Mapa de ruído da situação atual, com malha da simulação a 1,20m de altura.

Figura 105. Mapa de ruído da situação futura, com malha da simulação a 1,20m de altura.

Ao permanecer com a mesma comparação anterior, porém, colocando a malha da simulação no topo das lâminas dos edifícios, na altura de 60m, se percebe uma maior diferença nos níveis sonoros. A parcela do Bairro, na situação atual, se encontra praticamente dividida em duas faixas, de 59 a 62 dB(A) na parte mais afastada da Av Hermes da Fonseca (Ponto 08) e de 62 a 65 dB(A), em suas proximidades. Na situação futura, o nível sonoro nesta mesma via é ainda maior do que na situação atual, em quase toda extensão. Entretanto, a simulação futura apresenta uma maior quantidade de manchas azuis, na faixa dos 56 a 59 dB(A), devido à barreira acústica provocada pelos próprios edifícios verticais. O que as simulações demonstram é que, com a verticalização, os níveis sonoros demoram mais a diminuir com a altura, mas os edifícios criam algumas regiões mais protegidas ao ruído (Figura 106 e Figura 107).

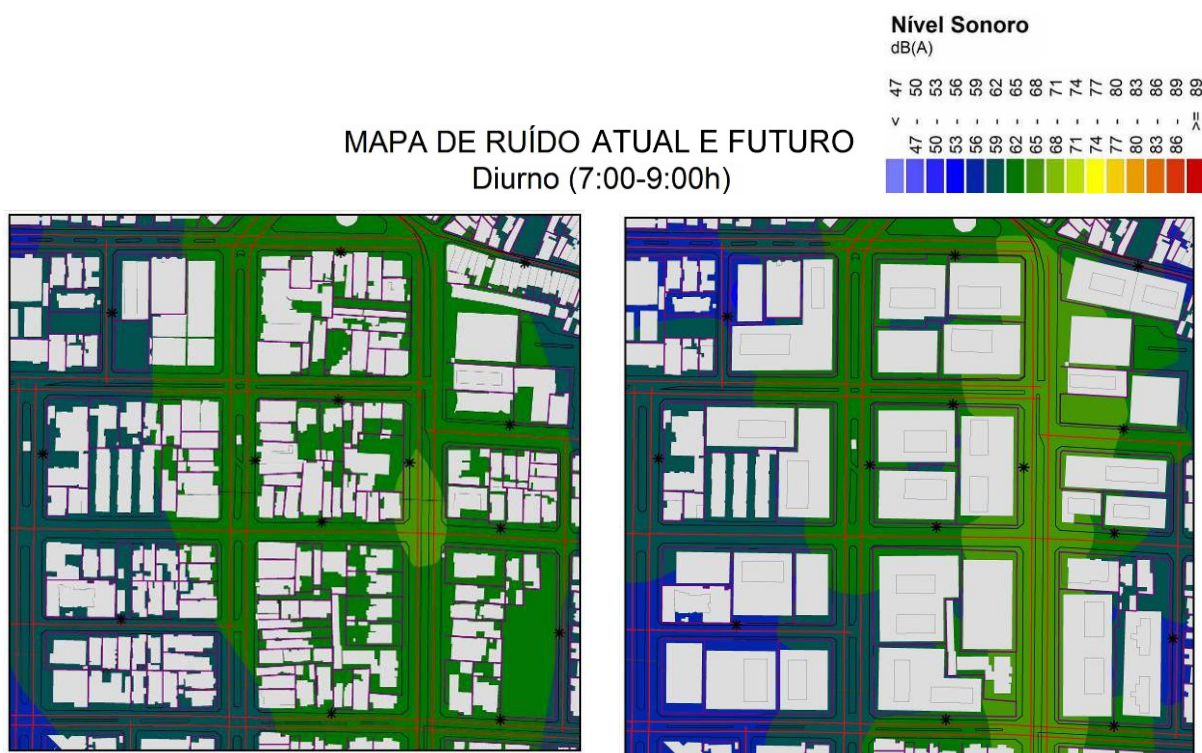


Figura 106. Mapa de ruído da situação atual, com malha da simulação a 60m de altura.

Figura 107. Mapa de ruído da situação futura, com malha da simulação a 60m de altura.

Entretanto, ao verticalizar uma área não são apenas as características do espaço que se modificam. Ocorre também o aumento da população do Bairro, o aumento no fluxo de veículos e consequentemente o aumento da poluição sonora. Assim, o mapa futuro precisa ser atualizado com os níveis sonoros referentes a esse aumento.

Na parcela do Bairro em estudo, existe atualmente em torno de 250 unidades habitacionais. Para a simulação futura com 20 pavimentos, utilizando 2 unidades por andar,

essa mesma área tem condições de abrigar uma média de 1.346 unidades, ou seja, 5,38 vezes a mais do que a atual. A

Tabela 19 mostra os níveis sonoros para o modelo futuro, calculado com fluxo de veículos 5 vezes maior do que o atual. A mesma tabela também apresenta os valores depois de simulados e a diferença entre eles. Como a diferença é menor do que a variação de ± 2 dB(A), o modelo se encontra validado.

Tabela 19. Níveis sonoros para o modelo futuro.

Pontos	Leq dB(A) – 7:00-9:00h		
	Nível Sonoro Futuro Calculado	Nível Sonoro Futuro Simulado	Diferença entre calculado e simulado para validação
01	69,5	69,3	-0,2
02	72,2	72,2	0
03	66,6	66,7	0,1
04	74,8	74,9	0,1
05	74,1	73,8	-0,3
06	70,7	70,7	0
07	75	75	0
08	80,8	80,8	0
09	72,6	72,6	0
10	74,2	74,1	-0,1
11	66	66	0
12	69,7	69,6	-0,1
13	68,2	68,8	0,6
14	69,3	69,1	-0,2

Verifica-se que os níveis de ruído no modelo futuro possuem valores ainda mais altos do que o atual. Todos os pontos se apresentaram acima dos limites permissíveis de ruído, tanto para a ABNT NBR 10151/2000 como para a Lei nº 6.621/1994.

Na simulação, com altura de 1,20m do solo, as manchas azuis, que representam os valores mais baixos, com menos de 59 dB(A), diminuíram até mesmo no interior das quadras, que passaram a ter mais tonalidades verdes, ou seja, na faixa dos 60 dB(A). O ponto 08 aparece com níveis sonoros bastante elevados, acima de 83 dB(A) e nas demais vias, o amarelo agora prevalece, dentro dos 70 dB(A) (Figura 108). O mapa de ruído hipotético demonstra que se não forem tomadas medidas para mitigação da poluição sonora, principalmente na Av. Hermes da Fonseca (ponto 08), via arterial com intenso fluxo de veículos, a situação ficará bastante problemática no futuro.



Figura 108. Mapa de ruído da situação futura no período diurno.

4.4 Mapas de ruído hipotéticos para a quadra selecionada

As características morfológicas de um espaço tem a capacidade de modificar o ambiente sonoro. Para melhor verificar a influência de algumas decisões iniciais de projeto, aspectos como forma, implantação e altura das edificações foram abordados nos modelos hipotéticos para a quadra selecionada.

Utilizou-se, assim, o modelo de ocupação futuro, com os níveis de ruído do horário de 7:00 às 9:00h. Entretanto, a escala de cores dos níveis sonoros, aplicada nos mapas gerais do bairro e da parcela do mesmo, precisou ser modificada. Para os mapas anteriores foi utilizada uma escala do nível sonoro de 47 dB(A) até 89 dB(A), e incremento de 3dB(A) entre eles. Como as medições e os cálculos estavam sendo inicializados e por terem níveis bastante diferentes de um ponto para outro, foi interessante utilizar essa escala, com uma maior variação dos valores. Entretanto, no estudo da quadra esse intervalo pôde ser diminuído, de 55 dB(A) até 83 dB(A), e incremento de 2 dB(A), se apresentando como uma melhor opção para visualização nos cortes. O programa SoundPLAN, na versão 7.1, disponibiliza no máximo 16 intervalos de cores, o que impossibilitou manter a escala com o mesmo incremento para todos os casos.

Mesmo mostrando a seguir imagens apenas na quadra em questão, todos os mapas foram simulados para a parcela do bairro, apresentada no subitem anterior. Assim, existe uma “área de estudo” maior do que a “área do mapa”, conforme determina a metodologia de Pinto *et al.* (2004). Além do mapa de ruído horizontal, também foram elaborados mapas de secção, através da opção do programa *Cross Section Map*.

4.4.1 Efeito da forma

Os primeiros estudos foram realizados para analisar a influência da forma das edificações. Os mapas horizontais foram feitos com a malha passando na altura de 1,20m e os edifícios com 20 pavimentos, ou seja, 60m de altura. Assim, 05 volumetrias diferentes foram colocadas no centro dos lotes, mas deslocadas para o limite dos recuos da Av. Hermes da Fonseca e Av. Afonso Pena, sem a influência de muros ou outros tipos de barreiras.

De uma forma geral, os níveis sonoros ao redor da quadra, no caso, nas vias, não apresentaram muitas diferenças. O que modifica é que a fachada fixada no limite do recuo recebe maior poluição sonora e, quanto maior o comprimento, o nível sonoro mais elevado se prolonga por toda a sua extensão. Isto ocorreu em todos os casos, em que pode ser percebido

com o intervalo de 71 a 73 dB(A), voltado para a Av. Afonso Pena e com o de 75 a 77 dB(A), voltado para a Av. Hermes da Fonseca. Essas duas faixas sonoras estão coladas nas fachadas e se prolongam por toda sua extensão. Entretanto, em relação ao efeito dentro dos lotes, os resultados foram diferentes, pois os edifícios serviram como barreira sonora, com alguns exemplos protendendo mais do que outros.

A forma quadrada e retângular tiveram resultados bastante semelhantes, a diferença é que a retangular conseguiu proporcionar uma maior área dos lotes com níveis sonoros no intervalo de 65 a 67 dB(A). Como a Av. Hermes da Fonseca é a mais problemática em termos acústicos, a forma retangular como foi implantada ofereceu uma maior proteção (Figura 109 e Figura 110).

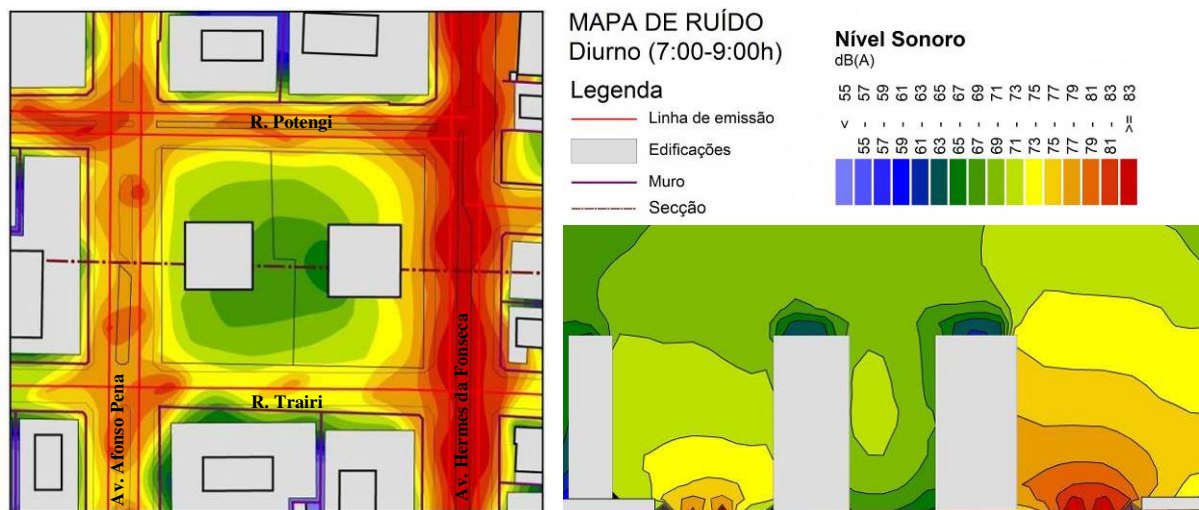


Figura 109. Forma quadrada.

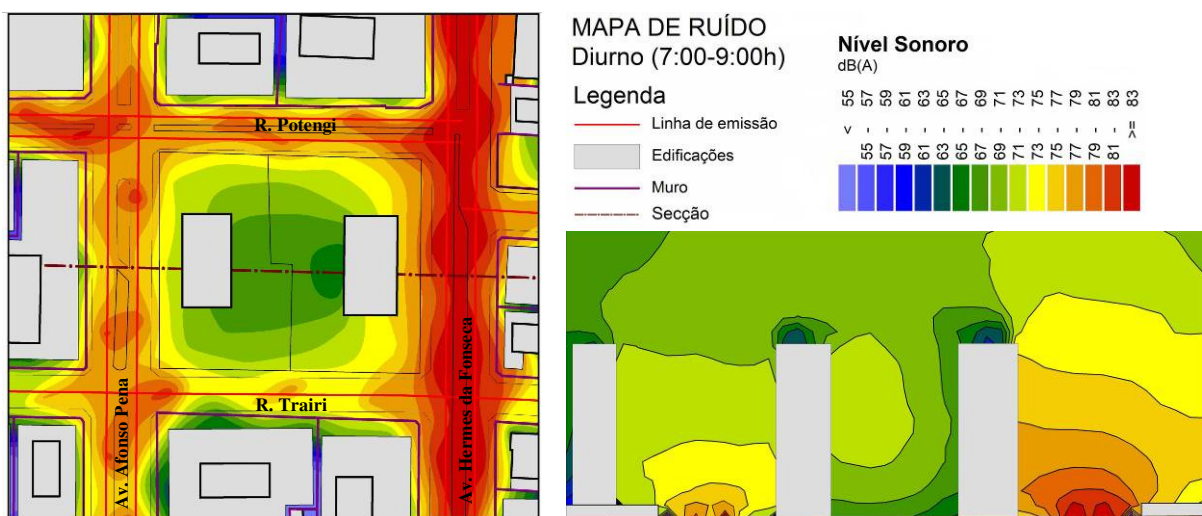


Figura 110. Forma retangular.

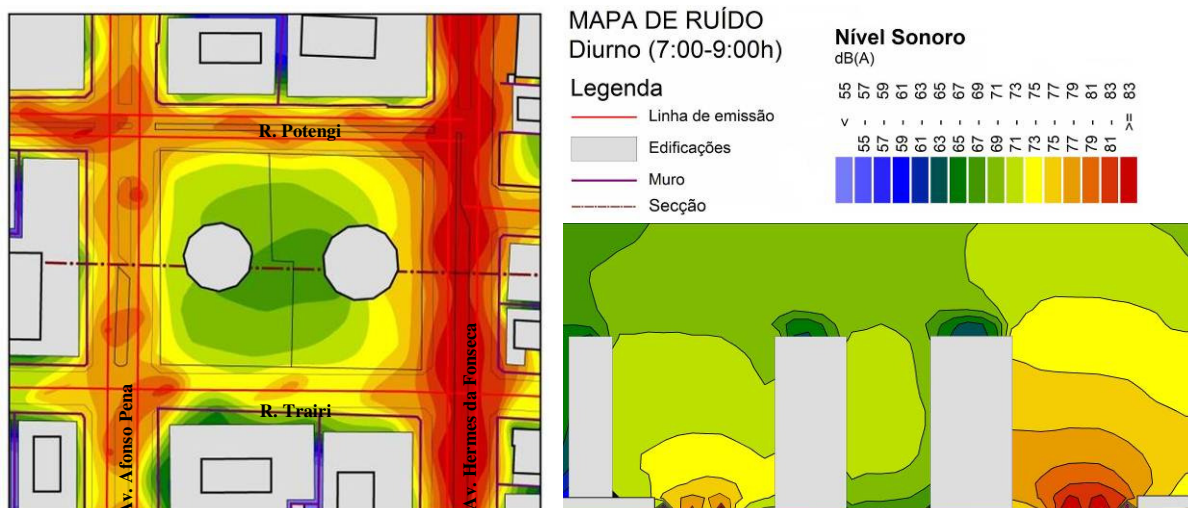


Figura 111. Forma circular.

A forma circular, entretanto, foi a que menos protegeu o interior dos lotes. Na sua simulação não apareceu o intervalo de 65 a 67 dB(A), que está presente em todos os outros casos (Figura 111).

A forma em “L” obteve um bom resultado. Porém, dependendo da sua implantação pode ter um maior número de fachadas prejudicadas. Por exemplo, o edifício da esquerda, em relação à Av. Afonso Pena, apresenta uma grande fachada prejudicada, mas as outras duas voltadas para a parte interna do lote estão protegidas, além de criar uma área como pátio interno também bem protegido. Já o edifício do lado direito, em relação à Av. Hermes da Fonseca, só possui uma fachada bem protegida (Figura 112).

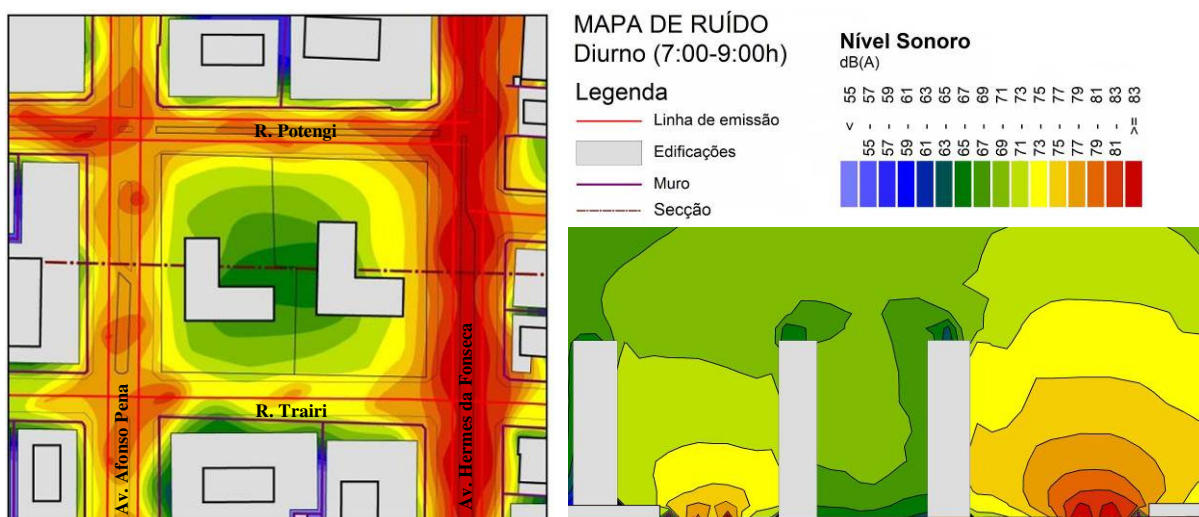


Figura 112. Forma em “L”.

Para elaborar o modelo escalonado, foi necessário diminuir a altura dos edifícios. Apenas neste exemplo que se utilizou o gabarito de 30 m, referente a 10 pavimentos. Assim, os edifícios ocuparam uma área bem maior do lote, o que criou uma barreira que proporcionou níveis sonoros na faixa de 61 a 63 dB(A). Além disto, a forma escalonada recebe efeito da barreira que o andar inferior proporciona ao andar superior e da distância, com a diminuição da área do pavimento e aumento do recuo (Figura 113 e Figura 114)

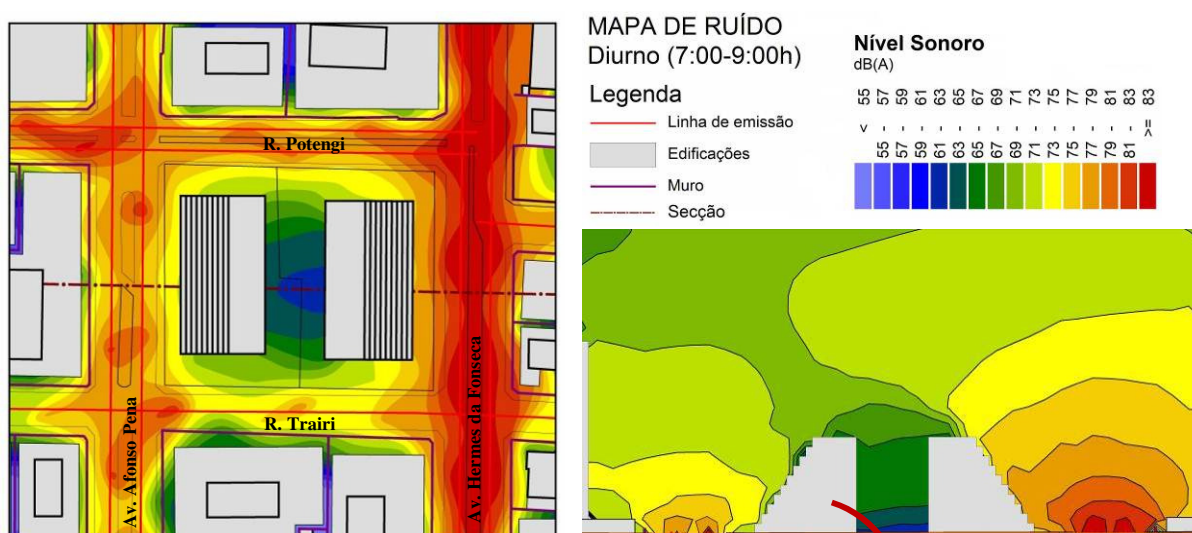


Figura 113. Forma escalonada.

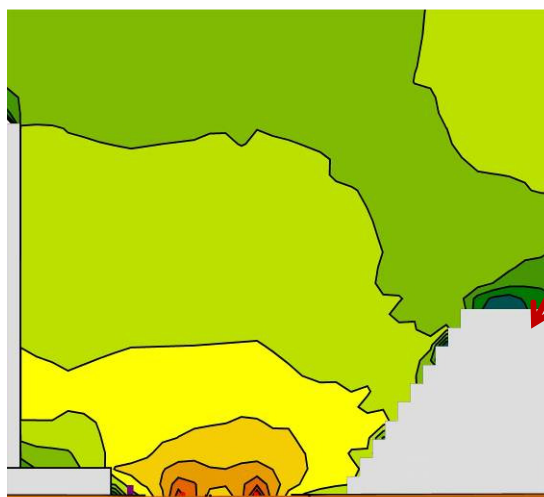


Figura 114. Destaque da forma escalonada.

A Figura 114 também apresenta do lado esquerdo da imagem, dois elementos que protegem o edifício. O primeiro é o muro, que dependendo do recuo entre ele e o edifício, serve de barreira, protegendo mais os pavimentos inferiores dos prédios. O outro elemento é a bandeja, que também acaba protegendo mais os pavimentos próximos dela.

A Figura 115 compara três casos para verificar a influência da bandeja. No exemplo sem bandeja o nível sonoro do intervalo de 79 a 81 dB(A) não atinge o edifício vertical. Além disto, atrás dele existe uma região de sombra acústica, mas não com faixas azuis, que são os níveis sonoros mais baixos, pois sem a bandeja, o ruído das vias consegue contornar o edifício, atingindo o interior do lote. Nos outros dois exemplos, o nível sonoro mais elevado, de 79 a 81 dB(A), atinge a bandeja e o intensifica, fazendo com que também alcance a edificação no outro lado da via. Outro aspecto observado é que a bandeja de 4,5m de altura cria uma zona de sombra acústica bem próxima dela, mas não suficiente para proteger o pavimento logo acima, o que não ocorre no caso com a bandeja de 7,5m.

Conclui-se, portanto, que a utilização da bandeja intensifica o nível sonoro nas proximidades das vias, na altura do pedestre. Caso seja utilizada, é interessante que possua uma altura suficiente para proteger a torre do edifício dos níveis sonoros elevados.

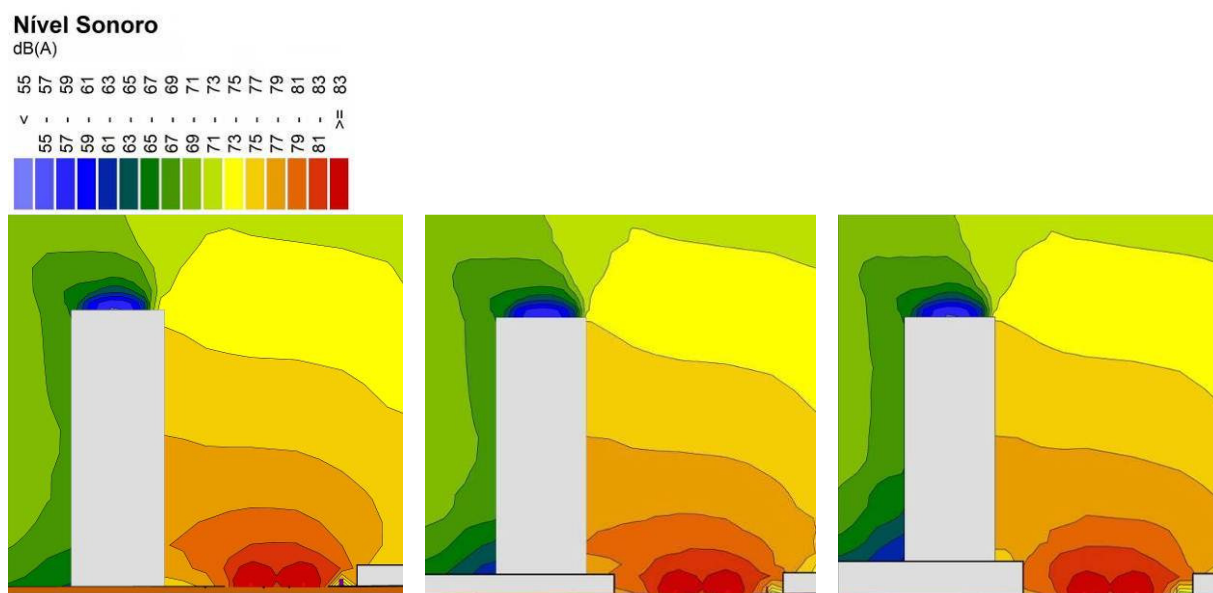


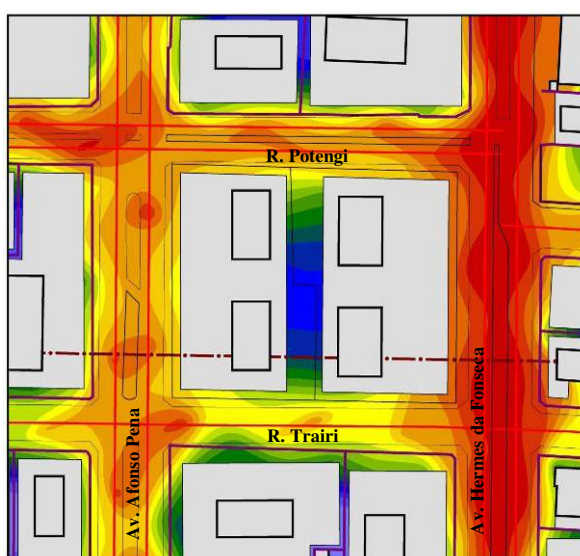
Figura 115. Edifício sem bandeja, bandeja com 4,5m e 7,5m de altura, respectivamente.

4.4.2 Efeito da implantação

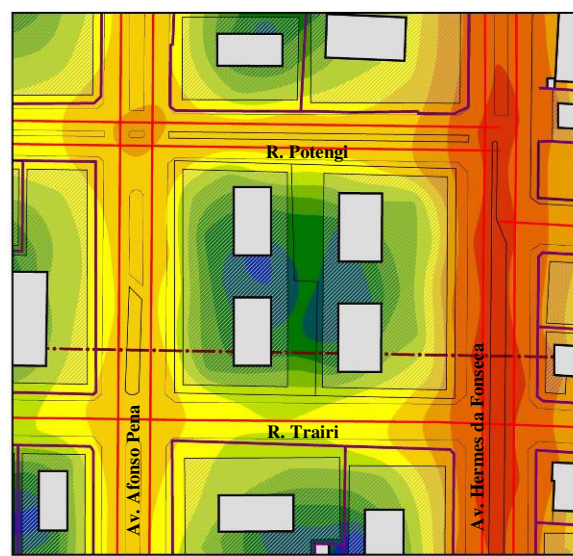
Como a maioria dos edifícios que estão sendo construídos atualmente em Petrópolis possui a forma retangular como padrão e utilizam a bandeja, optou-se em realizar os estudos para as diferentes implantações levando em consideração esses dois aspectos. Por causa da bandeja os resultados com a malha na altura de 1,20m se apresentaram praticamente iguais para todos os casos, com uma pequena diferença na intensidade das faixas sonoras em azul no centro da quadra, que representam os níveis sonoros mais baixos. Mostrou-se, então,

necessário fazer outra simulação com a malha na altura de 10m, para ver essa influência da implantação por cima da bandeja. Além disso, para obter mais flexibilidades de implantações, foram utilizados dois volumes de edifícios por lote.

A primeira implantação estudada é com os edifícios paralelos à principal via da quadra, a Av. Hermes da Fonseca. As torres também foram posicionadas no limite do recuo dos fundos, obtendo um maior recuo frontal. Com essa implantação, a bandeja criou uma região de sombra acústica bastante eficiente, nos pavimentos inferiores, bem melhor do que no caso da Figura 115. Devido à bandeja e ao recuo, as fachadas mais prejudicadas em relação ao ruído ficaram mais protegidas. O nível sonoro de 77 a 79 dB(A) não atingiu a lâmina do edifício voltado para a Av. Hermes da Fonseca e, a faixa de 73 a 75 dB(A) também não alcançou o edifício voltado para a Av. Afonso Pena. Na simulação do mapa de ruído horizontal a 10m de altura, percebe-se que grande parte da quadra apresentou níveis entre 65 e 67 dB(A) e que entre as torres, os valores foram ainda mais baixos (Figura 116).



Altura da malha = 1,20m



Altura da malha = 10m

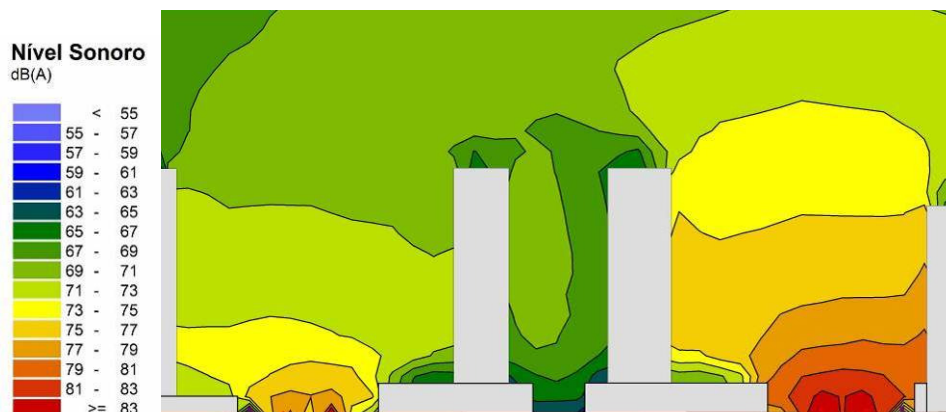


Figura 116. Edifícios paralelos à Av. Hermes da Fonseca.

A configuração com os edifícios implantados perpendicularmente à Av. Hermes da Fonseca (Figura 117) é mais permeável ao ruído do que a anterior (Figura 116). Os níveis sonoros no intervalo de 63 a 65 dB(A) diminuiu bastante, entre os edifícios próximos da Av. Hermes da Fonseca. O efeito de barreira provocada pela bandeja também não foi tão eficiente como no caso anterior, já que não tinha o recuo como outro aliado. Entretanto, dependendo da situação, se tiver uma via com níveis de ruído muito elevados e não existir o cuidado com o recuo frontal, a configuração anterior pode comprometer uma das maiores fachadas do edifício. Na configuração com edifícios perpendiculares à via, as fachadas menores, que são as mais prejudicadas, podem ser colocadas como empenas cegas ou com ambientes que não sejam de uso prolongado.

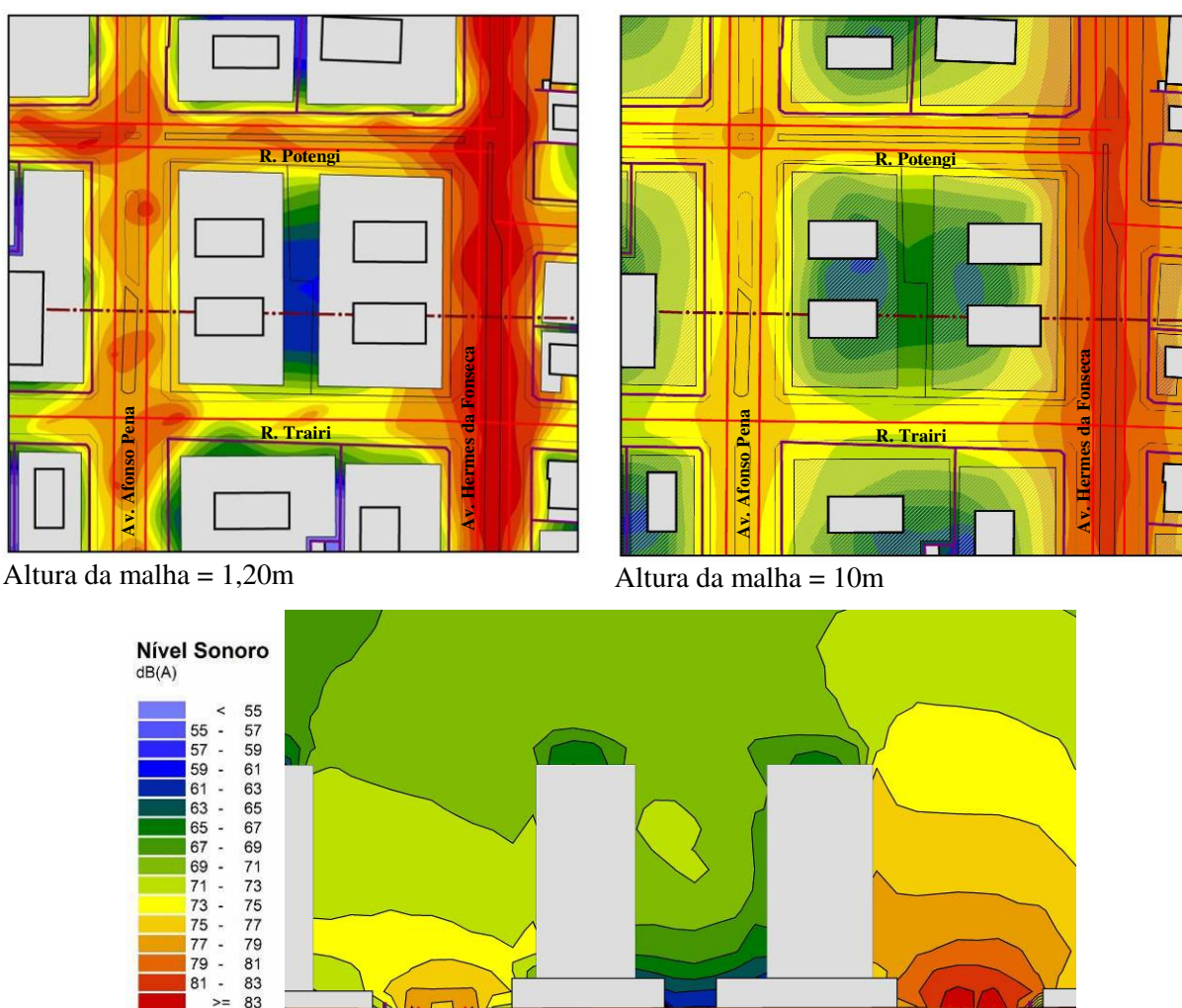


Figura 117. Edifícios perpendiculares à Av. Hermes da Fonseca

A configuração com edifícios inclinados em relação à via cria dois tipos de situações (Figura 118). Na situação (a), praticamente apenas uma fachada que fica protegida do ruído, enquanto que na situação (b), metade da área de fachada fica prejudicada e a outra

metada, protegida. Esta implantação protege um pouco mais o interior dos lotes novamente, mas não tanto como no exemplo da Figura 116.

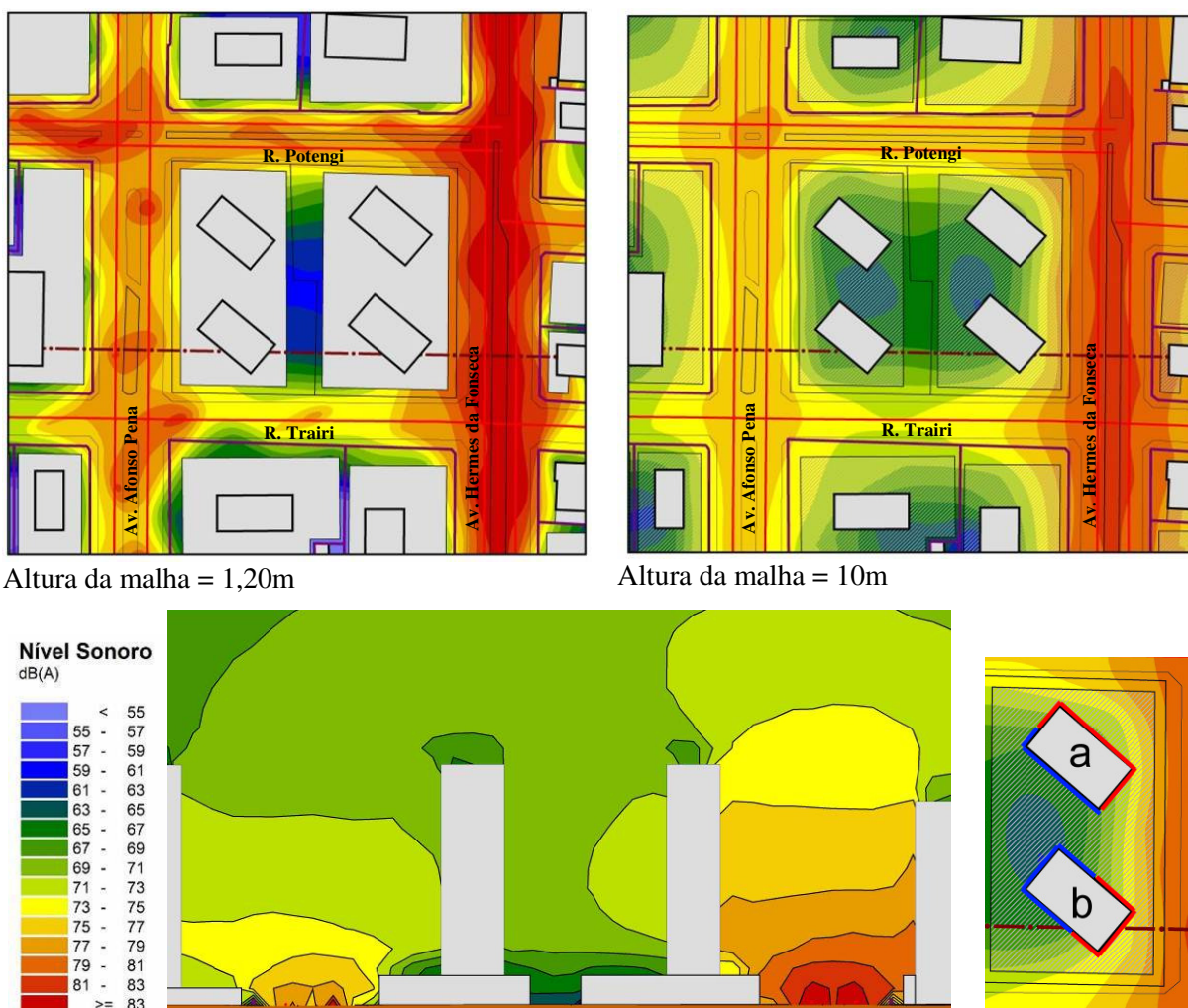


Figura 118. Edifícios com inclinação à Av. Hermes da Fonseca.

4.4.3 Efeito da altura

Para verificar o efeito da altura, foi realizada uma comparação da situação atual do Bairro com o modelo futuro. Por isso, utilizaram-se os níveis sonoros do mapa de ruído atual. Foram, assim, realizados dois cortes passando pela quadra em estudo (Figura 119).



Figura 119. Locais dos cortes no modelo de ocupação atual.

Ao analisar todos os cortes, nota-se que por causa das reflexões do ruído nas fachadas, quanto maior a altura dos edifícios, mais os níveis sonoros elevados se propagam por uma maior área.

A Figura 120 representa o corte 01, que passa apenas por edificações térreas e de dois pavimentos. Nesse caso, o nível sonoro da Av. Hermes da Fonseca foi tão elevado que se uniu, a partir de uma determinada altura, com o nível sonoro da Av. Afonso Pena. Entretanto, na altura das edificações, os centros das quadras ficaram protegidos.



Figura 120. Corte 01 – local apenas com edificações térreas ou de dois pavimentos.

No corte 02, existe um edifício com 17 pavimentos de um dos lados da Av. Hermes da Fonseca. Nesse exemplo, logo se percebe como os níveis sonoros sofreram certa inclinação para cima, nas proximidades da fachada do edifício, atingindo maiores alturas com valores ainda elevados (Figura 121).

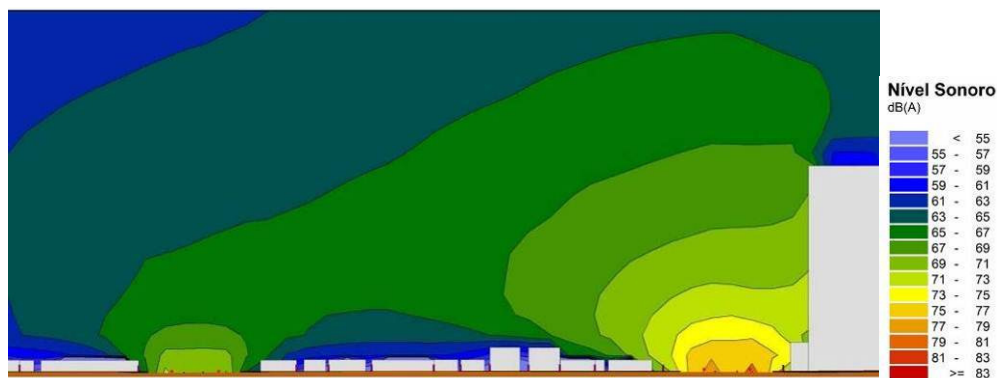


Figura 121. Corte 02 – local com prédio de 17 pavimentos.

Na Figura 122, as edificações térreas e de dois pavimentos foram substituídas por edifícios de 10 pavimentos, ou seja, 30m de altura. A ligação dos níveis sonoros entre as duas vias se perde. Percebe-se também que os edifícios criam zonas mais protegidas no interior dos lotes, porém agrava a situação dos níveis sonoros nas vias, como já foi explicado anteriormente.

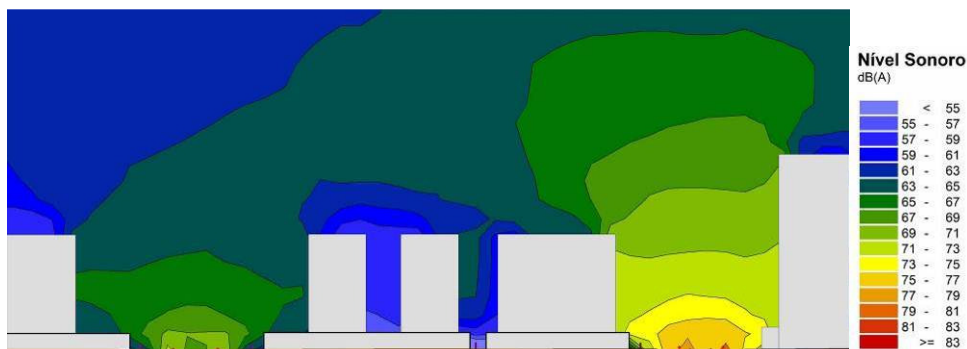


Figura 122. Seção no mesmo local do corte 02, com edifícios de 10 pavimentos.

Na Figura 123 foram simulados edifícios com 20 pavimentos (60m de altura) e na Figura 124, com 30 pavimentos (90m de altura). Os dois casos demonstram a grande influência da altura, fazendo com que os níveis sonoros mais elevados atinjam uma maior área, prejudicando a sua propagação no meio. Entretanto, isso não pode dizer que edifícios verticais irão sempre criar ambientes urbanos do tipo cânion, pois a existência de recuos, as diferentes alturas e a descontinuidades entre as fachadas vizinhas também podem tornar o espaço permeável ao ruído, contribuindo para uma menor permanência e concentração dos raios refletidos.

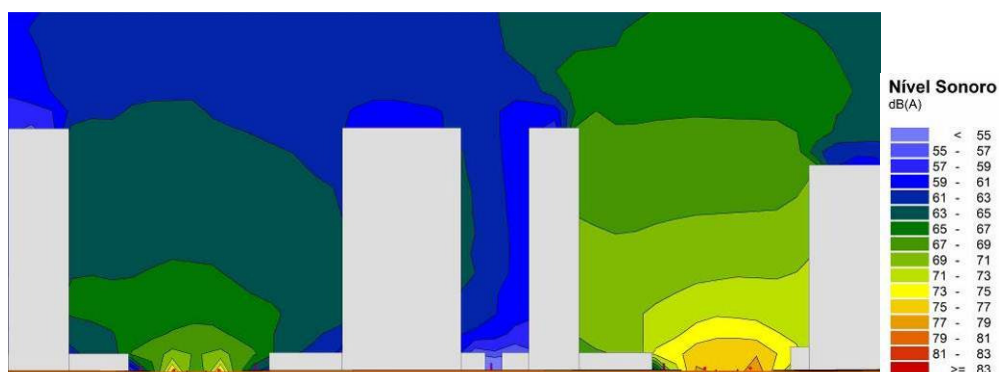


Figura 123. Seção no mesmo local do corte 02, com edifícios de 20 pavimentos.

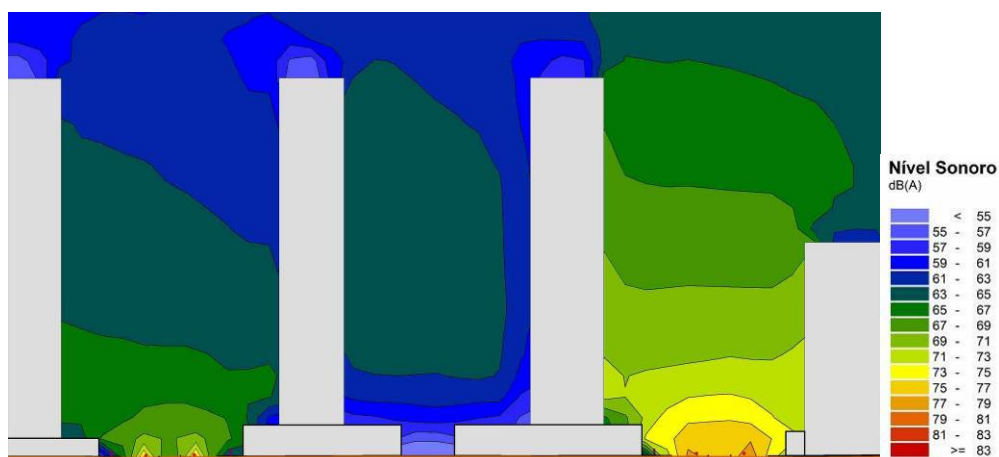


Figura 124. Seção no mesmo local do corte 02, com edifícios de 30 pavimentos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No Brasil, grande parte do território tem a ventilação natural como uma das principais estratégias passiva de conforto higrotérmico. Para favorecer essa estratégia é necessário que as fachadas sejam permeáveis ao fluxo de ar, resultando em espaços extremamente dependentes das condições ambientais do entorno imediato. Isso interfere diretamente na envoltória das edificações, dificultando a obtenção de um bom isolamento acústico.

A arquitetura bioclimática se preocupa exatamente com essa integração do edifício com seu entorno, minimizando o impacto do mesmo sobre o meio ambiente. Procura fazer com que o edifício faça parte do ecossistema, utilizando-o para projetar e construir. Desta forma, tira partido do clima, da vegetação, do entorno e dos materiais de construção. A vantagem é a progressiva sistematização e evolução dos objetivos a que se propõe: projetar, tendo em conta o aproveitamento energético potencial do local a que se destina (MÜLLER, 2006). Esse tipo de produção apresenta um grau de complexidade que implica na revisão das práticas usuais de gestão do processo de projeto e na busca de soluções para a compatibilização dos requisitos das diversas disciplinas de conforto.

Entretanto, o adensamento da massa edificada na maioria das cidades brasileiras reflete à utilização máxima do potencial construtivo do terreno nos empreendimentos imobiliários. A habitação em condomínios verticais apresenta projetos que visa uma demanda de mercado e não um cliente específico. Tal situação, aliada às limitações técnicas e financeiras do empreendimento (também definidas pelo mercado imobiliário), conduz à adoção de soluções *standard* para as unidades habitacionais. É preciso que a sociedade discuta esse paradoxo (mercantilista/capitalista), questionando suas consequências. Como importantes agentes da cadeia produtora de bens imóveis, os arquitetos precisam estar presentes nesse debate, podendo (e devendo) assumir um papel crítico (DUARTE; ELALI, 2011).

Além disso, parece que foi assumida a premissa de que nas cidades, devido à necessidade do tráfego de veículos, o intenso nível de ruído é inevitável e que pouco pode ser feito. A qualidade acústica do espaço urbano depende da relação entre os padrões de uso e

ocupação do solo e as características do sistema de transporte. As normas legais tem papel fundamental na forma de ocupação e uso do solo nas nossas cidades. Por isso, é necessário que sejam elaboradas e fundamentadas nos princípios do conforto ambiental. No entanto, para o estabelecimento ou modificação dos índices e prescrições urbanísticas, normalmente não são realizados estudos nem avaliações de seus efeitos, o que resulta, muitas vezes, em normas que não correspondem à realidade local.

Assim, o estabelecimento de métodos, quantificação e avaliação do impacto sonoro através de normas e legislações também é de extrema importância no controle da poluição sonora. Os Planos Diretores quase sempre se atêm à regulamentação do uso do solo através das leis de zoneamento e aos parâmetros dos Códigos de Obras. Eventualmente, são elaborados projetos para melhorar o fluxo das vias existentes. Entretanto, deixam o sistema de transporte coletivo à margem.

Outras medidas podem ser levadas em consideração como a aplicação de normas e medidas restritivas nas fontes emissoras, que são principalmente os veículos automotores. Estas medidas devem prever maior fiscalização dos veículos pelos órgãos competentes, redução de velocidade em algumas vias e melhorias na pavimentação.

É notório o aumento da preocupação com o ruído ambiental e conforto dos usuários no Brasil. Algumas normas sobre acústica estão sendo revisadas, discutidas e, como o caso da Norma Técnica de Desempenho NBR 15575 (ABNT, 2008), em processo de implantação. Porém, ainda se percebe um descompasso entre o nível das pesquisas e as práticas de gestão da poluição sonora. Os procedimentos para elaboração de Estudos de Impacto Ambiental e de Vizinhança preveem a análise de fatores como aumento da densidade populacional, alterações no padrão de uso do solo, geração de tráfego e demanda por transporte público. Entretanto, apesar da influência destes fatores sobre o ambiente sonoro, não propõe métodos objetivos de avaliação previsional do ruído.

A referência nacional para avaliação de ruído ambiental (ABNT NBR 10151/2000) estabelece critérios relacionados ao uso do solo, mas com procedimentos baseados na conformidade entre o ruído emitido e os níveis critério, ou seja, para atividades já em funcionamento. Verifica-se, portanto, a necessidade de modificar essa realidade com instrumentos que visem prevenir os problemas da poluição sonora antes da construção e aprovação de novos empreendimentos. Existe também a necessidade de instrumentos para viabilizar a fiscalização pelos órgãos competentes.

A norma francesa desenvolvida pelo *Ministere de L'environnement* (1996), assim como a Diretiva 2002/49/EC se apresentam como bons exemplos de como o ruído urbano pode receber um melhor tratamento. A norma indica níveis de isolamento acústico para edifícios residenciais, de acordo com a classificação das estruturas viárias. A Diretiva apresenta uma proposta que padroniza os procedimentos de medidas, índices e métodos de predição de ruído, de forma a alcançar a mínima qualidade sonora estabelecida entre os países membros. Porém, é necessário que sejam realizados estudos para adequação das características socioculturais e climáticas das diferentes regiões brasileiras, às boas praticas internacionais.

Além dos aspectos referentes ao fluxo de veículos e de melhorias no transporte coletivo, diversos estudos demonstraram que existem instrumentos de traçado urbano e dispositivos de controle (como as barreiras acústicas) com enorme potencial para reduzir o impacto sonoro no meio urbano. Percebe-se, então, que o mapeamento de ruído demonstra ser uma excelente ferramenta de planejamento urbano para tratar o problema da poluição sonora. Também tem se mostrado importante tanto nos momentos de diagnóstico da problemática, quanto nas ações para prevenir ou obter soluções. Apresenta-se, assim, como um banco de informações essenciais para o desenvolvimento de estratégias de controle do ruído.

Através do mapeamento acústico, a pesquisa buscou avaliar a influência da morfologia urbana na qualidade acústica do espaço construído, com estudo de caso no Bairro de Petrópolis, em Natal/RN. Verificou-se, no geral, que no meio urbano as edificações podem influenciar a propagação sonora tanto como barreiras acústicas, como objetos de reflexão. Isso demonstra a importância acerca da relação entre morfologia e acústica urbana.

No Bairro de Petrópolis os maiores níveis sonoros estão presentes nas vias arteriais, que são as que possuem o maior volume de tráfego de veículos, principal fonte sonora do local. Essas áreas são as mais expostas ao ruído e carecem de uma série de tratamento para melhoria da qualidade acústica. O mapa de ruído futuro mostra como a situação se agravará, caso não seja tomada nenhuma providência, podendo atingir valores acima de 80 dB(A), no nível da calçada.

As medições em campo mostraram que a parcela de Petrópolis estudada já possui atualmente muitos pontos com níveis sonoros acima do aceitável pela legislação. A Lei nº 8.052/2002 altera a Lei nº 6.621/1994, que dispõe sobre o controle da poluição sonora e condicionantes do meio ambiente no Rio Grande do Norte, tornando-a mais genérica e retirando os níveis critérios de ruído por tipo de zona. Assim, a comparação entre os valores

encontrados no Bairro precisou ser realizada com a Lei nº 6.621/1994. A situação noturna apresentou medições com valores um pouco mais baixos do que a diurna. Porém, como o nível limite noturno [55 dB(A)] é menor do que o diurno [65 dB(A)], os resultados noturnos ficaram mais prejudicados. Além disso, os mapas de conflito mostram que quando comparado com a Lei nº 6.621/1994, os valores ficam melhores, com mais pontos dentro da faixa do limite de conforto, do que comparados com a ABNT NBR 10151/2000.

Os mapas acústicos do cenário atual também revelam que as edificações às margens das vias de tráfego são as mais expostas aos níveis sonoros elevados. Os edifícios recuados ficam mais resguardados, ou seja, o aumento dos recuos, principalmente o frontal, ocasiona diminuição do nível sonoro na fachada. Destaca-se ainda, a formação de zonas de sombra acústica por trás das edificações. Assim, as fachadas voltadas para essas áreas estão mais protegidas.

Salienta-se que a implantação de edifícios menos sensíveis ao ruído figurando como barreiras acústicas podem contribuir como elementos de controle do ruído, protegendo as edificações localizadas atrás. O ideal é que as edificações protegidas sejam utilizadas para atividades mais sensíveis, como hospitais, escolas e residências. Outro aspecto que também pode ser utilizado é colocar ambientes de menor permanência como banheiros, corredores, áreas de serviço, entre outros, nas fachadas mais expostas. O ideal é que o projeto tente contemplar todas as disciplinas de conforto, integrando soluções pensadas na parte térmica, acústica e lumínica.

Em relação aos mapas de ruído futuro, foi realizada uma simulação com o cenário hipotético, mas com os níveis sonoros atuais. Pretendia-se verificar a influencia da morfologia no ambiente sonoro urbano. Ao colocar a malha da simulação no topo das lâminas dos edifícios, na altura de 60m, foi notada uma diferença nos níveis sonoros. As vias com maior fluxo de veículos ainda apresentavam elevados níveis mesmo nessa altura, diferente da situação atual. Entretanto, as bandejas utilizadas como locais de garagem de veículos e áreas de lazer, não modificaram muito o ambiente sonoro do seu entorno, na altura de 1,20m. Isso ocorreu, provavelmente, porque as bandejas não alteraram muito a densidade construtiva que existe. Serviram em alguns casos até mesmo como barreiras acústicas, protegendo o interior dos lotes e os primeiros pavimentos das lâminas dos edifícios. Porém, destacam-se o aumento na quantidade de superfícies de concreto expostas e a diminuição de áreas impermeáveis, espaços abertos com vegetação, para em troca abrigar estacionamento de veículos.

O que as simulações demonstraram é que, com a verticalização, os níveis sonoros demoram mais a diminuir com a altura. Entretanto, os edifícios verticais criam algumas regiões mais protegidas ao ruído, devido ao efeito de barreira acústica que provocam. Além disso, a existência de recuos, as diferentes alturas e a descontinuidades entre as fachadas vizinhas também podem tornar o espaço urbano permeável ao ruído, contribuindo para uma menor permanência e concentração dos raios refletidos nas vias.

Contudo, ao verticalizar uma área não são apenas as características do espaço que se modificam. Ocorre também o aumento da população do Bairro, o aumento no fluxo de veículos e consequentemente o aumento da poluição sonora. Na simulação futura, todos os pontos apresentaram níveis sonoros acima do limite da norma e da legislação.

Portanto, percebe-se que o adensamento e a verticalização podem influenciar a propagação sonora, beneficiando ou prejudicando determinado local. Embora o espaço urbano seja extremamente suscetível às modificações em sua forma, é possível atingir uma relação equilibrada. O que destaca ainda mais a ligação entre a densidade construída, as características geométricas da rua e a presença de espaços abertos, com vegetação, como caminho para compatibilização do conforto térmico, acústico e lumínico.

Em relação às simulações na quadra selecionada, o que mais chamou a atenção é que para o controle do ruído no edifício, a escolha da forma está intimamente ligada à implantação do mesmo no lote. Por exemplo, quando se tem dois edifícios no mesmo terreno, a configuração com as maiores fachadas das edificações perpendiculares à via se apresentou mais permeável ao ruído do que a configuração, com as maiores fachadas paralelas à via. Outro caso é a forma em “L”, que obteve um bom resultado, quando o pátio criado entre os dois volumes do “L” se localizou voltado para o interior do lote. Com essa implantação, o número de fachadas prejudicadas foi menor, além de se criar uma área interna de pátio também protegido do ruído. Assim, percebe-se que cada caso é diferente do outro, que as decisões devem ser pensadas juntas e também aliadas à setorização dos ambientes internos. O mapa de ruído se mostrou como uma ótima ferramenta para esse tipo de análise.

A pesquisa demonstrou a importância da utilização da ferramenta de mapa acústico. Caso fosse instrumento presente nas normas e legislações brasileiras, os problemas da poluição sonora teriam muito mais importância. Os governantes possuiriam informações sobre os pontos mais críticos, podendo ser levado em consideração nas intervenções urbanas e não colocados à margem, como normalmente ocorre. Além disso, os arquitetos teriam um instrumento em mãos, mostrando o ambiente sonoro do espaço em que irão atuar, tornando o

estudo mais prático, com soluções arquitetônicas mais eficientes, sem partir apenas para a questão dos materiais das fachadas. mostrar que existem diversas soluções para a área que podem ser tomadas, como simples decisões iniciais de projeto, capazes de promover uma melhor qualidade de vida aos usuários.

Desta forma, para o controle da poluição sonora se verifica a necessidade de medidas eficazes e da consciência dos diversos agentes envolvidos, como da própria população, de todas as esferas do governo, dos pesquisadores e demais profissionais envolvidos com a construção civil.

O trabalho traz a tona reflexões com outros desdobramentos, que são aqui colocados como sugestões para pesquisas futuras:

- Operacionalizar o processo de simulação acústica para estimular o seu uso, desenvolvendo *templates* e tutoriais do programa SoundPlan, com situações correntes;
- Realizar simulações em edifícios verticais colocando receptores em variados pavimentos e comparar com medições no local;
- Comparar a situação real com a simulada por outras ferramentas disponíveis no programa, como as barreiras acústicas, os mapas de ruído de fachadas, testar a influência de variados materiais de revestimento, etc.;
- Analisar a influência de grandes áreas verdes no ambiente sonoro urbano;
- Correlacionar as medições em campo com a percepção subjetiva da população local.
- Analisar o papel das diferentes texturas adotadas nas fachadas dos edifícios em relação ao desempenho acústico interno e externo.

BIBLIOGRAFIA

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.152**: Níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 10.151**: Avaliação do nível do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade. Rio de Janeiro, 2000.

_____. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 15.575**: Edifícios Habitacionais de até Cinco Pavimentos - Desempenho. Rio de Janeiro, 2008.

ARAÚJO, B. C. D. **Proposta de elemento vazado**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. São Paulo, 2010.

ARAÚJO, B.; CORTÊS, M.; DUARTE, A. B.; PINTO, D. Análise da acústica urbana no bairro de Lagoa Nova, Natal/RN. **Acústica e Vibrações**. Revista da Sociedade Brasileira de Acústica – SOBRAC, Santa Maria, n.44, p.46-50, dezembro de 2012.

ARIZMENDI, Luis Jesus. **Tratado fundamental de acustica en la edificacion**. Ediciones Universidad de Navarra, S.A. (EUNSA). Plaza de los Sauces, 1 y 2. Barañain-Pamplona, España, 1980.

ARAÚJO, Eduardo H.S.; Araújo, VIRGÍNIA M.D.; COSTA, Angelina D. L. Forma Urbana e climatologia em Natal-RN. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8, Salvador, 2000. **Anais...** Salvador: FAUFBA, ANTAC, 2000. p.1282-1289.

ARAÚJO, Eduardo H. S.; MARTINS, Themis L. F.; ARAÚJO, Virgínia M. D. **Dias típicos para o projeto térmico de edificações em Natal - RN**. Natal: EDUFRN, 1998.

BERANEK, L. L.; VÉR, I. L. **Noise and vibration control engineering: principles and applications**. New York: John Wiley and Sons, 1992.

BIES, David A.; HANSEN, Colin H. **Engineering noise control: theory and practice**. 4. ed. New York: Taylor & Francis Group, 2009.

BISTAFA, Sylvio R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 2006.

BRASIL. **CONSTITUIÇÃO DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL DE 1998**. Assegura o exercício dos direitos sociais e individuais, a liberdade, a segurança, o bem-estar, o desenvolvimento, a igualdade e a justiça como valores supremos de uma sociedade fraterna, pluralista e sem preconceitos, fundada na harmonia social e comprometida, na ordem interna e

internacional, com a solução pacífica das controvérsias, promulgamos, sob a proteção de Deus. Brasília: 5 de outubro de 1988.

_____. **Estatuto da Cidade - Lei nº. 10.257**. Guia para Implementação pelos Municípios e Cidadãos. Câmara dos Deputados – Coordenação de Publicações: Brasília, 2001.

_____. Ministério do Trabalho. Portaria n.º 3.214, de 08 de junho de 1978 - **NR 15**: Atividades e operações insalubres, 1978. Disponível em <<http://portal.mte.gov.br/legislacao/>>. Acesso em: 02 Maio.2012.

_____. Ministério do Trabalho. Portaria n.º 3.214, de 08 de junho de 1978 - **NR 17**: Ergonomia, 1978. Disponível em <<http://portal.mte.gov.br/legislacao/>>. Acesso em: 02 Maio.2012.

_____. **Resolução CONAMA nº. 001**, de 08 de março de 1990, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, dispõe sobre critério e padrões de emissão de ruídos, das atividades industriais. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0190.html>>. Acesso em: 01 Jun.2011.

_____. **Resolução CONAMA nº. 002**, de 08 de março de 1990, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, institui em caráter nacional o programa Nacional . Educação e Controle da Poluição Sonora - "SILÊNCIO". Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0290.html>>. Acesso em: 10 mar.2013.

_____. **Resolução CONAMA nº. 252**, de 01 de fevereiro de 1999, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, estabelece, para os veículos rodoviários automotores, inclusive veículos encarroçados, complementados e modificados, nacionais ou importados, limites máximos de ruído nas proximidades do escapamento, para fins de inspeção obrigatória e fiscalização de veículos em uso. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res99/res25299.html>>. Acesso em: 10 mar.2013.

_____. **Resolução CONTRAN nº. 204**, de 20 de outubro de 2006. CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO: Regulamenta o volume e a frequência dos sons produzidos por equipamentos utilizados em veículos e estabelece metodologia para medição a ser adotada pelas autoridades de trânsito ou seus agentes. Disponível em <<http://www.denatran.gov.br>>. Acesso em: 18 Jan.2013.

BRAUNSTEIN + BERNDT GMBH. **Handbook user's manual**. SoundPlan LLC, 2004. Disponível em: <<http://www.soundplan.com>>. Acesso em 22 de abril de 2012.

BRÜEL & KJÆR. **Environmental noise**. Denmark: Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A/S, 2000.

BUNN, F.; FIEDLER, P.E.K.; ZANNIN, P.H.T. Avaliação da poluição sonora ambiental – Normas e leis usadas no Brasil. **Revista Acústica & Vibrações da Sociedade Brasileira de Acústica** – SOBRAC. Nº 41. Dezembro, 2009.

CANTIERE, E; CATAI, R. E.; AGNOLETTI, R. A.; ZANQUETA, H. F. B.; CORDEIRO, A. D.; ROMANO, C. A. Elaboração de um mapa de ruído para a região central da cidade de Curitiba – PR. **Revista Produção Online**, Associação Brasileira de Engenharia de Produção – ABEPRO, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, v.10, n. 1, 2010. Disponível em <www.producaoonline.org.br> Acesso em: 05 fev. 2013.

CARVALHO, Régio Paniago. **Acústica Arquitetônica**. 2 ed. Brasília: Thesaurus, 2010.

CASCUDO, Luís da Câmara. **História da Cidade do Natal**. 3 ed. Natal: Instituto Histórico e Geográfico do Rio Grande do Norte, 1999.

CERTU - Centre d'Études des Transports Urbaines. **Guide du Bruit des Transports Terrestres**. Prevision des Niveaux Sonores. França: Ministère de l'Équipement et de Lâmenagement du Territoire, 1980.

COMISSÃO EUROPEIA. **Cidades para Bicicletas, Cidades de Futuro**. Luxemburgo: Serviço das Publicações Oficiais das Comunidades Europeias, 2000. 61 p.

COSTA, Ademir Araújo da. **A verticalização e as transformações do espaço urbano de Natal-RN**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, PPGG, Rio de Janeiro, 2000a.

COSTA, Ademir Araújo da. A verticalização de Natal: elemento de transformações sócio espaciais. In: **Seminário de História da Cidade e do Urbanismo (SHCU)**, v. 6, n. 1, 2000b. Disponível em <<http://www.anpur.org.br/revista/rbeur/index.php/shcu/issue/view/44>> Acesso em: 06 fev. 2013

COSTA, Angelina Dias Leão. **Análise bioclimática e investigação do conforto térmico em ambientes externos**: uma experiência no bairro de Petrópolis em Natal/RN. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Natal, RN, 2003.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO (DENATRAN). **Manual de procedimentos para o tratamento de pólos geradores de tráfego**. Brasília: DENATRAN/FGV, 2001.

DIRECTIVA 2002/49/EC do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 de Junho de 2002, relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente. **Official Journal of the European Communities**, p.12-25, 2002.

DUARTE, E. A. C.; VIVEIROS, E. B. Desempenho acústico na arquitetura residencial brasileira: paredes de vedação. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 7, n. 3, p. 159-171, jul./set. 2007. Disponível em <<http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/3748>> Acessado em 4.mai.2011.

DUARTE, Matheus Jaques de Castro Ribeiro. **Indicações para o projeto arquitetônico de edifícios multifamiliares verticais**. Uma análise pós-ocupação em Natal/RN. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Natal, RN, 2006.

DUARTE, M. J.; ELALI, G. A. Valor de troca, valor de uso: alguns subsídios para (re)pensar o projeto de condomínios verticais. 2º Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído e X Workshop Brasileiro de Gestão do Processo de Projeto na Construção de Edifícios, **Anais do SBQP 2011**, Rio de Janeiro, 2011.

EGAN, M. D. **Concepts in Architectural Acoustics**. New York, USA: Mc Graw Hill. Book Company, 1984.

EGAN, M. David. **Architectural Acoustics**. New York: McGraw-Hill, 1988.

EVEREST, F. Alton; POHLMANN, Ken C. **The Master Handbook of Acoustics**. 4ª Ed. New York: McGraw-Hill, 2001.

FERREIRA, Ângela Lucia de Araújo. **De La Producción Del Espacio Urbano a la Creación de Territorios em la Ciudad**: Um estudio sobre la constitución de lo urbano em Nata, Brasil. Tese de Doutorado. Departamento de Geografia Humana. Universidad de Barcelona. Barcelona, 1996.

FERREIRA, Ângela L. de A.; DANTAS, Ana Caroline de C. L.; EDUARDO, Anna Rachel B.; DANTAS, George A. F. **Uma Cidade Sã e Bela**: a trajetória do Saneamento de Natal entre 1850 e 1969. Natal: CAERN, 2003.

FERREIRA, Glenda Dantas; SOBRINHA, Maria Dulce P. Bentes. **PAC Habitação e Política Nacional de Desenvolvimento Urbano**: notas para monitoramento e pesquisa na RMNatal. Seminário Nacional Governança Urbana e Desenvolvimento Metropolitano. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010. Disponível em: <http://www.cchla.ufrn.br/seminariogovernanca/cdrom/ST12_Glenda.pdf>. Acesso em 14 maio 2013.

FHWA - Federal Highway Administration. **Highway Noise Barrier Design Handbook**. USA: United States Department of Transportation, 2000. Disponível em: <<http://www.fhwa.dot.gov/environment/noise/design>>. Acesso em: 2 jan. 2013.

GARAVELLI, S. L.; MORAES, A. C. M.; NASCIMENTO, J. R. R.; NASCIMENTO, P. H. D. P.; MAROJA, A. M. Mapa de Ruído como Ferramenta de Gestão da Poluição Sonora: Estudo de Caso de Águas Claras - DF. In: **Actas do 4º Congresso Luso-Brasileiro para o Planeamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável**, Faro, Portugal, outubro 2010.

GEP MOSELLE – Groupe d'Études et de Programmation de la Direction Départementale de l'Équipement de Moselle. **Le bruit et la ville**. Moselle: CETUR – Centre d'Études des Transports Urbains, 1978.

GERGES, S. N. Y. **Ruído**: Fundamentos e controle. 2ª Ed, NR Editora, Florianópolis, 2000.

GIVONI, B. **Man, climate and architecture**. Amsterdam: Elsevier Publishing Company Limited, 1969. (Architectural science series.)

GOLEBIEWSKI, R.; MAKAREWICK, R.; NOWAK, M.; PREIS, A. **Traffic Noise Reduction due the porous Road Surface**. Applied Acoustics, Poland, v. 64, p. 481-494, 2003.

GRIECO, E.; MARCOLINI, S.; PORTUGAL, L.S.; SOARES, O. Estabelecimentos Residenciais. In: PORTUGAL, L.S. (org.). **Polos Geradores de Viagens orientadas à qualidade de vida ambiental**: modelos e taxas de geração de viagens. Rio de Janeiro: Interciência, 2012.

GUEDES, Italo César Montalvão. **Influência da forma urbana em ambiente sonoro**: um estudo no bairro Jardins em Aracaju (SE). Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas, SP, 2005.

HANSON, D. I.; DONAVON, P.; JAMES, R. Tire/pavement noise characteristics for HMA pavements. **Journal of the Association of Asphalt Paving**. Technologists, v.74, p.1-38. 2005.

HARRIS, C. M. **Handbook of noise control**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, Inc.1979.

HINCUI, G. Computer assisted evaluation of traffic noise level. **Electronic Journal Technical Acoustics**, 19, 2003. Disponível em:<<http://webcenter.ru/~eeaa/ejta/>>. Acesso em: 9 de janeiro de 2013.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 1996/1**: Acoustics: Description and measurements of environmental noise. Part 1: Basic quantities and procedures, 1996/1. Suíça, 1982. 5p.

_____. **ISO 1996/2**: Acoustics: Description and measurements of environmental noise. Part 2: Acquisition of data pertinent to land use, 1996/2. Suíça, 1987. 7p.

_____. **ISO 1996/3**. Acoustics: Description and measurements of environmental noise. Part 3: Application to noise limits, 1996/3. Suíça, 1987. 3p.

_____. **ISO 9613/1**: Acoustics: Attenuation of Sound during Propagation Outdoors. Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere, 9613/1. Suíça, 1993.

_____. **ISO 9613/2**: Acoustics: Attenuation of Sound during Propagation Outdoors. Part 1: General method of calculation, 9613/2. Suíça, 1996.

_____. **ISO 140-5**: Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 5: Field measurements of airborne sound insulation of façade elements and façades. Genève, 1998.

INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. **Implantação de Conjuntos habitacionais**: Recomendações para adequação climática e acústica. São Paulo, 1986.

KATZCHNER, L. Urban climate studies as tools for urban planning and architecture. In: **Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído**, IV, 1997, Slavador. Anais... Slavador, p. 49-58. 1997

KRIER, R. **Teoria y Practica de los Espacios Urbanos**. Barcelona: Ed. Gustavo Gilli, 1985.

LAMBERTS, R.; SCHUCH, M.; MATSUO, C. A.; BUDAG, K. H.; GOULART, S.; DUTRA, L.; MENDES, N. **Analysis Bio**. Florianópolis, SC, 2003.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: PW, 1997.

LIMA, Eliana. Marinha permutou valiosos imóveis em Natal por novas construções. **Tribuna do Norte**, Natal, 28 ago. 2012. Disponível em: <<http://blog.tribunadonorte.com.br/abelhinha/marinha-permutou-valiosos-imoveis-em-natal/87434>>. Acesso em: 19 fev. 2013.

LOSSO, M.; VIVEIROS, E. Acoustics versus natural ventilation in Southern Brazilian educational buildings. PLEA – The 20th Conference on Passive and Low Energy Architecture, 2003. Santiago/ CHILE. In: **Anais do XX PLEA Santiago**. CD-ROM.

LONG, Marchall. **Architectural Acoustics**. Elsevier Academic Press. United States of America, 2006.

MALAFIA, Cristina; SANTOS, Maria Julia O.; SLAMA, Jules. Integração de Barreiras Acústicas no Contexto Urbano. In: Encontro Nacional e Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2005, Maceió / Alagoas. **Anais do Encontro Nacional e Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído**, 2005. p. 1107-1115.

MARCELO, C. B. **Sons e Formas**: As barreiras acústicas na atenuação do ruído na cidade. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2006.

MARCO, Conrado S. de. **Elementos de Acústica Arquitetônica**. São Paulo: Livraria Nobel S.A., 1982.

MARQUES, Ricardo Souza. **Ventilação e Prescrições Urbanísticas**: uma aplicação simulada para a Orla da Praia do Meio em Natal/RN. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PPGAU). Centro de Tecnologia. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2003. 128p.

MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT. Arrete du 30 mai 1996, relatif aux modalités de classement des infrastructures de transports terrestres et isolement acoustique des bâtiments d'habitation dans les secteurs affectés par le bruit. **Journal Officiel de la République Française**. pp. 9694 - 9696. 28-jun-1996.

MORAES, E. M. L. de. Poluição sonora em Belém – Brasil: identificação, caracterização e medidas de controle do ruído urbano. II Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento, Urbano, Regional, Integrado e Sustentável. In: **Anais do PLURIS 2006**, Portugal, 2006.

MÜLLER, Carolina. **Uma abordagem energética da propagação do som em espaços internos resfriados por ventilação natural**. Dissertação (mestrado em Engenharia Mecânica). COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Mecânica, 2006.

NIEMEYER, Maria Lygia Alves de. **Ruído urbano e arquitetura em clima tropical úmido**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro. RJ, 1998.

NIEMEYER, Maria Lygia Alves de. **Conforto acústico e térmico, em situação de verão, em ambiente urbano**: Uma Proposta Metodológica. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Engenharia de Produção, RJ, 2007.

NIEMEYER, M. L.; SLAMA, J. G. Ruído e a cidade: elementos do ruído urbano. In: RIO, V. D. (Org.). **Arquitetura: pesquisa & projeto**. São Paulo: Proeditores, Rio de Janeiro: FAU UFRJ, 1998. p. 76-89.

OITICICA, Maria Lucia Gondim da Rosa; BERTOLI, Stelamaris Rolla. Contribuição acústica de materiais absorvedores aplicados na parede da edificação de peitoris ventilados fabricados com materiais refletores. **Anais do XI ENCAC/ VII ELACAC**, Búzios- RJ, 2011.

OLIVEIRA, Rosa Maria Pinheiro de; VIANNA, Andrea de Albuquerque; BORGES, Amadja Henrique; TEIXEIRA, Rubenilson Brazão; SILVA, Heitor Andrade da. A sustentabilidade anda por um fio: instauração, retrocesso e perspectivas da reforma urbana em Natal. In: **Anais do Congresso Internacional Sustentabilidade e Habitação de Interesse Social**, Porto Alegre, 2010. Disponível em: <<http://www.joaobn.com/chis/Artigos%20CHIS%202010/054-B.pdf>> Acesso em: maio 2013.

PINTO, D. N.; ARAÚJO, B.C.D.; BRAGA, Nathália; CAMPOLINA, Matheus; SAVALI, Renato. Análise Bioclimática em Áreas Urbanas: Estudo comparativo no Bairro de Petrópolis, Natal/RN. **Anais do XI ENCAC/ VII ELACAC**, Búzios- RJ, 2011.

PINTO, F.; MARDONES, M. **Noise mapping of densely populated neighborhoods: example of Copacabana, Rio de Janeiro – Brazil**. Environmental Monitoring and Assessment. Vol. 155, 309-318, 2009.

PINTO, Francisco Ramos; GUEDES, Margarida Guedes; LEITE, Maria João. **Projecto-piloto de demonstração de mapas de ruído** - escalas municipal e urbana. Portugal: Instituto do Ambiente, 2004.

PREFEITURA MUNICIPAL DO NATAL. **Plano Diretor de Natal: Lei Complementar nº 082** de 21 de junho de 2007. Natal, 2007.

_____. SEMURB - Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Urbanismo. **Natal ontem e hoje**. Natal, 2006.

_____. SEMURB - Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Urbanismo. **Conheça melhor o seu bairro: Petrópolis**. Natal, 2008.

_____. SEMURB - Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Urbanismo. **Anuário Natal 2009**. Natal - RN. Departamento de Informação, Pesquisa e Estatística, 2009.

PRINZ, D. Tradução Luis Leitão. **Urbanismo 1: projecto urbano**. Lisboa: Presença, 1980.

RICHTLIEN FÜR DEN LÄRMSCHULTZ AN STRAßEN. **RLS - 90**. (Diretrizes para Proteção ao Ruído em Rodovias). Alemanha, 1990.

RIO GRANDE DO NORTE (Estado). **Lei nº. 6.621**, de 12 de julho de 1994. Dispõe sobre o controle da poluição sonora e condicionantes do meio ambiente no Estado do Rio Grande do Norte e dá outras providências. Assembleia Legislativa do Estado do Rio Grande do Norte, Palácio José Augusto, Natal, 1994.

_____. **Lei nº 8.052**, de 10 de janeiro de 2002. Altera a Lei nº 6.621, de 12 de julho de 1994. Palácio de Despachos de Lagoa Nova, Natal, 2002, 114º da República.

ROMERO, Marta Adriana Bustos. **A arquitetura bioclimática do espaço público**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2001.

SANTOS, Adriana Paula da Silva. **Estudo da eficácia na redução do ruído de tráfego em pavimentos drenantes**. Dissertação de Mestrado. Universidade do Minho. Escola de Engenharia. Portugal, 2007.

SANTOS, Carlos Nelson Ferreira dos; VOGEL, Arno. **Quando a rua vira casa: a apropriação de espaços de uso coletivo em um centro de bairro**. 3ª ed. São Paulo: Projeto FINEP/IBAM, 1985. 156p.

SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE – SIN/RN. **Plano Diretor de Transporte Metropolitano da Região Metropolitana do Natal-RN**. Natal, 2008.

SCHMID, Aloísio Leoni. **A idéia de conforto: reflexões sobre o ambiente construído**. Curitiba: Pacto Ambiental, 2005.

SILVA, A. C. F. S.; SOBRINHA, M. D. P. B. e CLEMENTINO, M. L. M. **Novas tipologias habitacionais perante a expansão do capital imobiliário-turístico em Natal, RN**. Cadernos Metrôpole 16, p. 141-162, 2º sem., 2006.

SILVA, E. B. V. **Evaluation of the Acoustical Performance os Louvre by impulse Response Analysis**. Tese Doutorado. POSMEC/UFSC. Florianópolis, 1998.

SILVA, Pérides. **Acústica Arquitetônica & Condicionamento de Ar**. 4a edição. Belo Horizonte: Edtal, 2002.

SOUSA, Nilberto Gomes de. **A forma no edifício residencial vertical em Natal: 1969 a 2000**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2005.

SOUZA, Rafaella Brandão Estevão de. **O som nosso de cada dia: análise do comportamento da acústica urbana a partir de modificações na forma urbana**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. CAC. Desenvolvimento Urbano, Recife, 2010.

SPECHT, L. P., KOHLER, R., KHATCHATOURIAN, O. A., & CALLAI, S. C. Avaliação do ruído causado pelo tráfego de veículos em diferentes rodovias. In: **Anais do XXI Anpet**, Rio de Janeiro, 2007.

VENTURA, A. N.; VIVEIROS, E.; COELHO, J. L. B.; NEVES, M. M. Uma contribuição para o aprimoramento do Estudo de Impacto de Vizinhança: a gestão do ruído ambiental por mapeamento sonoro. **XXII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica - SOBRAC**. Belo Horizonte: SOBRAC, 2008.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Résumé D'orientation Des Directives De l'oms Relatives Au Bruit Dans l'environnemental**, 2003. Disponível em: <<http://www.who.int/homepage/primers>>. Acesso em: mar. 2006.

_____. **Occupational and community noise**. Fact Sheet n. 258, 2001. Disponível em: <http://www.who.int/peh/Occupational_health/OCHweb/OSHpages/OSHDocuments/Factsheets/noise.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2013.

GUIDE DU BRUIT DES TRANSPORTS TERRESTRES

PREVISION DES NIVEAUX SONORES

Centre d'Études des Transports Urbaines (CERTU, 1980)

MÉTODO SIMPLIFICADO PARA ESTIMATIVA DO RUÍDO DAS VIAS**1 Introdução**

Este método simplificado foi desenvolvido de modo a permitir que se obtenha uma ordem de grandeza do nível sonoro promovido pelo tráfego de modo rápido e fácil.

Para facilitar o entendimento, foi projetado para permitir dois tipos de utilização: fórmulas ou ábacos de leitura direta. Aqui será apresentado apenas o exemplo com os ábacos, que tem o objetivo de permitir que um usuário obtenha uma estimativa muito simples e rápida dos níveis de ruído, sem fazer qualquer cálculo. É óbvio que essa utilização deve, contudo, ser precedida por uma estimativa correta de taxas representativas e será sujeita a uma incerteza razoável. Se os ábacos não derem o valor correspondente à situação estudada, torna-se necessário o uso de outras ferramentas.

2 Ábacos de leitura direta para vias em “U”**2.1 Fio condutor:**

O nível sonoro Leq a 2 metros das fachadas será obtido com a fórmula:

$$Leq = (L_{\text{fachada}}) + k_{VP} + k_h + k_v + k_c$$

Ábaco 1: dá, por leitura direta, o valor de (L_{fachada}) em função do fluxo total de veículos da via estudada e da largura entre as fachadas.

Ábaco 2: dá a correção dos veículos pesados (k_{VP}) em função da porcentagem destes veículos.

Ábaco 3: dá a correção da altura (k_h).

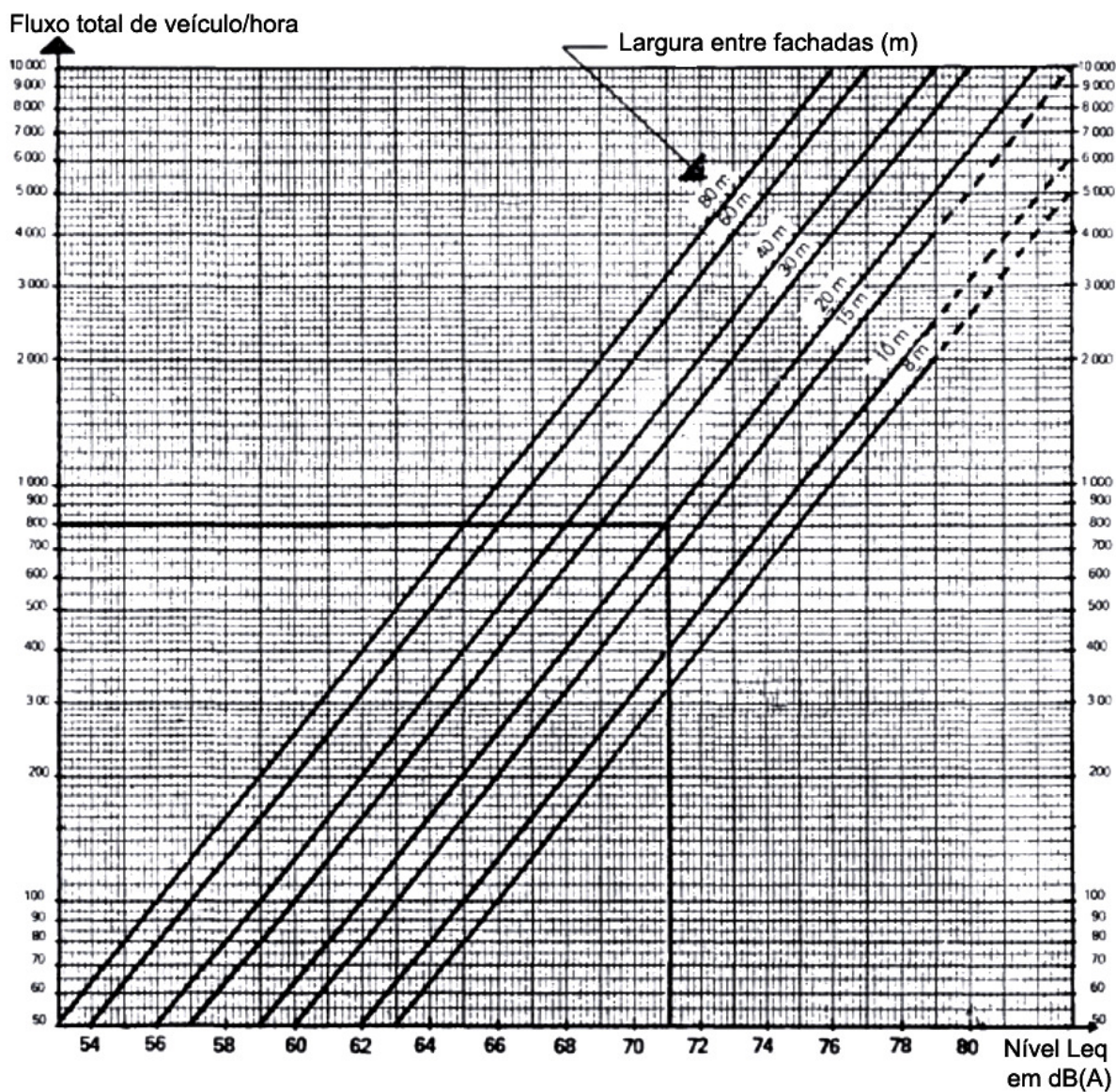
Ábaco 4: dá a correção do cruzamento (k_c).

A correção da velocidade (k_v) não foi objeto para elaboração de um ábaco por causa da sua simplicidade.

2.2 Nível na fachada:

O nível sonoro na fachada é dado pelo ábaco 1, em função:

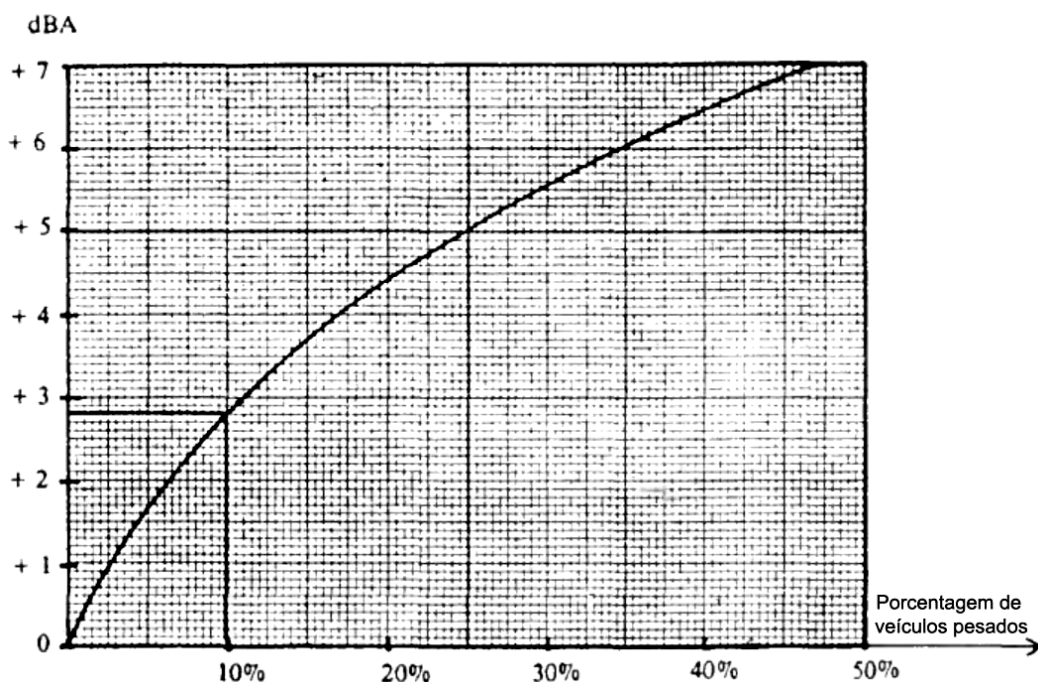
- Do fluxo total de veículos por hora;
- Da largura entre as fachadas, em metros.



Ábaco 1. Nível na fachada de uma rua em “U”.
Fonte: Adaptado de CERTU, 1980, p. 61.

2.3 Correção de veículos pesados:

Dá por leitura direta a correção K_{VP} em dB(A), que deve ser adicionado ao resultado, por levar em consideração a proporção de veículos pesados no fluxo.

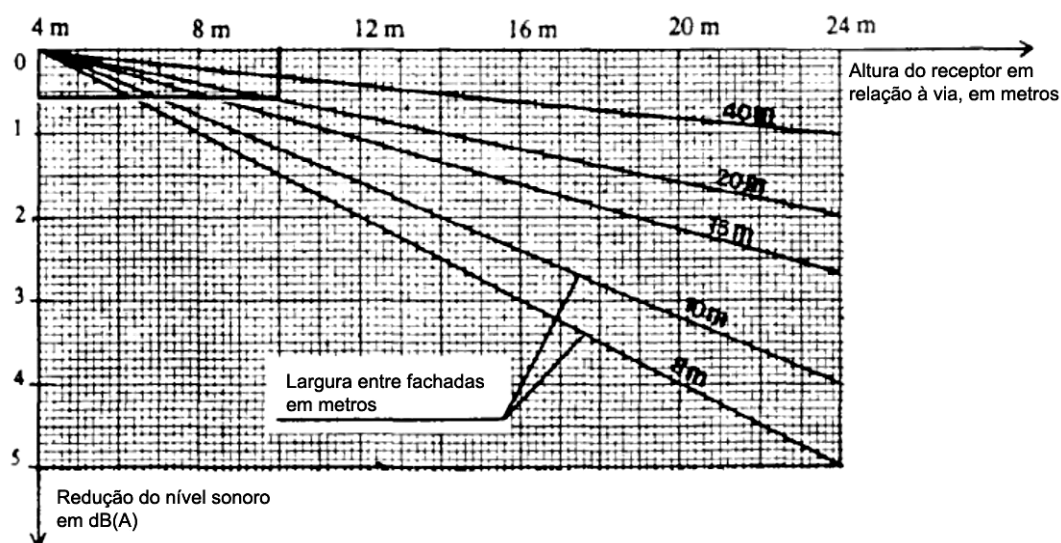


Ábaco2. Correção do peso para uma rua em "U".
 Fonte: Adaptado de CERTU, 1980, p. 62.

2.4 Correção da altura:

Dá por leitura direta a correção da altura K_h , que deve ser subtraído ao resultado, em função:

- Da largura entre fachadas, expressa em metros;
- Da altura do receptor em relação à via, em metros.

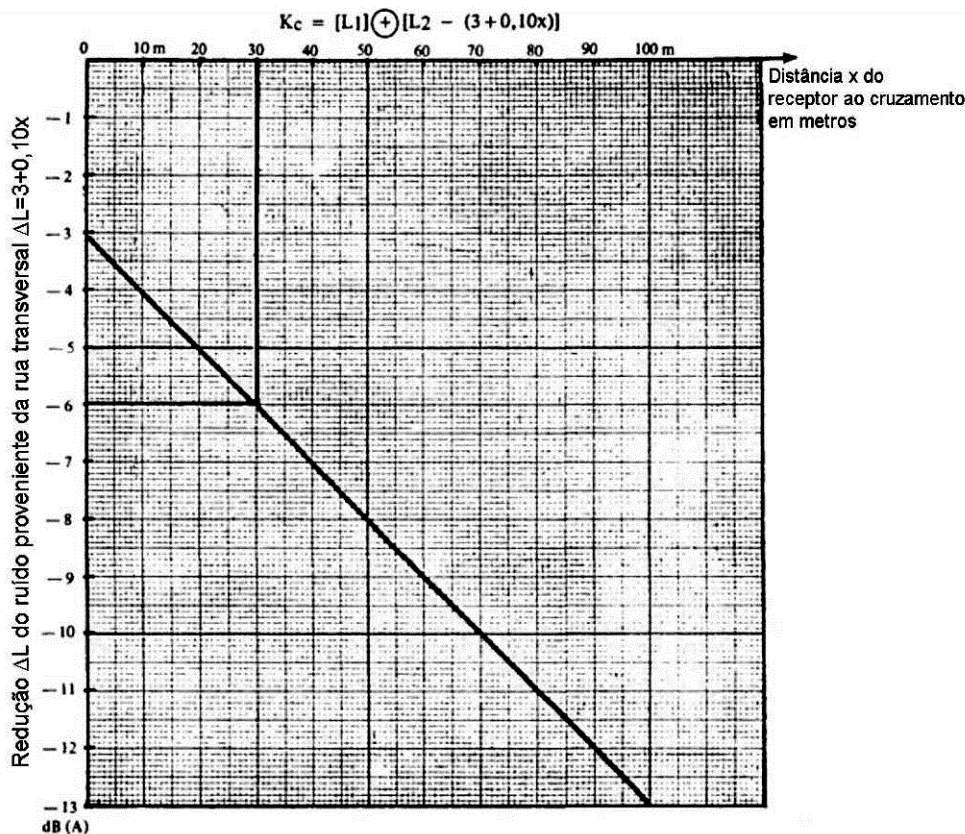


Ábaco3. Correção de altura de uma rua em "U".
 Fonte: Adaptado de CERTU, 1980, p. 62.

2.5 Correção de velocidade:

Adiciona-se 1 dB (A) para cada 10 km/h acima da velocidade base de 60 km/h.

2.6 Correção do cruzamento:



Ábaco 4. Correção do cruzamento.
 Fonte: Adaptado de CERTU, 1980, p. 63.

Na estimativa do valor ΔL é necessário subtrair o nível de ruído da via perpendicular (L_2) pela contribuição desta via determinada através da distância (x) do receptor R localizado na rua principal.

Exemplo de utilização:

Rua (1): $Leq(1) = 76 \text{ dB(A)}$

Rua (2): $Leq(2) = 74 \text{ dB(A)}$

Distância (x) da via perpendicular para o receptor localizado na via principal: 30m

Contribuição da Rua (2): $Leq(2) = 74 \text{ dB(A)} - 6 \text{ dB(A)} = 68 \text{ dB(A)}$

Nível Sonoro Resultante da soma das duas vias: $Leq(R) = 76 \text{ dB(A)} + 68 \text{ dB(A)} = 77 \text{ dB(A)}$

3 Ábacos de leitura direta para vias de tecido aberto

3.1 Fio condutor:

O nível sonoro Leq a 2 metros das fachadas será obtido com a seguinte fórmula:

$$Leq = (L_{fachada}) + k_{VP} + k_r + k_e$$

Ábaco 5: dá o valor de $(L_{fachada})$.

Ábaco 6: dá a correção dos veículos pesados (k_{VP}).

Ábaco 7: dá a correção de rampa (k_r).

Ábaco 8: Dá a correção da propagação finita (K_e).

3.2 Nível na fachada:

O nível sonoro na fachada é dado pelo ábaco 5, em função:

- Do fluxo do horário representativo;

- Do tipo de via, diferenciadas em:

Vias urbanas (velocidade inferior ou igual a 60 km/h)

Vias urbanas rápidas (velocidade aproximadamente igual a 80 km/h)

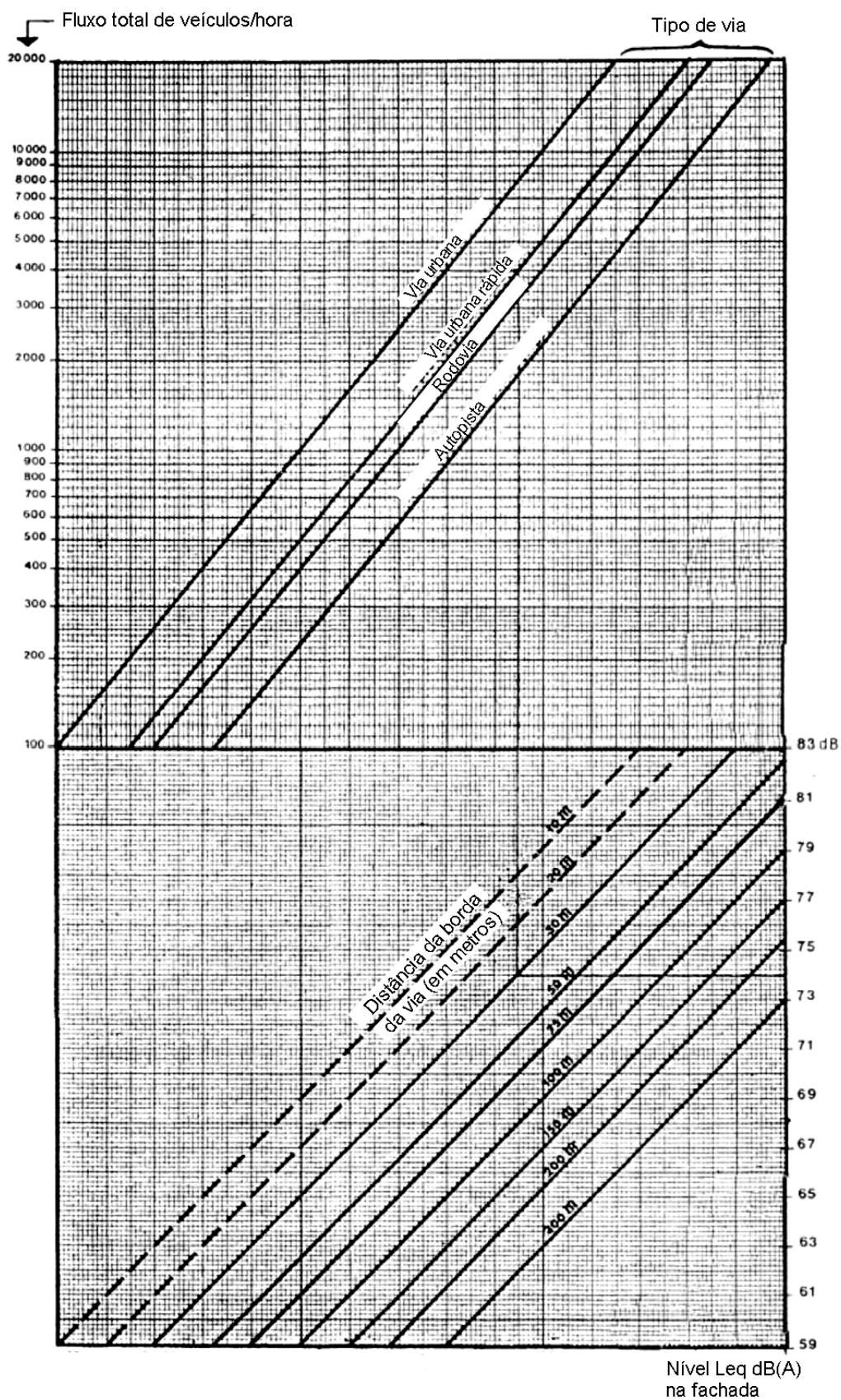
Rodovias (velocidade aproximadamente igual a 90 km/h)

Autopistas (velocidade aproximadamente igual a 120 km/h)

- Da distância da borda da via, em metros. É o que separa o ponto receptor localizado a 2m na frente de uma fachada da bora da plataforma (ou beira da estrada).

O $(L_{fachada})$ assim obtido é um Leq (8h - 20h) da média anual, a 2 metros na frente de uma fachada.

Para distâncias com mais de 200 m, estes valores não são indicados.



Ábaco 5. Nível Leq em fachadas em tecido aberto.
Fonte: Adaptado de CERTU, 1980, p. 72.

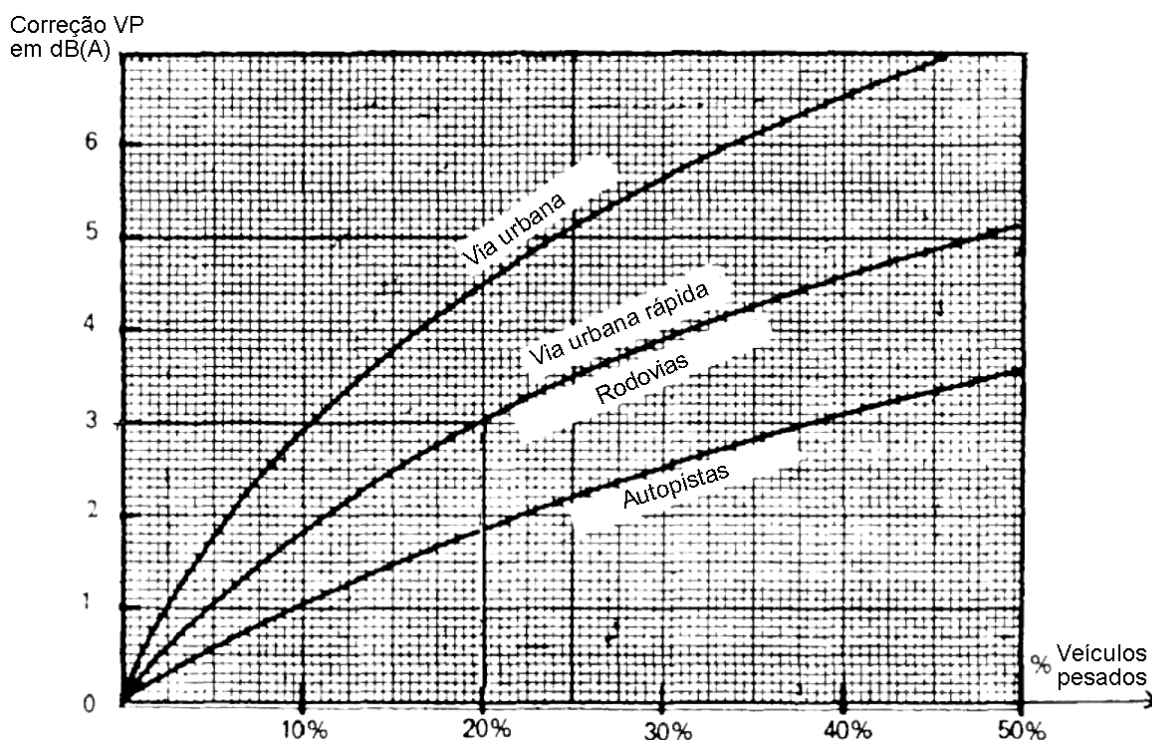
3.3 Correção de veículos pesados:

A correção dos veículos pesados K_{VP} , conforme especificado neste método de cálculo é baseado em duas variáveis:

- Da porcentagem de veículos pesados;
- Do tipo de via, que leva em conta a regularidade (ou fluxo) do tráfego e velocidades dos veículos.

Este gráfico é baseado na equivalência:

- Para vias urbanas locais: 1 Veículo Pesado (VP) = 10 Veículos Leves (VL);
- Para vias urbanas rápidas e rodovias: 1 PL = 7 VL;
- Para autopistas: 1 PL = 4 VL.



Ábaco 6. Correção de veículos pesados para uma via em tecido aberto.
Fonte: Adaptado de CERTU, 1980, p. 73.

3.4 Correção de rampa:

A correção da rampa é realmente um fenômeno mais complexo.

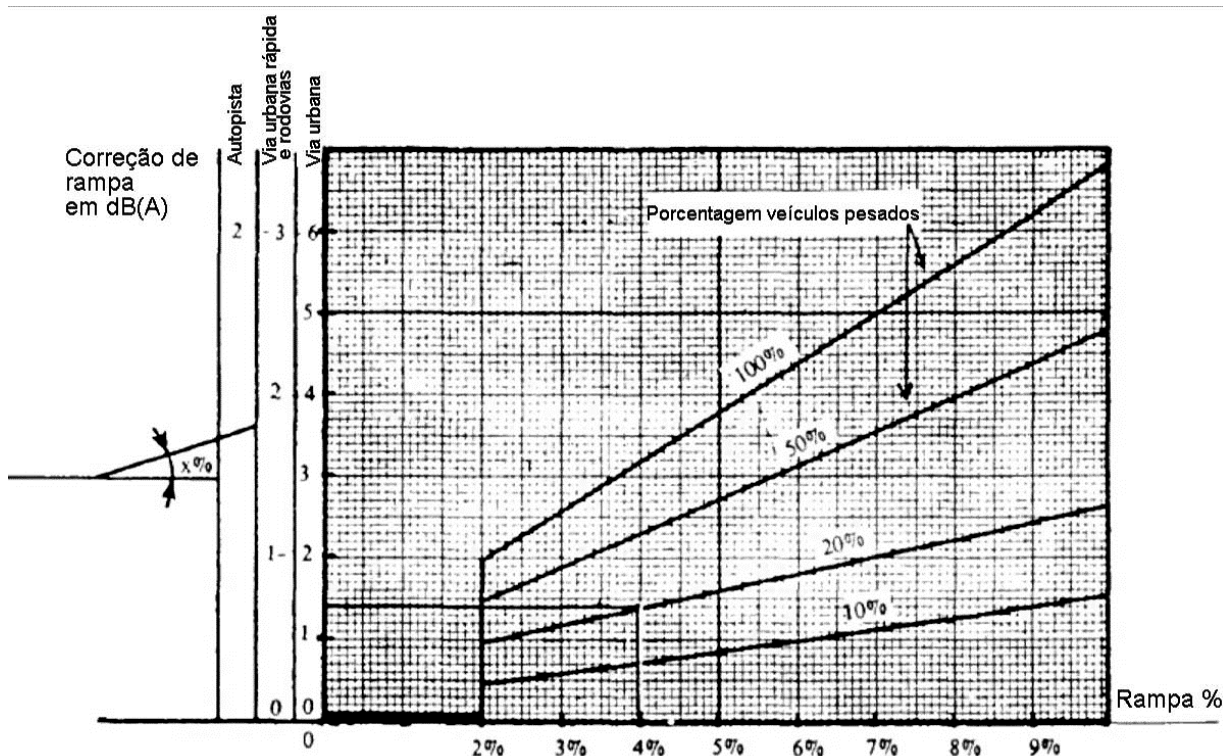
Para os veículos rápidos, uma rampa provoca na direção da subida uma ligeira diminuição na velocidade, às vezes, pela mudança da marcha. Portanto, ocorre forte mudança na rotação do motor.

No entanto, na direção para baixo, provoca um aumento na velocidade. Estes efeitos são equilibrados, podendo assumir que o Leq para veículos leves não é muito sensível para as rampas.

Para veículos pesados pelo contrário, a rampa apresenta os seguintes efeitos:

- Se a rampa for baixa, a velocidade diminui e não há nenhum aumento no nível do Leq, especialmente se a velocidade base da via for elevada, como nas autopistas;
- Se a rampa for grande (maior do que 2%), o Leq aumenta e o efeito da rampa se torna rapidamente significativo.

A correção da rampa vem a partir dessas considerações. Deve notar-se que esta correção é combinada com a equivalência dos veículos pesados apresentados no item 3.3 acima. Estas são as duas correções cumulativas.



Ábaco 6. Correção de rampa para uma via em tecido aberto.

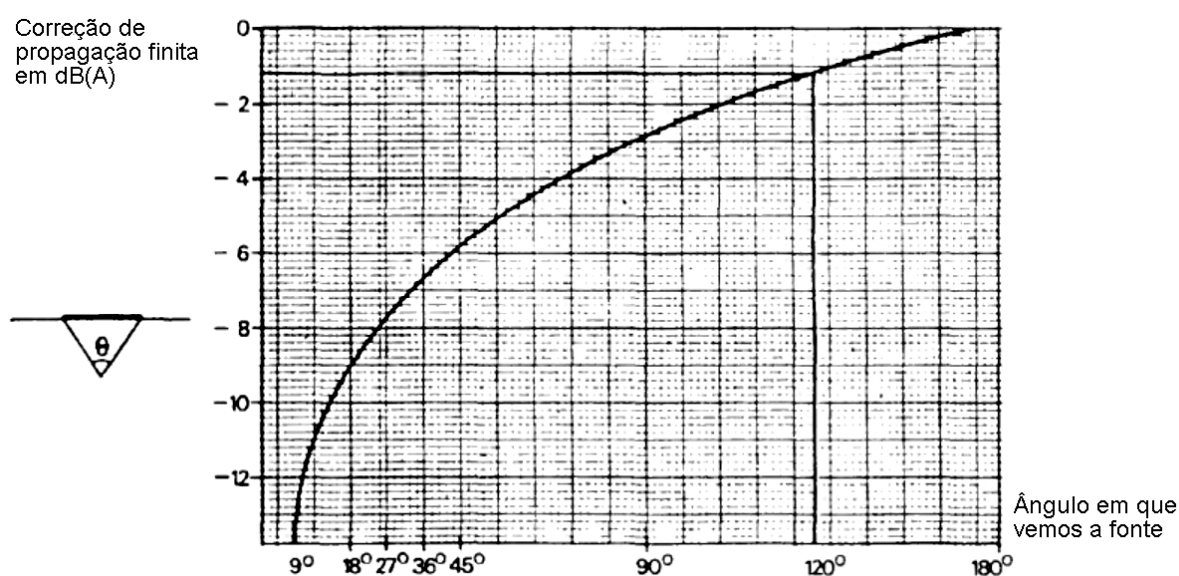
Fonte: Adaptado de CERTU, 1980, p. 74.

3.5 Correção de propagação finita:

A correção da propagação finita segue a seguinte fórmula: $ke = 10 \log \frac{\theta}{180^\circ}$

O ângulo entre o ponto de recepção e a via é dado por θ , em graus. Se o receptor na calçada, por exemplo, ver a estrada em 90° , então se subtrai 3 dB(A) para o resultado que seria obtido por uma visão com 180° .

Esse valor, que deve ser subtraído do resultado, pode ser obtido por leitura direta no ábaco 7:



Ábaco 7. Correção da propagação finita.
Fonte: Adaptado de CERTU, 1980, p. 74.