UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO – UFRJ

FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO

PROARQ – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura

Karina Scussiato Pimentel

HABITANDO O CASO

CONFORTO HIGROTÉRMICO E ACÚSTICO EM VAGÕES E *CONTAINERS* METÁLICOS E DIRETRIZES PARA ADEQUAÇÃO AMBIENTAL DE VAGÃO MORADIA EM CURITIBA/PR

RIO DE JANEIRO-RJ

Março de 2011

Karina Scussiato Pimentel

HABITANDO O CASO

CONFORTO HIGROTÉRMICO E ACÚSTICO EM VAGÕES E *CONTAINERS* METÁLICOS E DIRETRIZES PARA ADEQUAÇÃO AMBIENTAL DE VAGÃO MORADIA EM CURITIBA/PR

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura – PROARQ, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Arquitetura, área de concentração: Sustentabilidade, Conforto Ambiental e Eficiência Energética.

Orientadora: Profa.
Dra. Maria Lygia Alves de Niemeyer

Rio de Janeiro
Março de 2011

Karina Scussiato Pimentel

HABITANDO O CASO

CONFORTO HIGROTÉRMICO E ACÚSTICO EM VAGÕES E *CONTAINERS* METÁLICOS E

DIRETRIZES PARA ADEQUAÇÃO AMBIENTAL DE VAGÃO MORADIA EM CURITIBA/PR

Dissertação apresentada à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários para obtenção de título de Mestre em Arquitetura, área de concentração: Sustentabilidade, Conforto Ambiental e Eficiência Energética.

PROARQ, Março de 2011.

.....
Profa. Maria Lygia Alves de Niemeyer, D.Sc. – Orientadora

.....
Profa. Cristina Malafaia Caetano Stramandinoli, D. Sc.
Coordenadora do Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Gama Filho

.....
Profa. Giselle Arteiro Nielsen Azevedo, D. Sc. - PROARQ

.....
Prof. Marcos Martinez Silvoso, D.Sc. - PROARQ

Rio de Janeiro - RJ

Março de 2011

Pimentel, Karina Scussiato.

Habitando o caso. Conforto higrotérmico e acústico em vagões e *containers* metálicos e diretrizes para adequação ambiental de vagão moradia em Curitiba/PR. / Karina Scussiato Pimentel. – Rio de Janeiro: UFRJ / FAU, 2011.

xviii, 234f.: il.; 22cm.

Orientadora: Maria Lygia Alves de Niemeyer

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ PROARQ/ Programa de Pós-graduação em Arquitetura, 2011.

Referências bibliográficas: f. 204–213.

1. Arquitetura. 2. Conforto higrotérmico. 3. Conforto acústico. 4. Adequação Ambiental. 5. *Retrofit*. I. Niemeyer, Maria Lygia Alves de. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós-graduação em Arquitetura. III. Título.

“Ao término de um período de decadência sobrevém o ponto de mutação.
A luz poderosa que fora banida ressurge.
Há movimento, mas este não é gerado pela força...
O movimento é natural, surge espontaneamente.
Por essa razão, a transformação do antigo torna-se fácil.
O velho é descartado, e o novo introduzido.
Ambas as medidas se harmonizam com o tempo,
não resultando daí, portanto, nenhum dano.”

I Ching

AGRADECIMENTOS

“Em tempos em que quase ninguém se olha nos olhos,
em que a maioria das pessoas pouco se interessa pelo que não lhe diz respeito,
só mesmo agradecendo àqueles que percebem nossas descrenças, indecisões, suspeitas,
tudo o que nos paralisa, e gastam um pouco da sua energia conosco,
insistindo.”

Martha Medeiros

Sendo assim,

tenho o privilégio de agradecer:
À Professora orientadora Maria Lygia Alves de Niemeyer pela aceitação e por todo apoio recebido.
Aos membros da banca examinadora, pela disponibilidade e orientação.
Ao PROARQ, pelos profissionais disponíveis, pelo tempo de estudo e amizades construídas.
Aos meus pais, pelo crédito e ouvidos.
À minha irmã Stéphanie, pela ‘cavalaria’ e pelo Luciano.
À Luka, pela paciência e afeto.
A meus cães Tibério Graco e Caio Graco, pela lealdade e companheirismo.
À revisora, Profa. Dra. Maria Letícia Vianna, pela estratégia e tempo despendido.
Em especial, aos meus amigos leais que não estão mais aqui, por terem insistido.
E aos meus amigos leais que aqui estão, por continuarem a insistir.
Cada um sabe o motivo de estar nesta lista,
que apresento em ordem alfabética:
Aline Perdigão, Andréa Mengarda e Adilson,
Gilberto Miranda, Jarina Souza e Jussara Age,
Letícia Oliveira, Luciana Gandelman e Luiz Paulo Schiebel,
Maria Alice Sampaio e Maria Nadir Carvalho,
Paola Faoro, Tatiana Oliveira e Tânia Plugik.
A todos, muito, muito, muito obrigada!

RESUMO

A vivência de moradia da autora no *retrofit* de um vagão de trem metálico na cidade de Curitiba – PR, suscitou indagações acerca do conforto higrotérmico e acústico na habitação de espaços como este em climas subtropicais, levando à realização desta dissertação através da transformação da experiência em objeto de estudo. Este trabalho objetiva, especificamente, avaliar e analisar o conforto higrotérmico e acústico do vagão-moradia, apresentando diretrizes para sua adequação ambiental, priorizando o uso de materiais e equipamentos de baixo impacto no meio ambiente. O objetivo geral da pesquisa é subsidiar futuras intervenções para adequação de vagões e *containers* metálicos, entendendo que tais objetos quando reciclados, possam reduzir o impacto ambiental e a demanda por espaços de moradia.

PALAVRAS-CHAVE

Arquitetura; conforto higrotérmico; conforto acústico; adequação ambiental; *retrofit.*

ABSTRACT

The living and working experience of the author on the retrofit of a metallic train wagon in the city of Curitiba – PR – Brazil, has raised queries about the hygrothermal and acoustic comfort of such spaces in areas with a subtropical weather, and has shaped this dissertation by taking the author's experience as its main research subject. The specific goal of this work is to evaluate and analyze the hygrothermal and acoustic comfort of the home-office-wagon, establishing guidelines for adapting this space to the local weather conditions, emphasizing the use of low-impact building materials and equipment. The general goal of this research is to support future retrofit interventions on wagons and metallic containers, with the understanding that the recycling of such objects can help to reduce both the building impact on the environment and also the demand for housing solutions.

KEY WORDS

Architecture; hygrothermal comfort; acoustic comfort, environmental adequacy; *retrofit.*

SUMÁRIO

Apresentação 01
Introdução 03
A Tendência do *Retrofit* 04
O Problema 05
O Problema Higrotérmico 05
O Problema Acústico 05
Objetivos 06
Justificativa 06
1. Contextualização 09
1.1 Habitando o Caso 10
1.2 Conscientização dos Fenômenos 17
2. Fundamentação Teórica 20
2.1 As Questões do Morar 21
2.1.1 O Significado do Espaço e do Morar 23
2.1.2 A Dissolução do Lugar na Atualidade 26
2.1.3 Alguns Conceitos de Psicologia Ambiental 27
2.2 Retrofit de Vagões e *Containers* 30
2.2.1 Os Três "erres" 30
2.2.2 Vagões e *Containers* 32
2.2.3 Referências Inovadoras 36
2.2.3.1 Considerações Sobre as Referências Apresentadas 51
2.3 Conforto Ambiental em Espaços Habitados 52
2.3.1 Conforto Acústico 53
2.3.1.1 Necessidades Humanas 53
2.3.1.2 Conceitos Básicos 55
2.3.1.2.1 Onda Sonora 55
2.3.1.2.2 Frequência 56
2.3.1.2.3 Potência, Intensidade, Pressão 57
2.3.1.2.4 Audibilidade 59
2.3.1.2.5 A Escala Decibel 60
2.3.1.2.6 A Curva A dB(A) 60
2.3.1.2.7 Tempo de Reverberação 61
2.3.1.2.8 Tempo de Reverberação Ótimo 61

2.3.1.3 Limites de Conforto Acústico 61
2.3.1.4 Propagação Sonora 61
2.3.1.4.1 Transmissão 62
2.3.1.4.2 Reflexão 63
2.3.1.4.3 Absorção 64
2.3.1.5 Estratégias de Tratamento Acústico 65
2.3.1.5.1 Isolamento Acústico 66
2.3.1.5.2 Condicionamento Acústico 67
2.3.1.5.3 Roteiro para cálculo do Tempo de Reverberação 68
2.3.1.6 Propriedades Acústicas dos Materiais 70
2.3.1.6.1 Materiais de Isolamento 71
2.3.1.6.2 Materiais de Absorção 74
2.3.1.7 Controle do Ruído em Espaços Externos 78
2.3.2 Conforto Higrotérmico 85
2.3.2.1 Necessidades Humanas 85
2.3.2.2 Troca de Calor Homem Ambiente 86
2.3.2.2.1 Condução 87
2.3.2.2.2 Convecção 87
2.3.2.2.3 Radiação 88
2.3.2.2.4 Evaporação 89
2.3.2.3 Limites de Conforto 90
2.3.2.3.1 Equação Balanço Térmico 90
2.3.2.4 Estratégias de Conforto Higrotérmico 91
2.3.2.4.1 Controle de Radiação Solar 92
2.3.2.4.2 Ventilação 95
2.3.2.4.2.1 Ventilação no Edifício 96
2.3.2.4.2.2 Ventilação no Meio Urbano 100
2.3.2.4.2.3 Escala de Beaufort 103
2.3.2.5 Propriedades Térmicas dos Materiais 104
2.3.2.5.1 Fechamentos Transparentes 107
2.3.2.5.2 Fechamentos Opacos 115
2.3.2.6 Tratamento Paisagístico 118
2.3.3 Clima 121
2.3.3.1 O Clima Subtropical da Cidade de Curitiba 122
2.4 Materiais de Construção Alternativos e de Baixo Impacto Ambiental 124
2.4.1 Lã de PET 125
2.4.2 Espuma Poliuretana à Base de Óleo de Mamona 126

2.4.3 Casca de Arroz Aglomerada com Cimento ou Gesso 127
2.4.4 Blocos Cerâmicos Vazados 127
2.4.5 E.V.A. (Ethylene Vinyl Acetate) 128
2.4.6 Fibra de Coco 129
2.4.7 Manta de Pneu Reciclado 130
3. Métodos e Procedimentos 134
3.1. Avaliação de Conforto Higrotérmico e Acústico 135
3.2. Área de Estudo 136
3.3. Condicionantes Climáticas 141
3.4. Insolação 145
3.5. Medição da Temperatura 150
3.6. Registro de Níveis de Pressão Sonora 154
3.7. Medição do Ruído 156
4. Análise de Resultados e Diretrizes de Adequação 163
4.1. Avaliações de Conforto Higrotérmico 164
4.1.1. Gráficos de Insolação 164
4.1.2. Tabelas de "Medição de Temperatura" 169
4.1.3. Análise dos Resultados 180
4.2. Avaliações de Conforto Acústico 182
4.2.1 Resultado das Medições 182
4.2.2 Análise dos Resultados 183
4.3. Diretrizes de Projeto para Adequação Ambiental 185
4.3.1. Diretrizes de Projeto para Adequação Ambiental do Estudo de Caso 187
4.3.1.1. Implantação 188
4.3.1.2. Arquitetura do Vagão/Materialidade 189
4.3.1.3. Propostas de Adequação Ambiental 191
4.3.1.3.1. Propostas de Adequação Ambiental Higrotérmica 193
4.3.1.3.2. Propostas de Adequação Ambiental Acústica 193
4.3.1.3.3. Propostas de Adequação Higrotérmica e Acústica 194
4.3.2. Diretrizes de Projeto para Adequação Ambiental de Vagões e *Containers* 195
5. Considerações finais 199
4.1. Considerações finais técnicas 200
5.1. Considerações finais poéticas 201
6. Bibliografia 204
Anexos 214

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1 Localização do vagão no terreno e relação com o entorno, sobre foto aérea 10
1.2 Elevação frontal, mostrando o gradil e portões de acesso ao terreno 11
1.3 O saguão interno não dividido e visto da porta da frente 12
1.4 O saguão interno visto da porta dos fundos 13
1.5 Uma das cabines de banheiro adaptada para vaso sanitário e pia original do vagão 14
1.6 A outra cabine de banheiro adaptada para chuveiro e pia com armário 14
1.7 Garagem embaixo do vagão, lavanderia à parte e à direita, área livre em primeiro plano 14
1.8 Vista do *deck* no final do vagão olhando para cima, paineira e caixa d'água 15
1.9 Vista dos trilhos da linha férrea em primeiro plano, e o vagão ao fundo 16
1.10 Vista geral da rua 18
2.1 Exemplos de mapas mentais elaborados por usuários do Parque Guinle, RJ. 27
2.2 Vista aérea dos vagões em Aquidauana. 32
2.3 Detalhe da sucata de vagões em Aquidauana. 32
2.4 Vagão *Birminghan Ry Car Wagon* para passageiros 2º classe. 33
2.5 Embarque de carros de passageiros para o Brasil entre 1950 e 1951. 34
2.6 Carro poltrona para 60 passageiros. 35
2.7 Carro dormitório casal com banheiro. 35
2.8 Carro Correio *(MSC-Mail Storage Car).* 35
2.9 Perspectiva geral do projeto original do Museu Estação Natureza- São Paulo SP. 37
2.10 Estação Natureza/SP, sistema complementar de energia solar fotovoltaica. 38
2.11 "Vagões" finais da Estação Natureza/São Paulo. 39
2.12 Situação de Inverno Projeto"Habitando o *Container*" – Pelotas/ RS. 41
2.13 Situação de Verão Projeto"Habitando o *Container*" – Pelotas/ RS. 41
2.14 Vagão da Cultura do Ceará (CEART): Antes. 42
2.15 Vagão da Cultura do Ceará (CEART): Depois. 42
2.16 Centro Pedagógico em Santa Cruz do Sul / RS. 43
2.17 As "escolas-de-lata". 44
2.18 *Student Housing Project Keetwonem* na Holanda. 45
2.19 *Splits* na parte superior de alojamentos estudantis na Holanda 45
2.20 Vista externa do *Village Underground* em Londres. 46
2.21 Vista externa do *Village Underground* em Londres. 47
2.22 Vista interna do *Village Underground* em Londres. 47
2.23 Vagões da pousada descobertos, em pesquisa de Agosto de 2009. 48

2.24 Vagões da pousada já com cobertura de proteção. 48
2.25 Gerldstrasse / Zurich. 49
2.26 Presídio em Novo Horizonte/ ES. 50
2.27 Zonas de audibilidade. 57
2.28 Curvas de mesmo nível de audibilidade para tons puros(adaptada da ISSO 226). 59
2.29 Propagação sonora. 62
2.30 Reflexão sobre uma superfície plana. 63
2.31 À direita uma superfície côncava, à esquerda uma superfície convexa. 64
2.32 Ábaco para Tempo de Reverberação Ideal (NBR 12179/1992) 70
2.33 Perda na transmissão média de paredes duplas com diferentes distâncias entre painéis montados em caibros independentes. 72
2.34 Esquema de um piso flutuante. 73
2.35 Desenho detalhado do Ressonador de Helmholtz. 75
2.36 Painéis Ressonantes. 76
2.37 *Baffles* suspensos. 77
2.38 Região de reflexão e de Sombra Acústica. 81
2.39 Região de reflexão em configuração côncava. 81
2.40 Influências na recepção sonora. 82
2.41 Paredões de fachadas paralelas. 83
2.42 Influência do desenho geométrico das fachadas. 84
2.43 Distribuição da irradiância Solar Recebida pela Terra. 93
2.44 A radiação incidente nos espaços construídos. 95
2.45 Ação dos ventos: ventilação com correntes cruzadas. 97
2.46 Efeito chaminé ou termossifão. 97
2.47 Ventos e pressão. 98
2.48 Caso com vento e sem corrente cruzada. 99
2.49 Criação de obstáculos para ocorrência da ventilação cruzada. 99
2.50 Efeito barreira ou muralha. 100
2.51 Efeito pilotis. 101
2.52 Efeito Venturi. 101
2.53 Praças sem ventos. 102
2.54 Estudo das diferenças de pressão atmosférica e localização de aberturas. 102
2.55 Esquema explicativo do fenômeno da inércia térmica de uma parede real (q2) e de uma parede fictícia de peso nulo (q1). 106
2.56 Esquema do comportamento da radiação ao incidir em uma superfície transparente. 108
2.57 Esquema do comportamento da radiação ao incidir em uma superfície translúcida. 108
2.58 Transmissão da energia solar para os vidros: comum (a), reflexivo (b) e absorvedor de calor (c). 114

2.59 Trocas de calor através de paredes opacas. 116
2.60 Efeito regulador da vegetação nas radiações. 119
2.61 Influência da vegetação caduca na insolação. 120
2.62 Ilustração do caricaturista Dalton Tiepolo para Curitiba. 124
2.63 Gráfico 'Teste de Acústica' da lã de PET tipos 'A', 'B', 'C' e 'D'. 126
2.64 Manta de borracha de pneu reciclado com 5mm de espessura 131
2.65 Representação esquemática das características do piso ensaiado 132
2.66 Valores de nível de pressão sonora de impacto padronizado 133
3.1 O entorno imediato do terreno onde está inserido o vagão. 136
3.2 Distância lateral do vagão até o alinhamento predial com o vizinho=80cm. 137
3.3 Identificação da angulação do terreno em relação ao Norte. 138
3.4 Identificação das fontes sonoras em relação ao vagão-moradia. 140
3.5 Geração da Rosa dos Ventos de Curitiba pelo Programa Sol-Ar 6.2. 141
3.6 Situação, Implantação e Corte Longitudinal Esquemáticos do vagão no terreno. 143
3.7 Situação, Implantação e Corte Longitudinal Esquemáticos do vagão no terreno. 143
3.8 Carta Bioclimática de Curitiba. 144
3.9 Percurso do Sol nos Solstícios de Inverno e Verão em Curitiba. 146
3.10 Geração da Carta Solar de Curitiba. 147
3.11 Estudo do período diário de insolação para todas as elevações/Elevação 1. 148
3.12 Estudo do período diário de insolação para todas as elevações/Elevação 2. 148
3.13 Estudo do período diário de insolação para todas as elevações/Elevação 3. 148
3.14 Estudo do período diário de insolação para todas as elevações/Elevação 4. 148
3.15 Configuração no Programa Sketch-Up Versão 8, para a cidade de Curitiba e de acordo com as Estações Climáticas. 149
3.16 Seleção dos pontos de medição da temperatura. 150
3.17 Identificação dos termômetros. 151
3.18 Imersão dos termômetros no recipiente com gelo fundente a 1°C. 152
3.19 Instalação interna dos termômetros. 153
3.20 Instalação externa dos termômetros. 153
3.21 Localização dos pontos de medição em planta. 155
3.22 Localização dos pontos de medição em corte. 155
3.23 Reação comunitária em função do Ldn. 158
3.24 Porcentagem de pessoas severamente pertubadas pelo ruído de tráfego veicular e aéreo (%HA)versus Ldn, em diversas localidades dos Estados Unidos e Europa, inclusive Londres, Paris e Munique. 159
4.1 Outono 21.03.2010 às 06:20h – visão Leste. 165
4.2 Outono 21.03.2010 às 09:00h – visão Leste. 165

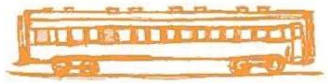
4.3 Outono 21.03.2010 às 12:00h – visão Leste. 165
4.4 Outono 21.03.2010 às 15:00h – visão Leste. 165
4.5 Outono 21.03.2010 às 18:18h – visão Leste. 165
4.6 Inverno 22.06.2010 às 06:00h – visão Leste. 166
4.7 Inverno 22.06.2010 às 09:00h – visão Leste. 166
4.8 Inverno 22.06.2010 às 12:00h – visão Leste. 166
4.9 Inverno 22.06.2010 às 12:30h – visão Oeste. 166
4.10 Inverno 22.06.2010 às 15:00h – visão Leste. 166
4.11 Inverno 22.06.2010 às 18:00h – visão Leste. 166
4.12 Primavera 23.09.2010 às 06:05h – visão Leste. 167
4.13 Primavera 23.09.2010 às 09:00h – visão Leste. 167
4.14 Primavera 23.09.2010 às 12:00h – visão Leste. 167
4.15 Primavera 23.09.2010 às 15:00h – visão Leste. 167
4.16 Primavera 23.09.2010 às 16:00h – visão Oeste. 167
4.17 Primavera 23.09.2010 às 18:00h – visão Leste. 167
4.18 Verão 22.12.2010 às 06:00h – visão Leste. 168
4.19 Verão 22.12.2010 às 09:00h – visão Leste . 168
4.20 Verão 22.12.2010 às 12:00h – visão Leste. 168
4.21 Verão 22.12.2010 às 15:00h – visão Leste. 168
4.22 Verão 22.12.2010 às 15:00h – visão Oeste. 168
4.23 Verão 22.12.2010 às 18:00h – visão Leste. 168
4.24 Verão 22.12.2010 às 16:50h – visão Sul 169
4.25 Visão aérea da implantação do vagão no terreno. 188
4.26 Corte transversal esquemático completo do vagão e do terreno atualmente. 190
4.27 Corte transversal esquemático ampliadodo vagão 190
4.28 Foto dos difusores centrais. 191
4.29 Foto das venezianas metálicas das janelas. 191
4.30 Corte transversal esquemático e parcial proposto para o vagão moradia. 192
4.31 Corte transversal esquemático da base de concreto e rodados metálicos que sustentam o vagão. 194

ÍNDICE DE TABELAS

2.1 Relação entre Pressão Sonora, Nível de Pressão Sonora (NPS) e a impressão subjetiva provocada por alguns ruídos típicos. 58
2.2 Os tipos de solos. 80
2.3 Valores de Albedo. 94
2.4 Escala de Beaufort. 103
2.5 Valores de Fator Solar (FS) para diferentes tipos de vidro. 110
2.6 Transmissão da radiação nos intervalos: ultravioleta, visível e infravermelho. 111
2.7 Transmitância à radiação solar e coeficiente de sombreamento para diferentes tipos de vidro. 113
2.8 Valores de Coeficientes de Absorção (α) e Emissividade (ε). 117
2.9 Valores de Coeficientes de Absorção da Radiação Solar (α), específico de pintura. 117
2.10 Tabela critério e nível de pressão sonora de impacto padronizado ponderado 132
3.1. Distribuição das estratégias bioclimáticas para Curitiba, em %. 145
3.2 Estudo da insolação na Elevação 1 de acordo com as Cartas Solares. 148
3.3 Aferição dos Termômetros. 153
3.4 Ajustes de temperaturas entre os termômetros. 153
3.5 Nível-critério de avaliação para ambientes externos, em dB(A). 160
3.6 Níveis de pressão sonora máximos, divididos em períodos do dia, estabelecidos conforme a Lei 10.625 e o Zoneamento em Curitiba. 161
3.7 Níveis sonoros para conforto acústico. 162
4.1 Data: 04 de Novembro de 2010. 170
4.2 Data: 05 de Novembro de 2010. 171
4.3 Data: 06 de Novembro de 2010. 172
4.4 Data: 07 de Novembro de 2010. 173
4.5 Data: 08 de Novembro de 2010. 174
4.6 Data: 09 de Novembro de 2010. 175
4.7 Data: 10 de Novembro de 2010. 176
4.8 Data: 11 de Novembro de 2010. 177
4.9 Data: 12 de Novembro de 2010. 178
4.10 Data: 13 de Novembro de 2010. 179
4.11 Relação entre valores medidos e níveis permitidos pela Lei 10.625/ para ZR3, em dB(A). 183

ÍNDICE DE FÓRMULAS

2.1 Fórmula de Sabine. 69
2.2 Fórmula de Eyring 69
2.3 Equação do Balanço Térmico 90



HABITANDO O CASO

CONFORTO HIGROTÉRMICO E ACÚSTICO EM VAGÕES E *CONTAINERS* METÁLICOS E DIRETRIZES PARA ADEQUAÇÃO AMBIENTAL DE VAGÃO MORADIA EM CURITIBA/PR

A P R E S E N T A Ç Ã O

APRESENTAÇÃO

"Queres ser universal? Fale sobre a sua aldeia".
Aleksandr Puchkin

A recorrente atribuição à Liev Tolstói da assertiva acima é, uma meia verdade. Tolstói a citava frequentemente. Mas, o autor da frase, Aleksandr Puchkin, e Tolstói sabia disso, foi o maior poeta, prosador e dramaturgo russo de todos os tempos.

Reza a história que um jovem e promissor escritor russo procurara Púchkin, de quem se tornara amigo, com o seguinte dilema: como fazer com que um romance se tornasse universal? Ao que Púchkin respondeu com a tal assertiva. O escritor foi pra casa e escreveu o seu romance. O nome do escritor era Nikolai Gogol e o título do romance: Almas Mortas, uma obra-prima da literatura universal.

O objeto de estudo de caso no presente trabalho é um vagão de trem metálico adaptado para moradia da autora desta dissertação que, após a logística de transporte e implantação da estrutura em um terreno próprio, recorreu ao *retrofit*[1] do vagão, adaptando-o para as funções de casa e escritório particulares.

Em decorrência do desconforto higrotérmico e acústico, vivenciado logo nos primeiros meses de habitação nesta estrutura alternativa, surgiram questionamentos em relação às soluções que resolveriam estes problemas de conforto, o que acabou levando a buscar capacitação para resolvê-los, através do desenvolvimento desta dissertação de Mestrado, na área de Conforto Ambiental, tendo como objeto de estudo o vagão-residência-escritório.

Habitando o caso, título final escolhido, deve-se ao fato da autora 'habitar o caso' e fazer um 'estudo' sobre ele.

> A arquitetura não é desconhecida para os animais: o buraco da minhoca, a galeria da formiga, a colméia da abelha [...] a choça do gorila, a casa, a torre do castelo, o templo e o palácio, todos satisfazem a mesma necessidade, infinitamente diversificada. Uma lei comum pode ser introduzida a partir destes, e esta é a lei da adaptação. A utilidade é a base de qualquer estética arquitetônica [...] O indivíduo habita da mesma forma que se veste [...] para defender-se da inclemência e hostilidade que o rodeiam [...] (LEFÈVRE, A., *apud* RYKWERT, 2003)

[1] RETROFIT: *Retro* (do Latim) = movimentar-se para trás; *fit* (do inglês) = adaptação, ajuste. Processo de modernização de algum equipamento já considerado ultrapassado ou fora de norma. Atualização tecnológica de um elemento ou espaço. Adicionar nova tecnologia ou características a sistemas antigos.

INTRODUÇÃO

A TENDÊNCIA DO *RETROFIT*

O aquecimento global é um fato científico comprovado e, a necessidade da aplicação de soluções mais sustentáveis está cada vez mais evidente na nossa vida cotidiana.

A construção civil detém um potencial importante na melhoria do conforto ambiental e da eficiência energética. Os profissionais da construção não estão alheios a esta situação e tendem, principalmente nos setores ligados à economia de energia, a desenvolver projetos, criações, estudos e idéias diversas que busquem poupar recursos e elevar o nível de conforto ao usuário final na sua habitação e no seu trabalho.

No setor da construção civil, a sustentabilidade é um conceito complexo e multidisciplinar que envolve vários agentes até resultar na implementação de um edifício eficiente na utilização dos recursos disponíveis, atendendo aos conceitos de eficiência energética e baixo impacto ambiental.

A grande maioria dos materiais metálicos, dados como sucata ou inservíveis e expostos ao tempo em ferros-velho, depósitos ao ar livre, pátios, portos etc., acabam tendo um reuso mínimo, com certas frações “canibalizadas” para outras estruturas, com a mesma função anterior ou usadas para pequenos reparos. A grande fração, descartada do todo, impacta o meio ambiente de forma negativa pela emissão de substâncias nocivas produzidas pela sua decomposição, ocupando áreas consideráveis e promovendo a continuidade da extração de matérias-prima na natureza para novas construções. Uma tendência atual da arquitetura é a reciclagem de materiais, que resulta em economia tanto financeira quanto ambiental.

Englobado nos conceitos de sustentabilidade surge o termo *retrofit*, que tem sido amplamente empregado com o sentido de renovação e de atualização, mantendo as características intrínsecas do bem. Não se trata de reconstrução ou de restauração, mesmo estando aliado ao conceito de preservação da memória e da história.

A prática do *retrofit,* bastante utilizada nos Estados Unidos, surgiu e foi desenvolvida na Europa, onde ocupa importância crescente devido à enorme quantidade de edifícios antigos e históricos. Objetiva uma solução que preserve o patrimônio histórico e arquitetônico ao mesmo tempo em que permite a utilização adequada e atualizada da propriedade. O desafio enfrentado não é somente manter a presença, atualizar o edifício e/ou ampliar sua vida útil, mas é também minimizar custos com novas construções, evitar demolições, diminuir despesas com manutenção, reciclar e ampliar as possibilidades de uso, inserir novas tecnologias e materiais contemporâneos, buscar eficiência energética, conforto, segurança e funcionalidade para o usuário. O *retrofit* deve perseguir os conceitos de sustentabilidade em ambientes já construídos e/ou previamente existentes, mesmo que com funções distintas das desejadas. Deve ser ainda, uma ferramenta profissional que possibilite a manutenção do passado no presente e de forma sustentável.

Vagões e *containers* apresentam potencial para *retrofit*, porém, no Brasil, ainda não existe tradição para a reciclagem e o reuso de tais estruturas metálicas como moradia ou ambiente de trabalho. Uma das possíveis causas disso é o mau desempenho do ponto de vista do conforto ambiental apresentado em algumas iniciativas pioneiras. De fato, casos positivos no reuso destas estruturas, utilizam sistemas de melhoria de conforto higrotérmico e acústico.

O PROBLEMA

A função de uma ‘casa’, escreveu Le Corbusier, é proporcionar: “1. Proteção contra o calor, o frio, a chuva, ladrões e curiosos. 2. Um receptáculo de luz e de sol. 3. Um determinado número de células apropriadas para cozinhar, trabalhar e ter uma vida pessoal.” (DE BOTTON, 2007 e FRAMPTON, 2001).

O problema é que, a estrutura metálica reciclada e adaptada, apesar de oferecer proteção contra a chuva e ladrões, não oferece proteção contra o calor e o frio (sensações estas até mesmo agravadas), nem ao ruído, tampouco em relação aos curiosos. O vagão, objeto deste estudo de caso, é um receptáculo de luz e de sol que, apesar de possuir ambientes adaptados apropriados para cozinhar, trabalhar e ter uma vida pessoal, precisava ser melhorado.

O PROBLEMA HIGROTÉRMICO

As temperaturas no interior da estrutura, que aumentam no verão chegando a totalizar números mais altos que os do exterior e no inverno caem bruscamente, chegando a medir valores ainda mais baixos que os do exterior. As variações de temperatura ocorrem bruscamente e, muitas vezes, no curto espaço de um dia, gerando desconforto tanto em relação ao calor quanto ao frio.

Curitiba é bastante fria no inverno e relativamente quente no verão. As temperaturas externas podem variar de forma extrema em períodos curtos, até em um mesmo dia.

O interior do vagão aquece demais com a incidência solar durante o dia, chegando, em pouco tempo de exposição, a apresentar temperaturas superiores às observadas no ambiente externo. À noite, ou tão logo se dê o pôr-do-sol, o comportamento térmico do vagão é o inverso: as temperaturas caem rapidamente, praticamente igualando-se aos termômetros externos.

Ou seja: a envoltória do vagão, sua ‘casca metálica’, não é capaz de absorver as variações térmicas de maneira que o interior habitável esteja protegido de situações extremas de frio ou de calor.

O PROBLEMA ACÚSTICO

No que tange às questões acústicas, Belojevic & Jakovlevic (1997), Maschke (1999) e Babish et al (1999) apontam alguns efeitos da ação do ruído em populações urbanas: irritabilidade, baixa concentração, insônia e dor de cabeça. Todas as pessoas que fazem parte do subgrupo ‘incomodados pelo ruído urbano’ confessaram apresentar pelo menos um dos efeitos acima relatados, predominando a irritabilidade e a baixa concentração.

Logo à frente do terreno onde foi implantado o vagão existe a antiga linha ferroviária urbana que corta a cidade. A passagem dos comboios, e o acionamento dos ‘silvos de alerta’ nas passagens de nível, várias vezes durante o dia e a noite, são causa de desconforto auditivo e físico através da transferência via solo de vibrações roda-trilho do comboio para o vagão habitado, ocasionando descontinuidade nos trabalhos, interrupção do sono, irritabilidade etc. O ruído em dias de chuva ainda é elevado devido ao impacto da água sobre o teto metálico.

Além dos comboios de vagões que trafegam na ferrovia local e o acionamento dos silvos de alerta ocorridos frequentemente nas passagens de nível, outras fontes sonoras, como as pessoas que circulam na calçada e ciclovia e o tráfego de veículos nas vias do entorno, configuram o ruído ambiental**.** Por exemplo, quando um comboio percorre a linha férrea, torna-se praticamente impossível falar ao telefone. Além do mais, a chapa metálica transmite para o interior o ruído produzido pelo impacto da chuva de água ou de granizo ou mesmo por pássaros sobre o teto do vagão. O ruído externo também penetra através dos vãos de ventilação, janelas, respiros para exaustão do ar e pelas portas de acesso.

Devido à fragilidade acústica do fechamento em chapa metálica o espaço interno é muito suscetível às ocorrências externas.

OBJETIVOS

O objetivo específico deste trabalho é avaliar e analisar o conforto térmico e acústico do objeto de estudo, apresentando diretrizes de projeto para sua adequação ambiental, priorizando o uso de materiais e equipamentos de baixo impacto ambiental.

O objetivo geral, através do alcance do objetivo específico, é subsidiar futuras intervenções para adequação ambiental de vagões e *containers* metálicos, entendendo que tais objetos reciclados possam reduzir o impacto ambiental e a demanda por espaços de moradia.

JUSTIFICATIVA

A experiência particular de morar no vagão objeto de estudo revelou o aspecto positivo da reciclagem de uma estrutura metálica para uso de moradia. Esta experiência da primeira casa própria, aliada à vivência em um espaço alternativo e reciclado, suscitou a vontade de tomar um objeto ou volume qualquer e transformá-lo em abrigo, fazê-lo casa. Este eterno questionar, acerca dos espaços de abrigar e receber, renova reflexões não apenas arquiteturais, mas de vida. Estamos sempre desejando renovar.

> Em nossa sociedade, fatores culturais impedem a rápida difusão de sistemas construtivos alternativos para superar as necessidades atuais. As eficientes casas modulares ainda não participam do repertório de consumo dos habitantes urbanos, com a mesma intensidade dos automóveis, por exemplo. (...) essas limitações, contudo, tendem a mudar, principalmente diante das preocupações que a sustentabilidade vem transmitindo,..., difundindo idéias, estabelecendo formas concretas de prospecção arquitetônica e utilizando novas tecnologias disponíveis para criar meios de penetração dessa arquitetura na produção social. (VIDAL *et al* , 2005)

Os critérios gerais para projetar uma arquitetura sustentável são complexos e variam de acordo com o contexto, possibilidades tecnológicas, disponibilidade de materiais e tradições. O desafio atual é demonstrar que esta tendência atual, além de necessária globalmente e correta socialmente, pode ser muito atraente sob o ponto de vista estético, conceitual e cultural.

Segundo Julio Moreno (2002), 'a idéia é criar locais auto-sustentáveis, de pequeno e médio porte, onde as pessoas residam, trabalhem e tenham seu lazer, com bastante autonomia em relação ao mundo externo.'

O fato de vagões e *containers* não virarem lixo ou impactarem o ambiente de forma negativa promove uma redução de custos em vários aspectos. O *retrofit* de vagões e *containers* permite diminuir o impacto ambiental através do reuso destas estruturas consideradas como sucatas ou inservíveis.

Por outro lado, um aspecto positivo dos metais é seu alto potencial de reciclagem. A operação de reciclagem evita a exploração de recursos naturais e a ocupação de espaços depositários, além de estagnar o processo de decomposição do material e seus aspectos nocivos ao meio ambiente.

A estrutura deste trabalho pretende então, descrever:

.Capítulo 1 – Contextualização. Enfocando a experiência de habitar o estudo de caso e a percepção de aspectos confortáveis e desconfortáveis.

.Capítulo 2 - Fundamentação Teórica. Enfocando inicialmente algumas questões sobre o morar e o *retrofit* de vagões e *containers*, com exemplos de algumas referências inovadoras. Segue-se o estudo do conforto ambiental acústico e higrotérmico, culminando no estudo sobre o clima subtropical da Cidade de Curitiba.

.Capítulo 3 – Métodos e Procedimentos. Enfocando a avaliação do conforto acústico e higrotérmico do objeto de estudo, definindo uma metodologia e procedimentos de medições.

.Capítulo 4 – Análise de Resultados e Diretrizes de Adequação. Enfocando os resultados das medições e apresentando diretrizes de projeto para adequação do objeto de estudo de caso e diretrizes de projeto para adequação ambiental de vagões e *containers*.

.Capítulo 5 – Considerações finais, técnicas e poéticas.

Para maior aprofundamento deste item, sugerimos a leitura do artigo ‘O modo como me apropriei de um espaço: a saga e a experiência de um vagão de trem como moradia’ (PIMENTEL,K.; NIEMEYER, L., 2009), publicado no livro ‘Ordem, desordem, ordenamento: Arquitetura’, e apresentado no Seminário de mesmo nome em Dezembro 2009, no campus da Praia Vermelha – Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). O artigo discute sobre a experiência de adaptação e moradia nesta estrutura atípica, relata a logística completa desde a compra, transporte e instalação do vagão no terreno e situa o leitor no contexto da cidade de Curitiba. Além disso, inicia a discussão sobre as dificuldades higrotérmicas e acústicas do abrigo.

Além disto, incorporamos nos ‘Anexos’ deste trabalho:
. Texto sobre a Cidade de Curitiba, seus antecedentes históricos, imigração e meio ambiente.

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

1.1. HABITANDO O CASO

A função inicial do vagão em questão era abrigar o escritório da autora. Paralelamente à aquisição vagão, foi aprovado, na Prefeitura de Curitiba, um projeto de habitação unifamiliar para o mesmo terreno. Porém, ao final das obras de adaptação (Janeiro de 2003), este passou a acumular as funções de moradia e escritório e o outro projeto aprovado acabou não sendo construído.

Em função das dimensões do terreno (11m x 25m = 275,00 m²) e da proposta inicial de construção de uma habitação, o vagão foi instalado ao longo de uma das divisas laterais, há cerca de 80 cm de distância do muro. Contribuíram também para esta decisão o desejo de privacidade e a idéia – que a experiência mostrou ser equivocada - de usar o muro (fachada NNE) para bloquear a incidência direta da radiação solar (Figura 1.1).

Figura 1.1: Localização do vagão no terreno e relação com o entorno, sobre foto aérea.
Fonte: Google Earth com adaptação da autora.

No alinhamento predial foi construído um gradil de tubos de aço inoxidável integrado com dois portões antigos de ferro fundido reciclados (Figura 1.2). A solução mostrou-se eficaz para aproveitamento dos ventos dominantes (quadrante Leste[2]), para a relação com a rua e contato visual entre o espaço público e privado. A existência da ciclovia entre a rua e a linha férrea permitiria que os próprios pedestres e ciclistas exercessem o papel de "olhos da rua"[3], melhorando as condições de segurança. Entretanto, a permeabilidade ao ar implicou em exposição do terreno aos ruídos do entorno, principalmente durante a passagem de comboios.

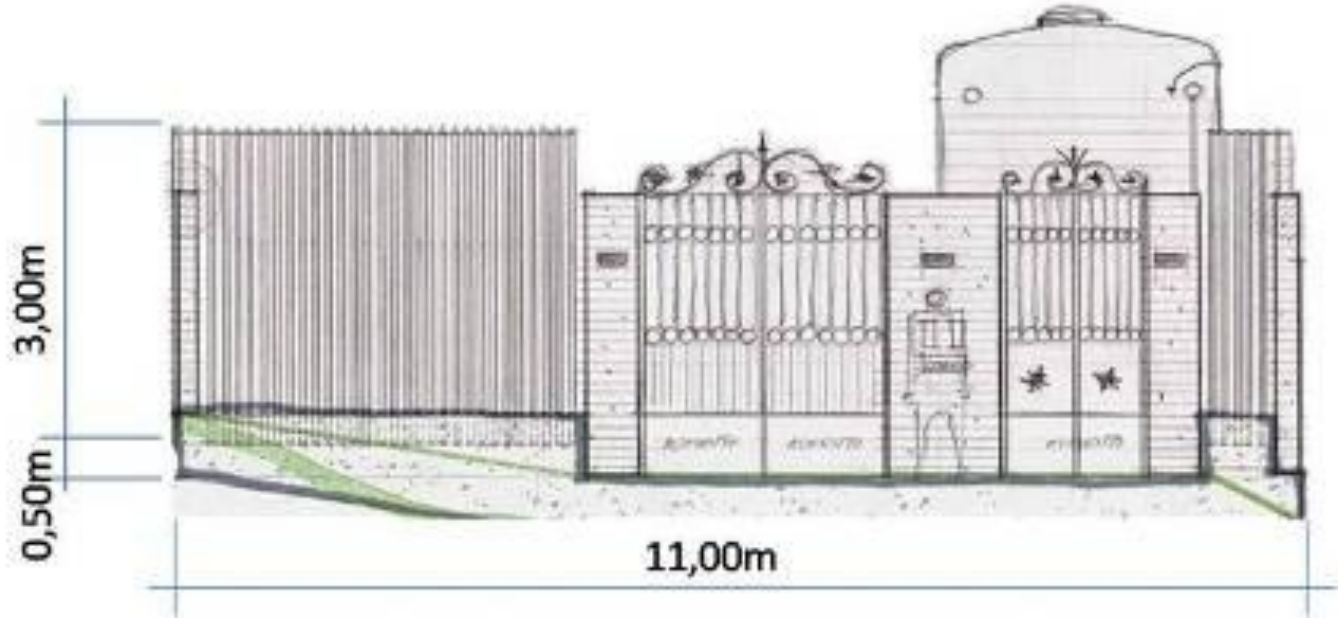


Figura 1.2: Elevação frontal, mostrando o gradil e portões de acesso ao terreno. Desenho da autora.

[2] Dados provenientes da Estação Meteorológica Curitiba, Latitude 25º 41´ 67" S, Longitude 49º 13´ 33" W e Altitude de 930m. Período de Junho 1997 a Dezembro 2005. Fonte IPPUC/Banco de Dados

[3] Os chamados "olhos da rua" são as pessoas que, consciente ou inconscientemente, utilizam o espaço público e/ou costumam contemplá-los de suas casas, exercendo uma vigilância natural sobre o que ali acontece. Jacobs (2000) cita como contra-exemplo alguns edifícios muito verticalizados, em que os corredores eram inacessíveis aos olhos, apesar de serem de acesso público, e por isso sofriam enormemente com a depredação e a violência.

De certa maneira, inverteu-se a concepção de um “projeto” como a solução para um problema formulado. O objeto pré-existente foi adaptado para fim arquitetônico de moradia e escritório em um terreno precedente. O espaço de vivência, privado, foi dividido em três níveis: o vagão (o saguão interno não foi dividido), o banheiro (mesmo espaço que era ocupado pelas cabines masculina e feminina originais) e áreas de apoio (lavanderia, garagem embaixo do vagão e área livre do terreno). O espaço público apresenta integração visual e acústica com o espaço privado, porém delimitada pelo gradil no alinhamento predial.

Nas figuras abaixo, datadas de Julho 2010, ilustram-se estes níveis de privacidade.

Primeiro nível: o saguão interno não dividido visto da porta da frente (Figura 1.3.) e da porta dos fundos (Figura 1.4).

Figura 1.3: O saguão interno não dividido e visto da porta da frente. Foto da autora.

Figura 1.4: O saguão interno visto da porta dos fundos. Foto da autora.

Segundo nível: os banheiros; a figura 1.5 mostra uma das cabines adaptada para vaso sanitário e pia original do vagão; a figura 1.6 mostra a outra cabine adaptada para chuveiro e pia com armário. Terceiro nível de privacidade: as áreas de apoio externas; a figura 1.7, tirada dos fundos do terreno, mostra a garagem embaixo do vagão, a lavanderia na construção localizada à parte do vagão, bem à direita e uma área livre em primeiro plano.

Figura 1.5: Uma das cabines de banheiro adaptada para vaso sanitário e pia original do vagão. Foto da autora.

Figura 1.6: A outra cabine de banheiro adaptada para chuveiro e pia com armário. Foto da autora.

Figura 1.7: Garagem embaixo do vagão, lavanderia à parte e à direita, área livre em primeiro plano. Foto da autora.

O espaço interno do vagão tem as dimensões de 18,64m de comprimento x 2,75m de largura e totaliza 48m² de área livre, excetuando as duas cabines destinadas originalmente aos banheiros e que foram adaptadas para o uso atual. O banheiro é o único espaço privativo do vagão e esta área foi implantada no fundo do vagão e do terreno. Logo após o banheiro, saindo pela porta dos fundos, criou-se um *deck* de madeira que se estende aproximadamente por 1,20m de comprimento até a divisa do terreno. Nesse espaço final está a estrutura da caixa d'água e uma árvore paineira, praticamente na aresta do fundo do vagão, conforme Figura 1.8.

Figura 1.8: Vista do *deck* no final do vagão olhando para cima, paineira e caixa d'água. Foto da autora.

À frente, no espaço originalmente de acesso dos passageiros, via escadas laterais que se ligavam às plataformas, destinou-se propositalmente a função de *hall* abrigado.

Os ambientes do saguão interno são distintos apenas pelo mobiliário, organizados linearmente de acordo com a geometria longilínea do vagão. O espaço central, por exemplo, é o local de estudo e trabalho, e articula-se com sala de estar de um lado e de jantar do outro. Os ambientes de cozinha, comer (almoço/jantar), trabalhar/escritório, receber (sala), dormir (quarto e guarda-roupa), organizam-se consecutivamente e toda a área torna-se um único

espaço de vivência com múltiplos usos que, não permite níveis de intimidade e que impõe a manutenção de ordem completa dos objetos: a casa deve ser mantida sempre organizada. Não existe um corredor instituído fisicamente e, apesar da geometria longilínea, a metragem quadrada útil equipara-se à metragem de qualquer *studio* existente em grandes metrópoles.

Externamente, o vagão diferencia-se por estar pousado em cima de dois grandes blocos de concreto construídos no nível mais baixo do terreno, criando um espaço abrigado para função de lazer e garagem. O restante do terreno ainda possui um pequeno galpão de obras que foi transformado em lavanderia e banheiro de serviço.

A visão do observador externo é beneficiada pela posição lateral do vagão no terreno. A escolha dos banheiros para os fundos e *hall* de acesso voltado para frente, criando uma espécie de alpendre de chegada, confere ao vagão uma 'organização residencial' que configura a adaptabilidade da estrutura. Com um pouco mais de atenção, a casa dialoga com o observador, que analisa o espaço abrigado abaixo da estrutura (garagem), a caixa d'água bem atrás do terreno, suspensa em um fuste metálico e entre os galhos da árvore, os espaços livres, o jardim e a proximidade do "tema" com a presença da linha férrea inserida no espaço público. Cria-se, recorrentemente, uma analogia entre o uso público e particular. (Figura 1.9).

Figura 1.9: Vista dos trilhos da linha férrea em primeiro plano, e o vagão ao fundo. Foto da autora.

1.2. CONSCIENTIZAÇÃO DOS FENÔMENOS

Vivendo dentro do estudo de caso foi notado, sensivelmente, o aquecimento no interior do vagão durante o dia, e, principalmente quando havia incidência direta de Sol. As temperaturas no interior rapidamente aumentavam mais que as externas, e a sensação térmica era ainda pior quando não se podia fazer uso da ventilação natural. Logo após o pôr-do-sol, a temperatura interna estabilizava-se com a externa, e à noite caia bruscamente, causando grande desconforto no inverno em virtude das baixas temperaturas comuns nesta época do ano em Curitiba. A sensação ainda agravava-se devido à umidade característica do clima subtropical.

Com o cotidiano, percebeu-se que a temperatura interna do vagão flutuava mais ou menos conforme a externa, dependendo do horário e inclinação do Sol. A fina 'casca' metálica de fechamento do vagão apresentava pouca resistência às mudanças climáticas sofridas nas estações e nos dias.

O calor se manifestou tão desconfortável que o ambiente aparentava uma 'verdadeira sauna'. Atividades como trabalhar ou dormir foram muito prejudicadas e até mesmo os computadores desligavam por falta de ventilação.

No primeiro inverno, o interior permanecia frio o dia inteiro. Ao meio dia, em dias com Sol, a temperatura melhorava um pouco. A empena lateral da residência vizinha, que possivelmente ajudou no verão, prejudicou a incidência solar no inverno, já que sombreava o vagão durante quase o dia todo, demonstrando um equívoco de implantação ou de idéia. Desta forma, os dias passaram com dificuldade de adaptação.

Em relação aos sons, a percepção de desconforto auditivo também foi rápida. Quando um comboio passava em frente ao terreno praticamente não se podia conversar dentro do vagão, criando momentos críticos quando do apito ou 'silvo de alerta' dos comboios era emitido. Mesmo com as portas fechadas, o ruído dos apitos atormentava; além disso, a passagem dos comboios ocasionava vibração da estrutura do vagão, transmitida via solo. Muito do que se falava, internamente, em condições normais, era perceptível do lado externo. Em dias de chuva, os sons dos pingos no teto arredondado eram perfeitamente percebidos e, se a chuva aumentava, a sensação de quem estava no interior era incômoda.

Em virtude do detalhamento de vedação das janelas tipo guilhotina (veneziana metálica pelo lado interno e vidro no lado externo) não ser apropriado e deixar parte do vento entrar mesmo estando fechadas, também os sons penetravam. As portas, quando abertas, ocasionavam ventilação cruzada, interessante nos dias quentes. Porém, liberavam a passagem do ruído das várias fontes sonoras.

Também as janelas (17 em cada elevação longitudinal) e a simetria entre as aberturas de um lado e outro, permitiam a ventilação cruzada quando abertas. No entanto, nem sempre as esquadrias podiam ser abertas por questões de segurança, devido ao frio, ou à chuva ou mesmo aos pássaros que "inadvertidamente" entravam no vagão.

Os aspectos negativos levantados começaram a influenciar na saúde, humor e continuidade do sono da moradora.

Contudo, vivenciei também todos os aspectos positivos desta experiência: as muitas vantagens de ter um espaço próprio, simples, modesto, essencial e atemporal. A minha necessidade de “lugar” e “abrigo” para morar e trabalhar estava resolvida. A existência deste “lugar” relacionada à apropriação deste espaço pela percepção da experiência corporal, suas adaptações e transformações para que ele viesse a ser uma “máquina de morar”[4] mostraram, com o tempo, uma nova dinâmica de se viver com o mínimo.

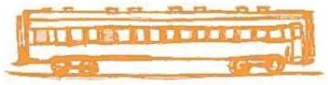
Este “lugar” (Figura 1.10) foi sendo interpretado como um encontro de acontecimentos, facilmente metamorfoseado por novas exigências, fossem estas de informação, de gostos, de mundo digital, de trabalho, de prioridades... como um caos pontual que se convertia diariamente em fonte de criação e beleza, como propunha Nietzsche.[5] Dentro deste novo panorama e realidade, a arquitetura transformou-se em um espaço equipado com sistemas de comunicação globalizada, interior modificável e dinâmico, doméstico e de trabalho, economizando, simplificando e utilizando menos para conseguir mais. Meu trabalho como arquiteta foi enriquecido, conheci novas pessoas e outros paradigmas.

Figura 1.10: Vista geral da rua. Foto da autora. (2004)

[4] Para Le Corbusier: “a casa é a máquina de morar”.

[5] Nietzsche, em seu livro ‘Assim falou Zaratustra’, diz que é preciso dar vazão ao caos para que a luz possa se fazer, ou seja, o caos é o início da criação, é o início de tudo. No dia-a-dia, a cada novo caos instaurado, caminha-se para a criação ou o surgimento de uma nova perspectiva, de um novo horizonte, um novo “deus (interno)”.

No espaço vivenciado do vagão, após a percepção das sensações, positivas e negativas, e das indagações sobre como resolver os problemas levantados, fez-se necessário a conscientização dos fenômenos que envolvem, cientificamente, as ocorrências; e a conseqüente busca de ferramentas no conforto ambiental. A atípica estrutura do vagão para uso de moradia e escritório, não projetada originalmente para este fim, precisava ser estudada para adequar-se às funções impostas.



2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2- Fundamentação Teórica

2.1. As Questões do Morar

"... comove Deus a casa que o homem faz para morar."
Adélia Prado (1999)

Não é o objeto físico em si, mas, a casa, em seu sentido ampliado e simbólico, é o espaço que acolhe o humano. Ao considerar a antropologia do espaço, notamos que a casa ocupa lugar de destaque em uma trajetória que vai do abrigo nas árvores ou no interior das cavernas para a moradia de hoje, numa história que vincula-se à história da própria arquitetura. Pela arquitetura o homem agregou a necessidade funcional e social da casa a um novo elemento: o sentimento estético. Em razão do passar do tempo e das transformações sociais, a casa deixou de ser apenas o local de abrigo e proteção para ir se tornando local de praticar relações familiares e de convívio e, também, da transmissão de valores sócio-culturais. Sobretudo, ao evoluir para novas formações, a casa acabou demarcando fronteiras com a sociedade na qual estava inserida e com a qual interagia. Delineou-se assim o que viria a se constituir o espaço público e o espaço privado, e, modernamente, adquiriu o estatuto jurídico da inviolabilidade, de modo universal, nas constituições dos povos. Na Constituição Brasileira, no item XI do seu artigo quinto, tem-se consagrado esse princípio nos seguintes termos: *"a casa é asilo inviolável do indivíduo, ninguém nela podendo entrar sem consentimento do morador [...]".*(CF/1988)

Conforme registra Munford (1982), a arquitetura é a "experiência das cavidades". Entrar numa caverna em particular talvez tenha sido a primeira experiência arquitetônica, do mesmo modo como 'estar dentro dela' se constitui na primeira experiência espacial do ser humano. Não esquecendo que o primeiro espaço habitado pelo ser humano também é uma concavidade natural, o espaço uterino.

Além desta 'primeira morada' que o ventre materno propicia, existem os espaços edificados, oferecidos também através das cavidades e, presentes na vida humana desde sempre.

Da caverna aos nossos dias, o espaço da arquitetura é o espaço do abrigo, do acolhimento, do amparo, da proteção, no sentido de oferecer um ambiente confortável, para proteger, não apenas das hostilidades ambientais, mas também, em uma dimensão mais simbólica, para proteção do desamparo que marca o humano frente à experiência de existir.

Segundo Bruno Zevi (1977), o espaço é 'o protagonista' na arte de edificar e a arquitetura distingue-se das demais artes justamente no ponto em que é a única que inclui o humano; disso se depreende a sua dimensão subjetiva, marcada pela experiência, sempre singular, de usufruir do espaço edificado. Ainda, segundo Evaldo Coutinho (1977), a arquitetura só se completa pela freqüentação, visto que, o espaço da arquitetura se constitui pela presença da pessoa

arquitetural definida como sendo ela mesma um valor da arquitetura, um co-arquiteto que se reserva à função de *ultimador da obra*. Ou, conforme Luiz Amorim (2007):

> (...) é na estrutura dos espaços ocupáveis que construímos o campo para os relacionamentos humanos. (...) a arquitetura, ou a casa, não é um cenário passivo que assiste ao desenrolar das nossas vidas e o enquadra, mas é co-autora de todas as possíveis experiências vivíveis e narráveis. (...) é co-autora das nossas experiências cotidianas por meio da configuração espacial.

A noção do espaço que inclui o humano permite supor que o espaço arquitetônico abriga o físico e o psíquico; sendo a construção da casa humana um 'espaço para a alma', como anotou Rykwert (2003) em 'A casa de Adão no Paraíso'. Essa memória inconsciente do homem em direção às cavidades o teria feito acreditar, ainda que ilusoriamente, que é possível escapar do desamparo característico do existir, reconstituindo um espaço edificado ao nosso gosto, tanto em relação às noções de segurança e bem-estar quanto ao conforto ambiental proporcionável. Subjetivamente, o espaço arquitetônico remete tanto ao espaço uterino como a um lugar paradisíaco.

Segundo João Alberto Carvalho (2007) a casa pode, simbolicamente, confundir-se com o próprio homem, já que, o que se apresenta na fachada ou nos interiores, está repleto de sentidos e ideais, individuais ou coletivos, equivalentes da cultura, fragmentos das histórias. Mais que abrigo, parece refletir uma forma perfeita, a busca de um ideal. Não é solicitado a um arquiteto que torne um lugar apenas possível de ser habitado. Espera-se, explicitamente ou não, a busca e o atendimento às aspirações do homem, estéticas ou funcionais. Aldo Rossi (1966) chama a atenção para o fato de que, o objeto arquitetônico só pode ser plenamente apreendido pela experiência pessoal; segundo ele, não existe percepção do espaço através da experiência do outro e não é suficiente a descrição deste espaço uma vez que *"(...) sempre restará um tipo de experiência possível apenas para quem tenha percorrido aquele palácio, aquela rua, aquele bairro."* Ainda segundo Carvalho (2007): *"Dura é, pois, a tarefa do arquiteto. (...) Cumpre, pois, escutar a demanda e ajudar o solicitante a ver e olhar o espaço que ocupa".* Porém, poucos clientes são capazes de relatar suas vontades plásticas e espaciais, apresentando demandas de natureza funcional ou dimensional e/ou ambiental. Isso talvez ocorra porque não têm clareza sobre como gostariam de ter representadas suas necessidades e vontades na sua própria casa. E mesmo porque o desejo tem natureza inconsciente.

> "O homem é metáfora de si mesmo e sua morada sintetiza muitas metáforas escritas e imaginadas na construção dos seus tempos (...).
> A forma (portanto) nunca é definitiva e conclusiva. É sempre um recomeço."
> Octavio Paz (1982).

Enfim, a casa é morada. A morada é o palco dos acontecimentos da vida do homem, e a vida ocorre, possibilitando uma série de narrativas. Cada homem faz de sua morada a guarda de sua história, de seus ruídos e silêncios, de seus cheiros e emoções, rejeitando o que não gosta do mundo de fora, evitando os

incômodos do dia, inscrevendo em suas paredes suas notícias; a morada de cada homem sintetiza suas metáforas, em muitas histórias. Lembrando Lúcia Leitão (2002), a casa constitui-se não somente em abrigo das funções e atividades humanas, mas, sobretudo, em abrigo do afeto.

2.1.1. O Significado do espaço e do lugar

Desde a Antiguidade, filósofos e cientistas se debruçaram na compreensão do espaço simbólico, tentando estabelecer noções a respeito de sua natureza.

> Passando pelo *topos* aristotélico e pelo conceito newtoniano de espaço absoluto, chega-se ao moderno paradigma em que se situa a noção da relatividade espacial einsteiniana, que procura evidenciar que o que se chama de espaço é apenas a ordem de relação das coisas umas com as outras. Não é pensável mais um espaço absoluto, independente das coisas que o ocupam e do sujeito que as percebe. A realidade do espaço se constitui no relacionamento entre as coisas e, entre as coisas, a consciência que as conhece. É a concepção do universo não mais como uma grande máquina, mas como uma verdadeira rede interligada de relações. (MOREIRA, 2000, in: Adélia Prado: Uma poética da casa).

Entretanto, o espaço só tem realidade para nós porque temos um corpo. Dito de outra maneira: *"(...) não haveria para mim espaço se eu não tivesse um corpo."* (Merleau-Ponty, 1994). Na reflexão filosófica reconhecemos que o espaço afetivo é anterior ao espaço geométrico; a casa e a cidade não são verdadeiros objetos já que fazem parte de nós mesmos desde o início. A casa e a cidade dão a impressão de que sempre estiveram ali, porque foram assimiladas inconscientemente como dados naturais pelo processo de identificação do homem.

Como já mencionado, o fato de a Arquitetura ser distinta das outras artes é de que ela age com um vocabulário tridimensional, um espaço, que inclui o homem, sendo este seu caráter essencial.

> "Por sua vez a arquitetura é como uma grande escultura escavada, em cujo interior o homem penetra e caminha."
> Bruno Zevi (1977).

O espaço construído só pode ser vivenciado por experiência direta, que não se limita ao conhecimento das três dimensões arquitetônicas, mas que prescinde do deslocamento sucessivo do ângulo visual, ou seja: do tempo percorrido pelo homem em um determinado espaço. Na Arquitetura, este elemento tempo, é criado pelo homem/observador à medida que ele se move, estudando o edifício, seu interior e seu entorno; conferindo ao espaço sua realidade e função.

O volume arquitetônico encerra o espaço, porém, a essência da arquitetura transcende o tempo percorrido. Esta essência advém do espaço que nos atrai, nos eleva e nos subjuga espiritualmente. Esta experiência espacial, própria da arquitetura, prolonga-se na cidade, nas ruas, becos, parques e praças, jardins, estádios e onde quer que o homem tenha criado espaços. Todos os volumes arquitetônicos colaboram na criação de dois espaços: o interno (definido pela própria obra) e o externo (criado pela própria obra e pelo entorno). A realidade de um edifício é conseqüência de uma pluralidade de valores (econômicos,

sociais, técnicos, funcionais, artísticos, espaciais, decorativos...) e ainda de sua história. O espaço que envolve o homem desempenha o papel principal na arquitetura, porque esta não é apenas arte ou história, mas é, sobretudo, o cenário onde transcorre a vida.

Este espaço, para Platão, vem a ser o terceiro componente básico da realidade, junto ao 'ser' e ao 'acontecer'. Para Aristóteles, o conceito genérico de espaço é identificado com outro mais empírico e delimitado que é o lugar.

> Para melhor dar rigor e precisar a distinção entre espaço e lugar, Heidegger toma como exemplo uma ponte. Naquele espaço entre as duas margens, a ponte faz existir um lugar. Isso nos revela que esse lugar não existe antes da ponte. (CORRÊA, 2007).

Os conceitos de espaço e lugar são diferenciados; espaço tem uma condição ideal, teórica, genérica e indefinida; lugar possui um caráter mais concreto, empírico, existencial, articulado, definido até os detalhes (MONTANER; 2001). O espaço tende a ser infinito e ilimitado; já o lugar é definido por substantivos, pelas qualidades das coisas e dos elementos, pelos valores simbólicos e históricos, o ambiental e está relacionado direta e fenomenologicamente com o corpo humano.

Segundo Yi-fu Tuan (1980), chinês e renomado teórico sobre o assunto, a palavra 'topofilia' traduz o sentimento ou o grau de familiaridade que faz com que as pessoas se afeiçoem e sejam atraídas por um determinado lugar, diretamente relacionado com seus afetos, valores, emoções e com sua condição sócio-histórica-cultural (RHEINGANTZ et AL, 2009). Tuan (1980, p.129) destaca que *"o meio ambiente pode não ser a causa direta da topofilia, mas fornece o estímulo sensorial que, ao agir como imagem percebida, dá forma às nossas alegrias e ideais".* E continua: *"o foco de nossa atenção, aquilo que valorizamos e amamos, é um acidente do temperamento individual, do propósito e das forças culturais que atuam em determinada época".*

Portanto, o homem cria vínculos ao lugar com o qual estabelece suas referências e cria sua identidade, história e memória. Se o espaço é comum, o lugar é pessoal. O lugar, porém, não é imune às práticas de dominação e controle impostas pela sociedade aos espaços comuns. Ao incorporar as influências decorrentes de processos sociais, econômicos e políticos diferentes, o 'lugar' é capaz de, ao mesmo tempo, identificar-se e servir de referência tanto às individualidades como à coletividade a ele relacionadas. *"(...) nossos habitats também incluem nossas próprias comunidades e os complexos econômicos dos quais elas dependem."* (JACOB, 2001).

Os lugares são espaços que abrigam 'valores' de identificação individual e/ou coletiva aos quais emprestamos probidade.

O lugar é o espaço qualificado: é um espaço que se torna percebido pelo homem por conter significados profundos, geralmente representados por imagens referenciais fortes (CASTELLO, 2005). Para Edson Mahfuz, em 'Do minimalismo e da dispersão como método de projeto' (1989), a presença de detalhes arquitetônicos, conjugada com uma organização clara das partes principais, é o que determina que um espaço possa ser vivido como lugar.

> Precisamente, a idéia de lugar diferencia-se da de espaço pela presença da experiência. Lugar está relacionado com o processo fenomenológico da percepção e da experiência do mundo por parte do corpo humano. Neste sentido, as idéias de Edmund Husserl e Maurice Merleau-Ponty ou as ações corporais de Joseph Beuys – como '*Coyote. I like America and America Like me'* – constituem referências básicas do lugar concebido como experiência corporal. (MONTANER, 1997).

Nas últimas décadas, a idéia de lugar teve peso variável e interpretações distintas. Em pequena escala, o lugar é entendido como uma qualidade do espaço interior materializada em forma, textura, cor, luz, objetos e simbolismos. Em grande escala, é considerado como capacidade para fazer aflorar as preexistências ambientais, como articulação das diversas peças urbanas (praças, avenidas, ruas etc...), ou seja: como paisagem característica. Mais profundamente, pode-se entender o conceito de lugar como uma relação entre a pequena escala do espaço interior e a grande escala da implantação.

Lugares também se originam após a construção de objetos arquiteturais. A arquitetura transforma o espaço à medida que cria um lugar que antes não existia. Sejam lugares contrastantes[1] como as pirâmides do Egito ou os templos da Grécia, ou lugares amalgamados[2] como os encontrados nos templos de pedra da Índia ou na Casa da Cascata de Wright, várias podem ser as soluções arquitetônicas ajustadas para a criação do 'lugar'.

A função dos espaços evoluiu com a sociedade, adaptando-se às novas exigências e padrões, às práticas sociais e modos de vida, sendo reordenada e acomodada. Desta maneira, atualmente, os espaços buscam racionalidade e flexibilização para a evolução tecnológica.

Os espaços produtivos desvincularam-se da concretude dos *lócus* e extrapolaram para os chamados 'ambientes virtuais', permitindo transposição do *labor* para os domicílios. Este conceito atual de espaço tem como 'vantagens': a segurança, o conforto, a praticidade e a racionalização do tempo, gerando teoricamente uma nova sensação de prazer do homem perante sua atividade profissional. Tais conceitos foram aprofundados pelo italiano Domenico de Masi em 'O ócio criativo' (2000).

O 'espaço do ócio' passou a integrar a função de 'espaço do negócio', modificando conseqüentemente os lugares das habitações contemporâneas que passaram a incorporar os novos ambientes de trabalho. Os impactos desta 'nova realidade' geram mudanças de comportamento social em relação ao desfrute dos espaços públicos, podendo tanto contribuir para a qualidade de vida do trabalhador quanto isolá-lo da convivência cotidiana com os espaços livres, pelo não-deslocamento 'casa-trabalho-casa'.

---

[1] Neste caso, como se fossem confrontantes com seu entorno imediato.
[2] Neste caso, como se fossem fundidos com seu entorno imediato.

2.1.2. A dissolução do lugar na atualidade

Dentro deste novo panorama de espaços, onde estes são entendidos como 'intensos focos de acontecimentos, concentrações de dinamismo, torrentes de fluxos de circulação, cenários de fatos efêmeros, cruzamentos de caminhos e momentos energéticos', MONTANER (1997) distingue três grupos de fenômenos, ocorridos entre os anos de 1997-2007:

1-'espaços midiáticos': onde a arquitetura se transforma em um espaço neutro, com sistemas de objetos, máquinas, imagens e equipamentos que configuram interiores modificáveis e dinâmicos. Exemplos: museus midiáticos nos quais o foco é materializado por luzes artificiais, informação, experimentação e interação; com áreas de imagens, reproduções, instalações, monitores, dioramas, mecanismos e virtualidades. O espaço doméstico e os de trabalho também podem entrar nestas coordenadas de espaço midiático, à base de containers[3] e sistemas de objetos;

2-'não-lugares': espaços da supermodernidade, da competitividade e do anonimato, definidos pela superabundância e excesso e sempre relacionados com o deslocamento rápido, o consumo e o lazer; contrapondo-se ao conceito de lugar de culturas tradicionais radicadas na identidade entre cultura e lugar, permanência e unidade. Exemplos: grandes centros comerciais e hotéis, estradas, rotas reais e virtuais de turismo, parques temáticos, aeroportos, ônibus, aviões, etc. nos quais as pessoas são identificadas por meio de cartão de embarque, passaporte, cartão de crédito, localizador, credencial. São os 'não-lugares' que levam de um lugar a outro e por onde o usuário pretende passar o mais rápido possível.

3-'espaço virtual ou ciberespaço': espaços utilizados por arquitetos, engenheiros, designers, músicos etc. para projetar e criar no computador; espaços impalpáveis e definidos pelo mundo virtual e pelos cibernautas que se movem através da infinita rede da internet.

Tanto os 'não-lugares' quanto os 'espaços virtuais' são apresentados sedutoramente, de maneira ambiciosa e inteligente, através das promessas de possibilidades e transformações inimagináveis, porém, com uma gama de aspectos ocultos e negativos.

Os perigos são a proximidade de uma sociedade metropolitana que tenda a rejeitar os contatos corporais e que se baseie na desconfiança, no individualismo utilitarista e no consumo.

Os mais otimistas vêm a conectividade, a tele presença, os organismos cibernéticos e as cidades dos bits permitindo a entrada em uma nova era onde os sistemas de telecomunicações, os contatos incorpóreos e a imaterialidade serão pautas dominantes. Os mais pessimistas defendem que a sociabilidade, os costumes comunitários, o contato humano, as cidades humanizadas, a tolerância para com os demais, a capacidade de reivindicação, associação e rebeldia, são valores imprescindíveis que estão sendo postos em perigo por um novo sistema elitista, fragmentado e consumista.

[3] Neste caso, como se fossem espaços autônomos, interativos virtualmente e flexíveis.

De qualquer forma, os conceitos de lugar e as experiências do espaço e do lugar, estão em contínua transformação. O espaço quase nunca é delimitado perfeitamente; o lugar também nunca poderá ser totalmente eliminado, e o não-lugar nunca é fechado radicalmente. Na condição atual, espaços, anti-espaços[4], lugares e não-lugares, entrelaçam-se e complementam-se, interpenetram-se e convivem.

2.1.3. Alguns conceitos de Psicologia Ambiental

A Psicologia Ambiental é o estudo da relação entre o comportamento humano e o lugar. Como MOSER (1998), defende-se que as pessoas interagem com seu ambiente através de quatro modos distintos: interpretação, avaliação, operação e resposta.

As pessoas sentem o lugar **interpretando-o**. Para tanto, desenvolvem descrições mentais do ambiente, influenciadas pela natureza física do lugar, por sua função, forma etc., obtendo dele uma imagem de recordação, com suas características mais importantes. Estas descrições são chamadas de Mapas Cognitivos ou Mapas Mentais (Figura 2.1).

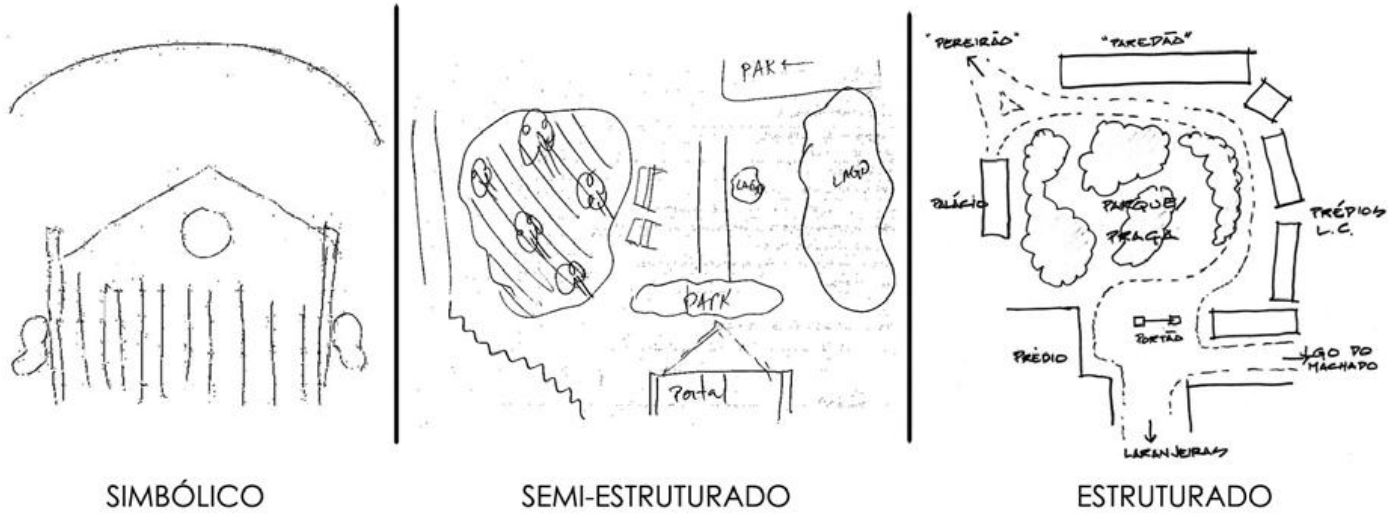


Figura 2.1: Exemplos de mapas mentais elaborados por usuários do Parque Guinle, RJ. Fonte: Alcântara (2002) apud RHEINGANTZ et AL, 2009

[4] Segundo MONTANER (1997), o anti-espaço teria origem na revolução copernicana da ciência do século XVII, em contraponto com o espaço tradicional que encontra sua máxima expressão no mundo unitário do renscimento, no qual não há separação analítica entre os elementos do espaço e da forma e da perspectiva cônica, expressando a imagem do homem como centro.

Estes mapas mentais expressados graficamente podem ser utilizados como ferramentas para compreensão do lugar e vem se revelando como instrumento bastante útil para selecionar quais mensagens são recebidas com maior veemência pela mente humana quando esta é solicitada a representar 'a forma do lugar'. Outra ferramenta que pode ser utilizada é a da Abordagem Experiencial[5], que emprega questionários e testes, e onde os elementos detectados não são apenas visuais, mas também sensoriais.

Como o lugar influencia as atitudes das pessoas, tais atitudes podem contribuir para a **avaliação** de alterações, melhorias e novos projetos de lugares, objetivando consonância na relação do homem com o lugar.

Operações são as diversas atividades do dia-a-dia que modificam fisicamente o lugar, podendo ter efeito positivo ou negativo. Um exemplo positivo são as ações comunitárias em prol da limpeza e plantio de vegetação em determinada área. Exemplo negativo são as gangs de rua e seus atos de vandalismo.

As pessoas também **respondem** ao lugar que oferece tanto oportunidades, relações de amizade e sociais, quanto barreiras, estas exemplificadas pelo estresse e sensação de impotência.

Enfim, o ser humano percebe (interpretação), avalia e tem atitudes, opera e responde ao lugar de maneira dinâmica (porque o indivíduo age sobre o ambiente, constrói etc), tanto nos ambientes naturais quanto nos ambientes construídos e, esse lugar, por sua vez, modifica e influencia as condutas humanas. A Psicologia Ambiental estuda, portanto, a reciprocidade entre pessoa e lugar, analisando como o indivíduo avalia e percebe o ambiente e, ao mesmo tempo, como ele está sendo influenciado por ele.

> Percepção, atitudes e valores preparam-nos, primeiramente, a compreender nós mesmos. Sem a auto-compreensão não podemos esperar por soluções duradouras para os problemas ambientais que, fundamentalmente, são problemas humanos. E os problemas humanos, quer sejam econômicos, políticos ou sociais, dependem do centro psicológico da motivação, dos valores e atitudes que dirigem as energias para os objetivos. (TUAN, 1980)

Por exemplo, a casa de uma pessoa é capaz de influenciar suas percepções, avaliação, atitudes e satisfazer suas necessidades. Da mesma maneira, uma cidade pode influenciar o cotidiano e o comportamento do indivíduo.

---

[5] Designação adotada a partir de 2004 pelo ProLUGAR, por sugestão de Rosa Pedro para caracterizar as observações que incorporam as interações homem-ambiente – alinhada com a abordagem atuacionista – em sua experiência de viver (habitar, trabalhar, consumir, lazer, etc.), enriquecendo e conferindo novo significado ao entendimento do lugar. Pro-LUGAR: sigla do grupo de pesquisas certificado pelo CNPq *Qualidade do Lugar e Paisagem*; vinculado à linha de pesquisa *Cultura, Paisagem e Ambiente Construído* do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PROARQ-FAU-UFRJ), que desenvolve pesquisas relacionadas com a percepção e a cognição ambiental, a qualidade do lugar e com seus reflexos na arquitetura e urbanismo. (RHEINGANTZ et AL, 2009).

O interesse é saber como o indivíduo reage às influências e condições de determinado lugar (transporte, moradia, densidade, ruído, poluição), como, por exemplo, o estresse ou, em relação ao aparecimento de doenças (o descontentamento do indivíduo com seu ambiente pode facilitar a emergência de certas doenças, sejam mentais ou físicas).

Para saber quais os efeitos da cidade sobre o indivíduo, deve-se analisar como se dá sua satisfação residencial (casa, apartamento, espaço referencial...), e, em seguida conhecer sua satisfação com a vizinhança, seu bairro etc., até chegar à sua cidade.

A partir das preocupações ligadas ao lugar, em suas diferentes escalas, analisam-se as necessidades, as apropriações, as percepções e as condutas sociais. Os estudos que englobam o tema estresse ou aparecimento de doenças tratam, sobretudo, da qualidade do ambiente. Quais variáveis físicas e/ou sociais podem tornar o ambiente confortável ou desconfortável? O indivíduo é capaz de se adaptar ao ambiente? Quais seriam os custos de adaptabilidade?

Tema importante em Psicologia Ambiental é o **espaço físico**. Obviamente comportamento e atuação diferem dependendo do espaço em que o homem se situa, conforme sua percepção e avaliação. O conceito de **espaço pessoal** refere-se à área que envolve o corpo humano e é utilizado pelo homem para auto-proteção e para a sua comunicação com os outros; o conceito **territorialidade** refere-se ao comportamento através do qual o homem reivindica uma área particular e a defende contra membros da mesma espécie. Por exemplo: 'gangs' e seus atos de vandalismo.

Curioso é o fenômeno de *'crowding'*[6] (MOSER, 1998) que não é mais do que a percepção de pouco espaço, ou o sentimento de que, ao redor do indivíduo, existem mais pessoas do que as desejadas, o que pode resultar de um sentimento de falta de controle de um determinado ambiente e tem uma série de conseqüências nefastas para a saúde, como desconforto, desorientação, irritabilidade, impaciência e agressividade.

Outro conceito ainda mais importante e específico da Psicologia Ambiental é a **dimensão temporal**, que se entende, ao mesmo tempo, como projeção no futuro e referência ao passado, à história.

> O indivíduo tem uma noção de tempo que está relacionada com a duração de sua vida, que é muito dependente do seu ciclo de vida. Mas enquanto o ciclo de vida de uma pessoa tem características bem peculiares, tantas outras coisas existem com ciclos de vida diferentes. Uma árvore pode se desenvolver muito rapidamente, ou muito lentamente, mas ela cresce em um ritmo diferente do humano. Em Psicologia Ambiental a noção de história é importante. Não se deve esquecer que é através de sua história residencial que o indivíduo constrói uma identidade residencial (conceito de 'place-identity', introduzido por Proshansky), que vai influenciar a sua percepção e a sua avaliação da sua residência atual. (MOSER, 1998)

[6] Aglomeração ou densidade humana.

Fritjof Capra afirma que “as ações humanas decorrem do significado que atribuímos ao ambiente que nos rodeia” (2002). Importante considerar a adoção de comportamentos ‘pró-ambientais’, que vêm fazer com que o indivíduo respeite o meio ambiente e adote comportamentos que sejam, por exemplo, de economia de água, seleção de lixo etc., em comunidade e repetidamente. É possível mudar a conduta de um indivíduo, mas, quando este se vê influenciado pela comunidade, e com ênfase na ação que está sendo praticada (por exemplo: coleta de lixo reciclado semanalmente), tais mudanças implicam em um prazo mais curto e em um benefício mais amplo.

2.2. *Retrofit* de vagões e *containers*

2.2.1. Os três ‘erres’

A regra dos três ‘erres’ da consciência ambiental é uma proposta sobre hábitos de consumo popularizada pela organização ecologista Greenpeace. Os “três erres, em ordem de importância bioecológica são: Reduzir, Reutilizar e Reciclar.

Em primeiro lugar, ao **reduzir** o consumo de bens ou de energia, limita-se a quantidade de objetos produzidos, ampliando a vida útil dos existentes: adapta-se aparelhos em função da necessidade e controlam-se as perdas. Depois, ao **reutilizar**, dá-se uma segunda vida útil ao objeto. E, na seqüência, **reciclar**, o ‘erre’ mais popular, que é ‘fazer o objeto passar por um novo ciclo’ para fabricação de novos objetos.

Posteriormente, ao aprofundar o debate sobre os modelos de consumo, a regra ampliou-se englobando mais três ‘erres’: **repensar** (o modo de vida para poder diferenciar as necessidades básicas das supérfluas), **reestruturar** (o sistema econômico para que não se produzam bens superficiais) e **redistribuir** (os recursos do planeta de forma equitativa para que não ocorram necessidades básicas insatisfeitas). Estes dois últimos ‘erres’ já não são propostas realizáveis apenas por indivíduos, mas sim pela sociedade.

Dos três ‘erres’ originais, a reciclagem é a última solução, que só deve ser posta em prática quando se esgotaram as possibilidades de redução e de reutilização.

A indústria da construção civil é a atividade humana de maior impacto sobre o meio ambiente, consumindo recursos e gerando resíduos em proporções superiores à maioria das outras atividades econômicas. Alguns destes efeitos são transitórios, como ruído e poeira gerados durante a construção, e, outros são persistentes, como os do CO2 liberado para a atmosfera pelos processos de combustão.

A reutilização de estruturas metálicas resulta em uma economia interessante tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental. No Brasil ainda não existe uma forte tradição para o reuso e reciclagem de vagões e *containers* para moradia ou ambiente de trabalho.

O conceito *retrofit* está ligado à modernização de estruturas previamente existentes buscando adequação das necessidades do objeto às funções estabelecidas ou desejadas e mantendo suas características formais, preservando assim as referências espaciais, o valor do "lugar", valores históricos e culturais. Trabalha o conceito da sustentabilidade na medida em que busca preservar os elementos que caracterizam o objeto, sendo modificadas características e/ou implantados dispositivos de adequação funcional e que melhorem o conforto e desempenho do mesmo, ampliando a eficiência da estrutura e valorizando seu espaço.

No caso do *retrofit* de vagões e *containers*, ambos podem ser considerados "arquitetura portátil", visto que a escala da estrutura permite que seja transportada por grandes distâncias (navio, trem, helicóptero, avião) e até mesmo através de áreas urbanas. Essa possibilidade de mobilidade de um objeto arquitetônico prescinde de que esse objeto assuma uma "compactação" dos vazios internos que constituem a área de vivência do homem e uma "rigidez" que constitui o aspecto sólido de peça inteiriça. Este objeto pode, criativamente e conforme a demanda, ter a capacidade de ampliação pós-instalação, sendo um recurso à mão dos arquitetos.

Devido aos problemas apresentados pela "sucata ferrosa", que pode causar danos ao meio ambiente (poluição do solo e do lençol freático) e, à sua relativa mobilidade, o *retrofit* ou reciclagem destas estruturas é muito interessante.

No Brasil existem muitos exemplos de descaso e abandono em relação ao patrimônio da extinta R.F.F.S.A.- Rede Ferroviária Federal S.A. Um exemplo ocorre na Cidade de Aquidauana/MS onde a Promotoria de Justiça e a Prefeitura estão tentando, desde 2007, fazer com que sejam retiradas as sucatas dos vagões de passageiros do centro da cidade. Providências foram solicitadas ao gerente regional do Patrimônio da União em Mato Grosso do Sul, que informou à Promotoria que os possíveis responsáveis são os inventariantes da R.F.F.S.A. (Figuras 2.2 e 2.3).

> MPE quer retirada de sucatas de vagões de trem de área central de Aquidauana. Solicita a retirada, no prazo de trinta dias, das sucatas de vagões de trem abandonadas na região central da cidade, por oferecer graves riscos à população. A cidade teve 50% da sua população atingida pela dengue, já que os vagões acumulam água da chuva e servem de criadouro para o mosquito "*aedes aegypti*". Outro problema diz respeito às sucatas estarem sendo usadas por marginais e malfeitores, se constituindo num antro de prostituição, além de serem utilizadas como sanitários, exalando mau cheiro em toda a região. A Câmara Municipal também apontou a poluição visual causada e a falta de qualidade no ambiente urbano. (PROMOTORIA DE JUSTIÇA DE AQUIDAUANA, 2007).

Figura 2.2: Vista aérea dos vagões em Aquidauana Fonte: JUSBRASIL, 2009.

Figura 2.3: Detalhe da sucata de vagões em Aquidauana Fonte: JUSBRASIL, 2009.

2.2.2. Vagões e *containers*

O *container* nada mais é que uma grande caixa, construída em aço ou alumínio, criada para o transporte de mercadorias, suficientemente forte para resistir ao uso constante, caracteriza-se pela facilidade de transporte por vários modais e pelo armazenamento por empilhamento. É provido de portas, escotilhas ou aberturas que permitem seu preenchimento e esvaziamento com rapidez. Um *container* comporta entre 28 e 30 toneladas. Eles estão disponíveis numa grande variedade de tamanhos[7] (o mais comum com as dimensões de 2,44m de largura, 2,59m de altura e 12,19m de comprimento), o que permite sua adaptação para casas ou escritórios modulares.

[7] Os containers são padronizados com medidas lidas em pés (') e polegadas ("). A única medida invariável é a sua largura que tem sempre 8' (oito pés). A sua altura pode ser de 8'; 8'6" e 9'6", sendo a primeira padrão ISO e as demais padrão ASA. Quanto ao comprimento, os mais comuns e conhecidos são os de 10', 20', 30' , 40' e 45' , embora existam outras medidas como 24', 28', 32'. 35' e 48'.

Uma das prováveis razões da reciclagem de *containers* crescer em várias partes do mundo é o fato de ser mais barato para uma companhia de navegação comprar novos *containers* do que transportá-los, vazios, de volta para o local de origem. O que cria uma pilha deles nos portos, onde construtores e reformadores podem adquiri-los por preços baixos.

Quanto aos vagões de trem, os mais antigos tinham plataforma e truques (*truck*) em ferro ou aço-carbono, estrutura de formação da cabine em ferro e o saguão com fechamento de madeira interna e externamente, como exemplo um vagão construído na Inglaterra em 1900 pela *Birminghan RY Car Wagon* e que está no aguardo de restauro de acordo com a ABPF-Associação Brasileira de Preservação Ferroviária, destinado ao transporte de passageiros 2ª classe, inclusive os bancos e piso eram de madeira. (Figura 2.4).

Figura 2.4: Vagão *Birminghan RY Car Wagon* para passageiros 2ª classe. Fonte: ABPF-SP, 2009.

Os fechamentos foram substituídos por metal nas décadas de 50 e 60 nos considerados “trens de longo percurso”. Estes vagões no Brasil, componentes da R.F.F.S.A., basicamente foram construídos pela Budd/Mafersa-materiais ferroviários S.A. e Pela *Pullman- Standart Mgf. Co*., estadunidense; além dos fabricados no Brasil com peças importadas da Alemanha.

Abaixo ilustrações do embarque dos vagões de passageiros para o Brasil entre 1950 e 1951 quando os ramais ferroviários "Central" e "Sorocabana" adquiriram 114 carros de aço "Budd" (Figura 2.5).

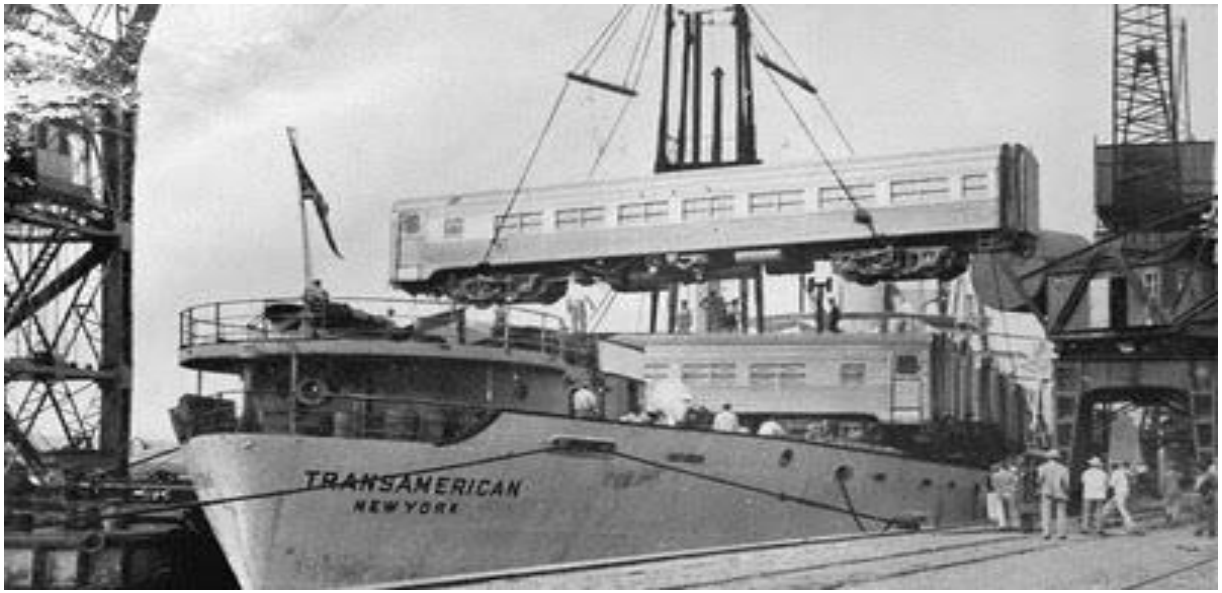


Figura 2.5: Embarque de carros de passageiros para o Brasil entre 1950 e 1951. Fonte: Almanaque da RFFSA (2010).

Quanto à tipologia, possuíam vários usos desde cargueiros, restaurante e cozinha, de passageiros 1º. classe, de passageiros 2º. classe, dormitórios, administrativos, correios, para animais, tanque para líquidos, graneleiros, plataforma, abertos e até mesmo funerários.

As Figuras 2.6, 2.7 e 2.8 ilustram as tipologias mais usuais vigentes no Brasil ainda hoje nos poucos trechos de ferrovias ainda ativos com trens de passageiros.

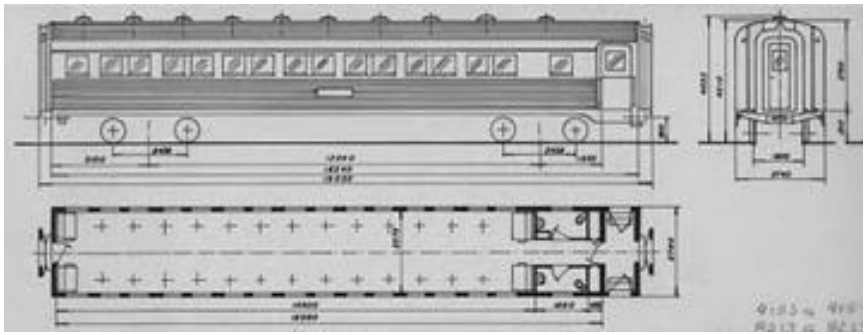


Figura 2.6: Carro Poltrona para 60 passageiros. Fonte: Almanaque da RFFSA (2010)

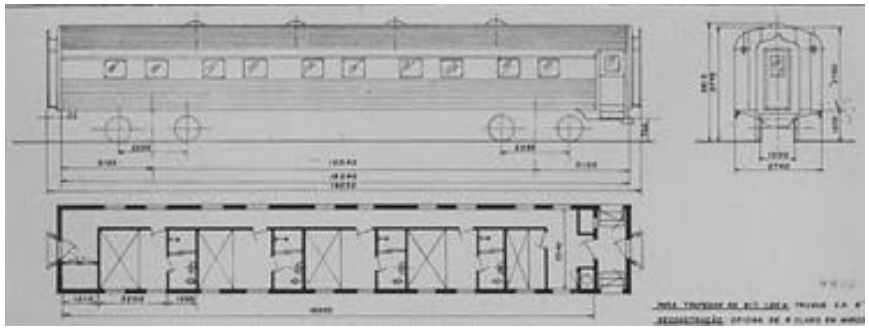


Figura 2.7: Carro dormitório casal com banheiro. Fonte: Almanaque da RFFSA (2010)

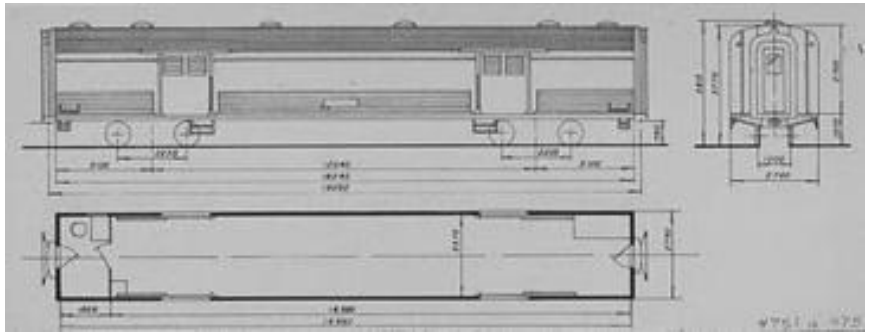


Figura 2.8: Carro correio *(MSC-Mail Storage Car).* Fonte: Almanaque da RFFSA (2010)

O tipo de uso define basicamente o *layout* e acabamentos internos. A geometria do formato exterior varia muito pouco, basicamente em relação às janelas, o que confere flexibilidade de uso interno e padronização da 'carcaça'.

Os vagões que contavam com sistema de condicionamento térmico apresentavam janelas herméticas, e os demais apresentavam as janelas tipo guilhotina. Os materiais utilizados para vedação eram basicamente aço inoxidável, aço carbono e vidro. Internamente era utilizada madeira e couro para os bancos, madeira ou revestimento melamínico para o piso e revestimentos melamínicos para paredes e forros.

Os vagões contavam com respiros de teto (renovadores por aeração natural externa), sistema gerador para a luz, vinham equipados com freio a vácuo e bomba elétrica de pressurização do sistema elevatório de água para os banheiros e cozinhas.

Muitos destes carros, patrimônio da R.F.F.S.A., até e quando da privatização da mesma, encontravam-se semi-abandonados e destruídos internamente após a desativação da maior parte das linhas de transporte de passageiros.

2.2.3. Referências inovadoras

Este item tem objetivo de ilustrar exemplos de *retrofit* de vagões e *containers* no Brasil e no exterior. Apesar da vasta gama de exemplos disponível na internet, a maioria deles, não apresenta embasamento teórico ou detalhamento técnico de soluções que permitia profundidade na exposição do item. Portanto, estão selecionados aqui apenas algumas experiências mais expressivas, julgadas interessantes para a inclusão neste trabalho, sejam casos positivos ou negativos. As pesquisas empreendidas não encontraram registro no Brasil de outro caso de vagão-moradia como o do objeto de estudo desta dissertação.

.Museu Estação Natureza – São Paulo/SP.

O Museu "Estação Natureza" fica junto à plataforma principal da Estação Ciência da USP (Universidade de São Paulo), no paulistano Bairro da Lapa e contou com o patrocínio da "Fundação Grupo Boticário de Proteção à Natureza", com o apoio do MinC – Ministério da Cultura/Lei de Incentivo à Cultura.

O projeto Estação Natureza foi desenvolvido pela "Fundação O Boticário" com objetivo de mostrar aspectos variados da biodiversidade do País e despertar no visitante uma maior consciência ambiental. A primeira Estação Natureza foi implantada no Shopping Estação, em Curitiba / PR; depois surgiu a Estação Natureza Pantanal em Corumbá / MS e a Estação Natureza São Paulo, a terceira unidade da série.

O projeto original, desenvolvido pela empresa de consultoria ambiental Lobo Guará[8] previa a utilização da réplica de um trem e vagões verdadeiros, como mostra a Figura 2.9. A proposta propunha aos visitantes uma viagem virtual, mostrando os diversos biomas brasileiros, dividido em 3 pontos principais: sugestão de estação temática, área expográfica em 5 vagões e projeto piloto de energias alternativas.

O projeto previu a acessibilidade a todas as edificações, instalação de piso e sinalização tátil e sonora para deficientes visuais, além de comunicação visual associada a sensores de presença. Em relação ao conforto ambiental foram utilizados critérios da norma NBR 6401/1980 – Instalações centrais de ar condicionado para conforto – parâmetros básicos de projeto.

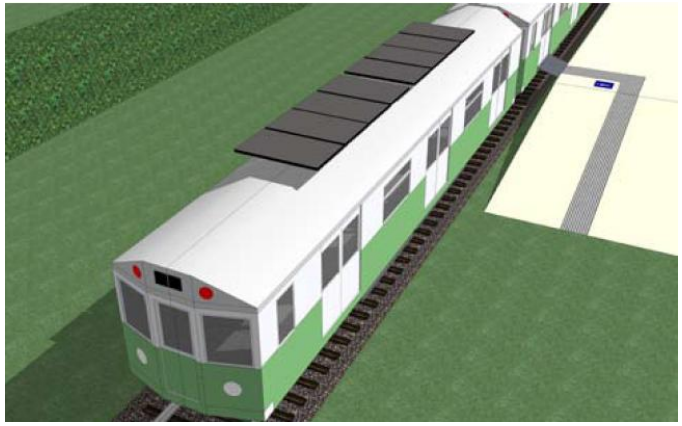
Figuras 2.9: Perspectiva geral do projeto original do Museu Estação Natureza –São Paulo / SP. Fonte: Lobo Guará

[8] Especializada na produção de informação ambiental destinada a centros de visitantes, exposições multimídias permanentes e temporárias da área ambiental e demais temáticas sociais relacionadas. Também produz conteúdo ambiental em diversas mídias como vídeo-documentário, publicações, *cd-roms* multimídia e *web*.

De acordo com a documentação do Projeto Preliminar, o tipo de cobertura dos vagões, associado às janelas estanques para eficiência do ar-condicionado e com fontes de calor oriundas de equipamentos e das pessoas visitantes, sobrecarregaria o sistema previsto de condicionamento de ar, levando a um maior consumo de energia. Também havia a preocupação com a radiação solar direta nos comboios. Para amenizar as cargas térmicas, a consultoria sugeriu:

.isolamento com manta térmica interna ao teto do vagão, a partir da reciclagem de embalagens de caixas longa vida;
.aplicação de películas de proteção solar nos vidros;
.planejamento paisagístico externo, atuando como sombreamento das unidades objetivando atenuar os efeitos da radiação solar.

O projeto também previu a implantação de um sistema complementar de energia solar fotovoltaica, suprindo o sistema de energia de iluminação interna indireta dos 5 vagões; os painéis solares seriam dispostos no teto conforme Figura 2.10.



Figuras 2.10: Estação Natureza/SP, sistema complementar de energia solar fotovoltaica. Fonte: Lobo Guará.

Porém, o projeto acima não foi executado. Os projetos finais, concluídos, foram desenvolvidos em 2006 pelos escritórios de arquitetura “Brasil Arquitetura e Apiacás”, depois da organização de um concurso fechado e organizado através de uma parceria entre a Universidade de São Paulo e a Fundação O Boticário.

Apesar de o edital sugerir réplicas de trem e vagões em madeira, os escritórios propuseram módulos que fizessem alusão aos vagões formando um comboio, e que não dissimulassem o verdadeiro aspecto construtivo. Por fim, apropriaram-se da linguagem formal de um objeto muito presente nas estações ferroviárias: os *containers*. Marcelo FERRAZ, arquiteto titular da Brasil Arquitetura, explicou que: *“...expor dentro de vagões com janelas seria muito desconfortável.”*

Assim foram concebidos cinco prismas retangulares de 3,5m x 15m, construídos em estrutura metálica e revestidos de aço '*corten*', distribuídos em seqüência ao longo da plataforma. Os 'vagões' foram revestidos com telhas trapezoidais dispostas na horizontal, conjugadas com uma manta de lã de vidro e internamente arrematadas com placas de gesso, que receberam o conteúdo expográfico. Já o piso dos vagões é formado por chapas de OSB (*Oriented Strand Board*)[9] revestidas pelas tradicionais placas de borracha de alto tráfego. Todos os prismas foram apoiados em um embasamento de concreto elevado, de forma a possibilitar o acesso por passarelas a partir da plataforma, como um trem parado na estação. (*site* Apiacás e SAYEGH, 2010). O projeto final foi implantado em Fevereiro 2009, conforme Figura 2.11.

Figura 2.11: 'Vagões' finais da Estação Natureza/ São Paulo. Fonte: APIACÁS (2010).

[9] O O.S.B. é um painel estrutural de tiras de madeira, orientadas perpendicularmente, em diversas camadas, aumentando sua resistência mecânica e rigidez. Essas tiras são unidas com resinas aplicadas sob altas temperaturas e pressão.

.Habitação de Interesse Social – Pelotas/RS.

Segundo AGUIRRE et al (2010), no artigo 'Habitando o container', a proposta de Habitação de Interesse Social aproveitando *containers* reciclados da área portuária deve atender aos requisitos para sustentabilidade sugeridos pelo *LEED – Leadership in Energy and Enviromental Design.*

O projeto sugere que a edificação se converta em um grande captador solar no inverno, e que, no verão, seja ventilada por múltiplas aberturas incluindo uma 'chaminé térmica'; defende que a pouca inércia térmica promovida pelas paredes do container isolado permite uma rápida refrigeração ainda que nas horas de máxima radiação solar. Houve simulação computadorizada através do programa 'Antesol 06', desenvolvido por MONROY (1999) para o comportamento térmico da unidade proposta.

Para as paredes metálicas foi proposta uma camada de isolamento térmico de poliestireno expandido e acabamento interno em réguas de PVC[10] ou placas de OSB. Para o teto optou-se pela utilização de cobertura vegetal do tipo extensiva[11] com baixa carga estrutural e baixo custo de manutenção, capaz de proteger termicamente a superfície que recebe maior incidência de radiação solar no verão. Também foram propostos painéis solares exclusivos para aquecimento da água de banho/chuveiro e reuso das águas pluviais.

Segundo os autores do projeto, a adequação bioclimática na arquitetura é viável, desde que pensada a partir do momento de sua concepção. Um projeto que não foi pensado para ser sustentável desde o início, dificilmente conseguirá atingir, simultaneamente, padrões mínimos de habitabilidade e baixo impacto ambiental e, possivelmente, dependerá de fontes não renováveis de energia para prover conforto aos usuários. A HIS projetada a partir do uso de *containers* reciclados se mostra adequada para o propósito habitacional com valores sustentáveis, sendo uma alternativa a ser considerada na solução do sério problema habitacional que assola os países em vias de desenvolvimento.

Ver figuras 2.12 e 2.13.

[10] PVC é acrônimo de sua designação em inglês Polyvinyl chloride ou cloreto de polivinila ou cloreto de vinila. É um plástico não 100% originário do petróleo.

[11] Na vegetação extensiva, o substrato é de espessura inferior a 20 centímetros, constituída por plantas que não exigem manutenção regular, por exemplo: grama simples.

INVERNO

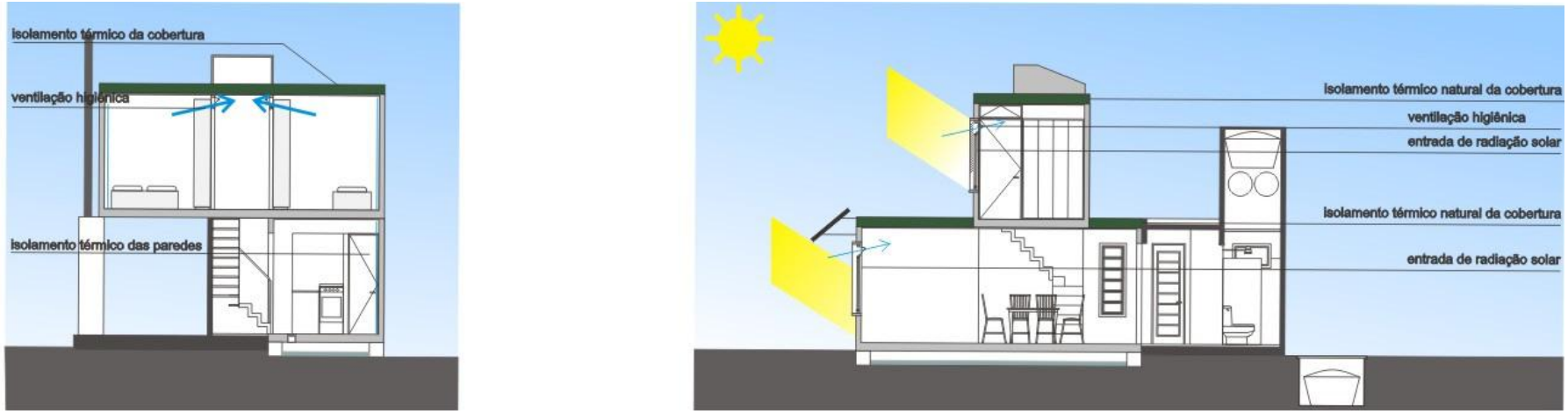


Figura 2.12: Situação de Inverno Projeto 'Habitando o *Container*'-Pelotas/PR. Fonte: AGUIRRE et AL (2010)

VERÃO

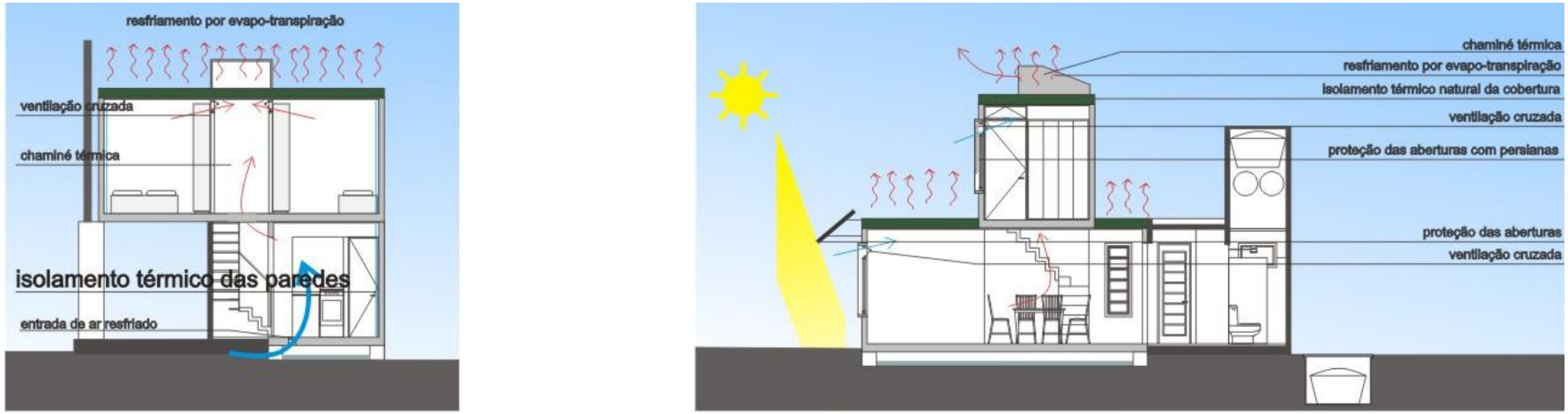


Figura 2.13: Situação de Verão Projeto 'Habitando o *Container*'-Pelotas/PR. Fonte: AGUIRRE et AL (2010)

.Biblioteca Pública – Fortaleza/CE.

Com 15 metros de comprimento, o vagão de trem, doado pela RFFSA, foi adaptado para implantação de uma biblioteca no Ceará, situada na Praça Luiza Távora, referência na comercialização de artesanato de Fortaleza. Trilhar caminhos para combater o analfabetismo e estimular a leitura é o principal objetivo do "Programa Ação Voluntária" com a inauguração do Vagão da Cultura na Praça do Centro de Artesanato do Ceará (CEART). A idéia de criar o "Vagão da Cultura" surgiu devido à necessidade de um local reservado para treinar as pessoas responsáveis pelas bibliotecas. Notar a Figura 2.14 quando da inauguração, sem proteção superior e a Figura 2.15, atualizada em Janeiro 2011, onde aparece a inserção de uma cobertura em lona tensionada e a pintura do teto curvo na cor branco, provavelmente em virtude dos problemas térmicos apresentados.

Figura 2.14: Vagão da Cultura do Ceará (CEART): Antes.
Fonte: Diário do Nordeste, 2009

Figura 2.15: Vagão da Cultura do Ceará (CEART): Depois.
Fonte: Fortaleza em fotos, 2011

.Centro Pedagógico – Santa Cruz/RS.

Instalado atrás da antiga Estação Férrea de Santa Cruz do Sul/RS, o vagão 'Z-222' (Figura 2.16) foi construído em 1949 e era utilizado para transportar pessoas. Foi levado à Cidade de Santa Cruz do Sul por meio de um convênio com a Rede Ferroviária de Santa Maria. O antigo vagão com 18m de comprimento foi recuperado e reformado em 2007, na oficina da Secretaria de Obras de Santa Cruz, sendo transformado em centro pedagógico onde é exibido um vídeo sobre o período ferroviário. Conforme o coordenador do projeto, Nasário Bohnen, o vagão possui uma sala de aula e um pequeno museu sobre a Estação Férrea. O interior do vagão ganhou novos bancos de madeira que seguem os modelos originais daquele período. Apenas os equipamentos de climatização e vídeo são atuais.

Figura 2.16: Centro Pedagógico em Santa Cruz do Sul / RS. Fonte: Noticia dos Vales, 2008.

.Escola Pública – São Paulo/SP.

As chamadas **"escolas de lata"** (Figura 2.17) são escolas públicas que foram criadas durante a gestão de Celso Pitta (1997-2000) na Prefeitura de São Paulo. Eram salas de aula construídas em *containers* e que ofereciam péssimas condições de ensino às crianças, antes da construção dos Centros Educacionais Unificados. Alegadamente construídas em "caráter emergencial", no final da década de 1990 para atender à demanda de vagas, as principais reclamações de professores e pais de alunos era de que a estrutura, por ser de metal, deixava as salas muito frias no inverno e muito quentes no verão. Além disso, o barulho causado por ventos e chuvas era potencializado e dificultava a comunicação entre alunos e professores. Segundo MADAZIO et AL (2003), a temperatura média das salas chegava a 31°C em algumas regiões, aferida em um estudo realizado pelo Departamento de Geografia do Laboratório de Climatologia e Biogeografia da FFLCH / USP (Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo), que ainda descreveu: *"*Confirma-se a insalubridade e inadequação dos ambientes internos aos fins a que se destinam."

Figura 2.17: As "escolas-de-lata".
Fonte: http://www.usp.br/jorusp/arquivo/2005/jusp730/pag20.htm

.Alojamento Estudantil – Amsterdã / Holanda.

Na Cidade de Amsterdã, capital da Holanda, localiza-se a maior vila de *containers* do mundo. A ***Student Housing Project Keetwonen*** (Figura 2.18) conta com aproximadamente 1000 apartamentos que atendem a demanda por alojamentos estudantis na cidade, de forma rápida e acessível financeiramente. Cada módulo (*container* com 2,4m x 12m) possui pia, banheiro, aquecedor e isolamento acústico em aproximadamente 26m², e o complexo não possui elevador (é preciso subir escadas). Os *containers* são preparados para o frio europeu através de uma central de aquecimento ou através splits individualizados por módulo (ver Figura 2.19); do isolamento térmico e acústico nas paredes e telhado; e também possuem internet rápida e estacionamento de bicicletas. Para o banho foram desenhados acumuladores de água quente para 50 litros, o suficiente para uma ducha quente entre 15 e 20 minutos. A maioria dos estudantes reconhece que as instalações são cômodas apesar de poder haver um pouco de frio nas noites de inverno, porém, também têm consciência de que tal acomodação é 'transitória'.

Figura 2.18: *Student Housing Project Keetwonen* na Holanda.
Fonte: Planeta Sustentável, 2009.

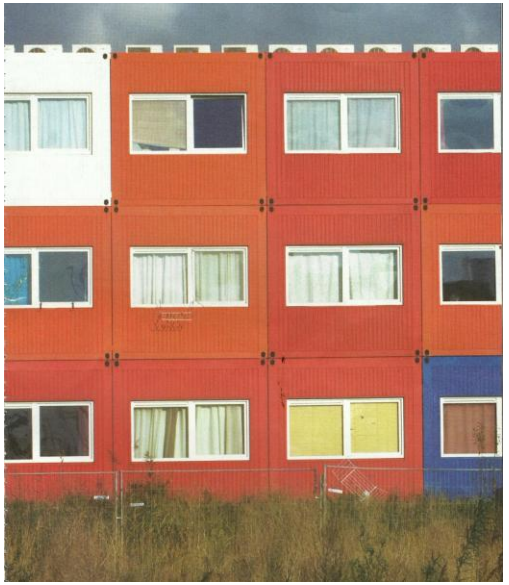


Figura 2.19: Splits na parte superior de alojamentos estudantis na Holanda. Fonte: Gabriele Merolli, Revista Now, 2011.

.Plataforma de Criatividade e Cultura – Londres / Inglaterra.

O *Village Underground* é um projeto envolvente para uma plataforma internacional de criatividade e cultura. O *Designer* Auro Foxcroft utilizou vagões de metrô sucateados na criação de uma arena flexível e multifuncional para um grande número de atividades criativas. O projeto, que utiliza um antigo depósito londrino restaurado localizado em Shoreditch, pretende criar bases físicas e redes virtuais para conectar artistas*, designers, filmmakers, VJ's*, músicos e todas as outras culturas nas cidades européias e em muitas outras, com preços acessíveis (Figuras 2.20, 2.21 e 2.22). Os vagões são o espaço de trabalho para os artistas, enquanto o antigo depósito no piso térreo é utilizado para sediar eventos e exibições.

Figura 2.20: Vista externa do *Village Underground* em Londres. Fonte: IT'S GREEN, 2009.

Figura 2.21: Vista externa do *Village Underground* em Londres. Fonte: IT'S GREEN, 2009.

Figura 2.22: Vista interna do *Village Underground* em Londres. onte: IT'S GREEN, 2009.

.Hotel Pousada – Tiradentes / MG.

Sobre dormentes, trilhos e rodados de trem, como réplicas do vagão de 1881 utilizado pelo Imperador D. Pedro II, a "Pousada Trem do Imperador", em Tiradentes /MG, recebe seus hóspedes. No *site* consta que todas as seis suítes dentro dos vagões possuem ar-condicionado quente e frio, lençóis térmicos e água aquecida (aquecimento solar). Inicialmente, a pousada mantinha os vagões livres, ao redor do espaço de convivência (piscina, restaurante etc.). Atualmente, propuseram uma cobertura para as unidades, provavelmente em virtude dos problemas térmicos apresentados. (Ver Figuras 2.23 e 2.24).

Figuras 2.23: Vagões da pousada descobertos, em pesquisa de Agosto 2009.
Fonte: Pousada Trem do Imperador (2009)

Figuras 2.24: Vagões da pousada já com cobertura de proteção.
Fonte: Pousada Trem do Imperador (2010)

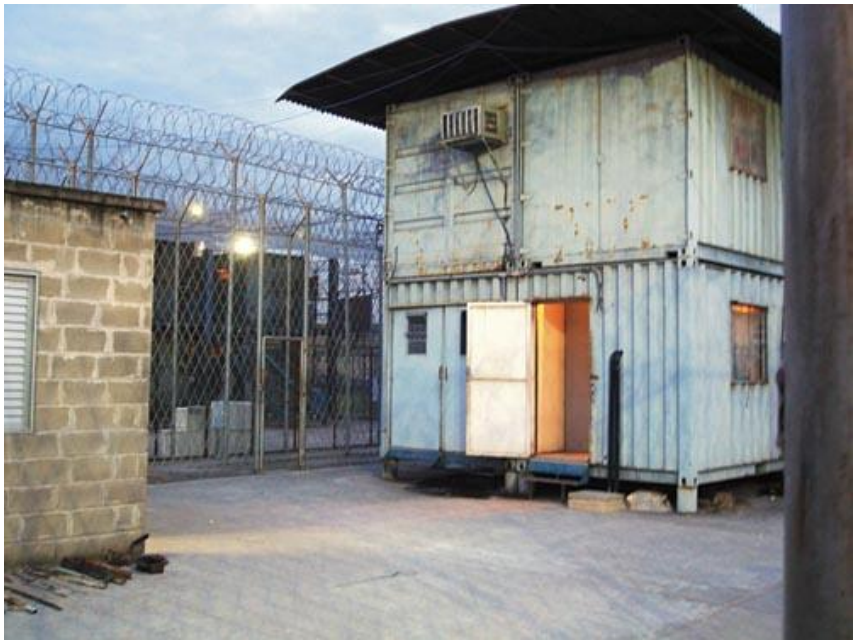
.Lojas – Geroldstrasse / Zurich.

Em 2006, na localidade de Geroldstrasse, em Zurich, os arquitetos Annette Spillmann e Harold Echle empilharam 17 *containers,* criando espaços compactos, reciclando um material descartado. Nas palavras do *blog* 'Melhor Lugar': *'...a área de Geroldstrasse é amplamente influenciada e moldada por sua localização entre grandes eixos de tráfego. Seu entorno rarefeito contém pequenos edifícios, onde muitos terrenos baldios são usados como área para armazenamento. A presença deste edifício enriquece publicamente a área com um uso diurno. Os containers de carga usados, a maioria vindos de Hamburgo e trazidos até o local por trem, foram empilhados e montados de forma tradicional, utilizando-se ferramentas usadas na indústria naval. Na base situa-se a loja e a torre aparece como um marco para aquela região. O cliente é levado através da linha de produtos, até a plataforma de observação, 25 metros acima do chão, de onde se tem uma vista extraordinária da Cidade de Zurique, do tráfego, do lago e das montanhas*.' (Figura 2.25).

Figura 2.25: Gerldstrasse / Zurich. Fonte: Blog Melhor Lugar (2009)

.Prisão – Vitória / ES.

O uso de *containers* como celas (Figura 2.26) motivou o Conselho Nacional de Política Criminal e Penitenciária (CNPCP) a pedir ao Procurador-Geral da República que apresentasse um pedido de Intervenção Federal no Espírito Santo. O presídio de *containers* se localiza no Bairro Novo Horizonte, no Município de Serra, Região Metropolitana de Vitória. *"Cada container tinha cerca de 40 presos; o local é absolutamente insalubre, a temperatura no verão passa de 45 graus, segundo vários depoimentos"*, afirma o relatório do presidente do CNPCP - Conselho Nacional de Política Criminal e Penitenciária, Sérgio Salomão Shecaira. Em 18 de Maio de 2009, o defensor público do Estado do Espírito Santo, Dr. Carlos Eduardo Rios do Amaral, expediu Ação Civil Pública para 'Compelir o Estado do Espírito Santo a destruir todos os *containers* utilizados como celas metálicas para presos no Sistema Penitenciário'.



Figuras 2.26: Presídio em Novo Horizonte / ES. Fonte: JUSBRASIL (2009)

2.2.3.1. Considerações sobre as referências apresentadas

Todos os exemplos apresentados aqui demonstram uma dificuldade de conforto térmico.

O projeto original para o Museu Estação Natureza nem foi executado e já previa uma carga térmica alta, devido aos materiais de fechamento dos vagões; a solução encontrada, apesar de apropriada, não é compatível com o objetivo deste trabalho. Outros exemplos mostram o 'antes' e o 'depois' de vagões que não foram solucionados no âmbito de suas formas originais, agregando coberturas díspares. Nos exemplos dos *containers* as soluções nacionais efetivamente implantadas obtiveram resultados lastimáveis.

O projeto do *Village Underground*, em Londres, parece ter as soluções mais interessantes em vários sentidos. Além das fotos apresentadas, no *site* do próprio espaço[12] nota-se a preocupação com as paredes internas, revestidas de placas de OSB, com a manutenção da esbeltez das formas dos vagões, com o tratamento das áreas livres (vegetação e pedriscos), a pintura externa etc. No *site* ainda consta que o espaço conta com 24 captadores solares, gerando energia para luzes e equipamentos e que, recentemente, foi instalada uma barreira acústica para não incomodar os vizinhos com a música dos concertos.

Os exemplos bem sucedidos mostram que habitar vagões e *containers* é possível, assim como estes espaços também podem ter utilização provisória. Porém não podem ter caráter provisório os projetos e o conforto dos usuários. Além disso, essa opinião de profissionais como os arquitetos do projeto final do Museu Estação Natureza, compactua com a mesma vontade da autora deste estudo, quando se colocam favoráveis à manutenção da originalidade das formas do objeto a ser reciclado, sem dissimulações, ou então, apropriam-se de uma linguagem para criar outras formas.

Outra pesquisa possível poderá ser, futuramente, conhecer e estudar 'in loco' as referências inovadoras apresentadas, positivas e negativas, objetivando um desdobramento deste trabalho.

[12] http://www.villageunderground.co.uk/about

2.3. Conforto ambiental em espaços habitados

Uma pessoa está confortável com relação a um acontecimento ou fenômeno quando pode observá-lo ou senti-lo sem preocupação ou incômodo. Então, diz-se que uma pessoa está em um ambiente físico confortável quando se sente em neutralidade com relação a ele. (CORBELLA & YANNAS, 2003).

As exigências fundamentais para a vida do ser humano são, basicamente, três: disponibilidade de alimentos, segurança diante da possível agressão de outros indivíduos e adequação das propriedades físicas e químicas do meio envolvente com sua condição orgânica. As duas últimas estão ligadas ao trabalho do arquiteto.

A exigência de segurança é resolvida seja pelo uso de barreiras arquitetônicas (muros, paredes, grades) auxiliados por tecnologias apropriadas como alarmes, câmeras e outros dispositivos eletrônicos de monitoramento, seja pelos avanços da medicina, como vacinas e programas de prevenção. A adequação do meio ao organismo humano está ainda mais diretamente ligada à arquitetura (apesar de ser a própria vestimenta o primeiro recurso do homem na tentativa de manter-se adequado dentro de um espaço).

Para ampliar este espaço, inicialmente restrito à vestimenta, o homem construiu os primeiros abrigos, que o protegessem dos excessos climáticos, oferecendo melhores condições de conforto e desenvolvimento de atividades. Este abrigo evoluiu e transformou-se em arquitetura, que foi adquirindo características locais e identificando-se com a cultura de cada região, refletindo a forma encontrada por cada povo para conviver com o clima e a natureza local.

Contemporaneamente, atravessamos um período de progressiva conscientização ambiental, em que a Arquitetura desempenha importante papel na tentativa de suprir as necessidades de conforto do homem através da redução do consumo de energia gerada a partir de recursos não renováveis.

O estudo de conforto ambiental pode ser dividido em 4 grandes grupos: higrotérmico, lumínico, acústico e ergonômico, facetas da necessidade humana de conforto. Neste trabalho, em função das demandas do estudo de caso, enfocaremos somente o conforto higrotérmico e acústico.

2.3.1. Conforto Acústico

> Também se deve ter diligentemente presente que o local deve possuir boa acústica, a fim de que nele a voz se possa transmitir o mais claramente possível. Isto poderá ser conseguido se for escolhido um lugar onde não haja ressonância. Do mesmo modo, assim se movimenta a voz em círculos; mas se na água estes se movem planamente, a voz progride em amplitude e sobe gradualmente em altura. Portanto, como acontece na água com os traçados das ondas, assim na voz. Quando nenhum impedimento se opõe a primeira onda, também esta não perturba a segunda nem as que se seguem, mas todas, sem ressonância, atingem os ouvidos dos que estão mais em baixo e dos que estão mais em cima. VITRÚVIO (2006)

Segundo a OMS-Organização Mundial da Saúde (WHO, 2001), estima-se que 120 milhões de pessoas no mundo sofrem com dificuldades auditivas incapacitantes causadas pelo ruído. O reconhecimento do ruído como perigo grave à saúde é recente e, atualmente, reconhece-se que o ruído interfere na comunicação, perturba o sono, causa efeitos cardiovasculares e psicofisiológicos, reduz o desempenho, provoca mudanças no comportamento social e, a principal conseqüência: incapacita a compreensão da fala pelo comprometimento da audição, acarretando um grave prejuízo social.

2.3.1.1. Necessidades humanas

> A resposta humana aos estímulos sonoros ocorre em três níveis. O primeiro é universal: existe uma preferência generalizada por sons naturais e humanos. Ruídos de tráfego e construção civil são considerados os mais desagradáveis, ao passo que os sons emitidos por atividades humanas são avaliados como neutros. O segundo é a herança sócio-cultural (macro-preferências). Pessoas criadas em ambientes semelhantes tendem a apresentar um mesmo padrão de resposta ao ruído. No terceiro nível ficam as diferenças individuais (micro-preferências) como, por exemplo, idade e gênero. A idade, em particular, representa um fator importante na avaliação da paisagem sonora. De modo geral, à medida que envelhecem, as pessoas tendem a preferir os sons relacionados à natureza, cultura e atividades humanas, enquanto os jovens apresentam maior tolerância aos ruídos mecânicos e eletrônicos. (CRES, 2006 apud NIEMEYER, L., 2007)

O ‘som’ para uma pessoa pode muito bem ser um ‘ruído’ para outra. De acordo com as recomendações da OMS (WHO, 2001), do ponto de vista da acústica, som e ruído constituem o mesmo fenômeno de mudança de pressão atmosférica sobre a pressão atmosférica média, portanto sua diferenciação é muito subjetiva. Quando considerado ruído, pode ser definido como "desagradável ou indesejado", que acelera a perda auditiva, devido à multiplicidade de suas fontes na contemporaneidade.

No entanto, alguns sons, que podem ser qualificados como ‘ruído’ podem transmitir informações úteis, como indicar: a velocidade de um carro, o término do programa de uma máquina de lavar ou a gravação de arquivos em um computador. Um técnico acostumado à determinada função, por exemplo: um

mecânico, pode detectar o problema no motor de um carro através da diferença de ruído. Alarmes e sirenes indicam alerta e possibilidade de salvamento de vidas. Alguns 'ruídos' são utilizados para encobrir outros mais perturbadores através da técnica de 'mascaramento sonoro'[13].

De qualquer maneira, na maioria das vezes, os ruídos geram diversos efeitos indesejáveis. O ruído incomoda quando impede a recepção de uma informação desejada ou quando impede a comunicação verbal. A dificuldade de ouvir claramente um som significante, ocasionada pela presença de um ruído muito elevado, ou de localizar a fonte do ruído, são fatores de desconforto. Com excesso de ruído, o indivíduo pode ter reduzida sua capacidade de atenção tanto intelectual quanto física, decair em produtividade, deglutir ar excessivamente em decorrência de ansiedade, perder apetite, sofrer de insônia, padecer de distúrbios circulatórios ou respiratórios e emagrecer. Níveis muito elevados de ruído ou variação súbita do nível sonoro interferem no sono.

A completa eliminação do ruído, além de cara, não é normalmente um objetivo a ser atingido. A experiência de estar em um ambiente muito silencioso, como por exemplo, uma câmera anecóica, também pode ser perturbadora, pela necessidade humana de evitar a sensação de privação completa. Em um ambiente excessivamente silencioso, e após alguns minutos de permanência, a audição humana torna-se mais sensível e o indivíduo mais suscetível aos ruídos normalmente não percebidos, como os ruídos do aparelho digestivo e das batidas de coração (pois o coração não bate com perfeita regularidade!). A completa eliminação do ruído torna-se sem sentido por que, com frequência, o ruído de fontes secundárias sobrepõe-se ao ruído principal. As fontes secundárias são chamadas 'ruído de fundo', e normalmente não podem ser eliminadas (trânsito, vizinhos, latido de cães, construções, propagandas, aparelhos...). Portanto, a redução do ruído principal só terá sentido a partir do ponto em que este seja percebido acima do ruído de fundo; o objetivo passa a ser então o controle do ruído, e não sua completa eliminação.

Em Curitiba, em 2002, foi realizada uma pesquisa com 1000 moradores da cidade, realizada pelo Laboratório de Acústica Ambiental da UFPR, liderado pelo Professor Paulo Henrique Trombetta Zannin (ZANNIN et AL, 2002). Esta pesquisa culminou no artigo "Incômodo causado pelo ruído urbano à população de Curitiba" informando que, as principais fontes de ruído causadoras de incômodo identificadas foram o tráfego de veículos (73%) e os vizinhos (38%), sendo que estes últimos foram classificados como a principal fonte de desconforto. Os respondentes apontaram pelo menos um dos seguintes itens como geradores de ruído: vizinhos, animais, sirenes, construção civil, templos religiosos, casas noturnas, brinquedos e aparelhos domésticos. As principais reações ao ruído foram: irritabilidade (58%), baixa concentração (42%), insônia (20%) e dores de cabeça (20%).

Ainda de acordo com a pesquisa citada, para uma pessoa sentir-se incomodada pelo ruído urbano, não é absolutamente necessário que ele seja intenso ou muito intenso, já que 25% dos respondentes que "sempre se incomodavam com o ruído a que estão expostos" consideraram-no pouco intenso. Observou-se também que, apesar dos "ruídos gerados pela vizinhança" serem mais significativos para a comunidade, o "ruído gerado pelo trânsito" é a fonte

[13] Ocorre o mascaramento quando um som interfere na percepção de outro. (BISTAFA, 2006, p. 65)

predominante e mais importante quando considerada fonte não agrupada ou não contínua; dentro deste grupo estão: automóveis, ônibus, motocicletas, trens e silvos.

De acordo com a Recomendação número 258/2001 da OMS - Organização Mundial da Saúde, o ruído não industrial é conhecido como ruído comunitário, ambiental, residencial ou doméstico. Entre as fontes mais importantes de ruído incluem-se: música ao vivo ou gravada, esportes, *playgrounds*, estacionamentos e latido de cachorros, sendo que, o crescimento contínuo no sistema de transportes (rodovias, aeroportos e linhas férreas) gera mais ruídos. Ainda segundo esta Recomendação, poucos países têm regulamentação para o ruído comunitário de vizinhança, provavelmente por causa da dificuldade com sua definição, medição e controle; este fator e o conhecimento insuficiente do efeito do ruído nas pessoas, prejudicam tentativas de prevenir e controlar o problema.

2.3.1.2. Conceitos básicos

2.3.1.2.1. Onda Sonora

Segundo Hansen (2005), **som (ou ruído)** é o resultado de variações de pressão, ou oscilações, em um meio elástico (ex.: ar, água, sólidos), gerado por uma superfície em vibração, ou fluxo turbulento de fluido. O som se propaga sob a forma de ondas longitudinais, envolvendo uma sucessão de compressões e rarefações no meio elástico.

Um som é produzido quando um corpo vibra e faz vibrar o meio à sua volta. Por se tratar de onda mecânica, não se propaga no vácuo; a propagação do som se faz em todas as direções (a onda sonora é tridimensional), desde a fonte sonora até nossos ouvidos (receptores) e ocorre somente nos meios materiais (sólidos, líquidos e gasosos).

Onda sonora pode ser definida como uma variação da pressão ambiente, detectável pelo sistema auditivo. (BISTAFA, 2006).

A fonte sonora é o elemento responsável pela emissão do som. Em função de valores subjetivos, pode ser considerada desejável, indiferente ou incômoda. O conjunto de fontes sonoras atuantes em um mesmo espaço, interno ou externo, é determinante de um nível sonoro mínimo denominado ruído de fundo.

2.3.1.2.2. Frequência

A freqüência é o número de ciclos que a onda sonora completa a cada segundo. É medida por uma unidade chamada Hertz, que equivale a um ciclo (vibração) por segundo, sendo que o comprimento de onda é a distância entre qualquer ponto em uma onda e o ponto correspondente na seguinte, e a altura é a característica produzida pela freqüência do som; quanto maior a freqüência, maior a altura e mais agudo é o som e, quanto menor a freqüência, mais grave é o som.

'Faixa de áudio freqüência' é a chamada área de audição, onde ocorrem todas as experiências auditivas dos seres humanos. É uma área com duas dimensões: a vertical, que corresponde aos níveis de pressão sonora, e a horizontal, que corresponde às freqüências que sensibilizam o sistema auditivo. Todos os sons capazes de sensibilizar os seres humanos devem corresponder, em termos de freqüências e níveis sonoros, a pontos dentro da área de audição. (BISTAFA; 2006).

A faixa de áudio freqüência, de uma pessoa jovem e sadia, está situada entre 20Hz e 20.000Hz. As freqüências de fala, para as quais o ouvido humano apresenta maior sensibilidade, estão compreendidas na faixa entre 100Hz e 6000Hz (WHO, 1999). Ver Figura 2.27.

Os limiares de audibilidade, o menor som capaz de sensibilizar o ouvido humano até o maior (de dor), limite a partir do qual o som é insuportável, variam em função da freqüência e podem ser expressos em pressão ou intensidade. Ainda conforme a Figura 1.28, o limiar da audibilidade é igual a 0 dB. Já o limiar de dor é aproximadamente 130 dB.

Os sons abaixo de 16Hz são chamados de infra-sons (abaixo da faixa audível), e, aqueles acima de 20.000Hz são chamados de ultra-sons; ambos não são, normalmente captados pelo ouvido humano.

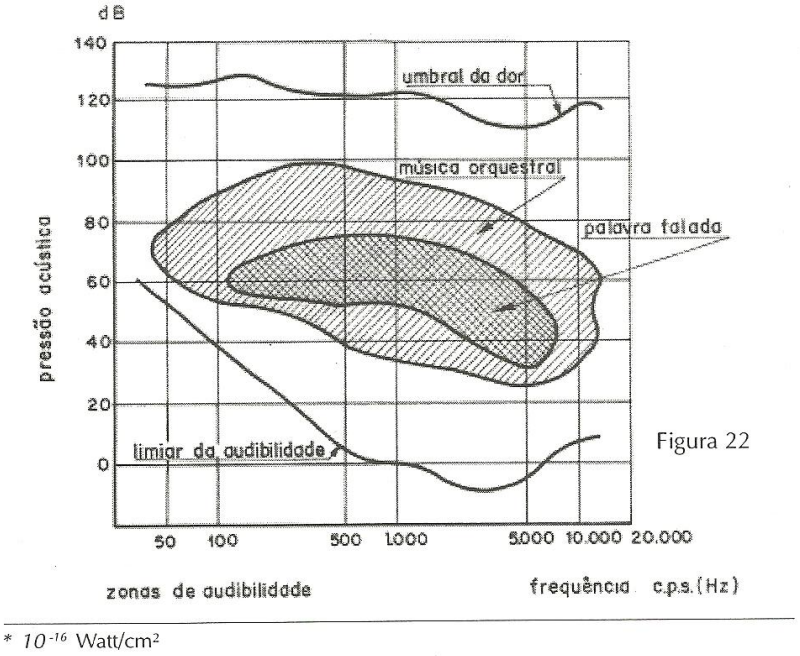


Figura 2.27: Zonas de audibilidade. Fonte: SILVA, 1997.

2.3.1.2.3. Potência, Intensidade, Pressão

'Potência' exprime a quantidade de energia liberada por uma fonte, por unidade de tempo e é medida em Watts (W). É, portanto, uma característica intrínseca da fonte sonora. A emissão de energia sonora resultante da emissão, na maioria das fontes sonoras, é muito pequena; por exemplo, uma pessoa falando em um auditório origina uma potência sonora de 50 micro-watts[14] (SILVA, 1997).

'Intensidade' é a quantidade média de energia sonora por unidade de tempo e por unidade de área, perpendicular à direção de propagação, e é medida em Watts por metro quadrado (W/m²). A intensidade está relacionada à quantidade de energia que é transmitida pelas ondas sonoras, o que é diretamente

[14] 1 micro-watt = 0,000001 watt = 10^{-6} watt.

proporcional à amplitude das vibrações que produzem as ondas. Intensidade sonora, portanto, é um indicador da magnitude, direção e sentido de propagação da energia sonora.

'Pressão' sonora é a variação da pressão do ar em relação à pressão estática, devido a uma perturbação acústica. Sua unidade é o Pascal (Pa). A pressão sonora é uma grandeza física correlacionada com a sensação subjetiva de intensidade do som (o quão intenso é determinado som que escutamos). A relação entre Pressão Sonora, Nível de Pressão Sonora e a impressão subjetiva provocada por alguns ruídos típicos pode ser apreciada na Tabela 2.1 abaixo:

IMPRESSÃO SUBJETIVA	DESCRIÇÃO	PRESSÃO (Pa)	NPS (dB)
ESTRONDOSO	**-Perigo de ruptura do tímpano-** Fogo de artilharia Avião a jato a 1m	200	140
	-Limiar da dor- Tambor de graves a 1m Avião a jato a 5m	63	130
MUITO BARULHENTO	**-Limiar desconforto auditivo-** Broca pneumática Avião a pistão a 3m	20	120
	Metrô Próximo de um rebitador	6,3	110
	Indústria barulhenta Dentro de um avião	2	100
BARULHENTO	**-Insalubridade-** Banda ou orquestra sinfônica Rua barulhenta	0,63	90
	Interior de um veículo em alta velocidade Escritório barulhento Aspirador de pó	0,2	80
MODERADO	Rua de barulho médio Pessoa falando a 1m	0,063	70
	Escritório de barulho médio Rádio com volume médio	0,02	60
TRANQUILO	Restaurante tranqüilo Escritório paisagem com tratamento acústico	0,006	50
	Sala de aula (ideal) Escritório privado (ideal)	0,002	40
SILÊNCIO	Teatro vazio Quarto de dormir	0,0006	30
	Movimento de folhagem Estúdio de rádio e TV	0,0002	20
MUITO SILÊNCIO	Deserto ou região polar (sem vento) Respiração normal	0,00006	10
	-Limiar de audibilidade- Laboratório de acústica (câmara anecóica)	0,00002	0

Tabela 2.1. Relação entre Pressão Sonora, Nível de Pressão Sonora (NPS) e a impressão subjetiva provocada por alguns ruídos típicos. Fonte: GONZALEZ, s/d.

2.3.1.2.4. Audibilidade

A audibilidade refere-se à força que um som parece ter quando chega aos nossos ouvidos; sons de mesma intensidade, porém de diferentes freqüências, não são igualmente audíveis; a audibilidade decresce quando aumenta a distância entre o ouvido e a fonte sonora. A fim de mensurar subjetivamente a intensidade dos sons, criou-se uma grandeza chamada 'nível de audibilidade'.

Em 1933, Fletcher e Munson foram os primeiros a medir experimentalmente o nível de audibilidade com ouvintes treinados. A unidade do nível de audibilidade foi chamada fone. Os pontos de medição constituíram curvas atualmente denominadas isoaudíveis (mesmo nível de audibilidade) ou isofônicas (mesmo valor de fones). Devido à sua importância, tais curvas foram normalizadas pela *International Organization for Standardization* (ISO), conforme Figura 2.28 abaixo:

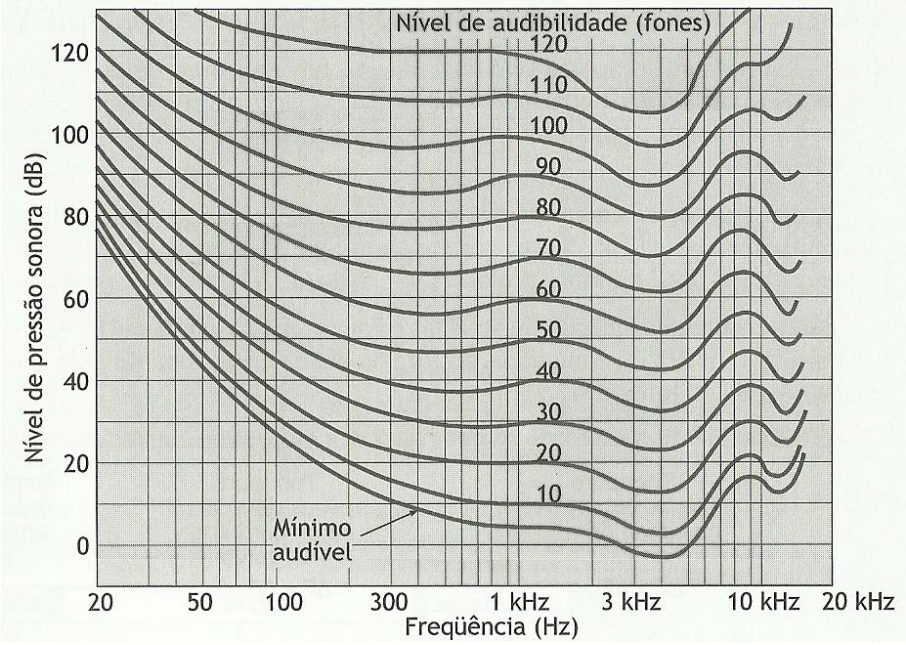


Figura 2.28: Curvas de mesmo nível de audibilidade para tons puros (adaptada da ISO 226).

2.3.1.2.5. A escala decibel

Em homenagem a Alexander Graham Bell[15], em 1924, a *Bell Telephone Laboratories*, nomeou de "bel" uma antiga unidade de transmissão (T.U.) que tinha a característica de comprimir uma ampla faixa de variação da escala linear de potência em escala logarítmica.

Bel (B) passou a ser a unidade utilizada para exprimir a relação entre dois valores de potência, intensidade ou pressão sonora (EGAN, 1984). O decibel (dB) é a décima parte do Bel (B). Os valores da escala decibel estão compreendidos entre 0 e 130 dB, correspondendo respectivamente ao limiar da audibilidade (mínimo audível) e ao limiar da dor ou do desconforto. Portanto, o decibel corresponde a uma escala logarítmica que se aproxima da percepção do ouvido às flutuações da pressão e da intensidade sonora. Utiliza-se o decibel para medir o nível de intensidade sonora (NIS) e o nível de pressão sonora (NPS), em dB, correspondente a uma pressão sonora em Pa (Pascal).

2.3.1.2.6. A curva A dB(A)

Considerando a sensibilidade humana diferenciada para as freqüências da faixa audível, foram adotados, após numerosos testes e pesquisas, uma série de circuitos eletrônicos de ponderação: (A), (B), (C) e (D).

O dB(A), nível sonoro expresso em dB e ponderado segundo o filtro (A), permite caracterizar um som ou ruído, considerando as reações do ouvido humano. (NIEMEYER, 1998).

A curva 'A' indica que o sistema auditivo é mais sensível em torno de 3kHz. Observa-se que a estimulação da audição requer níveis sonoros cada vez mais elevados, à medida que a frequência cai abaixo dos 200Hz; observa-se também que o sistema auditivo não é sensibilizado por sons inferiores a 20Hz e acima de 20kHz, aproximadamente. A curva 'B' apresenta os limites de 'desconforto auditivo', quando essa sensação começa a ser sentida a partir dos 120dB nas baixas e altas frequências e, entre 100-120dB, aproximadamente, para frequências onde a sensibilidade auditiva é maior.

Segundo Everest (1994), a área de audição dos seres humanos é delimitada pelo limiar da audibilidade (curva 'A') e pelo limiar do desconforto auditivo (curva 'B'); ver Figura 2.28. A região compreendida entre as curvas 'A' e 'B' é a chamada 'área de audição', na qual ocorrem todas as experiências auditivas dos seres humanos.

[15] 1847-1922, cientista escocês, professor de dicção e de surdos-mudos. Patenteou o telefone em 1876 e fundou a *Bell Telephone Company* em 1877.

2.3.1.2.7. Tempo de Reverberação

De acordo com a NBR 12.179/1992 (Tratamento acústico em recintos fechados), reverberação é o tempo necessário para que um som deixe de ser ouvido, após a extinção da fonte sonora, e expresso em segundos. O tempo de reverberação é medido como o tempo necessário para que o som sofra um decréscimo de intensidade de 60 dB.

2.3.1.2.8. Tempo de Reverberação ótimo

De acordo com a NBR 12.179/1992, é o tempo de reverberação considerado ótimo para determinado recinto e determinada atividade, expresso em segundos.

2.3.1.3. Limites de conforto acústico

A recomendação da OMS (WHO, 2001) cita que, para a maioria das pessoas, a exposição continuada ao ruído ambiental médio de 70 dB ao longo de uma vida não causará problemas auditivos e, que o ouvido de um adulto pode tolerar um nível de ruído ocasional de até 140dB, mas, para as crianças esta exposição não deve ultrapassar 120dB.

2.3.1.4. Propagação Sonora

Quando uma frente de onda sonora atinge uma parede ou um obstáculo qualquer (janelas, portas, lajes, entreforros...), parte da energia incidente é refletida, parte é dissipada pelo obstáculo, transformando-se em energia calorífica ou mecânica. O restante atravessa o obstáculo, passando para o outro lado deste e transmitindo-se no meio adjacente. A energia dissipada somada à energia transmitida é igual à energia absorvida. A energia sonora incidente é igual à soma da energia absorvida somada à energia refletida. A quantidade de som que é refletida, absorvida ou transmitida depende, essencialmente, das características físicas do obstáculo (meio), que determinam a resistência que ele irá oferecer à passagem das ondas sonoras (Figura 2.29).

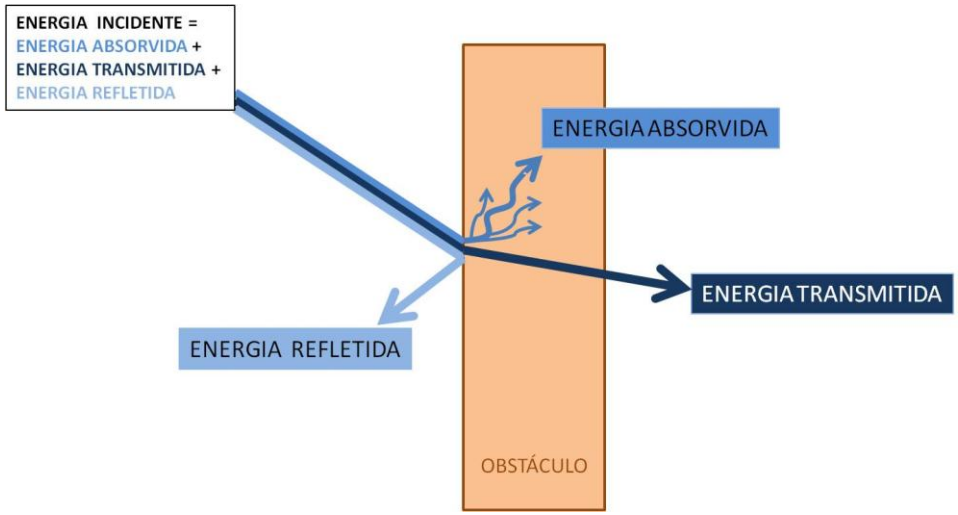


Figura 2.29: Propagação sonora. Fonte SILVA, 1997, com adaptação da autora.

2.3.1.4.1. Transmissão

A transmissão ocorre quando uma onda sonora atinge um obstáculo e este vibra, transformando-se em uma nova fonte. No entanto, o som percebido após o obstáculo sofre uma certa atenuação. Assim, os materiais que separam ambientes contíguos (sejam internos ou externos) deixarão passar uma determinada quantidade de energia sonora neles incidente, proporcional à sua área e ao seu coeficiente de transmissão. O coeficiente de transmissão (ou de transmitância) é a relação entre a quantidade de energia sonora transmitida (que atravessa um material qualquer de uma espessura prefixada) e a quantidade de energia sonora incidente. O isolamento acústico é a forma de impedir a transmissão.

A transmissão pode ocorrer pela passagem direta via parede ou painel divisório; pela passagem indireta via flanqueamento, pelas estruturas vizinhas: pilares, lajes e/ou paredes confluentes; ou então, por janelas, aberturas, portas, dutos de ar, tubos de água, eletrodutos, ou por entreforros e entrepisos. (SILVA, 1997)

2.3.1.4.2. Reflexão

Quando uma onda sonora atinge uma superfície uniforme e relativamente grande em relação ao comprimento dessa onda (a menor dimensão do plano refletor deve ser igual ou maior a quatro vezes o comprimento de onda), ocorre a reflexão. O ângulo do raio incidente, com a normal à superfície refletora no ponto considerado, é igual ao ângulo formado pelo raio refletido com aquela mesma linha e estão no mesmo plano (Figura 2.30).

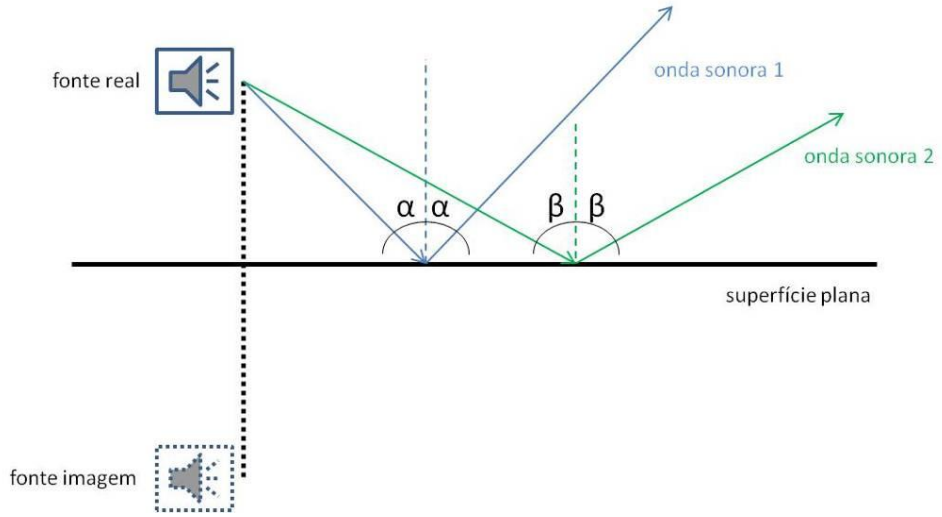


Figura 2.30: Reflexão sobre uma superfície plana: Fonte SILVA, 1997, com adaptação da autora.

A distribuição espacial da energia refletida depende da forma e da rugosidade das superfícies. Materiais duros e polidos tendem a refletir a maior parte da energia sonora incidente. Coeficiente de reflexão é a relação entre o fluxo de energia sonora refletida e o fluxo de energia sonora incidente.

Superfícies côncavas são convergentes, os raios refletidos são concentrados em um foco real, fazendo com que as ondas sonoras se sobreponham, resultando em pontos onde há reforço de som ou, em outros, poderá haver enfraquecimento do mesmo (pontos surdos); ambos sendo prejudiciais à boa audição nos ambientes.

Na superfície convexa ocorre a difusão do som (as ondas sonoras se espalham de maneira mais uniforme). Na Figura 2.31, abaixo, à esquerda vê-se uma superfície côncava na qual F é a fonte sonora onde se originam os raios sonoros que, depois de refletidos concentram-se em um foco F' real; à direita vê-se uma superfície convexa onde F1 é a fonte e F é um foco virtual ou aparente, como se a superfície fosse a de um espelho.

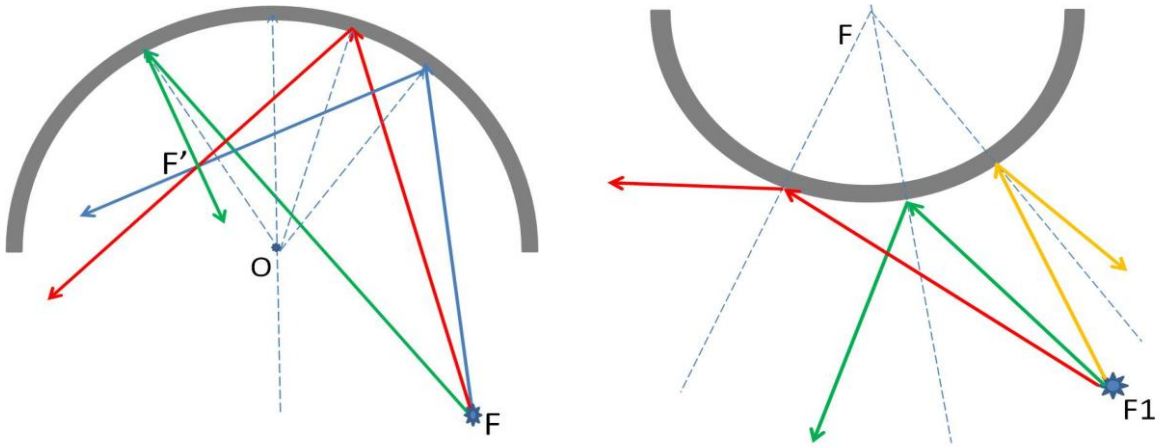


Figura 2.31: À direita uma superfície côncava, à esquerda uma superfície convexa. Fonte: SILVA, 1997, com adaptação da autora.

A influência do ambiente na percepção de sons é basicamente função das múltiplas reflexões sonoras que, por vias indiretas, atingem o observador a partir da fonte sonora. (BISTAFA, 2006).

Em ambientes fechados, onde ocorrem inúmeras reflexões sonoras, manifesta-se também o fenômeno da reverberação que é a percepção de sucessivas reflexões, como um 'prolongamento do som', mesmo após cessar a emissão da fonte sonora. O intervalo de tempo em que o som é percebido em um ambiente sem extinção imediata, é chamado tempo de reverberação. Este 'tempo de reverberação' está diretamente associado ao volume e a composição dos materiais de revestimento do ambiente.

2.3.1.4.3. Absorção

Absorção sonora consiste na transformação da energia sonora em energia térmica. Quando a onda sonora incide sobre um material permeável ao ar, a pressão sonora faz vibrar o ar no interior dos seus poros, que assim, pela ação do atrito, se transforma em energia térmica.

A quantidade de energia que retorna do meio de incidência varia em função do coeficiente de absorção sonora (α) do plano refletor. Chama-se coeficiente de absorção sonora a relação entre a quantidade de energia acústica absorvida pelo material e a energia incidente. Os valores de 'α' variam de zero (totalmente reflexivo) a 1 (totalmente absorvente).

2.3.1.5. Estratégias de tratamento acústico

O tratamento acústico consiste na aplicação de um conjunto de operações que objetivam atenuar o nível de energia sonora entre a fonte geradora e o receptor. Segundo sua origem, os sons classificam-se em:

-originados no ar ou aéreos: produzidos dentro da massa de ar de um determinado ambiente e transmitidos, integralmente, através deste meio até os ouvidos do receptor. Ex.: trovoadas, fogos de artifício, voz humana, latidos de cachorros etc.

-originados no impacto: produzidos pelo choque de elementos sólidos ou líquidos e também transmitidos através de elementos sólidos ou líquidos (eventual e parcialmente, também pelo ar) diretamente sobre uma estrutura, propagando-se por ela e provocando posterior vibração do ar, sendo percebidos sob forma de vibração ou de sensação sonora. Ex.: ação de um martelo sobre uma parede; a vibração transmitida por aparelhos domésticos como a máquina de lavar roupa; o impacto de instrumentos de som como a bateria; 'golpe de aríete' em canalizações de água; objetos que caem em cima de lajes; vibração de comboios de trem sobre o solo etc.

As estratégias de tratamento acústico em recintos diferem inteiramente de acordo com a origem do som e podem ser alcançadas através de três procedimentos:

-Condicionamento acústico (pelo uso geométrico-acústico do recinto e cálculo do tempo de reverberação);
-Isolamento acústico (através do uso adequado de materiais capazes de permitir a necessária impermeabilidade acústica, previamente fixada);
-Combinação de ambos.

Isolamento acústico, de acordo com a NBR 12.179/1992 (Tratamento acústico em recintos fechados), é o processo pelo qual se procura evitar a penetração ou a saída de ruídos ou sons, em um determinado recinto. O isolamento acústico compreende a proteção contra ruídos aéreos ou sons de impacto.

Condicionamento acústico (NBR 12.179/1992) é o processo pelo qual se procura garantir, em um recinto, o tempo ótimo de reverberação e, se for o caso, também a boa distribuição do som.

2.3.1.5.1. Isolamento Acústico

Todo material tem capacidade intrínseca de reduzir a intensidade sonora, quando aplicado entre fonte e receptor. Esta capacidade varia de acordo com a freqüência dos sons e, por isto, os coeficientes de isolamento são indicados em decibéis com valores específicos para algumas freqüências definidas. Essa capacidade de absorção é chamada de 'nível de atenuação', significando que uma onda sonora tenderá a sofrer uma redução de mesmo valor em sua intensidade.

O nível de som do recinto deve ser fixado de acordo com a NBR 10152/1987, que determina níveis de ruído para conforto acústico. Estabelecido este nível e conhecido o nível de som exterior, obtém-se, por diferença, a queda em decibéis do nível de som.

A seleção de materiais isolantes acústicos pode ser feita em função dos valores fixados na 'tabela de valores de isolamento acústico' dos diversos materiais. Para tanto, pode ser utilizada uma combinação de matérias isolantes e deve-se levar em conta a natureza dos ruídos ou sons a isolar: aéreos ou de impacto.

.Isolamento de ruídos aéreos

O isolamento sonoro consiste em reduzir a transmissão sonora entre dois recintos através de medidas arquitetônicas que minimizem a passagem do som.

Quando uma frente de onda incide sobre uma parede sólida, de fato ela encontra um material com propriedades distintas do meio aéreo. Esta onda deverá propagar-se através deste material sólido, percorrer sua espessura e encontrar novamente o meio aéreo do ambiente contíguo. Neste processo, a intensidade sonora transmitida decai entre os ambientes, pois, toda vez que ocorrem mudanças nas características do meio de propagação, há uma redução na intensidade sonora transmitida entre recintos.

A perda na transmissão entre paredes ou painéis é fortemente dependente da freqüência do som incidente. Quanto menor a freqüência, menor será o isolamento sonoro da parede, pois as altas freqüências serão mais atenuadas que as baixas; devido a este fenômeno, o som percebido de um recinto para o outro possui um espectro diferente do som original, frequentemente descrito como 'abafado'. As propriedades do material utilizado para isolamento influenciarão na perda da transmissão, revelando os mais adequados.

A lei que rege o isolamento dos sons aéreos é chamada 'Lei da Massa ou da Densidade': quanto mais pesada for a parede, mais isolará; cada vez que dobrarmos o seu peso, aumentaremos de 4 a 5dB a sua capacidade atenuadora sonora. (SILVA, 1997)

.Isolamento de ruídos de impacto

A Lei da Massa nem sempre é uma medida satisfatória para esses casos. Por exemplo, numa laje de concreto, observa-se que, mesmo esse material apresentando grande massa e bom isolamento de ruídos aéreos, não apresenta boa capacidade de isolamento de ruídos de impacto, porque este tipo de isolamento envolve a utilização de materiais resilientes[16], lajes-flutuantes ou descontinuidade das estruturas.

2.3.1.5.2. Condicionamento Acústico

O condicionamento acústico é o processo através do qual se busca obter condições ótimas de audibilidade no recinto.

De acordo com a Norma 12.179/1992, estabelecido o nível de som do recinto, deve ser feito o estudo geométrico-acústico e determinado o tempo de reverberação. O estudo geométrico acústico da sala tem objetivo de garantir a boa distribuição do som.

O Tempo de Reverberação (TR60) é medido pelo tempo que o som sofre um decréscimo de intensidade de 60 dB, depois de interrompida a emissão da fonte. Do TR60 depende a qualidade acústica de uma sala: se o TR for muito longo (reflexões em demasia) a inteligibilidade é prejudicada; entretanto, um TR excessivamente curto pode resultar num som sem "brilho". O TR deve se aproximar de um valor ideal, em segundos, estabelecido em função do volume de ar da sala e do tipo de atividade nela desenvolvida (música, palavra etc.). As variáveis para ajuste do TR são: o volume de ar da sala e o coeficiente de absorção das superfícies internas e do mobiliário.

A quantidade de energia sonora que é absorvida em um compartimento é o fator mais importante na redução do seu nível de ruído ou no controle das múltiplas reflexões que nele têm lugar. (SILVA, 1997)

As formas adotadas para os ambientes internos em projeto devem evitar o desenvolvimento de ecos, ondas estacionárias[17] e pontos de intensidade sonora insuficiente; cuidados especiais devem ser tomados no caso de formas côncavas, circulares e elípticas que promovam a concentração e/ou a focalização dos sons. Quando a forma a ser projetada for uma das citadas, inevitável para determinado projeto, é importante a aplicação de materiais absorventes.

[16] Resiliência: capacidade que tem alguns materiais e apresentada por alguns corpos de retornar à forma original após a deformação. Característica mecânica que define a resistência de um material aos choques.

Em relação ao paralelismo de paredes que sejam refletoras, que podem gerar ondas estacionárias, a solução pode ser a inserção de elementos difusores e a diferenciação dos ângulos das paredes, obtida por pequenas inclinações (as paredes não ficariam absolutamente paralelas). Este fenômeno das ondas estacionárias também pode ser evitado se a largura, altura e comprimento do ambiente não forem múltiplos entre si (o que impede a coincidência de fase das ondas refletidas).

Cantos internos formados por duas paredes (arestas), em ângulo reto ou agudo, também podem apresentar pontos de superposição sonora, resultando em excesso de som refletido e retornando para a própria fonte. No caso de projetos com ângulos internos obtusos as reflexões são mais distribuídas, podendo colaborar para reforço sonoro de lugares mais distantes da fonte sonora.

Quando a distância a ser percorrida pelos raios sonoros refletidos e o raio direto forem maior que 11m, o ambiente está sujeito ao fenômeno do 'eco', que vem a ser uma reflexão que chega ao receptor pouco tempo depois do som direto ser emitido pela fonte. Para estes casos aconselha-se o emprego de materiais absorventes sobre a superfície refletora, atenuando a energia sonora, por exemplo: em paredes localizadas atrás dos últimos lugares de auditórios.

De acordo com Silva (1997), assim é que o tratamento acústico dos recintos por materiais absorventes age, influindo neles, do seguinte modo:

-reduzindo o tempo de reverberação;
-reduzindo o nível interno de ruído;
-influindo no sentido de circunscrever e minorar os ruídos produzidos nas zonas próximas de sua origem.

2.3.1.5.3. Roteiro para cálculo do Tempo de Reverberação

O roteiro para cálculo do tempo de reverberação utiliza, para ambientes pouco absorventes, a Fórmula de Sabine[18], abaixo transcrita:

---

[17] Ondas estacionárias correspondem a uma superposição de ondas sonoras que se deslocam em direções opostas. O fenômeno geralmente ocorre quando o ambiente é composto por superfícies paralelas refletoras, para frequências cujo comprimento de onda são menores que as distâncias entre as superfícies, sendo possível haver maior prolongamento do tempo de reverberação.

[18] Wallace Clement Sabine (1868 - 1919) foi um físico norte-americano que fundou o campo da arquitetura acústica. Sabine foi o arquiteto acústico do *Symphony Hall* em Boston, considerada uma das três melhores salas de música do mundo.

$$TR = 0{,}161\ V / \sum S\alpha$$

Onde:
TR = tempo de reverberação (s)
V = volume da sala (m^3)
S = área das superfícies (m^2)

α = coeficiente de absorção das superfícies;
αm = coeficiente médio de absorção das superfícies.
($\alpha m \leq 0{,}3$)

Fórmula 2.1: Fórmula de Sabine.

O coeficiente de absorção das superfícies é fornecido na NBR 12179/1992. Esta tabela consta nos Anexos desta dissertação.

Já para ambientes altamente absorventes, o roteiro para cálculo do tempo de reverberação utiliza a Fórmula de Eyring:

$$TR = 0{,}161V / 2{,}3C \log (1-\alpha m)$$

Fórmula 2.2: Fórmula deEyring.

Por esta fórmula, após calcular o volume do compartimento, usa-se um ábaco onde estão inseridos todos os materiais de pisos, tetos, paredes, esquadrias, mobiliário etc. Para cada material e sua superfície encontra-se o coeficiente de absorção tabelado. Multiplica-se o resultado das áreas das superfícies pelo coeficiente de absorção de cada material e obtêm-se o somatório 'absorção total' ($\sum S\alpha$). Este valor possibilita a inserção na fórmula e a consequente obtenção do tempo de reverberação ideal.

O gráfico para identificação do tempo ótimo de reverberação consta na NBR 12179/1992 e segue na Figura 2.32, onde o eixo horizontal indica o volume em metros cúbicos.

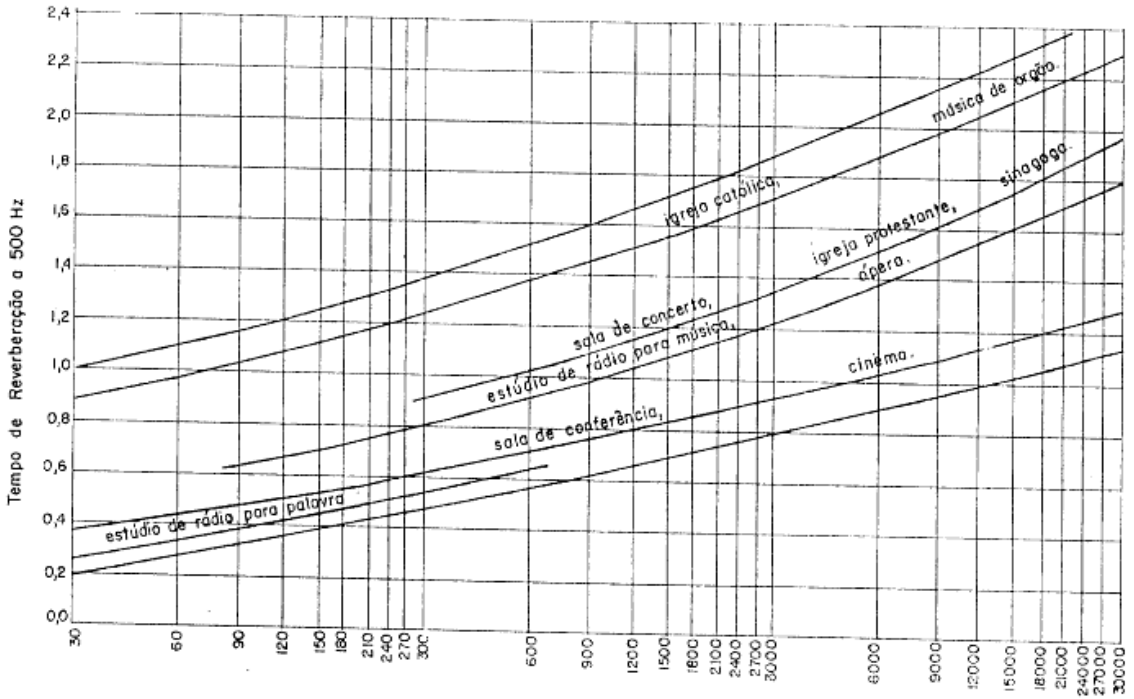


Figura 2.32: Ábaco para Tempo de Reverberação Ideal (NBR 12179/1992)

Após as determinações acima, compara-se o tempo de reverberação ótimo e o real, ou a absorção necessária para alcançar o tempo ótimo e a absorção total real. A comparação indicará a necessidade de acréscimo ou diminuição da área de materiais absorventes para que se alcancem valores próximos ao tempo ótimo de reverberação. Para tanto, pode-se diagnosticar a troca dos materiais e os locais mais importantes ou eficientes.

2.3.1.6. Propriedades acústicas dos materiais

Conforme o caso, constatada a necessidade de condicionamento acústico ou de isolamento acústico, ou ainda de ambas, escolhe-se o material ou materiais adequados, sempre de acordo com suas propriedades. Dependendo do caso e da solução, haverá a necessidade de aplicação de materiais mais leves e finos e, em outros casos, a aplicação de materiais mais pesados e espessos. Por exemplo, no caso de simples isolamento sonoro, paredes mais espessas e pesadas podem solucionar o problema; em casos mais complexos, paredes duplas em materiais mais leves. No caso de um recinto ou ambiente fechado com

múltiplas reflexões internas, a solução será a aplicação de materiais absorventes, painéis vibrantes ou mesmo ressonadores tipo Helmholtz (que serão detalhados mais adiante).

De fato, as propriedades dos materiais acústicos funcionam na razão inversa: quanto mais leve e poroso, mais absorvente e menos isolante será e vice-versa: quanto mais denso, compacto e rígido, mais isolante e menos absorvente. (SILVA, 1997)

2.3.1.6.1. Materiais de Isolamento

Materiais de isolamento acústico são aqueles que reduzem o nível de ruído gerado em um ambiente para o ambiente vizinho, separados por uma parede, painel ou divisória. O "Índice de Redução Sonora", ou "Índice de Atenuação Sonora" define a capacidade, de tal parede ou tal material, em se opor à transmissão do ruído. Este índice vai depender da massa, das conexões entre materiais e das distâncias entre eles.

.Isolamento de sons aéreos

Como já explicitado anteriormente, a lei que rege o isolamento dos sons aéreos, na maioria dos casos, é chamada 'Lei da Massa' ou da 'Densidade superficial': quanto mais pesada for a parede, mais isolará; cada vez que dobrarmos o seu peso, aumentaremos de 4 a 5dB a sua capacidade atenuadora sonora.

Entretanto, a combinação de painéis leves, afastados e formando espaço (ar) entre eles, pode isolar mais que os efeitos da Lei da Massa, para uma mesma espessura. O vazio do ar trabalha como 'mola', amortecendo a passagem de energia. A possibilidade de preencher este vazio com lã aumenta esse valor de amortecimento (os materiais porosos, de maneira geral, não obedecem rigorosamente à Lei da Massa, mas tendem a uma atenuação sonora proporcional à sua espessura), atuando como 'mola' e minimizando a transmissão de ondas sonoras, sendo eficientes como isolantes acústicos e dispensando a utilização de painéis muito espessos ou pesados. É a chamada 'Lei da Massa-Mola-Massa'.

O coeficiente de isolamento sonoro vai depender da massa, das conexões entre materiais e da distância entre painéis. A maneira de fixação das peças também determina a eficiência de sua transmissão sonora, e, quanto maior for a distância entre os painéis, melhor será o isolamento nas baixas freqüências. Os resultados obtidos são melhores quando os painéis são, mecânica e acusticamente, isolados um do outro.

O isolamento mecânico será conseguido montando-se os painéis em caibros independentes e isolando todos os materiais do painel, faceados com paredes, pisos e tetos através de um material resiliente.

O isolamento acústico será ampliado com o espaçamento entre os painéis e com a adição de material absorvente na cavidade. Deve-se prever que este material seja o mais espesso possível e que não forme uma 'ponte mecânica' entre os painéis, podendo fixá-lo na face interna de apenas um dos painéis, evitando o contato com outros painéis.

Os resultados serão melhores se os painéis forem montados em estruturas (caibros) de forma alternada ou em zigue-zagues, com os montantes de modo a diminuir a continuidade estrutural transmissora de energia sonora.

Enfim, conforme a Figura 2.33 (BISTAFA, 2006), o isolamento mecânico pode ser conseguido montando-se os painéis em caibros independentes e, a perda na transmissão média aumenta com o espaçamento entre os painéis e com a presença de material absorvente na cavidade, devendo-se, no entanto, assegurar que o material na cave não forme uma 'ponte mecânica' entre os painéis.

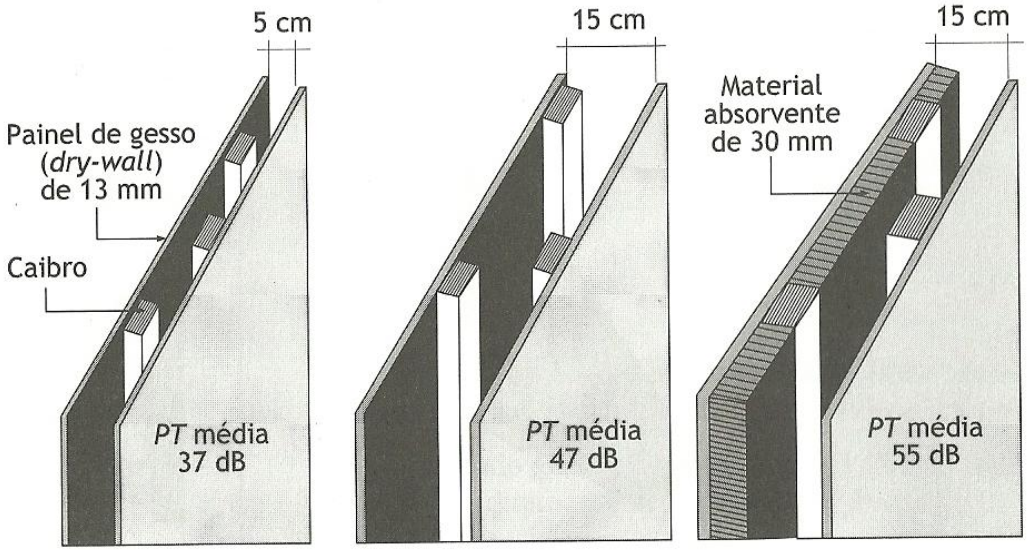


Figura 2.33: Perda na transmissão média de paredes duplas com diferentes distâncias entre painéis montados em caibros independentes. Fonte: BISTAFA, 2006, p. 275, apud National Safety Council, *Noise control – A guide for employees and employers*, Chicago, EUA, 1986.

.Isolamento de sons de impacto

No caso do isolamento de sons de impacto, como por exemplo: sons gerados por pisadas e queda de objetos sobre lajes em apartamentos, ouvidos pelo vizinho de baixo (a laje torna-se um irradiador de energia sonora em ampla faixa de freqüências), as experiências de campo revelam que, o nível sonoro de impacto é muito elevado mesmo em lajes espessas e que, embora a espessura das lajes reduza tais níveis no recinto abaixo, esta alternativa quase nunca é adotada por implicar em elevação de custos e problemas estruturais na edificação, além de não garantir o conforto acústico desejável.

A solução normalmente utilizada, nestes casos, consiste em colocar material resiliente isolador entre a laje estrutural e o contrapiso (piso flutuante), de menor espessura do que a laje. Tais materiais poderão ser: coxins de borracha, cortiça, placas contínuas de lã de rocha, poliestireno expandido elastizado etc.. Quando o isolante é colocado somente em alguns pontos ou faixas (não é instalado de forma contínua), os espaços vazios devem ser preenchidos com material absorvente para eliminar a propagação sonora nas cavidades formadas. Segundo BISTAFA (2006), essa medida pode melhorar em até 20dB o isolamento de sons de impacto.

Também é importante que as vibrações não se transmitam para outros pontos da estrutura, assim, o contrapiso deverá ficar completamente isolado da laje, das paredes e dos rodapés, para que não ocorram 'curto-circuitos' através dos materiais. Ver abaixo Figura 2.34.

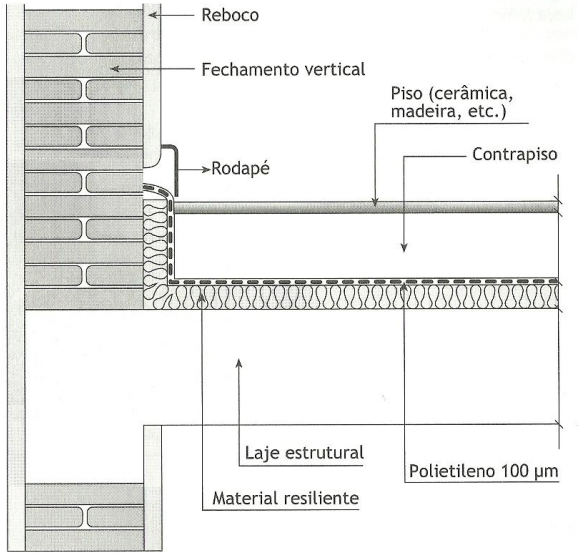


Figura 2.34: Esquema de um piso flutuante. Fonte: BISTAFA, 2006, p. 289.

Frequentemente, as esquadrias são o ponto fraco de uma fachada em relação ao isolamento acústico. Geralmente de materiais mais leves e possuindo elementos vazados, como vidros e venezianas, apresentam maior dificuldade de selamento de frestas entre caixilhos e partes móveis. As esquadrias também obedecem à lei da massa: quanto mais pesadas, maior será a redução sonora. As esquadrias em painel duplo (dois vidros paralelos separados entre si) apresentam maior capacidade de isolamento que um vidro comum, mesmo com o dobro ou até o triplo da densidade.

Os materiais utilizados para isolamento acústico podem ser classificados em convencionais e não convencionais:

-Materiais convencionais: são os materiais de vedação de uso comum dentro da construção civil. Como exemplos destes tipos de materiais, citam-se: blocos cerâmicos, bloco de concreto/concreto celular, bloco de sílico calcário, madeira, vidro etc.

-Materiais não convencionais (inovações): são materiais desenvolvidos especialmente para isolar acusticamente diferentes ambientes. Geralmente, estes materiais também possuem algumas vantagens térmicas.

2.3.1.6.2. Materiais de Absorção

A hipótese de um material ser totalmente reflexivo ou absorvente é meramente teórica. Quando uma onda sonora encontra uma superfície, uma parte desta energia, maior ou menor, sempre será absorvida. Comumente estes são chamados de materiais absorvedores acústicos, aqueles que são dotados de baixo grau de reflexão *versus* alta capacidade de absorção de energia sonora. Comumente, se dá ênfase aos materiais acústicos absorventes, daí o costume de chamá-los simplesmente de acústicos.

Uma superfície hipotética, infinitamente rígida e polida, seria totalmente refletora e nulo seu coeficiente de absorção. Já uma janela aberta seria totalmente absorvedora, e esse coeficiente igual a 1, significando 100% da energia incidente passando para o outro lado. Desta maneira, quando temos um material qualquer, por exemplo, uma cortina, com coeficiente de absorção igual a 0,65 para uma determinada frequência, significa que esta cortina absorve 65% da energia incidente, que não retorna para o ambiente. Seria como se no local de 1m² de cortina houvesse uma janela aberta de 0,65m² de área ou 0,7 unidades 'Sabine Métrico' ou 'Sabine'[19].

Diversos fatores interferem no desempenho de um material absorvente, como a geometria de uma sala (forma e dimensões), a espessura do material utilizado e o seu posicionamento e área ocupada.

[19] Nome da unidade de área de absorção igual a 1m², dado em homenagem ao Prof. Sabine, pioneiro da Acústica Arquitetônica.

Os materiais de absorção podem ser divididos em 3 categorias: porosos e fibrosos, ressonadores e painéis vibrantes.

Os materiais porosos e fibrosos permitem que a onda sonora penetre e se propague em seu interior, sendo, portanto, permeáveis ao ar com 'poros abertos' que se intercomunicam. Após sucessivas reflexões sobre as paredes destes poros, a energia sonora é dissipada sob a forma de calor (a pressão sonora da onda incidente faz vibrar o ar interior dos poros existentes que, pela ação do atrito, transforma a energia sonora em térmica). Os materiais mais usuais desta categoria são as lãs minerais de vidro ou de rocha e as espumas flexíveis de poliuretano. Estes materiais são mais eficientes em altas freqüências e podem ser rígidos ou flexíveis.

Os ressonadores, ou ressonadores de cavidade, são volumes ou cavidades ocas, ligadas ao exterior por uma abertura (gargalo) cuja área é pequena em relação à sua seção transversal. Eles funcionam como absorvedores de som ao dissiparem a energia sonora transformando-a em energia mecânica, quando o ar no interior deles vibra para uma certa freqüência de ressonância (esta freqüência se dá conforme a geometria do ressonador). São mais eficientes para absorção de freqüências médias. Dentro dos ressonadores podem também ser utilizados materiais absorventes do som, o que possibilita uma ação um pouco acima ou um pouco abaixo da freqüência de ressonância. Os mais típicos ressonadores eram feitos de barro queimado e foram utilizados para tratamento do som em igrejas suecas há mais de um milênio. Antes disso, os gregos também já utilizavam essa técnica nos teatros ao ar livre, para fazer com que os sons ficassem mais tempo audíveis devido ao aumento do tempo de reverberação do som. O mais conhecido dos ressonadores é o ressonador de Helmholtz (ver Figura 2.35).

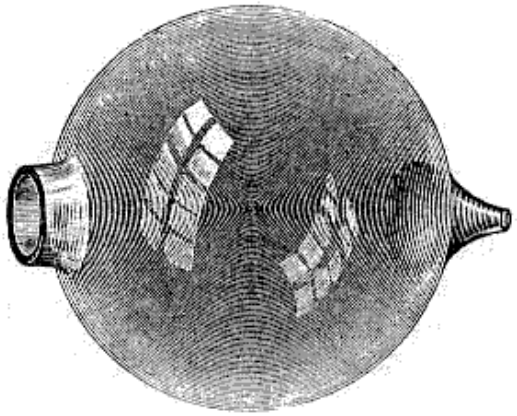


Figura 2.35: Desenho detalhado do Ressonador de Helmholtz. Fonte: Hermann Von Helmholtz[20], 1877

[20] Matemático e geofísico, autor do livro "*On the Sensation of Tone – as a physiological basis for the Theory of Music*", 1877.

Os painéis vibrantes podem absorver uma quantidade expressiva de energia, principalmente nas baixas freqüências. São constituídos de uma placa fina (geralmente um material de pouca espessura como papelão ou compensado, chapas metálicas, vidros, plásticos e outros) formando painéis de 1 a 2m² de área, fixados sob montantes que separam a placa da parede e criam uma camada intermediária de ar. São também chamados de painéis flexíveis ou ressonadores de membrana ou diafragma. Quando vibra, o painel provoca a dissipação de energia sonora por amortecimento, transformando-a em energia térmica. Estes painéis são similares a sistemas mecânicos do tipo 'massa-mola': a placa faz o papel da massa, e o ar confinado, o da mola. Se estes painéis estiverem colados na parede, a eficiência será maior nas altas e médias freqüências. Podem também formar saliências e reentrâncias, podem empregar diversos tipos de materiais em uma mesma peça ou, podem ser utilizados inclinados em relação ao plano da parede e até mesmo móveis para atender a diversas frequências. São mais empregados para a eliminação de ruídos determinados, sendo um sistema bastante seletivo. (Ver Figura 2.36)

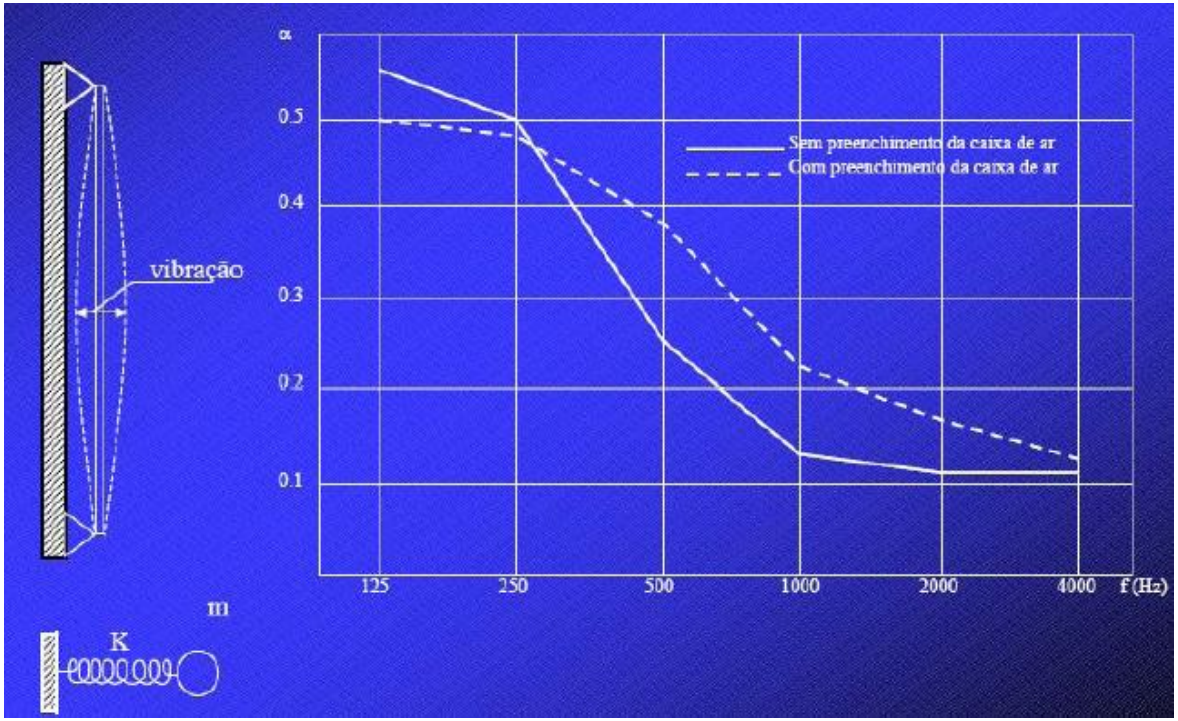


Figura 2.36: Painéis Ressonantes. Fonte: IST/Lisboa.

Segundo SANTOS (2005), podem ainda ocorrer combinações de diferentes mecanismos de absorção sonora, surgindo materiais como o forro aglomerado de madeira ou chapas metálicas perfuradas que, combinados com materiais porosos ou fibrosos conjugam os três mecanismos de absorção e são eficientes para sons agudos.

A combinação de fibras minerais com tecido sintético (de vidro ou poliéster), colado na face exposta de um painel, cria um 'efeito membrana' suplementar nas baixas freqüências, embora reduza a eficiência nos sons agudos.

Os *baffles* suspensos (ver Figura 2.37) são dispositivos versáteis, montados perpendicularmente ao painel a ser tratado acusticamente, e utilizados para resolver problemas particulares de sonoridade e aumentar a superfície de absorção acústica; exigem ambientes com pé direito bastante amplo, são geralmente retangulares e constituídos por placas de fibras minerais absorventes, podendo ser fixados de forma rígida ou com trilhos para movimentação.

Figura 2.37: *Baffles* suspensos. Fonte: www.sonex.com.br (Fevereiro 2011)

Cada material tem um coeficiente de absorção e o seu valor não é constante, pois varia conforme a freqüência do som incidente. [21]

[21] Nos 'Anexos' publicamos a tabela de absorção acústica de materiais utilizados na construção civil de acordo com a norma NBR 12.179/1992.

2.3.1.7. Controle do ruído em espaços externos.

> De fato, o espaço criado pelo projeto arquitetônico pode ser interpretado, pela ação sonora que exerce, como uma caixa de ressonância. (ARNAU, 1975).
>
> Não há contradição em esperar som da arquitetura, como bem aponta Rasmussen (1974): mesmo que a arquitetura não irradie luz, ela pode ser vista, então por que não poderia ser ouvida, mesmo que não emita som? É importante, portanto, refletir sobre as variáveis que criam o ambiente sonoro. (BUSTOS ROMERO, 2007).

Segundo AUGOYARD (1991), desvendar a maior parte dos efeitos sonoros depende diretamente do contexto espacial. Sem tal organização e tal morfologia do espaço não há, por exemplo, nem reverberação, nem ressonância, golpes súbitos sonoros nem filtragem natural.

No caso de ruído em ambientes externos, é importante lembrar que, para fontes pontuais, o nível sonoro reduz-se 6 dB para cada vez que a distância é dobrada entre fonte e receptor. Para fonte linear, a redução é da ordem de 3 dB. Uma redução de 10 dB equivale, ao ouvido humano, à metade da sensação sonora.

Desta maneira, conclui-se que a primeira medida para a atenuação sonora deve ser o estudo do aumento da distância entre a fonte e o receptor, quando possível. Os níveis de pressão sonora resultantes de uma mesma fonte sonora poderão ser muito diferentes de acordo com as considerações térmicas, características geométricas e superfícies/revestimentos do entorno.

Vários fatores que, comumente são levados em conta somente nas considerações térmicas dos ambientes, também têm um papel importante na propagação sonora, destacando-se: umidade, vento, temperatura, e neblina para grandes distâncias e, topografia e vegetação apropriadas para a escala de edifícios.

Para este trabalho serão desconsideradas a velocidade dos ventos e a umidade, por não terem importância na escala deste estudo de caso. Prosseguindo, faremos exposição da vegetação e topografia.

.Vegetação.

A atenuação sonora de uma faixa de 30 metros de vegetação densa é da ordem de 7 a 11 dB, dependendo da faixa de freqüência (EMBLETON apud EGAN, 1994). A vegetação, portanto, não é eficiente como barreira acústica, mas é recomendada porque aumenta a difusão e a absorção do som, diminuindo sua

intensidade durante a trajetória de encontro. Um bosque é um bom absorvedor acústico, mas um mau isolante, sendo necessária uma grande massa de bosque para se obter um isolamento sensível. (BUSTOS ROMERO, M. A., 2007)

O plantio de árvores sobre taludes de terra, nas bordas das vias de tráfego, se revela bem mais eficiente, mas, são os taludes e não a vegetação que se opõem à propagação do ruído. Entretanto, como a utilização de barreiras artificiais provoca, muitas vezes, rejeição por parte das populações vizinhas, devido ao aspecto de degradação visual que acarretam, alguns autores recomendam o uso combinado das duas soluções. (NIEMEYER, 1998)

A vegetação, quando agrupada e em grande quantidade, absorve principalmente as ondas sonoras de alta freqüência (acima de 2000 Hz), atenuando os sons agudos. Essa deformação, principalmente sob a ação do vento, pode mascarar sons indesejáveis e ser considerada agradável, participando da ambiência acústica de um local. Áreas com vegetação densa, constituídas principalmente por árvores entre a fonte e o receptor, atenuam os níveis sonoros gerados pela fonte. A causa disso é o espalhamento sonoro nos troncos e nos galhos (para médias freqüências) e o espalhamento e absorção sonora na folhagem (para altas freqüências); no solo, raízes, vegetação rasteira e arbustos proporcionam uma atenuação adicional para as baixas frequências. De qualquer maneira, e segundo BISTAFA (2006), o valor de atenuação máxima neste caso é indicado em 10dB e, baseia-se na experiência adquirida em campo. Ainda como indicação para melhor eficácia de isolamento acústico com uso de vegetação, BISTAFA (2006) comenta quatro características: largura, localização, altura do cinturão verde e configuração do plantio.

.Topografia

> Segundo Delage (1991), devemos usar a linguagem da geometria – ponto, linha, superfície e volume – para descrever o som da arquitetura (sound architectural): a buzina de um veículo seria um ponto, o som de um avião no céu seria uma linha, o úmido asfalto chiando debaixo dos pneus seria uma superfície, carros e ônibus seriam volumes. (BUSTOS ROMERO, 2007)

A topografia do terreno pode influenciar grandemente na propagação do som. O meio ambiente está delimitado e permeado de obstáculos que causam isolamento e absorção do som; a propagação do som depende dos volumes e das superfícies constituintes dos espaços. Por exemplo, no caso das superfícies de piso, os tipos de solo mais frequentemente encontrados são classificados em 5 categorias, conforme a Tabela 2.2 abaixo:

Tabela dos tipos de Solos.		
Categoria	Coeficiente de Absorção	Tipo de Material
1	Totalmente reflexivo (α=0)	Espelho d'água, laje de concreto, chapa metálica, madeira envernizada, mármore, granito.
2	Semi-reflexivo (α=0,2)	Madeira não polida com juntas largas, reboco, placas de pedra regulares, blocos de concreto rugoso, solos revestidos de material betuminoso (asfalto), resinas.
3	Semi-absorvente (α=0,5)	Madeira não polida sem juntas.
4	Absorvente (α=0,7)	Solo natural com vegetação densa.
5	Totalmente absorvente (α=1)	Hipótese teórica.

Tabela 2.2: Os tipos de solos. Fonte:CETUR (1981)

No caso de um perfil plano, a distribuição sonora tende a ser mais homogênea. Conforme o tipo de revestimento do solo, este agirá como elemento reflexivo, facilitando a chegada do som direto e refletido ao receptor, ou, se agir como um elemento absorvente tenderá a atenuar mais o som.

Como a configuração do terreno influencia a propagação sonora, uma fonte situada em um vale estreito provocará uma perturbação maior do que em um plano, pois o som emitido será amplificado em sua intensidade e prolongado em sua duração pelas múltiplas reflexões.

No caso de configuração convexa de um determinado terreno, ocorrem duas regiões distintas: a região de reflexão acústica e a região de sombra acústica (ver Figura 2.38). Na região de reflexão os raios sonoros incidem no solo e são difundidos conforme a curvatura do perfil topográfico, ocorrendo maior intensidade do som em virtude da tendência deste em voltar à direção da fonte. A região de 'sombra acústica' é justamente a área não atingida ou não alcançada pelo som emitido pela fonte. Esta área dependerá diretamente da altura do perfil e da proximidade da fonte ao perfil.

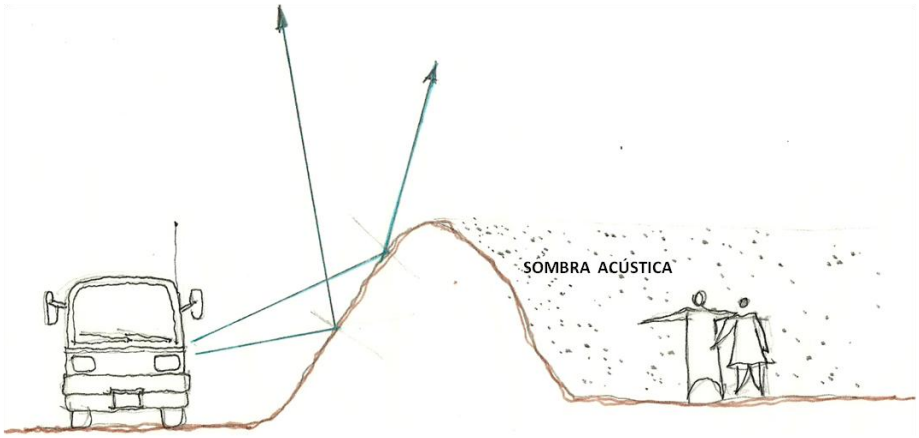


Figura 2.38: Região de reflexão e de Sombra Acústica. Desenho adaptado pela autora.

No caso da configuração côncava, a atuação do perfil como espelho refletor propicia uma concentração sonora que, de acordo com a curvatura do perfil, propicia que os raios sejam convergidos e que o som seja sobreposto (ver Figura 2.39). Os fatores determinantes para o campo sonoro criado serão: a posição relativa entre o centro da curvatura, o receptor e a fonte.

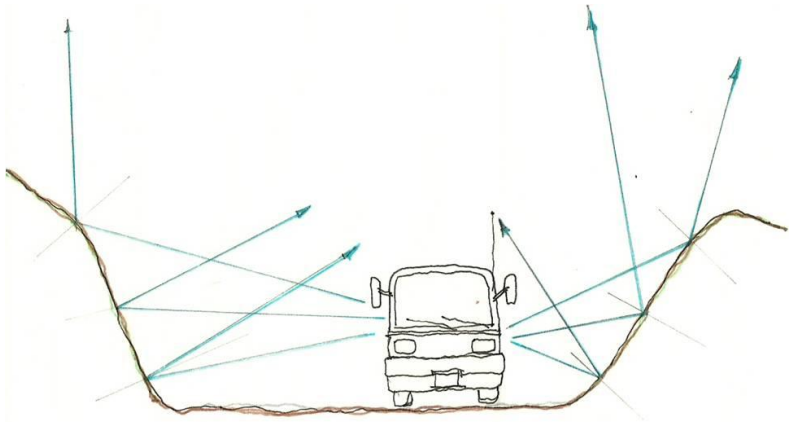


Figura 2.39: Região de reflexão em configuração côncava. Desenho adaptado pela autora.

Assim como a vegetação, clima e topografia interferem no campo acústico de determinado local, gerando sombras acústicas ou intensificando o som, o modo e a forma como uma edificação está proposta em um espaço e relaciona-se com o entorno também interfere no campo acústico.

No caso de espaços públicos, alguns materiais de uso corrente são suficientemente rígidos e não porosos e possuem características de refletores quase perfeitos, como, por exemplo, concreto, vidro e granito.

Os vários tipos de materiais de revestimento, associados à tipologia das edificações (altura, proporção, volume, partido), e ainda à morfologia urbana (sítio, malha urbana, divisões fundiárias, proporções entre cheios e vazios, dimensão etc.), acarretam um espaço tridimensional que afeta, influi e define a percepção sonora.

Em uma rua, a fonte e o receptor estão no mesmo local, o ruído percebido dependerá das superfícies refletoras como o material utilizado na pavimentação da rua e das calçadas, o revestimento e o relevo das fachadas. Também influem, para maior ou menor recepção sonora, o sentido de deslocamento dos veículos, a existência ou não de um único sentido de tráfego, regiões de incidência e sombra acústica em relação à distribuição espacial das edificações, além do posicionamento do ouvinte (ver Figura 2.40). As fachadas representam obstáculo à propagação sonora; transposto este obstáculo, o ruído sofre atenuação do nível sonoro e mudanças de percepção na composição espectral. O ruído percebido na rua é diferente do ruído percebido no interior das edificações.

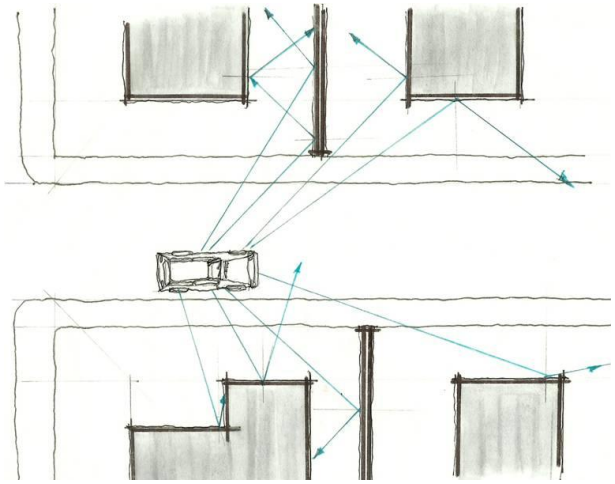


Figura 2.40: Influências na recepção sonora. Desenho adaptado pela autora.

Segundo Niemeyer (1998), o tecido urbano fechado é constituído por:

.pátios cercados por edifícios ou muros de grande altura que representem um grande obstáculo, ou um conjunto de obstáculos, pouco permeável ao ruído;

.ruas em 'U', margeadas por edifícios colados nas divisas, dos dois lados da via de circulação de veículos.

E, o tecido urbano aberto é constituído por:

.edifícios afastados das divisas, criando espaços intermediários muito permeáveis ao ruído;

.edifícios situados apenas de um lado da via de circulação;

.quando os edifícios são de pouca altura, ou o espaço entre as fachadas é significativo.

Particularmente, o ruído dos veículos automotivos ocasiona inúmeras maneiras de reflexões da onda sonora no espaço urbano, influindo diretamente para que os níveis sonoros deste espaço sejam intensificados. Dados do CETUR (1980) apontam o tráfego de veículos como responsável por cerca de 80% da energia acústica total das grandes cidades. Os automóveis, embora individualmente menos ruidosos que os veículos de grande porte são, em conjunto, a maior fonte de ruído urbano.

Nas ruas em 'U' as edificações são implantadas continuamente nas vias urbanas, formando paredões de fachadas paralelas, propiciam inúmeras reflexões sonoras no corredor formado, intensificando os níveis sonoros. O campo acústico é parcialmente difuso e as reflexões sobre as fachadas têm grande influência no nível sonoro total (ver Figura 2.41).

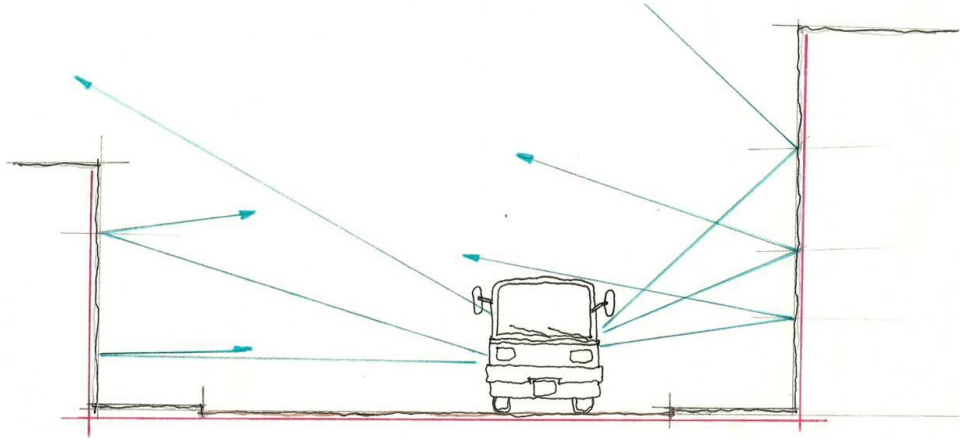


Figura 2.41: Paredões de fachadas paralelas. Desenho adaptado pela autora.

Já a descontinuidade de fachadas, que permitem espaço entre edifícios, possibilita menor concentração de raios sonoros refletidos (ver Figura 2.40).

A influência do desenho geométrico das fachadas, como esquadrias, lajes, protetores solares, sacadas e varandas, influi diretamente na captação interna dos ruídos urbanos, podendo promover ou atenuar a reflexão do som externo para dentro do ambiente, criando maior ou menor permeabilidade deste edifício em relação às fontes sonoras. (ver Figura 2.42)

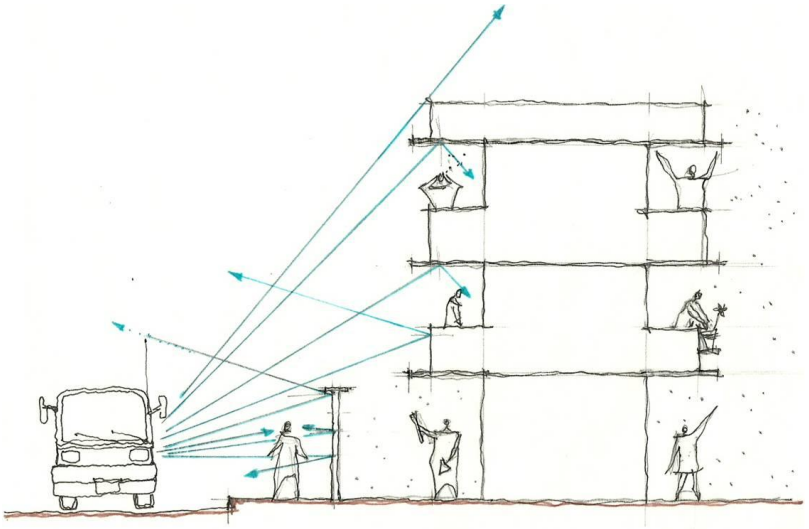


Figura 2.42: Influência do desenho geométrico das fachadas. Desenho adaptado pela autora.

O desenho das quadras urbanas[22], exceto nas cidades mais antigas (com formas e dimensões variadas) geralmente obedece a uma malha viária regular com forma retangular. As quadras podem receber edificações e espaços variados como edifícios, estacionamentos, praças e jardins conforme suas funções (áreas livres, de trabalho e de lazer), sejam em espaços públicos ou privados.

O conjunto de edifícios que constitui as quadras está associado à existência de espaços e 'caminhos' por onde as ondas sonoras penetram e se propagam. Neste caso, o conceito de permeabilidade, numa análise morfológica do tecido urbano, pode contribuir para constatar o comportamento do ruído em relação às diversas tipologias arquitetônicas e vice e versa.

[22] Definidas como sendo "a menor unidade do espaço urbano, inteiramente delimitada pelas vias de circulação", segundo MERLIN & CHOAY (1988).

Segundo Corbella & Yannas (2003), o ruído (som que incomoda) pode ser controlado, atuando sobre a fonte produtora do som, sobre o caminho de propagação do som, ou no receptor. Na fonte tenta-se anulá-lo ou diminuí-lo. Pode-se trocar a fonte por outra mais silenciosa, isolá-la ou mesmo evitar a transferência do ruído à estrutura do edifício. Em relação ao ruído urbano, devem-se dispor obstáculos para impedir ou atenuar sua chegada ao ambiente construído.

Corbella & Yannas (2003) sugerem que fachadas expostas a ruídos intensos não devem ter muitas janelas, devem ser pesadas e com revestimentos porosos. Também podem ser interpostos obstáculos (paredes, painéis absorventes ou defletores) para evitar ou diminuir o ruído que chega às janelas. Para ruas ou rodovias com tráfego intenso, a estratégia seria criar obstáculos em escala urbana: paredes absorventes ou defletoras ao lado das ruas ou rodovias ou na frente dos edifícios mais comprometidos, ou ainda, fechando a fachada mais atingida, ou tratando a superfície da fachada com elementos similares aos pára-sóis, que podem ser chamados de 'pára-ruídos'.

Sublinha-se finalmente que, as soluções propostas para o controle acústico devem se integrar com aquelas soluções propostas para o conforto higrotérmico.

2.3.2. Conforto Higrotérmico.

Um ambiente oferece boas condições de conforto higrotérmico quando seus usuários, submetidos às solicitações de temperatura e umidade locais, não necessitam recorrer a nenhum mecanismo fisiológico de auto-regulação. A expressão 'conforto térmico' pode ser usada, como simplificação da linguagem, em lugar da expressão conforto higrotérmico, mais correta. (NIEMEYER, 1998)

Para o homem, a sensação de conforto higrotérmico corresponde às condições em que seu corpo não seja obrigado a acionar seus próprios mecanismos de defesa contra o frio e o calor. Ou seja, conforto higrotérmico significa 'sentir-se bem e apto' ao desempenho das atividades físicas e mentais frente às condições de temperatura, umidade e ventilação do ambiente habitado.

2.3.2.1. Necessidades Humanas

O homem é um ser homeotérmico, ou seja, pertence ao grupo dos animais cujo corpo deve manter uma temperatura interna constante. Essa temperatura é da ordem de 37°C, com limites muito estreitos entre 36,1 e 37,2°C. Em situações extremas, 32°C é o limite inferior e 42°C o limite superior para sobrevivência. (FROTA, A. B.; SCHIFFER, 1987)

O corpo humano é uma fonte constante de energia térmica, que provém do seu processo de metabolismo, ao transformar em calor os alimentos ingeridos. O calor que uma pessoa gera depende de uma série de variáveis, como idade, sexo, estação do ano, grau de aclimatação, saúde. Mas o fator mais importante é a atividade que realiza. Segundo FROTA & SCHIFFER (1987), podemos dizer que nesta constante produção de calor, chamado calor metabólico, apenas 20% da energia produzida pelo corpo humano é aproveitada e transformada em potencialidade de trabalho, e os 80% restantes são (e devem ser) dissipados no meio ambiente; obviamente, este processo varia entre os indivíduos e também de acordo com a atividade realizada. Por exemplo, em repouso absoluto (metabolismo basal), o calor dissipado pelo corpo, e cedido ao ambiente, é cerca de 75 W.

Ainda segundo FROTA & SCHIFFER (1987), quando as condições ambientais proporcionam perdas de calor do corpo além das necessárias para a manutenção de sua temperatura interna constante, o organismo reage buscando reduzir tais perdas e aumentar as combustões internas, através do aumento da resistência térmica da pele por meio da vasoconstrição, do arrepio, do tiritar.

Quando as perdas de calor são inferiores às necessárias para a manutenção de sua temperatura interna constante, o organismo reage buscando condições de troca de calor mais intensa entre o organismo e o ambiente, reduzindo as combustões internas por meio da vasodilatação e da transpiração.

A manutenção da temperatura interna do organismo humano se faz por intermédio de seu aparelho termorregulador, que comanda a redução de ganhos ou o aumento de perdas de calor através de alguns mecanismos de controle. Ou seja: existe um contínuo intercâmbio de energia térmica ente o corpo e o meio que o envolve. A fadiga física faz parte do processo normal de metabolismo. A fadiga termo-higrométrica é resultante do trabalho excessivo do aparelho termorregulador, pela existência de condições ambientais desfavoráveis, no tocante à temperatura do ar, tanto com relação ao frio quanto ao calor e à umidade do ar.

O ciclo vital do homem envolve estados de atividade, fadiga e recuperação, sendo essencial para o corpo, e para a mente, compensar os gastos diários através do sono, descanso e recreação. Condições climáticas desfavoráveis resultam em desconforto, perda de eficiência, fraqueza, doenças e até mesmo em morte, em casos extremos.

O conforto higrotérmico é prioridade e fundamental para a adequação ambiental de qualquer espaço habitado.

2.3.2.2. Trocas de calor homem ambiente

O contínuo intercâmbio de energia térmica entre o corpo e o meio que o envolve pode se dar de quatro maneiras: por condução, por convecção , por radiação e por evaporação. A condição essencial para a transmissão de calor é que os corpos tenham temperaturas diferentes entre si, sendo que, desta maneira, o fluxo de calor vai do corpo mais quente para o corpo mais frio.

É importante conhecer os processos de troca térmica para se saber quais as variáveis do meio que estão em jogo e, através deste conhecimento, proceder ao seu controle.

2.3.2.2.1. Condução

Condução é a passagem de calor de uma zona para outra de um mesmo corpo ou de corpos diversos em íntimo contato, devido ao seu movimento molecular, sem que se verifiquem deslocamentos materiais no corpo ou sistema considerado. A troca de calor por condução ocorre sempre entre corpos sólidos.

Na condução, o calor se propaga em todas as direções. Se um corpo está, por exemplo, à 20ºC e elevamos a temperatura de algum de seus pontos a 25ºC, o fluxo de calor se dirige aos pontos de menor temperatura que o rodeiam. A quantidade de calor transmitido para cada ponto, em qualquer instante, será sempre proporcional à diferença de temperaturas.

A transmissão de calor por condução pode ocorrer de duas maneiras diferentes. No chamado 'regime estacionário' (ou permanente), a troca de calor se dá entre dois meios cuja temperatura se mantém constante e constante também o fluxo de calor. No chamado 'regime variável' (ou dinâmico), o fluxo de calor varia com o tempo e, ocorre quando, pelo menos em um dos meios, a temperatura varia permanentemente. Em ambos os casos, ao fluxo de energia térmica será influenciado pelas propriedades térmicas do meio físico. Ou seja, a temperatura interna de um compartimento vai depender das características térmicas da envoltória (alvenarias, coberturas, esquadrias).

2.3.2.2.2. Convecção

Convecção é a troca de calor entre dois corpos, sendo um deles sólido e o outro um fluido (líquido ou gás). As variáveis que intervêm neste processo são muitas: forma, dimensões, textura e posição da superfície; velocidade, viscosidade e temperatura do fluido.

Quando se trata de superfícies verticais, as trocas de calor por convecção são ativadas pela velocidade do ar. Nesses casos, mesmo que o movimento do ar advenha de causas naturais, como o vento, o mecanismo de troca de calor entre a superfície e o ar passa a ser considerado convecção forçada.

No caso de superfícies horizontais, o sentido do fluxo desempenha importante papel. Quando o fluxo é ascendente, há coincidência do sentido do fluxo com o deslocamento ascendente natural do ar aquecido. Quando o fluxo é descendente, o ar, aquecido pelo contato com a superfície, nela encontra uma barreira que dificulta sua ascensão, reduzindo a convecção (deslocamento e substituição da camada de ar com temperatura inferior a sua).

Conclui-se, portanto, que uma câmara de ar entre duas paredes, sem obstáculos ou resistências para um movimento convectivo do ar, supõe a incorporação de uma resistência a mais para a passagem do calor entre dois ambientes.

2.3.2.2.3. Radiação

Radiação é o mecanismo de troca de calor entre dois corpos, que guardam entre si uma distância qualquer, através de sua capacidade de emitir e de absorver energia térmica. Esse mecanismo de troca é conseqüência da natureza eletromagnética da energia que, ao ser absorvida, provoca efeitos térmicos, o que permite sua transmissão sem necessidade de um meio para propagação, ocorrendo mesmo no vácuo. Todos os corpos emitem energia calorífica sob a forma de radiação, em quantidade que depende essencialmente da sua natureza e temperatura.

O intercâmbio de energia radiante entre dois corpos exige que, o meio que os separa, permita a passagem das radiações por eles emitidas. O ar é transparente a todos os comprimentos de onda. A energia radiante absorvida se transforma em calor.

O resultado da primeira troca térmica (aquecimento ou resfriamento da face externa da fachada, por exemplo) se dará em função do balanço entre o ganho (do sol ou de outro elemento com maior temperatura à sua volta) face à perda (para o ar externo ou outro elemento com menor temperatura à sua volta) que possa ocorrer. Poderá haver a ocorrência simultânea de duas trocas significativas, vinculadas à radiação solar e à radiação infravermelha (chamada radiação térmica, ou calor).

De acordo com vários autores (CORBELLA, 2003; RIVERO, 1986) a variação da capacidade de absorção solar e de emissão e absorção na faixa do infravermelho (calor) depende de uma série de variáveis:

- a irradiação em corpos pintados na cor preta é maior que a irradiação de corpos pintados em qualquer outra cor, sendo a cor branca a menos irradiante;
- as superfícies metálicas oxidadas absorvem mais radiação solar que superfícies comuns com pintura clara, com o atenuante de que, sendo metálicas, conduzirão o calor melhor e mais rápido; já metais polidos refletem grande proporção da radiação térmica;
- materiais de construção opacos refletem a parcela de calor não absorvida;
- alguns materiais mais ou menos translúcidos, como o vidro, são capazes de deixar a radiação solar atravessá-los, mas impedem o sentido contrário da radiação na faixa do infravermelho, de volta ao meio externo, retendo o calor no ambiente (efeito estufa);
-os principais locais de trocas por radiação nas edificações variam em função do entorno, da implantação, volumetria e da localização das fontes de calor. O controle da geometria da edificação e das relações com seu entorno e com a trajetória solar é fundamental, pois a troca por radiação é

instantânea. Ou seja, se inicia na presença de uma matéria mais quente à vista (o sol, por exemplo) e se extingue com a presença de qualquer anteparo que impeça a troca, ou a visão mútua, como árvores e beirais até onde a geometria proteja da incidência dos raios solares.

2.3.2.2.4. Evaporação

Evaporação é a troca térmica úmida, proveniente da mudança do estado líquido para o estado gasoso. A evaporação da água forma o vapor de água sem a modificação de sua temperatura, porém, essa transformação requer uma quantidade de calor, ou seja: ao evaporar, um líquido absorve calor do seu entorno imediato, baixando sua temperatura. Quando essa energia térmica está associada à mudança de estado do corpo sem que se verifiquem variações de temperatura, chama-se 'calor latente' e, quando essa energia depende da temperatura de corpo para ser transmitida a outros por condução, convecção e radiação, chama-se 'calor sensível'.

Como exemplo, temos a nossa pele: no verão ela forma uma fina camada de água pela transpiração; o calor sensível do corpo é transmitido por condução a esta camada de água que cobre a pele produzindo a evaporação da transpiração, que é a mudança do estado líquido para o gasoso, com a transformação do calor sensível da água em calor latente. Deste modo, a pele perde calor. A facilidade com que o calor do corpo humano será dissipado dependerá da movimentação do ar (ventilação) e de sua umidade relativa, que vem a ser a relação entre a quantidade de vapor d'água contido em determinado volume de ar e a quantidade máxima que este possa conter na mesma temperatura e mesma pressão atmosférica.

Esta evaporação e conseqüente resfriamento só podem continuar até a saturação da camada de ar em contato direto com o corpo, que deverá então ser renovada. Se o ar contiver todo o vapor que lhe seja possível, será dito saturado, e sua umidade relativa será de 100%. A velocidade de evaporação é função do estado higrométrico do ar e de sua velocidade. Se a quantidade de vapor excede o grau de saturação, o vapor começará o processo inverso, passando ao estado líquido, que é a condensação. Neste caso o calor latente se converte novamente em calor sensível provocando o aumento da temperatura da superfície onde ocorre a condensação.

2.3.2.3. Limites de conforto

> No verão, quando há dificuldades para eliminar o calor devido à alta temperatura do meio, origina-se uma vasodilatação, um aumento do volume do sangue e uma aceleração do ritmo cardíaco. Desta maneira o organismo busca elevar a temperatura superficial e incrementar as perdas de calor por convecção e radiação. No inverno acontecem fenômenos contrários. Origina-se uma vasoconstrição, razão pela qual as peles se tornam pálidas; diminuem o volume do sangue, o ritmo cardíaco e a evaporação. Mais tarde aparece a chamada 'pele arrepiada' em que se eriçam os pelos da pele para reduzir a velocidade do ar e perder menos calor por convecção. Se o resfriamento continua, o organismo começa a tiritar para provocar uma atividade muscular involuntária que obriga o corpo a gerar calor. RIVERO (1986)

A sensação de conforto depende da facilidade de manter-se o equilíbrio ou balanço térmico, onde a energia produzida pelo corpo, somada a ganhos e perdas de energia para o meio, deve garantir a manutenção da temperatura interna do corpo em torno de 37ºC. (DRACH, 2007)

2.3.2.3.1. Equação balanço térmico

De acordo com RIVERO (1986), o balanço térmico de um corpo pode ser expresso pela seguinte equação:

$$BT = G - T \pm CD \pm CV \pm R \pm E$$

Onde:

.BT: Balanço Térmico resultante da contabilização de toda a energia gerada e perdida pelo organismo;
.G: Energia Gerada pelo corpo;
.T: Trabalho externo realizado, que supõe a transferência de energia a outros sistemas;
.CD: Energia perdida ou ganha por Condução
.CV: Energia perdida ou ganha por Convecção
.R: Energia perdida ou ganha por Radiação
.E: Energia perdida por evaporação ou ganha por condensação[23].

Fórmula 2.3: Equação do Balanço Térmico.

Ainda de acordo com RIVERO (1986), a primeira condição do conforto é a de que o balanço térmico seja igual a zero. Se o resultado da equação for diferente de zero, o organismo se defenderá automaticamente, colocando em ação os mecanismos termorreguladores. (STANGENHAUS, 1992)

As principais variáveis para o conforto térmico são: atividade, vestimenta, temperatura média radiante, temperatura, velocidade e umidade do ar. O estudo sobre o conforto térmico permite entender a sensibilidade do organismo humano diante das alterações das variáveis. As recomendações para conforto,

aconselhadas por pesquisas e estudos, infelizmente, nem sempre são alcançáveis mediante o condicionamento térmico natural, determinando a necessidade de instalações térmicas especiais. Esta consideração remete a entender, então, quais são os limites admissíveis de conforto.

Como já mencionado, a sensação de conforto térmico depende fundamentalmente dos mecanismos termorreguladores acionados. Porém, alguns fatores individuais ou subjetivos também têm sua influência neste processo, tais como vestimenta, aclimatação, idade e sexo, forma do corpo, gordura sub-cutânea, saúde, alimentação e cor da pele.

2.3.2.4. Estratégias de Conforto Higrotérmico

Comprovadamente, à medida que o meio é termicamente mais hostil ou 'inconfortável', aumenta a preocupação do indivíduo sobre esse problema, afastando sua atenção da atividade específica que está realizando, favorecendo a distração e a conseqüente perda de eficiência e segurança no trabalho. (RIVERO, 1986)

Segundo CORBELLA & YANNAS (2003), as estratégias de projeto para conseguir um bom nível de conforto são:

-controlar os ganhos de calor;
-dissipar a energia térmica do interior do edifício;
-remover a umidade em excesso e promover o movimento de ar;
-promover o uso da iluminação natural;
-controlar o ruído.

Para controlar os ganhos de calor, as estratégias são:

-minimizar a energia solar que entra pelas aberturas;
-minimizar a energia solar absorvida pelas paredes externas;
-colocar isolantes térmicos nas superfícies mais castigadas pelo Sol (paredes ou teto).

Para aumentar a dissipação de energia do espaço habitado deve-se:

-promover níveis maiores de ventilação quando a temperatura externa for menor que a interna (o que significa boa disposição das aberturas, áreas corretas e fechamentos de boa qualidade, ou ventilação mecânica controlada);
-combinar a possível ventilação noturna com inércia térmica (saber como promover o movimento do ar, e como escolher e dispor os elementos e materiais da construção);
-transferir o calor para zonas com temperatura menor que a do ambiente habitado (depósitos, garagens, subsolos etc.).

Para remover a umidade em excesso e movimentar o ar, o qual aumentará o conforto térmico das pessoas, deve-se promover o movimento do ar e sua renovação, no período no qual as pessoas estejam ocupando o ambiente.

Para promover o uso da iluminação natural, devem ser previstas as aberturas que deixarão entrar a luz natural, sem permitir a entrada da radiação solar direta, conjugando a necessidade de controlar a carga térmica provinda da energia solar.

CORBELLA & YANNAS (2003) ainda salientam que, antes de projetar um edifício, é preciso saber lidar com os seguintes aspectos: controle solar, dissipação de energia, materiais de construção e seu desempenho térmico, iluminação natural, conforto acústico e problemas que se apresentam no meio ambiente. E complementam: “as soluções que ajudarão a propiciar conforto térmico, as que permitirão gozar um conforto visual, e as que criarão um ambiente com conforto acústico, devem ser tratadas em conjunto no projeto de arquitetura, que deverá dar uma resposta integrada aos problemas que se apresentarão em cada caso”.

2.3.2.4.1. Controle da Radiação Solar

A radiação solar é uma energia eletromagnética, de onda curta, que atinge a Terra após ser parcialmente absorvida pela atmosfera. A maior influência da radiação solar é na distribuição da temperatura do globo. As quantidades de radiação variam em função da época do ano e da latitude. Segundo KOENINGSBERGER (1977), a distribuição da irradiância solar que incide sobre a superfície terrestre ocorre da seguinte maneira (com valores que variam ± 2% em função da quantidade de energia emitida pelo próprio Sol, e de ± 3,5% devido à variação da distância Terra-Sol):

.5% (A) refletida pelo solo;
.20% (B) refletida pelas nuvens;
.25% (C) absorvida pela atmosfera;
.23% (D) difusa sobre o solo;
.27% (E) direta sobre o solo.

A quantidade de radiação solar incidente no topo da atmosfera varia em função da altura solar; quanto maior o ângulo de incidência, maior a intensidade da radiação recebida, por unidade de área. A radiação, direta e difusa, que incide sobre a superfície terrestre é absorvida e reemitida sob a forma de calor, aumentando a temperatura do ar, do solo e da estrutura urbana. Ver Figura 2.43.

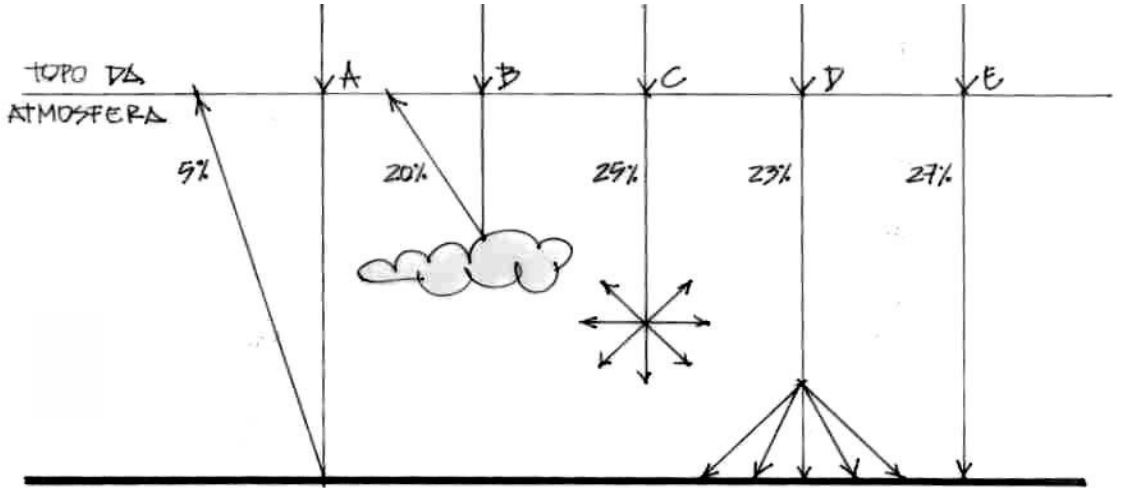


Figura 2.43: Distribuição da Irradiância Solar Recebida pela Terra (KONINGSBERGER, 1977)

A transferência de energia térmica afeta os edifícios de diferentes formas:

.Radiação solar direta, de ondas curtas;
.Radiação difusa, de ondas curtas, da abóbada celeste;
.Radiação de ondas curtas, refletida pelo solo;
.Radiação de ondas longas, liberada pelo solo e edifícios;
.Radiação de ondas longas, devido ao intercâmbio entre os edifícios e a abóbada celeste.

A quantidade de energia refletida pela superfície terrestre depende do albedo[25] da superfície. De acordo com a Tabela 2.3 (AYOADE, 1999), pode-se dizer que, de modo geral, as superfícies secas e cores claras possuem albedo mais elevado, refletem mais radiação que superfícies úmidas e escuras.

[25] Fração de luz incidente que é refletida ou difundida por uma superfície.

VALORES DE ALBEDO PARA ALGUMAS SUPERFÍCIES (AYOADE, 1999)	
Superfície	Albedo (%)
Solo Negro (seco)	14
Solo Negro (úmido)	8
Solo nu	7 - 20
Areia	15 - 25
Florestas	3 - 10
Campos naturais	3 - 15
Campos de cultivo (secos)	20 - 25
Gramados	15 - 30
Neve (recém caída)	80
Neve caída (dias ou semanas)	50 - 70
Gelo	50 - 70
Água (altura solar > 40°)	2 - 4
Água (altura solar 5 - 30°)	6 - 40
Cidades	14 - 18

Tabela 2.3: Valores de Albedo. Fonte AYOADE (1999)

O albedo varia também em função do comprimento de onda e da altura solar. A vegetação, por exemplo, apresenta albedo muito baixo no ultravioleta, aumentando para a radiação visível e para o infravermelho. Quanto maior o ângulo de incidência dos raios solares menor será a reflexão, portanto o albedo de uma superfície será maior no início da manhã e final da tarde e menor por volta do meio dia. A quantidade de energia refletida por uma porção de solo urbano depende do albedo e do padrão de ocupação. Cidades situadas em latitude média apresentam albedo em torno de 15%, na ausência de neve. Nos trópicos, o albedo urbano tende a ser mais elevado devido, principalmente, ao uso de cores claras na pintura e revestimento dos edifícios, com o propósito de incrementar a reflexão.

Considerado um determinado espaço, além das radiações solares diretas e difundidas pela atmosfera, este receberá os raios solares refletidos pelas superfícies que o cercam (solo, paredes das construções vizinhas e outros anteparos externos), assim como a influência das modificações trazidas pelo microclima formado em torno dele. (BUSTOS ROMERO, 2007) Ver Figura 2.44.

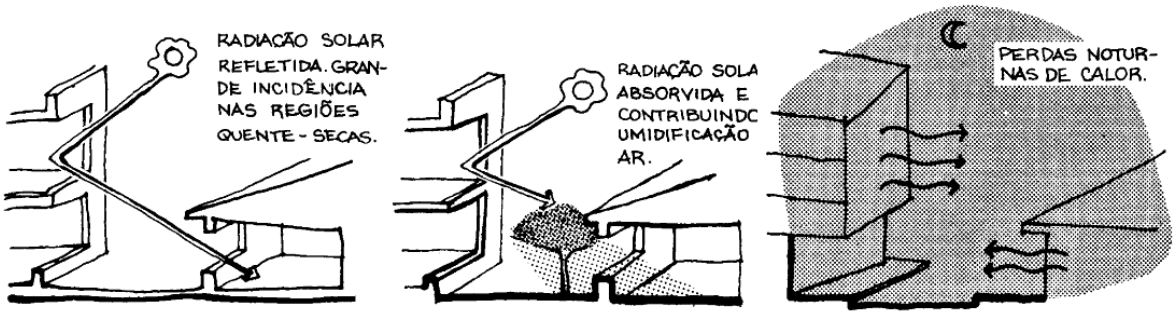


Figura 2.44: A radiação incidente nos espaços construídos. Fonte: BUSTOS ROMERO, 2007

CORBELLA & YANNAS (2003) listam as estratégias para combater ganhos de calor devido à radiação solar e à conseqüente elevação da temperatura do ar interior e das superfícies que rodeiam as pessoas:

.posicionar o edifício de maneira a obter a mínima carga térmica devido à energia solar;
.proteger as aberturas contra a entrada de Sol;
.dificultar a chegada do Sol às superfícies do envelope do edifício;
.minimizar a absorção do Sol pelas superfícies externas;
.determinar a orientação e o tamanho das aberturas para atender às necessidades de luz natural.

2.3.2.4.2. Ventilação

A ventilação proporciona a renovação do ar do ambiente, sendo de grande importância para o conforto higrotérmico (chamada ventilação de conforto) e para a salubridade dos ambientes e higiene em geral (chamada ventilação higiênica ou ventilação de inverno), pois a renovação do ar dos ambientes proporciona a dissipação de calor e a desconcentração de vapores, fumaça, poeiras, poluentes etc..

O corpo humano emite vapor de água para o ambiente, através da exsudação e da respiração, aumentando o teor de umidade do ar. O vapor de água também é produzido pelo cozimento dos alimentos e pelo banho, sendo causa de condensações nos recintos fechados e provocando destruição de pinturas e materiais, além de propiciar a proliferação de microorganismos nocivos para a saúde.

O corpo também é fonte de calor, interferindo nas condições higrotérmicas que devem ser analisadas e consideradas no projeto dos edifícios.

> O primeiro critério de ventilação dos ambientes se baseia nos requisitos básicos de exigências humanas, que são o suprimento de oxigênio e a concentração máxima de gás carbônico no ar, sendo que a diluição da concentração de gás carbônico requer maiores taxas de ventilação que o suprimento do oxigênio. A renovação do ar para a diluição da concentração de gás carbônico é insuficiente para a desconcentração de odores corporais, que podem causar náuseas, dores de cabeça e mal-estar. FROTA (1987)

A ventilação tem também função de remoção do excesso de calor dos ambientes. Os excessivos ganhos de calor solar, principalmente no verão, assim como o calor gerado no próprio ambiente devido à presença de fontes diversas, tendem a provocar desconforto térmico. A ventilação dos ambientes deve promover melhorias nas condições termo-higrométricas, podendo representar um fator de conforto térmico de verão ao incrementar as trocas de calor por convecção e evaporação entre o corpo e o ar interno do recinto.

> A ocupação dos edifícios por pessoas, máquinas e equipamentos e a exposição à radiação solar vão ocasionar, nos ambientes internos, temperaturas superiores às do ar externo. Esse acréscimo de temperatura, no caso de inverno nos climas quentes ou no caso geral de climas frios, pode ser um fator positivo, porém, na época de verão dos climas temperados ou durante todo o ano em climas quentes certamente será um fator negativo, agravante das condições térmicas ambientais. FROTA (1987)

Segundo RIVERO (1986), as exigências higiênicas e higrotérmicas indicam que a ventilação obedece a necessidades diferentes, já que, as primeiras têm caráter permanente e devem ser satisfeitas a qualquer época do ano, enquanto que as segundas, só importam quando o microclima interno e o ar exterior têm uma temperatura menor que a interior.
As situações mais complexas acontecem quando a arquitetura deve se adaptar em zonas que possuem períodos frios e quentes, originando a chamada ventilação de inverno, onde a única preocupação são as exigências higiênicas, e a ventilação de verão, que deverá satisfazer tanto às exigências higiênicas quanto às térmicas. Esta dupla condição vai provocar o estudo da localização, área e forma de abrir os dispositivos de maneira que, em nenhum dos períodos, ocorra desconforto aos usuários.

2.3.2.4.2.1. Ventilação no Edifício

A ventilação interior de um recinto pode ser feita através do vento exterior existente, ou por meios mecânicos caso o primeiro não seja possível.

> A ventilação natural é o deslocamento do ar através do edifício, através de aberturas, umas funcionando como entrada e outras, como saída. Assim, as aberturas para ventilação deverão estar dimensionadas e posicionadas de modo a proporcionar um fluxo de ar adequado ao recinto. O fluxo de ar que entra ou sai do edifício depende da diferença de pressão do ar entre os ambientes internos e externos, da resistência ao fluxo de ar oferecida pelas aberturas, pelas obstruções internas e de uma série de implicações relativas à incidência do vento e forma do edifício. A

diferença de pressões exercidas pelo ar sobre um edifício pode ser causada pelo vento ou pela diferença de densidade do ar interno e externo, ou por ambas as forças agindo simultaneamente. A força dos ventos promove a movimentação do ar através do ambiente, produzindo a ventilação denominada 'ação dos ventos'. O efeito da diferença de densidade provoca o chamado 'efeito chaminé. FROTA (1987)

Ambos os processos, 'ação dos ventos' (Figura 2.45) e 'efeito chaminé', também denominado de efeito termossifão (Figura 2.46), podem ocorrer simultaneamente. Esta simultaneidade pode ser positiva resultando na soma de estratégias para o conforto, ou, pode resultar em ação de contraposição entre as mesmas, prejudicando a ventilação do ambiente.

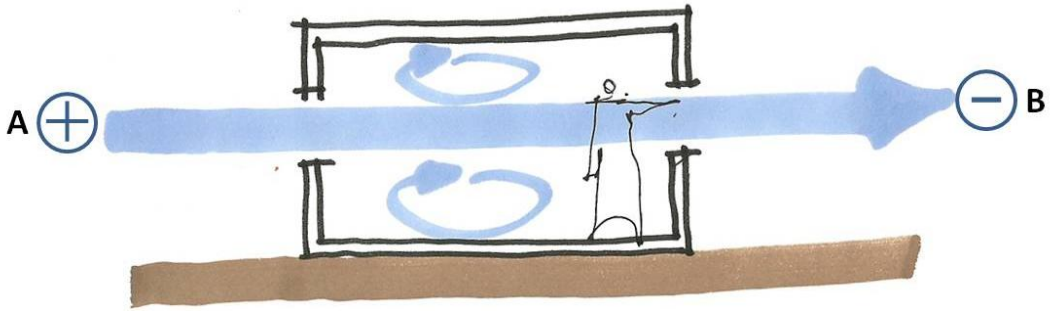


Figura 2.45: Ação dos ventos: ventilação com correntes cruzadas. Fonte CORBELLA & YANNAS, 2003. Desenho adaptado pela autora.

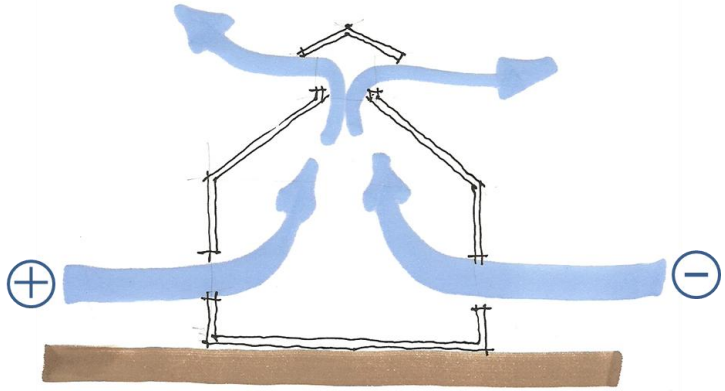


Figura 2.46: Efeito chaminé ou termossifão. Fonte: CORBELLA & YANNAS, 2003. Desenho adaptado pela autora.

Segundo AYOADE (1999), ventos são correntes de convecção na atmosfera, que tendem a igualar as diferenças de pressão atmosférica provocadas pela distribuição desigual da energia solar na superfície terrestre. A causa primordial do movimento do ar é a existência de um gradiente de pressão, causado por fatores térmicos ou mecânicos, que induz o ar a se deslocar das zonas de alta pressão em direção às de baixa pressão.

Segundo ilustra a Figura 2.47, as paredes expostas ao vento estarão sujeitas a pressões positivas (sobrepressões), enquanto as paredes não expostas ao vento e à superfície horizontal superior estarão sujeitas a pressões negativas (subpressões). Essa situação proporciona condições de ventilação do ambiente pela abertura de vãos em paredes sujeitas a pressões positivas (sobrepressões) para entrada de ar e em paredes sujeitas a pressões negativas (subpressões) para saída de ar.

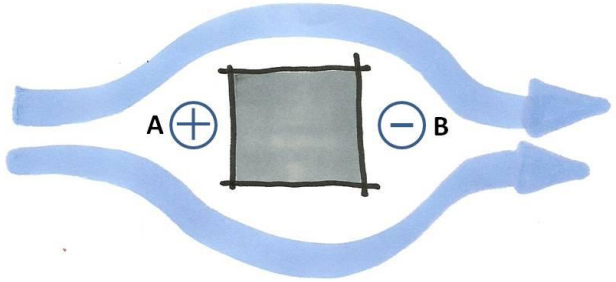


Figura 2.47: Ventos e Pressão. Fonte: CORBELLA & YANNAS, 2003. Desenho adaptado pela autora.

Ainda segundo FROTA (1987), a distribuição das pressões sobre o edifício depende da direção dos ventos e do fato deste estar exposto às correntes de ar ou protegido por outros obstáculos (naturais ou construídos). A pressão exercida sobre um determinado ponto do edifício depende também da velocidade do vento e do seu ângulo de incidência.

Ao lidar com edificações situadas na área urbana, o efeito da ação dos ventos, que tende a seguir o traçado viário, pode ser pequeno em razão da proximidade entre as construções. No caso de construções espaçadas, o fator preponderante quanto à ação dos ventos é o sentido do fluxo de ar no interior das edificações. No entanto, obstáculos podem inverter este sentido, modificando as pressões do ar sobre as superfícies externas; as inversões de sentido do fluxo interno podem levar odores, vapores, etc., por exemplo, de cozinhas ou banheiros, para o interior das edificações em vez de para o exterior.

Para conseguir uma corrente cruzada de ventilação, posicionar as janelas de modo que a entrada do vento ocorra de acordo com a direção mais freqüente durante o ano. As janelas seguintes devem estar posicionadas de maneira a garantir a saída do vento. Mesmo existindo vento, se não existir diferença de pressão entre as aberturas, não ocorrerá a ventilação com correntes cruzadas, como mostra a Figura 2.48.

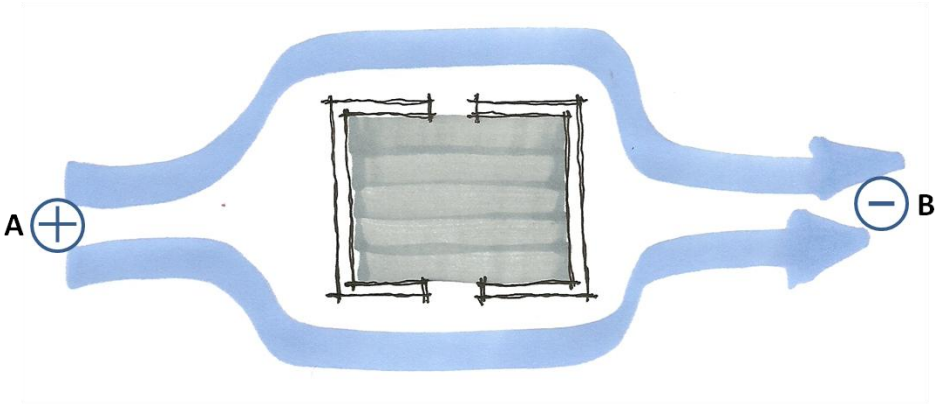


Figura 2.48: Caso com vento e sem corrente cruzada. Fonte: CORBELLA & YANNAS, 2003. Desenho adaptado pela autora.

Para produzir a ventilação desejada, podem ser criados obstáculos construídos (barreiras, paredes, muros, abas...) ou naturais (vegetação, taludes...) para a ocorrência das diferenças de pressão, conforme exemplo da Figura 2.49.

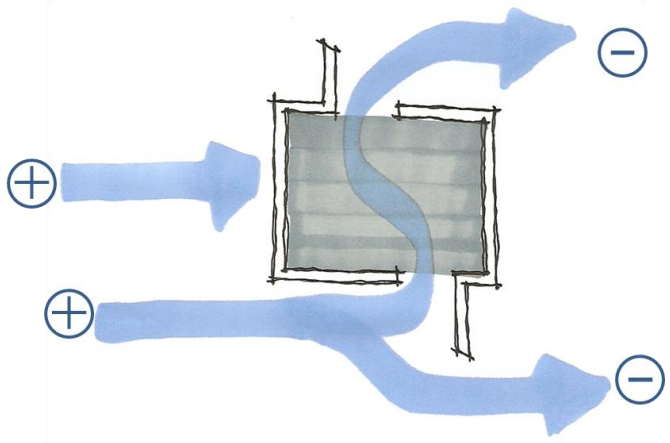


Figura 2.49: Criação de obstáculos para ocorrência da ventilação cruzada. Fonte CORBELLA & YANNAS, 2003. Desenho adaptado pela autora.

Quando a quantidade de ventos não é satisfatória, podem-se criar movimentos internos de ar, através das diferenças de temperatura de um ambiente (o ar quente sobe, o ar frio desce), promovendo a saída de ar quente na parte superior do cômodo e a entrada de ar frio nas áreas mais baixas. Este efeito é denominado 'chaminé' ou termossifão, conforme já explicitado na Figura 1.47.

2.3.2.4.2.2. Ventilação no Meio Urbano

Em relação às áreas urbanas, deve-se primeiramente reconhecer que as intervenções realizadas num espaço aberto produzem modificações no padrão dos ventos de uma região. Na altura do pedestre, os três efeitos que têm maior importância são: efeito barreira ou muralha, efeito pilotis e efeito Venturi. O estudo destes efeitos indica como se deve projetar para que eles se produzam ou não.

O 'efeito barreira' ou 'muralha' ocorre quando o fluxo de ar encontra uma parede. O vento pára sua velocidade na face atingida e produz uma zona de sombra de ventos na face oposta (ver Figura 2.50). Se o vento tiver muita intensidade a barreira servirá como proteção.

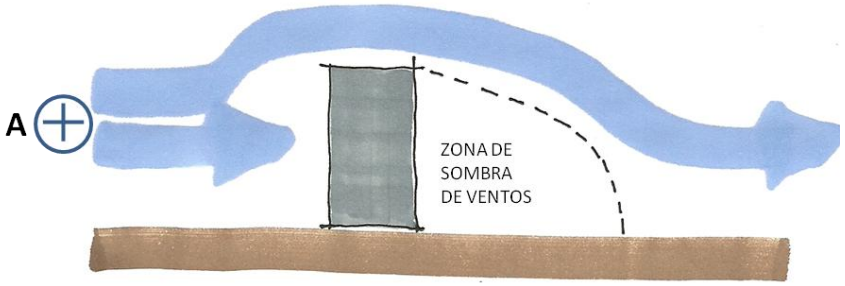


Figura 2.50: Efeito barreira ou muralha. Fonte CORBELLA & YANNAS, 2003, desenho adaptado pela autora.

O 'efeito pilotis' produz um aumento da velocidade do vento na zona delimitada pelos pilotis, na base do prédio. Esta opção é interessante para edifícios envoltos em áreas com grande densidade de edificações altas, onde a brisa produzida resultará confortável. Já em regiões com muita intensidade de vento, a solução poderá acarretar incômodo. Ver Figura 2.51.

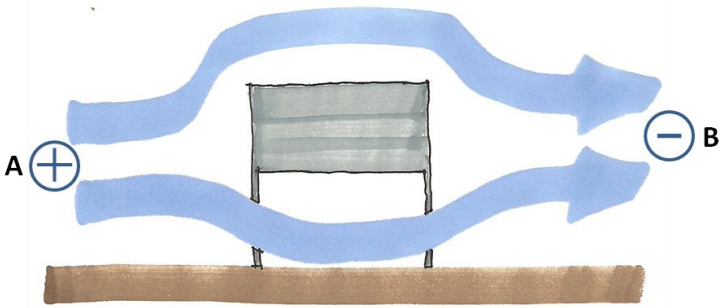


Figura 2.51: Efeito pilotis. Fonte CORBELLA & YANNAS, 2003, desenho adaptado pela autora.

O ‘efeito Venturi’ ocorre quando edificações formam barreiras transversais configurando um estreitamento afunilado e ampliando notavelmente a velocidade do vento (Figura 2.52).

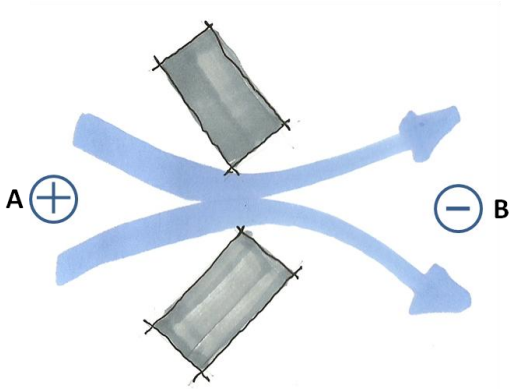


Figura 2.52: Efeito Venturi. Fonte CORBELLA & YANNAS, 2003. Desenho adaptado pela autora.

Espaços que configuram praças internas, rodeadas de edifícios altos, podem constituir-se em zonas de calmaria (região de sombra interna), pelo desvio de ventos para cima conforme Figura 2.53.

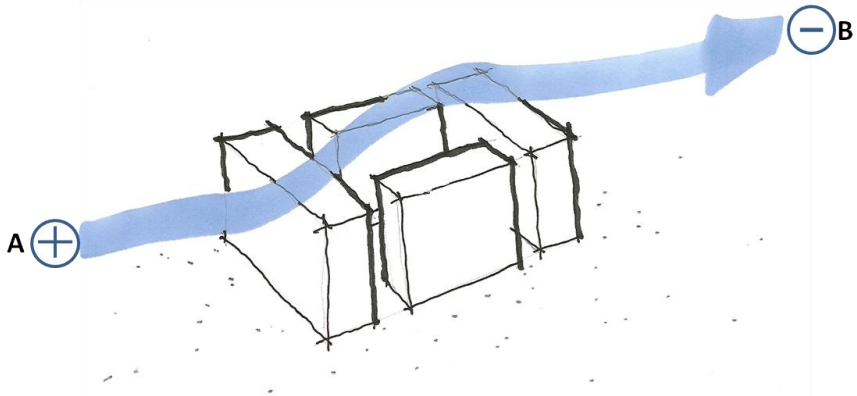


Figura 2.53: Praças sem ventos. Fonte CORBELLA & YANNAS, 2003. Desenho adaptado pela autora.

Estudando quais são as regiões de alta e baixa pressão, poderão ser projetadas aberturas que induzirão a ventilação, conforme sugestão de modificação apresentada na Figura 2.54.

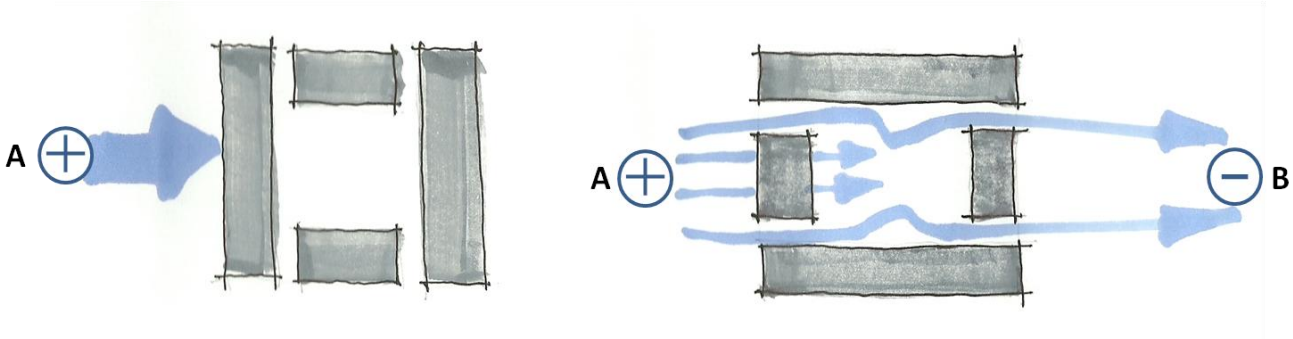


Figura 2.54: Estudo das diferenças de pressão atmosférica e localização de aberturas. Fonte: CORBELLA & YANNAS, 2003. Desenho adaptado pela autora.

2.3.2.4.2.3. Escala de Beaufort[26]

O instrumento utilizado para medir a velocidade do vento chama-se anemômetro (do grego *anemus* = vento). As escalas utilizadas nestes instrumentos podem ser em Km/h, m/s, m/h, Beaufort e nós. Para as aplicações em Arquitetura a escala utilizada é m/s. Os tipos mais freqüentes de anemômetros são:

-tipo caneco ou copo: consiste em três ou quatro pequenos hemisférios ocos, que giram em torno de uma haste vertical. Um dispositivo elétrico registra as revoluções dos copos e calcula a velocidade do vento;
-tipo hélice ou ventoinha: ao invés de hemisférios ou copos, utiliza hélices;
-tipo fio quente: utiliza um fio (geralmente de tungstênio) muito fino aquecido eletricamente até uma temperatura acima do ambiente. O vento tem um efeito de resfriamento sobre o fio (convecção). Como a resistência elétrica da maioria dos metais é dependente da temperatura do metal, uma relação pode ser obtida entre a resistência do fio e da velocidade do fluxo. Embora extremamente delicados, tem alta freqüência de resposta e resolução espacial fina em comparação com outros métodos de medição, e como tal são quase universalmente utilizados para o estudo detalhado dos fluxos turbulentos, ou qualquer fluxo em que as oscilações são de rápida velocidade.

Na falta de instrumentos para a medição da intensidade do vento, ela pode ser avaliada em valores de 0 a 10, de acordo com a escala de BEAUFORT, abaixo transcrita na Tabela 2.4.

ESCALA DE BEAUFORT		
VALOR	VELOCIDADE (m/s)	OBSERVAÇÃO
0	0.0 – 0.2	A fumaça sobe verticalmente
1	0.3 – 1.5	Fumaça se inclina, mas não gira um catavento
2	1.6 – 3.3	Sente-se o vento na pele, folhagens se movem
3	3.4 – 5.4	Folhas e pequenos galhos se movem de forma contínua; bandeiras tremulam
4	5.5 – 7.9	Poeira e folhas levantam do chão
5	8.0 – 10.7	Pequenas árvores se movem; espuma nas ondas dos lagos
6	10.8 – 13.8	Fiações elétricas se movem; difícil usar guarda-chuva
7	13.9 – 17.1	Árvores se agitam; difícil caminhar contra o vento
8	17.2 – 20.7	Quebram-se os galhos; impossível caminhar contra o vento
9	20.8 – 24.4	Telhados voam; pequenas catástrofes
10	24.5 – 28.5	Pode arrancar árvores, mas acontece principalmente no mar

Tabela 2.4: Escala de Beaufort. Fonte: STANGENHAUS, 1992.

[26] Foi desenvolvida pelo almirante francês Francis Beaufort no início do século XIX, observando o que acontecia nos mares. Já na década de 1830, a Marinha Real Britânica utilizava esta escala. Ela quantifica a intensidade dos ventos observando sua velocidade e os efeitos no mar e em terra. A Escala original vai de 0 (calmaria) a 12 (furacão).

2.3.2.5. Propriedades Térmicas dos Materiais

Todos os corpos contêm certa quantidade de energia, chamada energia interna ou térmica ou, simplesmente, calor. Esta energia se manifesta através do movimento das moléculas, átomos e partículas constituintes de cada material.

Segundo RIVERO (1987), as propriedades que definem o comportamento térmico de um fechamento são: o coeficiente de absorção da radiação solar, as emissividades de todas as superfícies, a condutividade térmica, o calor específico e a espessura dos materiais que o compõem.

Para melhor compreensão dos fenômenos de produção e transferência da energia térmica, prosseguimos com a definição de alguns conceitos, nomenclaturas e unidades mais importantes. (FROTA, 1987 e STANGENHAUS, 1992)

.Fluxo Térmico é a quantidade de energia transferida na unidade de tempo. É medido em Watt ou Joules por segundo, e depende das relações entre área do fechamento, condutividade térmica do material, espessura do material e diferença de temperatura entre as faces. O fluxo térmico tende a distribuir-se sempre da temperatura mais alta para a mais baixa; quanto maiores as diferenças de temperatura, maior o fluxo. Pode ocorrer através de uma parede ou de uma janela, através de ventilação ou ar condicionado, por condução, convecção ou radiação.

.Densidade de fluxo térmico é a relação entre o fluxo térmico que atinge ou atravessa um determinado corpo e a unidade de área envolvida no fenômeno, sendo, portanto, medido em Watt/m².

.Calor específico é a quantidade de energia necessária para elevar, em uma unidade de temperatura, uma unidade de massa de uma substância, sem levar em consideração o tempo gasto para tal. Sua unidade é J/kg°C.[27]

.Calor latente indica a quantidade de energia absorvida ou liberada pela unidade de massa de uma substância ao mudar de estado sem que se modifique sua temperatura. Sua unidade é J/kg.

.Massa específica é a massa de uma unidade de volume. Sua unidade é kg/m³.

.Capacidade térmica ou calorífica é a quantidade de energia a ser fornecida a um corpo (em sua totalidade) para elevar a temperatura em um grau. Sua unidade é J/°C.

[27] No Anexo apresentamos tabela com as principais características térmicas dos materiais, entre elas, o calor específico.

.Calor volumétrico é a quantidade de energia térmica absorvida ou restituída por uma unidade de volume de um material, que altera sua temperatura em 1 (um) grau. O calor volumétrico é uma forma de apresentar o calor específico ou, dito de outra maneira, é a capacidade térmica de uma unidade de volume. Sua unidade é J/m³°C.

.Difusividade exprime a capacidade de um material em propagar uma onda de temperatura. Relaciona sua condutividade ao seu calor volumétrico. Quanto menor o valor da difusividade, menor temperatura é propagada. Sua unidade é m²/s.

.Efusividade define a qualidade de um corpo de absorver e devolver energia térmica.

.Condutividade térmica é a capacidade de um corpo de transmitir calor por condução. O coeficiente de condutividade térmica expressa a quantidade de energia térmica transmitida através de um corpo homogêneo, por unidade de área perpendicular à transmissão e unidade de tempo, quando a diferença de temperatura entre as duas faces é a unidade. A unidade utilizada é W/m°C. Materiais com alto coeficiente de condutividade térmica, como por exemplo, o cobre (390 W/m°C), são considerados bons condutores de calor, enquanto que, materiais de baixo coeficiente, como por exemplo o ar, são materiais ditos maus condutores ou isolantes.

.Resistividade, conceito inverso ao da condutividade, expressa em m°C/W.

.Condutância representa a densidade de fluxo térmico que atravessa um corpo, quando a diferença de temperatura entre suas superfícies é de 1 (um) grau centígrado. Enquanto a condutividade e a resistividade são propriedades ‘co’ material, as características de um corpo com uma espessura determinada são descritas como condutância. A unidade utilizada é W/m²°C.

.Resistência é o inverso da condutância. Sua unidade de medida é m²°C/W.

.Emissividade é uma característica da superfície dos corpos. Quanto mais reduzida for a emissividade, mais reduzida é a transferência de calor por radiação. A emissividade varia de 0 (não há emissão de infravermelho longo) a 1 (100% de emissão de infravermelho).

.Amplitude térmica é a diferença entre um máximo e um mínimo atingido por uma onda de energia térmica, num período determinado.

.Retardo térmico. Pelo fato de armazenar maior quantidade de energia para aquecer 1°C, paredes com grande capacidade térmica retardam o processo de transferência de temperatura. Paredes com grande capacidade térmica (ou grande inércia) são por isto ditas de **grande** retardo térmico.

.Inércia térmica está associada o aquecimento ou o resfriamento dos materiais. A inércia térmica depende das características térmicas da envolvente e dos componentes construtivos internos. Por exemplo, quando a temperatura exterior, suposta inicialmente igual à temperatura interior, se eleva, um certo fluxo de calor penetra nos fechamentos. Esse fluxo aquece internamente o fechamento antes de atravessá-lo imediatamente. Tal fluxo, se comparado com uma parede fictícia de peso nulo, atravessa a parede com um certo atraso e amortecimento, conforme Figura 2.55. O atraso e o amortecimento, juntos, compõem a inércia térmica, a qual é função da densidade, da condutibilidade e da capacidade calorífica da parede. A capacidade calorífica da parede é expressa através do fator denominado calor específico.

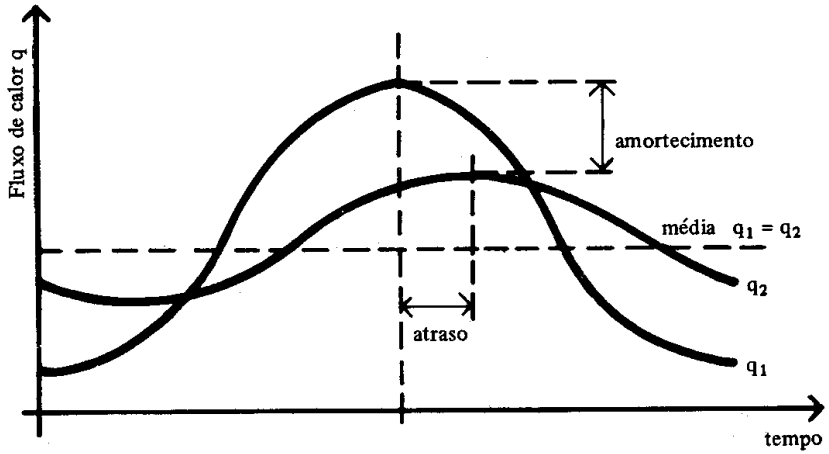


Figura 2.55: Esquema explicativo do fenômeno da inércia térmica de uma parede real (q2) e de uma parede fictícia de peso nulo (q1). Fonte: FROTA (1987)

Para a avaliação da inércia térmica da construção, recorre-se ao conceito de **superfície equivalente pesada**, que é igual à somatória das áreas das superfícies de cada uma das paredes interiores, inclusive piso e teto, multiplicadas por um coeficiente que será função do peso da parede e da resistência térmica de seus revestimentos — em relação à área do piso do local.

Uma parede apresenta maior ou menor inércia segundo seu peso e sua espessura. Mas, os revestimentos desempenham importante papel, pois revestimentos isolantes reduzem as trocas de calor com a parede e reduzem sua inércia. O amortecimento e o atraso serão tanto maiores quanto maior for a inércia da construção.

Alguns materiais, como o aço e o vidro, por exemplo, por suas características particulares transferem quase que imediatamente as condições de temperatura do exterior para o interior.

Chama-se **defasagem** o retardo térmico ou a diferença entre os horários de ocorrências das temperaturas máximas, externa e interna, provocado pelos materiais de grande inércia. A defasagem varia em função da inércia e é medida em horas.

Chama-se **amortecimento** a redução das oscilações da temperatura interior de um ambiente construído, resultantes das variações da temperatura do ambiente externo.

Chama-se **fator de amortecimento** a propriedade de um fechamento de diminuir a amplitude das variações térmicas transmitidas a um ambiente interno, e que pode ser expresso pela relação entre temperatura interna máxima e temperatura externa máxima.

A defasagem pode ser estudada separadamente para cada uma das paredes de um edifício, dependendo da radiação que recebe e do horário ideal para que a radiação chegue ao seu interior. Para climas com grandes amplitudes diárias, a capacidade térmica pode ser mais eficaz que o uso de um material isolante.

Os edifícios são expostos continuamente às solicitações térmicas do meio exterior. Os raios solares incidentes nos fechamentos construtivos representam sempre um ganho de calor que será função da intensidade da radiação incidente e das características térmicas dos materiais de construção usados nos edifícios.

Diante da radiação solar, os materiais de construção se comportam de modo distinto, sendo conveniente classificá-los em transparentes e opacos.

2.3.2.5.1. Fechamentos transparentes

Fechamentos transparentes, ou translúcidos, são materiais especiais, cuja característica principal é a alta transmitância para radiação de pequeno comprimento de onda (radiação solar). O material mais empregado na construção civil, para este fim, é o vidro. A transmissão de um vidro comum, de 4mm, oscila em torno de 80% para uma radiação incidente perpendicular à sua superfície; somente os 20% restantes são absorvidos e refletidos. (RIVERO, 1986)

Segundo SARDEIRO (2007), comparando-se um fechamento opaco com um translúcido ou transparente, conclui-se que é nos fechamentos translúcidos ou transparentes que acontecem as principais trocas térmicas, e a passagem da luz para o interior da edificação. Portanto, essas superfícies atuam diretamente no conforto luminoso e térmico, apresentando uma série de inconvenientes: têm elevada transmissão térmica, obrigando a aumentar o dimensionamento

dos equipamentos condicionadores de ar para verão e inverno; deixam passar facilmente os ruídos e são mais caros que os fechamentos opacos, subindo seus custos na medida das tentativas de solucionar os problemas que geram. (RIVERO, 1986)

A radiação solar, ao incidir no vidro transparente (Figura 2.56), tem parte da energia transmitida diretamente para o interior do ambiente, fato que se diferencia do fechamento opaco e translúcido, no qual parte é refletida e parte é absorvida pelo material.

No caso de superfícies transparentes, cerca de 1/3 desta radiação absorvida é reenviada para o ambiente interno; essas proporções dependerão do Fator Solar-FS do vidro. Nas superfícies translúcidas (Figura 2.57), também acontece à reflexão, absorção e transmissão, porém esta última ocorre de maneira diferente: a luz, ao penetrar no vidro translúcido, difunde-se e sai como uma luz difusa e não direta, como no vidro transparente.

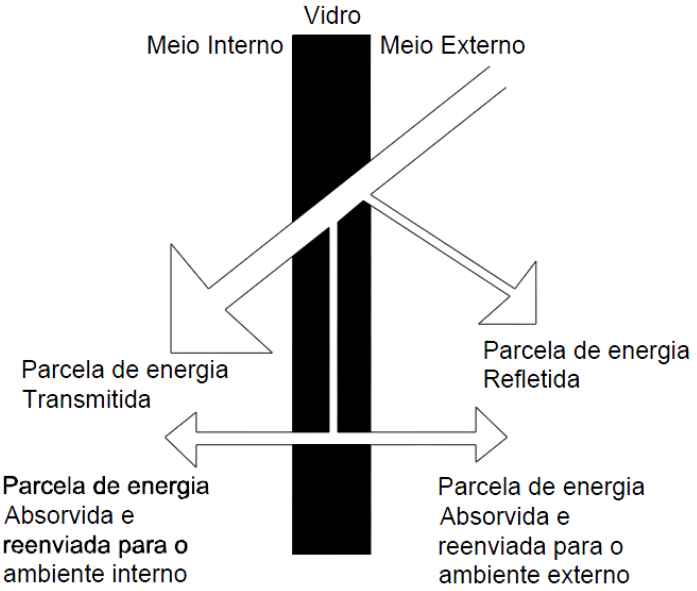


Figura 2.56: Esquema do comportamento da radiação
ao incidir em uma superfície transparente. Fonte: SARDEIRO, 2007.

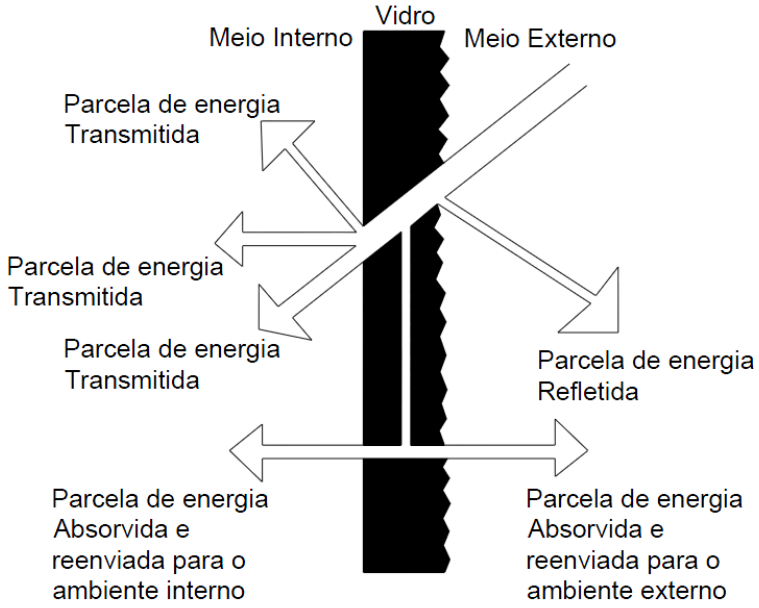


Figura 2.57: Esquema do comportamento da radiação
ao incidir em uma superfície translúcida. Fonte: SARDEIRO, 2007.

Ao especificar uma superfície transparente ou translúcida é necessário um cuidado redobrado com dimensão, orientação, uso de proteções solares externas e os tipos de vidros a serem utilizados pois, a radiação solar penetra no ambiente através da superfície transparente e incide nos corpos que, se aquecem: esta energia é transformada em radiação de onda longa, em relação à qual o vidro e o policarbonato são opacos. Ou seja, a radiação solar que penetra no ambiente é impedida de sair, acumulando calor no ambiente interno. Esta propriedade que torna o vidro tão útil na construção de coletores solares, também o faz pouco adequado para fachadas ensolaradas em climas quentes. Ainda vale acrescentar que, o vidro tem uma condutividade relativamente alta e uma resistência e capacidade de amortecimento muito reduzida, agravando o problema. Como cita GIVONI (1982), *'o aquecimento excessivo devido a superfícies transparentes é causado por um efeito térmico conhecido como efeito estufa'*.

Ainda segundo SARDEIRO (2007), ao estudar a transmissão do infravermelho em materiais transparentes diferentes que são utilizados nas fachadas das edificações, percebe-se que o vidro e os policarbonatos são completamente opacos a comprimentos de onda correspondentes ao infravermelho longo, gerado no interior do ambiente. Dessa maneira, todos esses materiais produzem o indesejado 'efeito estufa'.

Na literatura[28], encontra-se uma metodologia para facilitar a especificação da superfície transparente no projeto arquitetônico. Parte-se da premissa que se deseja o mínimo valor possível do Fator Solar (FS)[29] e o máximo para a Transmissão Luminosa (TL).

O Fator Solar (FS) serve para caracterizar um determinado material, ou seja, através dele sabe-se a quantidade de energia que o atravessa, chegando ao interior do ambiente. Por exemplo: o fator solar de um vidro simples de 3mm é de 0,87; isso significa que, 87% da radiação solar incidente sobre o vidro penetra no ambiente. Portanto, quanto maior o FS, maior a quantidade de energia transmitida. A Tabela 2.5 apresenta o fator solar para outros tipos de vidro.

[28] Fonte: http://www.usp.br/fau/deptecnologia/docs/bancovidros/termica.htm

[29] Fator Solar (FS) é o somatório da parcela da radiação que atravessa diretamente o vidro, com a parcela que é absorvida pelo vidro e reenviada para o ambiente interno (GIVONI, 1982). Fator Solar (FS), pela ABNT, é "o quociente da energia solar absorvida por um componente pela energia solar total incidente sobre a superfície externa do mesmo".

Superfícies Separadoras		Fator Solar
Vidros	Transparente (simples) 3mm 6mm	 0,87 0,83
	Transparente (duplo) 3mm	 0,75
	Cinza (fumê) 3mm 6mm	 0,72 0,60
	Verde 3mm 6mm	 0,72 0,60
	Reflexivo 3mm	 0,26 – 0,37

Tabela 2.5: Valores de Fator Solar (FS) para diferentes tipos de vidro. Fonte: LAMBERTS, 1997 apud SARDEIRO, 2007.

No entanto, sabe-se que a superfície transparente e translúcida responde de maneira diferente a cada região do espectro; sendo assim, adotar simplesmente como parâmetro o FS para realizar a escolha do vidro não é o procedimento mais adequado.

Portanto, a partir dos três valores destacados na Tabela 2.6., referentes ao vidro incolor, e à proporção de radiação referente ao visível e infravermelho que atinge a superfície terrestre, é possível determinar a Eficiência Luminosa (EL) e a Eficiência Térmica (ET) para qualquer tipo de vidro. Dessa maneira, obtém-se uma avaliação mais criteriosa quanto ao vidro indicado em cada caso. Quanto maiores os valores para a eficiência luminosa (EL), melhor. Tratando-se da eficiência térmica (ET), o processo se inverte, o ideal são os menores valores.

Vidro Plano	Espessura	Transmissão relativa ao intervalo característico (%)			Transmissão Total da Amostra (%)
		ultra-V	Visível	infra-V	
Incolor	4 mm	39	88	77	78
	6 mm	38	86	70	72
Cinza	4 mm	14	57	56	54
	6 mm	12	46	43	42
Bronze	4 mm	14	61	57	56
	6 mm	11	49	54	52
Verde	4 mm	18	71	43	48
	6 mm	16	68	40	45
Refletivo Incolor*	6 mm	6	34	60	53
Refletivo Prata*	6 mm	18	54	63	60
Refletivo Cinza*	6 mm	11	43	72	63
Refletivo Bronze*	6mm	5	28	45	40
Refletivo Verde*	6 mm	5	53	42	43
Lam. Incolor	6 mm	2	85	63	65
Lam. Cinza	6 mm	1	45	55	51
Lam. Bronze Claro	6 mm	1	53	55	52
Lam. Bronze Escuro	6 mm	1	31	42	38
Lam. Verde	6 mm	2	81	65	66
Lam. Rosa	6 mm	1	52	55	52
Lam. Azul	6 mm	1	75	65	64

Tabela 2.6: Transmissão da radiação nos intervalos: ultravioleta, visível e infravermelho. Fonte: CARAM, 1996 apud SARDEIRO, 2007.

A emissividade normal de um vidro é de 0,89, mas pode variar de 0,84 para os vidros não-revestidos até 0,10 para vidros revestidos com uma camada designada de baixa emissividade.

Uma janela de baixa emissividade, essencialmente, dobra a resistência térmica, porque um revestimento de baixa emissividade praticamente bloqueia a condução de infravermelho.

De acordo com STANGENHAUS (1992), dada a importância assumida pelo vidro na arquitetura como um todo e, na iluminação natural em particular, muitas são as experiências na tentativa de melhorar seu desempenho térmico. Por exemplo:

.painéis de vidro duplo, separados entre si por câmara de ar não ventilada, melhoram seu desempenho (tanto térmico quanto acústico), pelo aumento de sua resistência e fator de amortecimento;

.vidros absorvedores, também chamados atérmicos, com composição química especial ou películas especiais entre duas lâminas (vidro laminado), absorvem radiação solar. No entanto elevam com isto sua própria temperatura, aumentando a transmissão por convecção e radiação. Desta maneira não são recomendáveis em todos os casos visto que, em determinadas situações este vidro pode chegar a se transformar em um painel radiante de talvez 50ºC.

.vidros refletores ou reflexivos, nos quais uma película fina, metálica, geralmente de alumínio, de alto coeficiente de reflexão, é colocada entre duas lâminas: têm seu desempenho melhorado caso sejam colocados 2cm à frente de um vidro comum sem câmara selada (permitindo a circulação de ar). Porém estes vidros refletem grande parte da radiação visível, tornando-se necessário compensar a perda de iluminação natural com outros artifícios e anulando parte de suas vantagens.

SARDEIRO (2007) também cita os vidros coloridos como atérmicos e absorvedores, informando que estes fazem com que a energia solar transmitida pela janela seja reduzida, uma vez que a presença de óxidos metálicos na sua composição, por exemplo, faz com que o vidro absorva mais energia solar em diferentes comprimentos de onda. No entanto, é muito indicado quando se deseja o controle do ofuscamento. Se uma placa de vidro absorvedor de calor é utilizada como elemento externo numa janela de vidro duplo, a sua eficiência será maior, quando comparada com vidro simples. Pode-se comprovar esse fato através da Tabela 2.7, onde se observa que os valores de transmitância à radiação solar são menores quando se trata de um vidro colorido.

Tipo de vidro	Espessura nominal	CS	Transmitância a radiação solar
Vidro simples Incolores	3mm	1.00	0.86
	6mm	0.94	0.78
	10mm	0.90	0.72
	12mm	0.87	0.67
Coloridos	3mm	0.83	0.64
	6mm	0.69	0.46
	10mm	0.60	0.33
	12mm	0.53	0.24
Vidros duplos Externo e interno incolores	3mm	0.88	0.71
Externo colorido interno incolor	6mm	0.15	0.36

Tabela 2.7: Transmitância à radiação solar e coeficiente de sombreamento para diferentes tipos de vidro. Fonte: ABCI, 1991 apud SARDEIRO, 2007.

O Coeficiente de Sombreamento (CS) é definido como a razão entre o Fator Solar-FS ou Ganho de Calor Solar de um vidro analisado sobre o Fator Solar-FS ou Ganho de Calor Solar de um vidro incolor padrão de 3mm de espessura, de FS = 0,87. Apesar de ter o nome de 'coeficiente de sombreamento', é interessante ressaltar que, quanto menor for o valor do coeficiente de sombreamento, menor será o ganho de calor e, conseqüentemente, maior a proteção contra a radiação solar.

CARMODY et AL. (2000) apud SARDEIRO (2007), comparam o vidro absorvedor com o vidro comum e também o comparam ao vidro refletivo. Observa-se no vidro reflexivo uma parcela significativa de 26% da reflexão, contra 8% do vidro comum e 6% do vidro absorvedor de calor. Porém, quando se avalia a porcentagem absorvida, o vidro absorvente possui a maior absorção, com 34%, contra 24% do vidro refletivo e 8% do vidro comum. Por fim, a transmissão: 84% é transmitida diretamente pelo vidro comum, 50% pelo vidro refletivo e 60% pelo vidro absorvedor. Ver Figura 2.58.

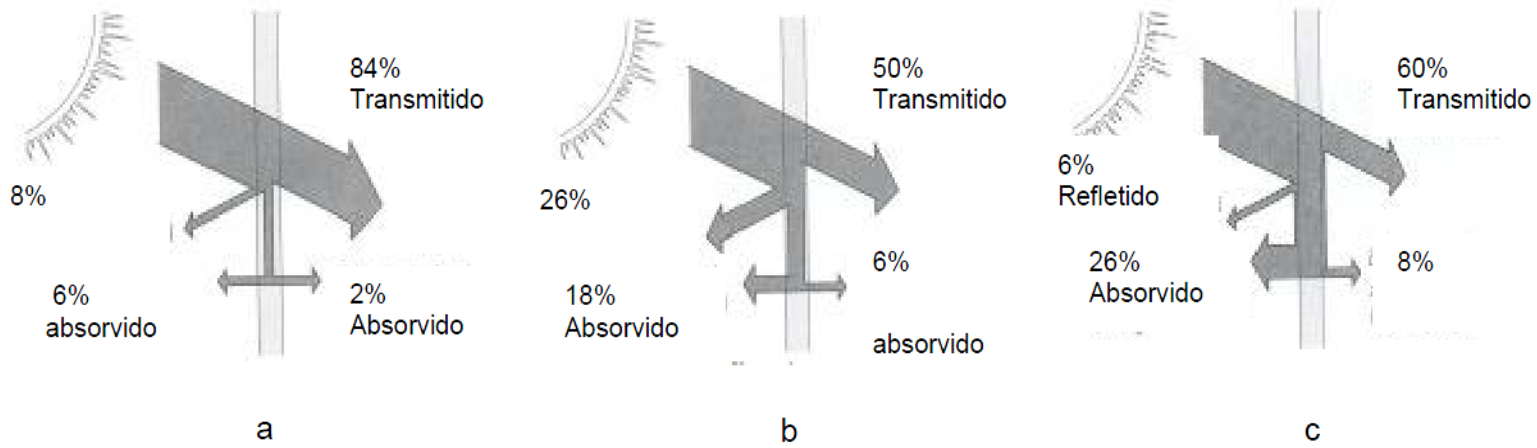


Figura 2.58: Transmissão da energia solar para os vidros: comum (a), reflexivo (b) e absorvedor de calor (c). Fonte: CARMODY et AL., 2000 apud SARDEIRO, 2007.

Portanto, é interessante ter conhecimento das propriedades óticas dos materiais transparentes e translúcidos na hora da especificação; dependendo do vidro escolhido, haverá uma situação diferente de conforto térmico e luminoso no interior do ambiente. Convém ressaltar que são necessárias não somente as informações de transmitância, refletância e absortância, mas também saber em que comprimento de onda estão ocorrendo esses processos.

SARDEIRO (2007) lista, como exemplo, uma variedade de materiais transparentes e translúcidos que estão sendo estudados visando o melhor desempenho térmico e acústico, como novas tecnologias de células fotovoltaicas que geram eletricidade própria, a utilização de vácuo no lugar de gases, estruturas capilares, tubulares, microprismas, aerogel, colméias, vidros serigrafados etc.. Excetuando os vidros já bastante conhecidos no mercado e as inovações que ainda estão em fase de pesquisa, citamos aqui apenas dois exemplos mais relacionados com este trabalho:

. Sistema colméia, constituídos por painéis duplos de vidro laminado de 10mm de espessura, preenchidos com uma estrutura metálica tipo colméia, que reduz a incidência da radiação solar no ambiente interno. Este sistema foi utilizado em Novembro de 2002 no Museu Oscar Niemeyer – MON, em Curitiba / PR, nas principais fachadas (frente e fundos da obra);

. Nova geração de vidros serigrafados que, entre outras funções, podem conduzir correntes elétricas através da serigrafia. Os vidros serigrafados à base de pasta de prata são eletrotransmissíveis (como os utilizados no vidro traseiro dos carros como sistema de desembaçamento).

De acordo com as conclusões das pesquisas de SARDEIRO (2007), podemos extrair as seguintes notas mais importantes:

.A transmissão da radiação nos vidros translúcidos de 4mm de espessura é inferior ao vidro transparente comum de 4mm e ocorre com maior intensidade em torno de 500nm, correspondendo à região do visível; portanto, consistem em boas especificações quando se deseja admitir luz e atenuar o calor;

.Alguns tipos de vidros translúcidos mais utilizados na construção civil, com espessura de 4mm, transmitem mais na região do visível e atenuam em parte o infravermelho, o que resulta em uma boa especificação no tocante ao conforto térmico e luminoso;

.O vidro canelado é o translúcido de 4mm que mais atenua a radiação em todo comprimento de onda analisado (ultravioleta, visível e infravermelho), além de ter uma excelente relação custo *versus* benefício;

.Comparando-se os vidros translúcidos com o policarbonato translúcido, em termos de conforto luminoso e térmico, a melhor opção seria a dos vidros translúcidos, por transmitirem em maior porcentagem o visível e atenuarem o infravermelho. Além do mais, apresentam uma melhor relação custo *versus* benefício.

.O item espessura não pode ser o único a ser considerado, quando se analisa a transmissão da radiação; ele tem que estar associado a outros critérios. Constatou-se que o item rugosidade tem poder decisivo na transmissão direta, muitas vezes, com maior peso que a espessura do material.

.O policarbonato alveolar translúcido deve ser cuidadosa e criteriosamente especificado, pois transmite o infravermelho em porcentagens bem mais elevadas que o visível.

2.3.2.5.2. Fechamentos opacos

Fechamentos opacos são materiais cuja característica principal é a obstrução da passagem de luz. Os fechamentos opacos constituem, em geral, a maior parte da envolvente do espaço interior sobre a qual incidem os agentes térmicos do clima (RIVERO, 1986). São vários os materiais empregados na construção civil, destacando-se os tijolos, concreto, cerâmicas, metais e madeiras.

Em um fechamento opaco, a transmissão de calor acontece quando há uma diferença de temperatura entre suas superfícies interior e exterior. O sentido do fluxo de calor será sempre da superfície mais quente para a mais fria.

No caso de uma parede opaca exposta à radiação solar e sujeita a uma determinada diferença de temperatura entre os ambientes que separa, os mecanismos de trocas podem ser esquematizados como na Figura 2.59. A intensidade de radiação solar incidente na parede opaca tem parte do seu fluxo refletido, parte absorvido e dissipado para o interior do cômodo mais frio, e, parte de seu fluxo absorvido e dissipado novamente para o exterior.

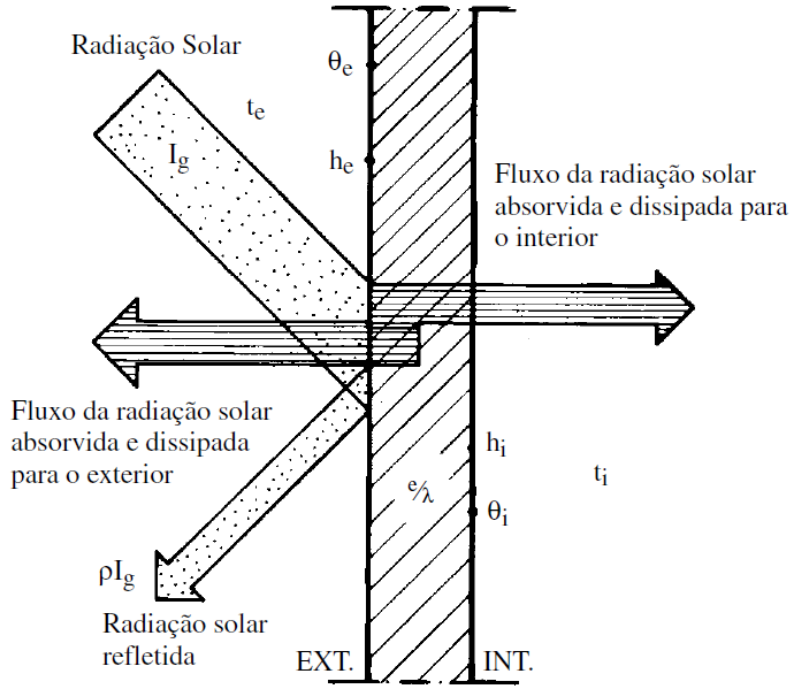


Figura 2.59: Trocas de calor através de paredes opacas. Fonte: FROTA, 1987.

A Tabela 2.8 abaixo apresenta valores de ε (emissividade térmica), para radiação solar, e de α e ε para temperaturas entre 10 e 40°C, para diversos materiais de construção, para uma mesma gama de comprimento de onda, da radiação incidente e da radiação emitida, α=ε.

Superfície	(α) Absorção para radiação solar	(α) e (ε) para temperatura entre 10 e 40°C
preto fosco	0,85 — 0,95	0,90 — 0,98
tijolo ou pedra ou telha cor vermelha	0,65 — 0,80	0,85 — 0,95
tijolo ou pedra cor amarela, couro	0,50 — 0,70	0,85 — 0,95
tijolo ou pedra ou telha cor amarela	0,30 — 0,50	0,40 — 0,60
vidro da janela	transparente	0,90 — 0,95
alumínio, ouro, bronze (brilhantes)	0,30 — 0,50	0,40 — 0,60
latão, alumínio fosco, aço galvanizado	0,40 — 0,65	0,20 — 0,30
latão, cobre (polidos)	0,30 — 0,50	0,02 — 0,05
alumínio, cromo (polidos)	0,10 — 0,40	0,02 — 0,04

Tabela 2.8: Valores de Coeficientes de Absorção (α) e Emissividade (ε). Fonte: KOENIGSBERGER et alii apud FROTA, 1987.

A Tabela 2.9. apresenta valores de α, para radiação solar, em função da cor da pintura externa.

Cor	(α)
branca	0,2 — 0,3
amarela, laranja, vermelha-clara	0,3 — 0,5
vermelha-escura, verde-clara, azul-clara	0,5 — 0,7
marrom-clara, verde-escura, azul-escura	0,7 — 0,9
marrom-escura, preta	0,9 — 1,0

Tabela 2.9: Valores de Coeficientes de Absorção da Radiação Solar(α), específico de pintura. Fonte: CROISET, M. apud FROTA, 1987.

Fica evidente a importância do coeficiente de absorção da superfície exterior nas edificações. Este coeficiente é maior no verão e nos fechamentos do plano horizontal que recebem maior radiação solar e, sua influência também aumenta na medida em que o fechamento tem menor resistência e amortecimento.

O primeiro recurso técnico para concepção de um projeto em relação ao conforto higrotérmico de um edifício, portanto, deve ser a orientação de seus fechamentos, prevendo os efeitos térmicos da radiação solar nos períodos de verão e inverno. O entendimento do coeficiente de absorção da superfície dos fechamentos por meio de uma cor adequada é outro recurso, provavelmente um dos mais econômicos.

Outra solução consiste em colocar lâminas ou chapas separadas do fechamento principal (paredes ou lajes/coberturas), cumprindo a dupla função de deter a radiação solar e ainda permitir a ventilação. Beirais e outros dispositivos de proteção, fixos e móveis devem ser utilizados convenientemente tanto em fechamentos opacos quanto nos transparentes e de acordo com as orientações e condições do meio.

A vegetação é outra das possibilidades.

2.3.2.6. Tratamento Paisagístico

> A vegetação em relação à radiação atua como um filtro das radiações absorvidas pelo solo e pelas superfícies construídas, refrescando os ambientes próximos, uma vez que as folhagens das árvores atuam como anteparos protetores das superfícies que se localizam imediatamente abaixo e nas proximidades. (ROMERO, 1988)

A vegetação tem tendência a estabilizar a temperatura e os efeitos do clima sobre o entorno, atenuando os extremos ambientais e sendo boa estratégia de atenuação do calor. Segundo BUSTOS ROMERO (2000), espaços com tratamento paisagístico podem absorver maior quantidade de radiação solar, contribuindo para uma menor irradiação de calor que qualquer superfície construída, uma vez que grande parte da energia absorvida pelas folhas é utilizada para seu processo metabólico, enquanto em outros materiais toda a energia absorvida é transformada em calor.

> A temperatura sobre uma superfície de grama em dias ensolarados de verão fica reduzida entre 5° a 7°C em relação à superfície construída. (OLGYAY apud ROMERO, 1988)

LZARD e GUYOT (1980) falam do efeito produzido pela folhagem de uma árvore sob a superfície que se encontra imediatamente debaixo dela. “Esta folhagem ‘cria uma espécie de céu’ e sua temperatura radiante é mais elevada que a abóbada celeste, o que permite uma diminuição da emissão de radiação infravermelha da superfície terrestre” (BUSTOS ROMERO, 2000). Ver Figura 2.60.

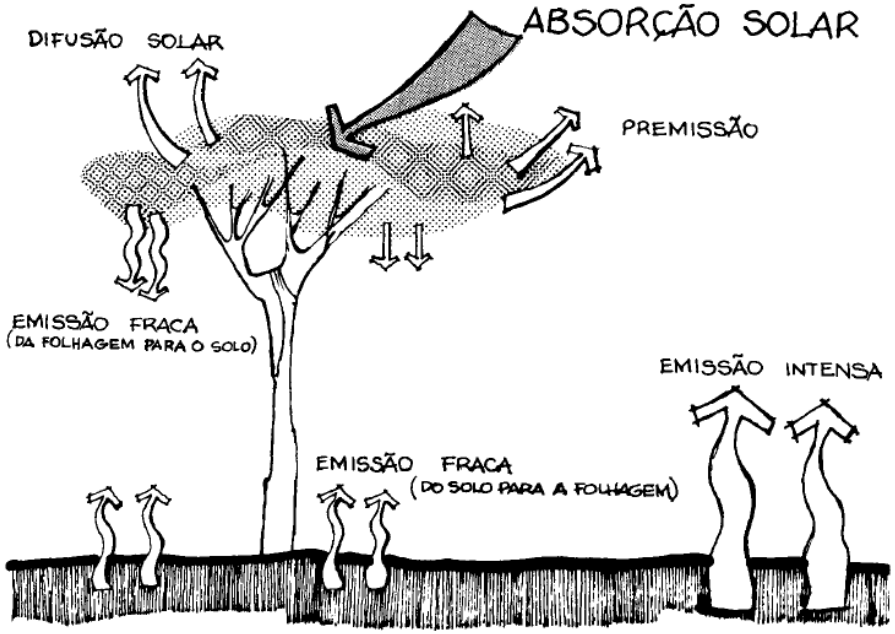


Figura 2.60: Efeito regulador da vegetação nas radiações. Adaptação de Izar/Guyot (1980) apud BUSTOS ROMERO, 2000.

Os elementos da paisagem podem formar zonas de baixa e alta pressão, transformando o microclima ao redor dos edifícios. O uso de vegetação pode atenuar o ar mais quente no verão (função sombreamento) e, se for o caso, o ar demasiado frio no inverno, dependendo da orientação solar e dos ventos dominantes (efeito barreira).

Quando se necessita de calor do sol no inverno, devem-se utilizar árvores de folhas caducas (que caem nessa estação, permitindo os raios solares incidirem nos fechamentos); esta é uma estratégia bastante interessante para regiões com clima de estações bastante marcadas (verão X inverno). No verão, a copa das árvores atua como sombreamento, uma das mais importantes funções da vegetação, contribuindo para amenizar o desconforto do usuário e reduzindo a temperatura superficial de coberturas e fachadas. Ver Figura 2.61.

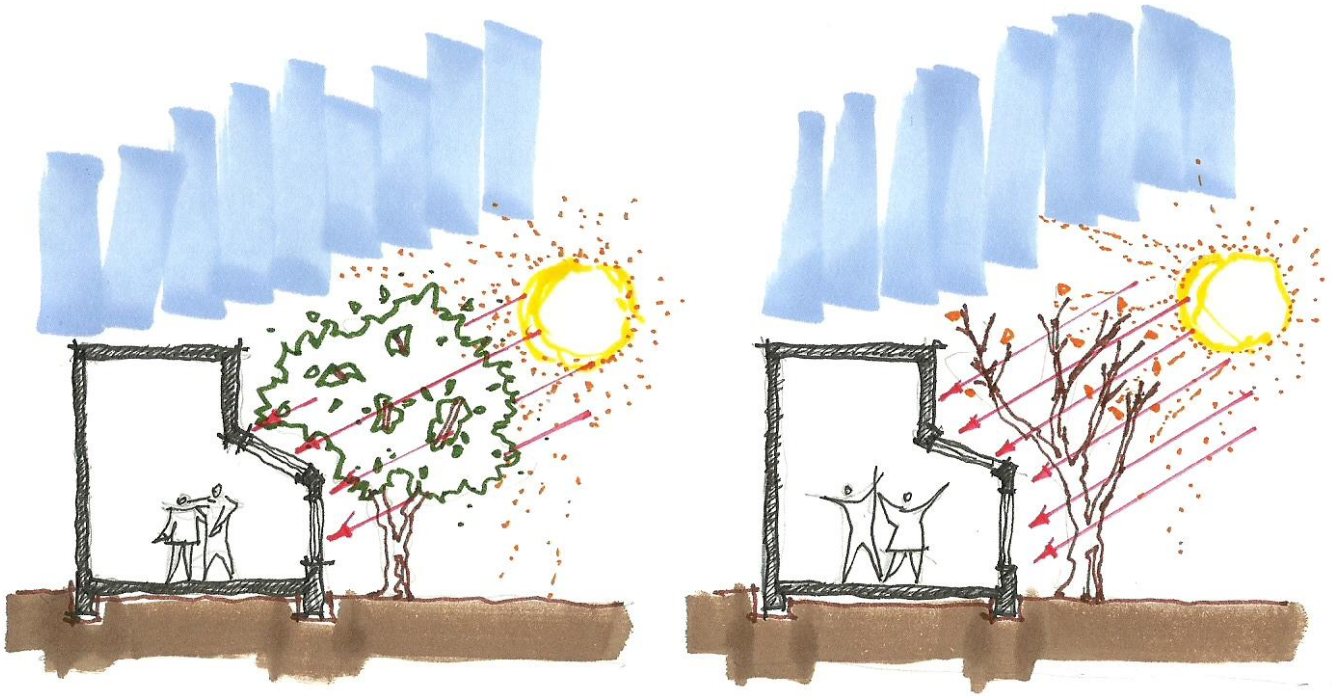


Figura 2.61: Influência da vegetação caduca na insolação. Fonte: MASCARÓ, 1985. Desenho adaptado pela autora.

As plantas denominadas ‘trepadeiras’, que também podem ser caducas, podem criar áreas de sombreamento horizontais (coberturas) e verticais (treliças ou nas paredes), protegendo da radiação solar.

Em relação à qualidade do ar, a folhagem das árvores atua como filtro para gases (absorção de CO2 e liberação de O2) e partículas em suspensão (fixação de poeiras e fumaça).

2.3.3. Clima

> Clima é a integração dos estados físicos do ambiente atmosférico característico de certa localidade geográfica, em um intervalo de tempo dado. (KOENINGSBERGER et AL., 1977)

Segundo MORIZE (1927), o tempo é o estado atmosférico em certo momento, considerado em relação a todos os fenômenos metereológicos: temperatura, vento, umidade etc.. O tempo, então, é essencialmente variável. Porém, distingue-se algo constante e previsível em meio a estas contínuas mudanças em um determinado lugar, a este 'algo' chama-se clima.

O clima é composto de fatores estáticos (posição geográfica e relevo) e fatores dinâmicos (temperatura, umidade, movimento do ar e radiação).

Segundo ROSSI & KRUGER (2005), o processo de urbanização das cidades, com seu acelerado crescimento populacional, acarreta alterações na atmosfera urbana. Estas alterações ocorrem em função de atividades humanas, como emissão de poluentes, atividades industriais intensas, supressão da vegetação nativa, adensamento populacional etc.. Estas ações, direta ou indiretamente, favorecem a formação de microclimas diferenciados em diferentes regiões da cidade, ocorrendo assim o fenômeno denominado 'ilha de calor'. Este clima específico gerado nas cidades é designado 'clima urbano'.

OKE (1978) define o clima urbano como sendo o resultado das modificações causadas pelo processo de urbanização da superfície terrestre e das características atmosféricas de um determinado local. MONTEIRO (2003) diz que "o clima urbano é um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização".

Desta forma, fica evidente que a urbanização exerce influência direta no clima da cidade. Além da influência do homem sobre o clima, o clima também o influencia. Há várias maneiras pelas quais o clima exerce influência sobre o ser humano: "o essencial para a vida da humanidade no planeta é especialmente o ar, a água, o alimento, o vestuário e o abrigo, que são todos dependentes das condições meteorológicas ou do tempo que lhe é inerente" (AYOADE, 2003).

Ainda segundo ROSSI & KRUGER (2005), o clima influencia o homem em diversos fatores, como na saúde, no conforto, na fisiologia, nas emoções, no comportamento humano, no desempenho das atividades diárias, devendo-se enfatizar que a influência climática pode ser tanto positiva quanto negativa. Logicamente, o impacto global de tais condições haverá de afetar a economia, a vida social e a qualidade de vida de todos quantos sejam por elas atingidos.

A definição do clima ideal, segundo MAYER (1990), está relacionada à qualidade do ar, bem como ao complexo térmico existente em determinada região. O desenvolvimento de análises bioclimáticas quanto ao clima urbano deve ter como finalidade última o estabelecimento de propostas concretas para um planejamento urbano climaticamente orientado.

No próximo item objetivaremos o clima subtropical característico da Cidade de Curitiba, capital onde se insere o objeto de estudo de caso desta dissertação.

2.3.3.1. O clima subtropical da cidade de Curitiba

> Dada à posição geográfica ao Sul do Trópico de Capricórnio (Latitude 25º 41´ 67" S), onde os sistemas atmosféricos intertropicais e polares travam confrontos, além de sua altitude superior a 900m, Curitiba caracteriza-se por apresentar temperaturas mais elevadas entre Dezembro e Fevereiro (mês mais quente), e temperaturas mais baixas entre Junho (mês mais frio) e Agosto. A situação topográfica assegura à cidade um caráter de clima mesotérmico úmido com verão quente. Desta maneira os verões são relativamente quentes, dada a disponibilidade de energia neste período do ano, provocando temperaturas próximas a 35ºC. (DANNI-OLIVEIRA, I. M., 1999 apud VERISSIMO & MENDONÇA, 2004).
>
> Observou-se que na capital paranaense, na última década, ocorreu uma elevação de quase 1ºC acima da média secular, sugerindo alterações climáticas tendendo a um maior aquecimento. (PAULA, MENDONÇA, 2002 apud VERISSIMO & MENDONÇA, 2004).

Segundo os referenciais e dados do Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba-IPPUC (2007), vários fatores interferem na característica climática do Município de Curitiba: a sua localização em relação ao Trópico de Capricórnio, a topografia do primeiro planalto, a altitude média do município e a barreira geográfica natural da Serra do Mar, são os principais fatores responsáveis pelo clima de Curitiba.

Tendo-se por referência a classificação de Köeppen, a Cidade de Curitiba localiza-se em região climática do tipo 'Cfb'[30], com clima temperado (ou subtropical) úmido, mesotérmico, sem estação seca, com verões frescos e invernos com geadas freqüentes e (muito) ocasionais precipitação de neve.

Segundo análise de dados da 'Estação Meteorológica Curitiba', localizada na latitude Sul de 25º 41' 67" e longitude Oeste 49º 13' 33", obtidos no período de Janeiro de 1998 a Dezembro de 2001, Curitiba apresenta as características citadas abaixo (SIMEPAR-IPPUC[31]):

---

[30] Segundo o sistema de Köppen, Curitiba se enquadra na zona fundamental temperada ou "C", no tipo fundamental 'Cf" ou temperado úmido e na variedades específicas "b", ou seja, clima de invernos frios com verão ameno. A variedade "Cfa" se caracteriza por apresentar chuvas durante todos os meses do ano e possuir a temperatura do mês mais quente superior a 22°C, e a do mês mais frio superior a 3°C.

[31] SIMEPAR - Instituto Tecnológico SIMEPAR de Informações Ambientais, Meteorologia, Hidrologia e Meio Ambiente do Paraná; IPPUC – Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba.

a) Temperatura: As temperaturas máximas do período obtiveram registros entre 23.7 (Jun/1998) a 32.5º C (Dez/1998) e das mínimas de -1.3 (Ago/1999) a 15.9 º C (Fev/2001), sendo que a média geral foi de 17.488º C;

b) Radiação Solar: A média da radiação solar do período foi de 158.02W/m², sendo que a maior incidência de radiação solar das médias mensais foi de 234.5W/m² em Janeiro de 2001 e a menor em Junho 2001 de 85,0W/m². Quanto as máximas radiações solar do período a leitura de maior incidência ocorreu em Novembro de 1999 com 1.047W/m² e a menor com 523W/m² em Junho de 2001;

c) Precipitação: A média mensal precipitação do período compreendido entre Janeiro de 1998 a Dezembro de 2001 foi de 130,94mm e a precipitação média anual situou-se entre 1.385,00mm no ano de 2000 com 144 dias chuvosos e 1.625,20 mm em 2001 com 170 dias chuvosos. Quanto à época das chuvas, esta ocorre sempre na estação de verão, sendo que a maior incidência mensal foi em Janeiro de 1999 com 27 dias de precipitação;

d) Procedência da Direção e Velocidade dos Ventos: Em análise das médias mensais da procedência da direção dos ventos houve predominância de sentido Leste com 29,15% a uma velocidade de 13,86m/s, ocorrendo apenas em um trimestre do ano 2000, uma procedência de sentido Nordeste com índices de 30% para o mês de Junho, 22% em Julho e 26% em Agosto com médias de velocidade máxima mensal de 1.9, 1.9 e 1.6m/s respectivamente.

Curitiba apresenta assim, temperaturas mais elevadas nos meses de Dezembro, Janeiro e Fevereiro (o mês mais quente) e temperaturas mais baixas nos meses de Junho (comumente o mês mais frio), Julho e Agosto. O inverno vem acompanhado de intensa nebulosidade e chuvas, chegada de frentes frias com conseqüente diminuição da temperatura e em muitas ocasiões formação de geada. O verão pode vir acompanhado de ondas de calor e tempo bom, ou ondas de calor e chuvas convectivas dependendo da massa de ar que atinge a cidade, porém estas são relativamente quentes.

A cidade é a apontada como a capital com a menor temperatura média do Brasil e a população reconhece que, praticamente, durante 6 meses do ano apresenta baixas temperaturas e muita umidade. Resumindo, Curitiba é bastante fria no inverno e relativamente quente no verão. As temperaturas podem variar de forma extrema em períodos curtos, até mesmo em um mesmo dia. De Abril a Novembro predominam os dias frios, mas podem ocorrer temperaturas superiores a 27ºC. De Dezembro a Março predomina o calor, mas alguns dias se iniciam com temperaturas abaixo de 15ºC.

Abaixo, a título de curiosidade, inserimos a Figura 2.62, do caricaturista Dalton Tiepolo. A ilustração tem o título ‘O clima em Curitiba é sempre complicado’; na plaqueta com dizeres no canto inferior esquerdo lê-se: ‘Bem vindo à Curitiba, capital das quatro estações (no mesmo dia)’.

Figura 2.62: Ilustração do caricaturista Dalton Tiepolo para Curitiba. (2008)

2.4. Materiais de construção alternativos e de baixo impacto ambiental

Grande parte dos resíduos produzidos em função das atividades urbanas e rurais pode ser reciclado e reutilizado de modo a produzir novos materiais de construção e atender à crescente demanda por novas tecnologias alternativas de construção mais simples, eficientes, econômicas e de baixo impacto ambiental.

Neste capítulo objetivaremos expor, de forma simples e concisa, algumas pesquisas e materiais de baixo impacto ambiental passíveis de serem utilizados em construções para a melhoria do conforto higrotérmico e acústico. Excluímos desta apresentação materiais mais reconhecidos no mercado, como a lã de vidro, lã de rocha, vermiculita e espuma elastomérica, por suas qualidades de isolamento térmico e acústico já bastante difundidas.

2.4.1. Lã de P.E.T.[32]

A lã de P.E.T., segundo sites de fabricantes, é uma lã de poliéster produzida pela combinação de processos com variados tipos de fibras, cada qual com suas características específicas de isolamento térmico e acústico, fazendo com que o produto atenda à variadas exigências de conforto ambiental nos projetos arquitetônicos. É fabricada sem adição de resinas, com densidade e dimensões projetadas para obter resistência térmica e acústica aliando as vantagens de leveza e facilidade de transporte e manuseio (pode ser embalada a vácuo), é resiliente e não sofre deformação ao longo do tempo; é um material reciclável (pode ser transformada desde estopa a fios têxteis), antialérgica e não cancerígena, não solta fibras, não é atacada por insetos, pássaros e roedores, não irrita a pele e por ser inerte não prolifera fungos e bactérias. Destaca-se por ser um excelente isolante térmico e acústico para telhados e coberturas (telhas sanduíche, telhas metálicas, forros, telhas termo-acústicas, telhas zipadas, coberturas de policarbonato etc.).

Segundo testes realizados no IPEI (Instituto de Pesquisas e Estudos Industriais) com a lã de P.E.T., a mesma não é combustível e não propaga chama, possui um baixo índice de condutividade térmica (entre 0,035 e 0,041 dependendo do modelo/espessura do produto) e tem um bom custo-benefício. Acusticamente a lã de P.E.T. comporta-se conforme o gráfico mostrado na Figura 2.63.

De acordo com o gráfico podemos perceber a capacidade de absorção sonora da lã de P.E.T., incrementada entre 1000 e 3000Hz.

A lã de P.E.T. é indicada para construções no método *steel frame*[33] e pode ser fabricada em densidades e dimensões diversificadas.

---

[32] Produzida a partir da reciclagem de garrafas P.E.T. e com desempenho bastante semelhante ao das lãs de vidro ou de rocha, produzidas a partir de matéria mineral. P.E.T. é um polímero termoplástico, desenvolvido por dois químicos britânicos, Whinfield e Dickson, em 1941, formado pela reação entre o ácido tereftálico e o etileno glicol. Utiliza-se principalmente na forma de fibras para tecelagem e de embalagens para bebidas. Possui propriedades termoplásticas, isto é, pode ser processado diversas vezes pelo mesmo ou por outro processo de transformação.

[33] *Steel Frame* é um sistema construtivo racional e industrial, oriundo das construções de madeira (*wood frame)* utilizadas tradicionalmente dos E.U.A.. Seus principais componentes são perfis leves de aço galvanizado dobrados a frio, utilizados para formar painéis estruturais e painéis não estruturais, vigas, tesouras etc. Os painéis comportam placas de fechamento interno e externo, isolantes térmicos e acústicos, impermeabilizantes e ainda instalações elétricas e hidráulicas, revestimentos e acabamentos.

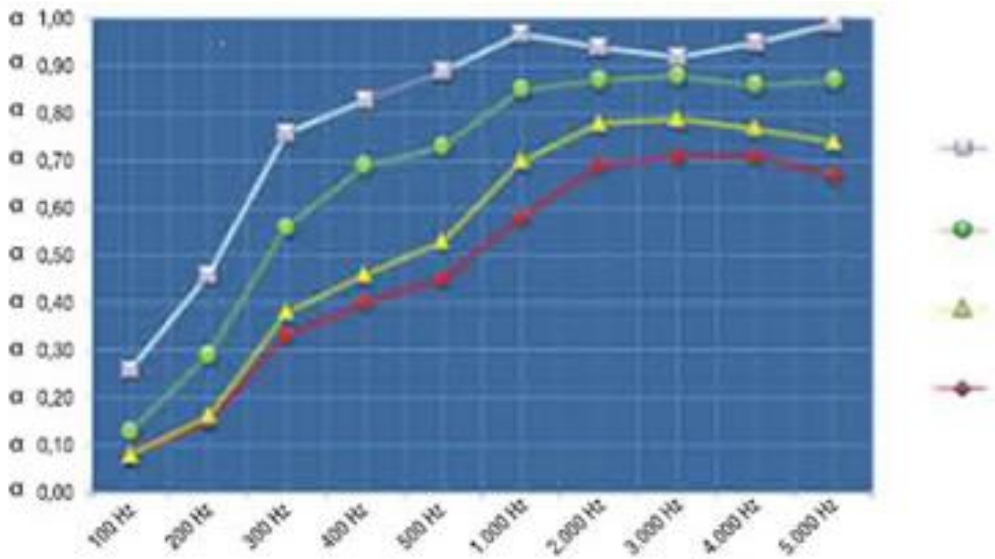


Figura 2.63: Gráfico 'Teste de Acústica' da Lã de PET tipos 'A' (ícone quadrado branco), 'B' (ícone círculo verde), 'C'(ícone triângulo amarelo) e 'D' (ícone losango vermelho).
Fonte: http://www.trisoft.com.br/site/index.php/isolamento-termo-acustico.html (Janeiro, 2011)

2.4.2. Espuma poliuretana à base de óleo de mamona[34]

A espuma à base de óleo de mamona foi pesquisada em subcoberturas na cidade de Ilha Solteira/SP, em 2009, apresentando excelente desempenho como isolante térmico e contribuindo para reflexão dos raios solares quando adicionado produto na cor branca.

De acordo com LOPES (2009), o óleo de mamona após seu processamento e síntese dá origem a uma espuma poliuretana termicamente compatível com as resinas de origem petroquímica, mas com toxidade quase nula e baixa flamabilidade. A utilização desta espuma de mamona é ecologicamente correta por tratar-se de uma fonte vegetal renovável (produzida à base de biomassa) e não tóxica durante seu manuseio. Trata-se de um polímero caracterizado principalmente por uma ligação química que lhe confere rigidez e flexibilidade.

[34] Mamona é um arbusto que pertence à família das Euforbiáceas. Foi introduzida no Brasil no século XVI para uso do óleo para iluminação e engraxe dos eixos das carroças em substituição ao óleo de baleia. Adapta-se bem ao clima tropical e subtropical e encontra excelentes condições de cultivo no Brasil. Seu óleo essencial é extraído por esmagamento das sementes secas, não alimentar.

Na tese de LOPES (2009) foram utilizadas placas de espuma poliuretana de mamona como isolante térmico em coberturas de diversas maneiras, porém sempre em células-teste com 12m^2 e sob as mesmas condições de projeto, orientação, ângulo de cobertura, geometria, materiais construtivos e cobertura de fibrocimento, objetivando verificar comparativamente o comportamento e a resposta térmica do material conforme a maneira utilizada e englobando duas estações climáticas: final do verão e inverno.

Com base nesta tese, os aspectos favoráveis à utilização da espuma à base de mamona são:

.alto desempenho como isolante térmico e acústico;
.boas propriedades aglomerantes, adesivas e de recobrimento na forma de membranas de cobertura;
.alta durabilidade sob exposição a agentes agressivos (ácidos e álcalis) e sob a ação do calor e raios ultravioletas;
.baixíssima absorção de água, podendo ser empregada como impermeabilizante;
.facilidade de moldagem.

Em relação ao uso da cor na telha de fibrocimento, ressalta-se na tese que o uso da cor branca apresenta menores temperaturas máximas e mínimas no período do verão, e que, no período do inverno não apresenta grandes variações nas temperaturas internas e superficiais ao longo das 24h do dia.

2.4.3. Casca de arroz aglomerada com cimento ou gesso

De acordo com SANTOS (2005), a casca de arroz é um resíduo agrícola muito abundante principalmente no Rio Grande do Sul. Para uso prático a casca de arroz deve ser aglomerada e levemente prensada, com o mínimo de aglutinante possível, para que mantenha a coesão das partículas. As cavidades formadas pela superposição das cascas é que fornecerão as características acústicas do produto.

Os testes elaborados por SANTOS (2005) demonstraram que o mecanismo de absorção sonora desse produto de assemelha à família dos materiais fibrosos ou porosos, com eficácia nas altas freqüências. Outra característica é que esse produto aglomerado com cimento ou gesso não propaga a chama.

2.4.4. Blocos cerâmicos vazados

Ainda de acordo com as pesquisas sobre materiais alternativos em absorção sonora de SANTOS (2005), os testes de absorção realizados com blocos cerâmicos vazados mostraram que as cavidades tais elementos construtivos funcionam como ressonadores. Caso estas cavidades sejam preenchidas com argamassa leve de casca de arroz, assumem um desempenho sonoro misto ressonador-material fibroso. SANTOS (2005) cita que ‘uma vez conhecido e

equacionado seu mecanismo de funcionamento acústico, pode-se optar pelos formatos e dimensões mais apropriados para cada situação ou, melhor ainda, projetar e desenvolver blocos cerâmicos com o objetivo principal de utilizá-los como absorventes sonoros, o que seria inédito no Brasil.'

Observou-se também que esse material não propaga fogo, tem baixo custo e alta resistência, tem ótimo coeficiente de absorção sonora e grande potencial para equilibrar a sonoridade de, por exemplo, salas de aula, como parede de fundo.

2.4.5. E.V.A. (Ethylene Vinyl Acetate)

Vários são os resíduos produzidos pelas indústrias coureira e calçadista, concentradas principalmente no Sul do Brasil. Um dos resíduos resultante da operação de corte de contrafortes (materiais que dão sustentação e forma aos sapatos e que originalmente eram fabricados em couro), solas, entressolas e palmilhas dos calçados, é o E.V.A., um co-polímero polietileno co-vinil acetato.

Segundo SANTOS (2005), o E.V.A. é produzido em placas expandidas que, após o recorte otimizado por computadores, gera retalhos que não podem ser derretidos e moldados novamente.

Segundo KASMIERCZAK (1996), os resíduos de E.V.A. são considerados materiais de elevada durabilidade e grande potencialidade para uso em diversos componentes construtivos, especialmente se vantagens puderem ser tiradas de suas características físicas, tais como a grande elasticidade e baixa massa específica aparente (0,4 a 0,7 kg/dm^3), baixo coeficiente de condutibilidade térmica (0,02 a 0,03 kcal/mH^{o}C, à temperatura de 48^{o}C) e razoável coeficiente de absorção acústica às altas freqüências.

FREIRE (2003) ainda cita que o aproveitamento de resíduos de E.V.A. da indústria calçadista na construção civil foi estudado por Garlet e Greven (1996), para os quais é possível fabricar concreto leve de E.V.A. para fins não estruturais, e aqueles concretos com menor densidade e menor resistência, resultantes da incorporação de teores mais elevados de E.V.A., podem ser usados para fins de isolamento térmico.

O estudo de SANTOS (2005) pesquisou o material como absorvente sonoro, utilizando o resíduo granulado de E.V.A. retido na peneira de 6mm, aglomerado com cimento em placas confeccionadas com 4cm de espessura. O traço utilizado foi 1 (cimento) : 5 (granulado), com pequena prensagem. A absorção sonora ocorre, basicamente, em razão das cavidades que se formam no agregado e do atrito do ar nesses orifícios. O desempenho como absorvente ocorre nas médias e altas freqüências, e o E.V.A. ainda pode ser pintado sem comprometer o seu desempenho como absorvente, demonstrado nos ensaios.

2.4.6. Fibra de coco

Segundo SENHORAS (2005), a industrialização da água de coco verde ampliou crescentemente a geração do rejeito da casca do fruto, que corresponde a aproximadamente 85% do seu peso. O coco é um material ecológico e facilmente reciclável, pertencente à família das fibras duras. Versátil, seu rejeito pode ser utilizado como combustível de caldeiras, tapetes, estofamentos e capachos, cultivo de plantas ornamentais e hortaliças, na indústria de papel, na engenharia de alimentos para produção de enzimas, e, na construção civil. Tem como principais componentes a celulose e o lenho que lhe conferem elevados índices de rigidez e dureza, durabilidade e resiliência, encontrando vocação para os mercados de mantas e telas para proteção do solo e isolamento térmico e acústico.

> A fibra de coco aliada ao aglomerado de cortiça expandido é um produto de topo de gama, particularmente no caso do isolamento acústico, devido à absorção das baixas freqüências, onde apresenta excelentes resultados dificilmente alcançados por outros materiais. O bom comportamento da cortiça em termos de estabilidade dimensional e elasticidade faz com que a fibra de coco seja a melhor solução técnica e natural para a resolução de problemas de isolamento acústico e térmico. Utilizada há várias décadas como um produto isolante em diversas situações, a fibra de coco tem hoje uma diversidade de aplicações, pelas características que apresenta. Devido às suas excepcionais performances acústicas, a fibra de coco verde e maduro contribui para uma redução substancial dos níveis sonoros, quer de impacto, quer aéreos, sendo a solução ideal para muitos dos problemas na área acústica, superando largamente os resultados obtidos com a utilização de outros materiais. A resistência, durabilidade e resiliência, convertem a fibra de coco em um material versátil e perfeitamente indicado para os mercados de isolamento, térmico e acústico. Atualmente, a fibra de coco, devido às novas tecnologias, satisfaz os padrões técnicos exigidos pelo mercado, sendo utilizada como isolamento térmico e acústico, onde apresenta uma elevada eficácia. A utilização desta matéria-prima natural e renovável, existente no mundo em grandes quantidades, traz inúmeras vantagens, face ao aproveitamento de um material que se viria a perder, e que é transformado sem prejuízo do ambiente, colocando a fibra de coco na gama de produtos ecológicos. (RÊGO et AL, 1999)

Ainda segundo SENHORAS (2005) a fibra de coco verde tem um excelente potencial para uso na construção civil através de pranchas pré-moldadas, sendo utilizada com cimento especial, de baixo teor de alcalinidade (a alcalinidade do cimento normal destrói as fibras, fazendo com que a parede apresente rachaduras e fraca resistência). Em testes feitos pelo IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, pranchas pré-moldadas de 2,6 metros de comprimento por 40 centímetros de largura e peso de 100 quilos apresentaram excelente resultado em termos de resistência de impacto.

2.4.7. Manta de pneu reciclado

O pneu é formado por diversos materiais, como borracha, aço, tecido de náilon ou poliéster. De acordo com IPT/CEMPRE (2000), a quantidade de pneumáticos em desuso converteu-se em um sério problema ambiental; quando os mesmos são lançados nos rios, contaminam o solo e a água, quando armazenados em locais abertos propiciam o acúmulo de água no interior das carcaças e a proliferação de mosquitos transmissores de dengue, febre amarela e encefalite.

O descarte de pneus em aterros sanitários, mar, rios, lagos ou riachos, terrenos baldios ou alagadiços e sua queima a céu aberto estão proibidos pelo CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. A resolução 258 do CONAMA, de 26 de Agosto de 1999, atribui aos fabricantes e importadores a responsabilidade pelo destino dos pneumáticos sem mais condições de uso, que deve dar destinação final ambientalmente adequada aos mesmos.

O pneu pode ser reciclado inteiro (recauchutagem, combustível de forno, contenção de erosão de solo) ou picado. Quando picado, a reciclagem dos pneus encontra reutilização através dos próprios pedaços picados, da pasta gerada pela desvulcanização e adição de óleos aromáticos, e, do pó ou granulação gerada pela moagem. Os pedaços picados podem servir para compostagem, para aeração de compostos orgânicos. A pasta gerada pela desvulcanização com adição de óleos aromáticos é usada para pisos industriais, solas de sapato, tapetes de automóveis, tapetes de banheiro, borrachas de vedação, sinalização rodoviária (postes de sinalização inteiros), para choques de carros e até mesmo recifes artificiais para reprodução de animais marinhos. O pó de moagem pode ser misturado ao asfalto aumentando sua elasticidade e durabilidade e também é utilizado para a fabricação de mantas acústicas que ajudam a impedir que ruídos de impacto sejam transmitidos entre lajes/andares de um edifício, rampas, passarelas etc.

Segundo fabricantes, tais mantas são produzidas em diferentes espessuras, sendo a mais convencional de 5mm. (ver Figura 2.64). São resistentes à umidade e de fácil aplicação, reduzindo o ruído de forma bastante satisfatória e, a cada 1000m2 de utilização do produto são retirados o equivalente a 750 pneus do meio ambiente.

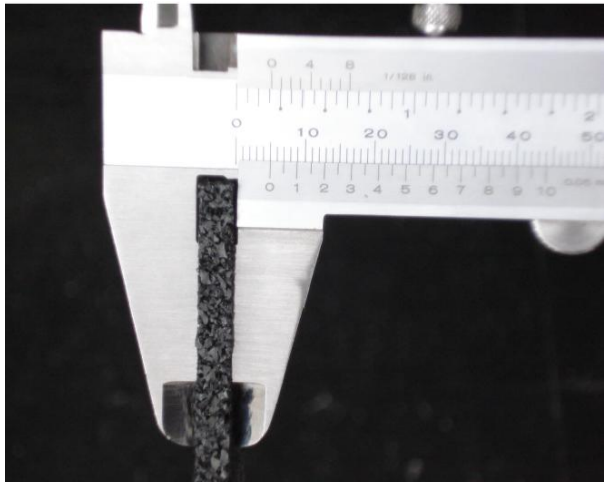


Figura 2.64: Manta de borracha de pneu reciclado com 5mm de espessura. Fonte: IPT / Relatório Técnico nº 108.250-205 (Fevereiro, 2009)

O produto atua como 'mola' dentro do conceito 'massa-mola-massa', e é inserido entre a laje (que não precisa nem estar regularizada) e o contrapiso (com aproximadamente 4cm de espessura).

De acordo com o IPT- Instituto de Pesquisas Tecnológicas/Relatório Técnico nº 90.906-205, de Dezembro de 2006: 'Medição do ruído produzido por impactação padronizada em piso', há uma diferença média de 14 dB no nível de pressão sonora de impacto padronizado entre o piso sem tratamento e o piso com aplicação da manta acústica com 3mm de espessura. Analisando estes resultados por faixa de freqüência, observa-se que as maiores diferenças ocorrem nas altas freqüências, sendo que a maior diferença obtida, registrada em 5000Hz, foi de 29dB.

Ainda conforme o IPT, no Relatório Técnico nº 108250-205, de Fevereiro 2009, o nível de desempenho proporcionado pelo piso de laje com aplicação de manta acústica de 5mm de espessura foi 'superior' (ver detalhe do piso analisado na Figura 2.65), de acordo com a Norma ABNT 15.575-3/2008 'Desempenho de Edifícios Habitacionais de até 5 pavimentos', que especifica os níveis de desempenho em 'M' = mínimo, 'I'= intermediário e 'S' = superior. Ver detalhe desta norma na Tabela 2.10. Este relatório analisa e verifica que, de modo geral, os valores do Nível de Pressão Sonora de Impacto Padronizado, diminuem com o aumento da freqüência, ou seja, o desempenho do piso, quanto a ruídos de impacto, é melhor nas altas freqüências.

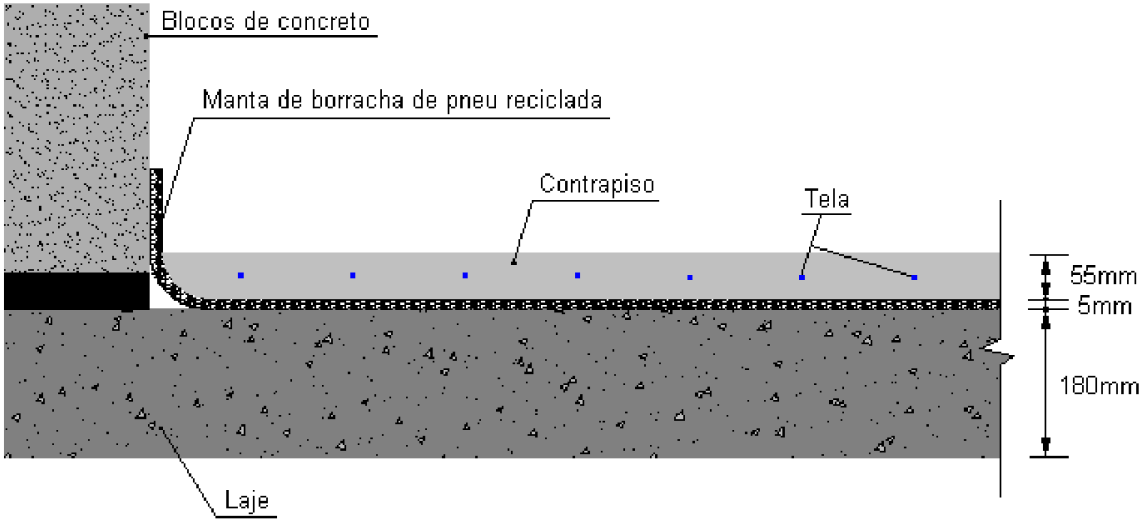


Figura 2.65: Representação esquemática das características do piso ensaiado. Fonte: IPT / Relatório Técnico nº 108.250-205 (Fevereiro, 2009)

Elemento	$L'_{nT,w}$ dB	Nível de Desempenho
Laje, ou outro elemento portante, com ou sem contrapiso, sem tratamento acústico	< 80	M
Laje, ou outro elemento portante, com ou sem contrapiso, com tratamento acústico	55 a 65	I
	< 55	S

Tabela 2.10: Tabela Critério e Nível de Pressão Sonora de Impacto Padronizado Ponderado, $L'_{nT,w}$, para ensaios de campo.
Fonte: Norma ABNT 15.575-3/2008 'Desempenho de Edifícios Habitacionais de até 5 pavimentos'

Este relatório analisa e verifica que, de modo geral, os valores do Nível de Pressão Sonora de Impacto Padronizado, diminuem com o aumento da freqüência, ou seja, o desempenho do piso, quanto a ruídos de impacto, é melhor nas altas freqüências. Ver Figura 2.66.

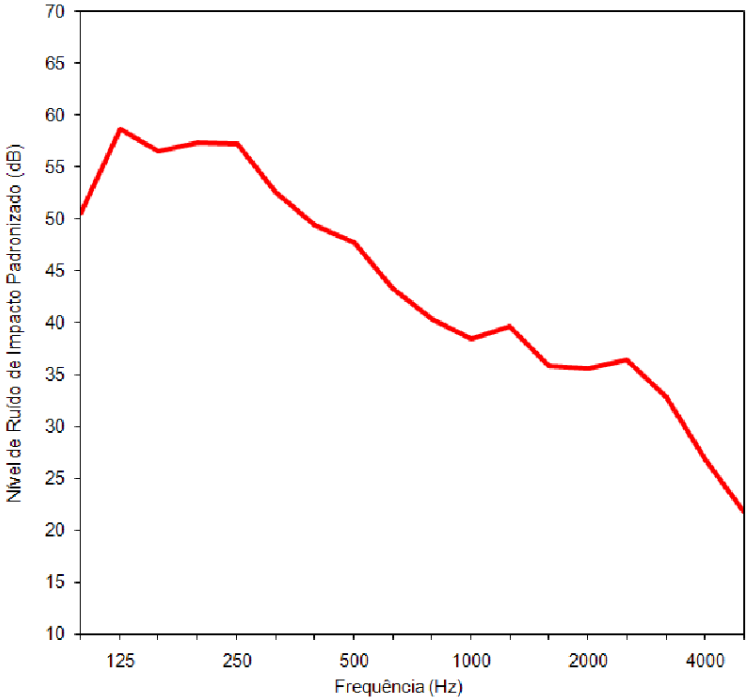
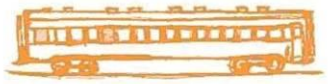


Figura 2.66: Valores de Nível de Pressão Sonora de Impacto Padronizado, por faixa de terço de oitava, proporcionado pelo piso ensaiado.
Fonte: IPT / Relatório Técnico nº 108.250-205 (Fevereiro, 2009)

Ressalta-se que os resultados obtidos no ensaio referem-se apenas às condições em que foram realizadas as medições, não sendo possível a generalização destes resultados para outros ambientes ou para elementos de separação entre apartamentos com características diferentes.



3. MÉTODOS E PROCEDIMENTOS

3. MÉTODOS e PROCEDIMENTOS

3.1. Avaliação de conforto higrotérmico e acústico

Avaliar – conceito originário do mundo financeiro - significa dar valor ou estabelecer que algo vale. Em arquitetura, avaliar significa quantificar, computar e apreciar as condições de qualidade do espaço construído.

No caso em questão, avaliação visa quantificar as sensações de desconforto vivenciadas pela autora, através da coleta de dados técnicos (dados climáticos, níveis de ruído) que, comparados com os parâmetros de conforto, permitam realizar o diagnóstico acerca do desempenho higrotérmico e acústico do vagão-moradia, com objetivo de subsidiar futuras intervenções e adequação ambiental.

O roteiro metodológico elaborado envolveu as seguintes etapas:

-levantamento físico do estudo de caso (vagão) e da área de entorno;
-levantamento das condicionantes climáticas;
-estudo de insolação,
-registro da variação de temperatura ao longo do dia, dentro e fora do vagão;
-registro de níveis de pressão sonora, durante e nos intervalos da passagem dos comboios, dentro e fora do vagão;
-avaliação de conforto higrotérmico;
-avaliação de conforto acústico;
-diretrizes para futuras intervenções.

A avaliação dos resultados e as diretrizes para adequação ambiental serão apresentadas no capítulo 4-Análise dos resultados e diretrizes de adequação.

3.2. Área de Estudo

Conforme já abordado anteriormente, o terreno do vagão, com 11m de frente x 25m de profundidade, está inserido no Bairro Hugo Lange em frente à ciclovia e à linha férrea, e próximo de ruas conectoras importantes e movimentadas. A linha férrea está exatamente há 22m do alinhamento predial do terreno e é ladeada quase em toda sua extensão por árvores e gramado com vegetação rasteira (Figura 3.1).

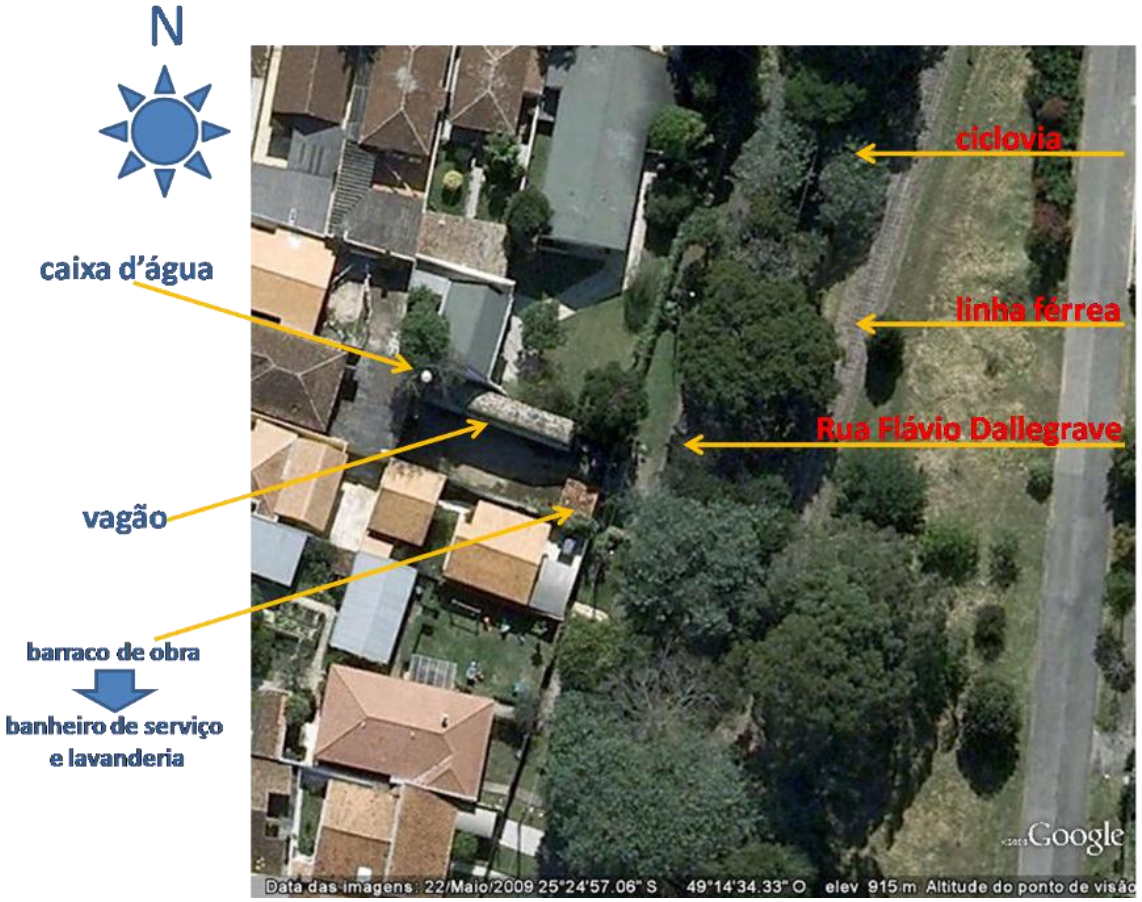


Figura 3.1: O entorno imediato do terreno onde está inserido o vagão.
Fonte: maps.google.com.br/, acesso em 22 de Maio de 2009

O vagão foi implantado ao longo de uma das divisas laterais, há 80cm de distância do muro (Figura 3.2). Contribuíram para esta decisão: as dimensões do terreno, a idéia inicial de construção posterior de uma residência junto à outra divisa (a fim de que as janelas ficassem voltadas para o quadrante Norte), o desejo de privacidade em relação ao número de janelas laterais e o pretenso uso da empena da residência vizinha para bloquear a incidência direta da radiação solar no verão. Notar, na figura 3.1, a projeção da sombra no dia 22 de Maio de 2009, provavelmente entre 10 e 11h da manhã e a empena da construção vizinha na parte posterior do terreno.

Figura 3.2: Distância lateral do vagão até o alinhamento predial com o vizinho = 80cm.

O terreno tem uma inclinação de 18° em relação à direção Norte, identificado no *site* de geo referenciamento *'Google Maps'*, conforme Figura 3.3.

Figura 3.3: Identificação da angulação do terreno em relação ao Norte.
Fonte maps.google.com.br/, acesso em Novembro 2010.

O conforto acústico é sempre fortemente influenciado pelas fontes sonoras presentes no entorno. Aqui, isso ocorre mais intensamente, devido à proximidade com a linha férrea, durante a passagem dos comboios. Uma parte contribuinte para o forte ruído ferroviário é causada pelo impacto gerado pelo contato roda-trilho, que ocasiona a vibração da estrutura do vagão (via seus rodados) transmitida através do solo e, parcialmente, pelo deslocamento de ar.

Também contribui imensamente para o desconforto acústico do local, o acionamento do apito ou silvo de alerta na passagem dos comboios por dois cruzamentos (passagens de nível), eqüidistantes do terreno, aproximadamente 200 metros afastados. A proximidade entre as duas passagens de nível ocasiona pequeno intervalo de tempo entre a finalização de um aviso sonoro e o início do próximo, antes do novo cruzamento. O sinal de alerta nos cruzamentos tem duração de aproximadamente 1 minuto. Mesmo que de curta duração, ambos configuram as situações mais críticas, principalmente à noite.

Outras fontes sonoras como as que produzem as pessoas que circulam na calçada e ciclovia, e o tráfego de veículos (leves e pesados) pela Rua Flávio Dallegrave e em outras vias do entorno constituem o ruído ambiental. De maneira eventual, contribui ainda para a poluição sonora existente, o tráfego aéreo, aviões em rota sobre o Bairro Hugo Lange, em virtude do acesso ao Aeroporto do Bacacheri[1].

Embora o terreno esteja localizado em uma rua considerada tranqüila do Bairro Hugo Lange (ZR-3), fica muito próximo de duas avenidas de intenso fluxo de veículos[2] - Avenidas Augusto Stresser e Nossa Sra. da Luz – além de estar situado em frente à linha férrea e à ciclovia. O tráfego de veículos nas avenidas citadas alimenta a poluição sonora no entorno do terreno em virtude da singularidade topográfica local (as vias estão em cota superior a do terreno) e pela permeabilidade sonora das áreas verdes que envolvem a linha férrea, que não constituem obstáculos à sua propagação. A Figura 3.4 ilustra a identificação das fontes sonoras em relação ao vagão-moradia[3].

[1] Os Bairros Hugo Lange e Cabral fazem divisa com o Bairro Bacacheri, onde se localiza o Aeroporto do Bacacheri, que realiza vôos domésticos para outros estados brasileiros.

[2] Composto por veículos leves e pesados, caminhões, ônibus e ambulâncias, visto a importância de conexão destas com outros bairros importantes e centro, acessos viários prioritários, proximidade com Hospitais, Aeroporto do Bacacheri e BR-116.

[3] Para melhor entendimento das características do entorno sonoro, recomenda-se a leitura do artigo "Análise do ruído ambiental ferroviário em bairros da Cidade de Curitiba – PR: historicidade, problemas e soluções" (PIMENTEL, Karina Scussiato e NIEMEYER, Maria Lygia Alves de), apresentado no PLURIS 2010 – 4º Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável, ocorrido entre 06 a 08 de outubro de 2010 na Cidade de Faro – Portugal. Este artigo foi realizado no decorrer do início de 2010, e discorre sobre o ruído ferroviário em Curitiba, ilustrando a cidade e o entorno do vagão-moradia.

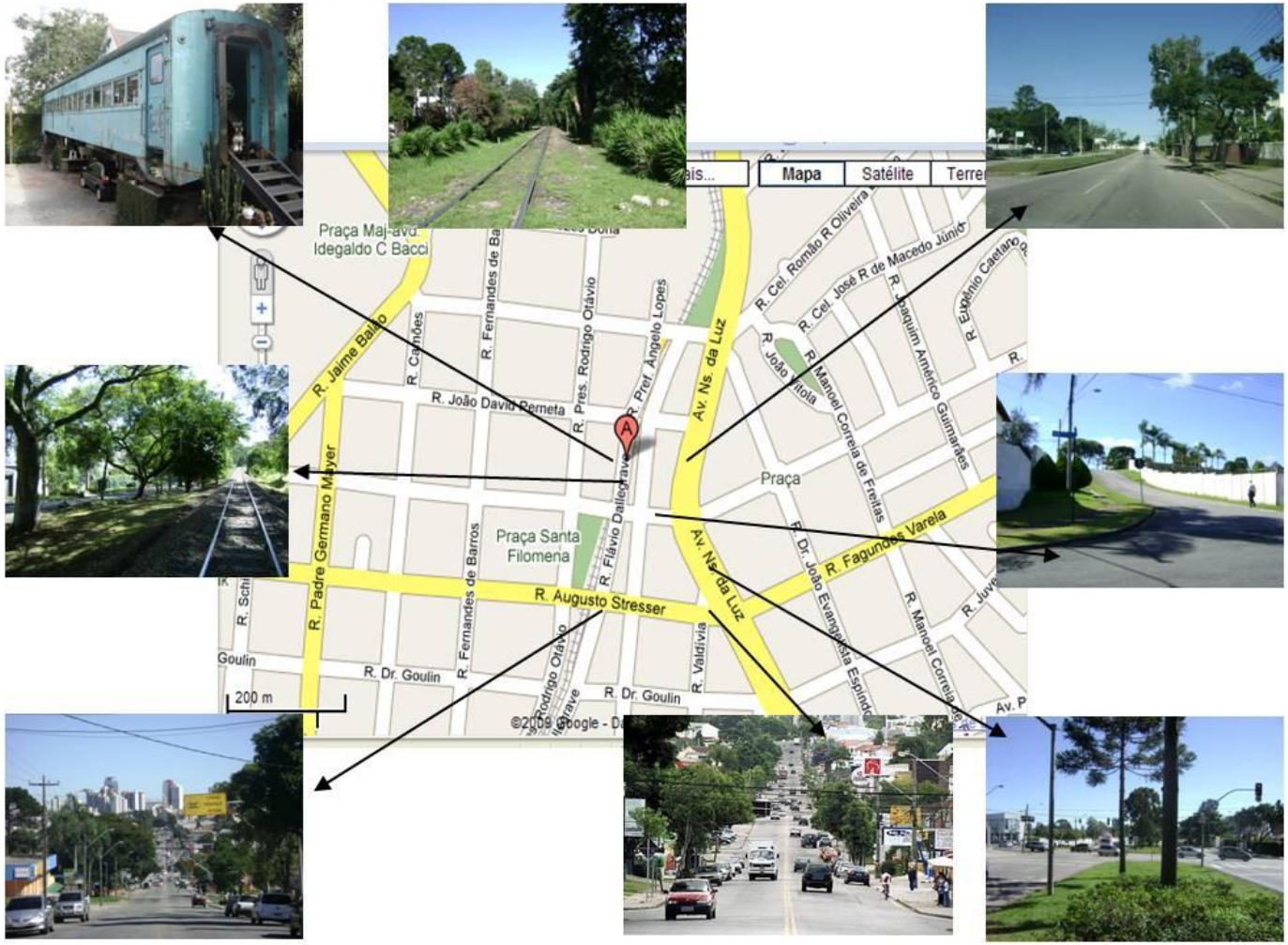
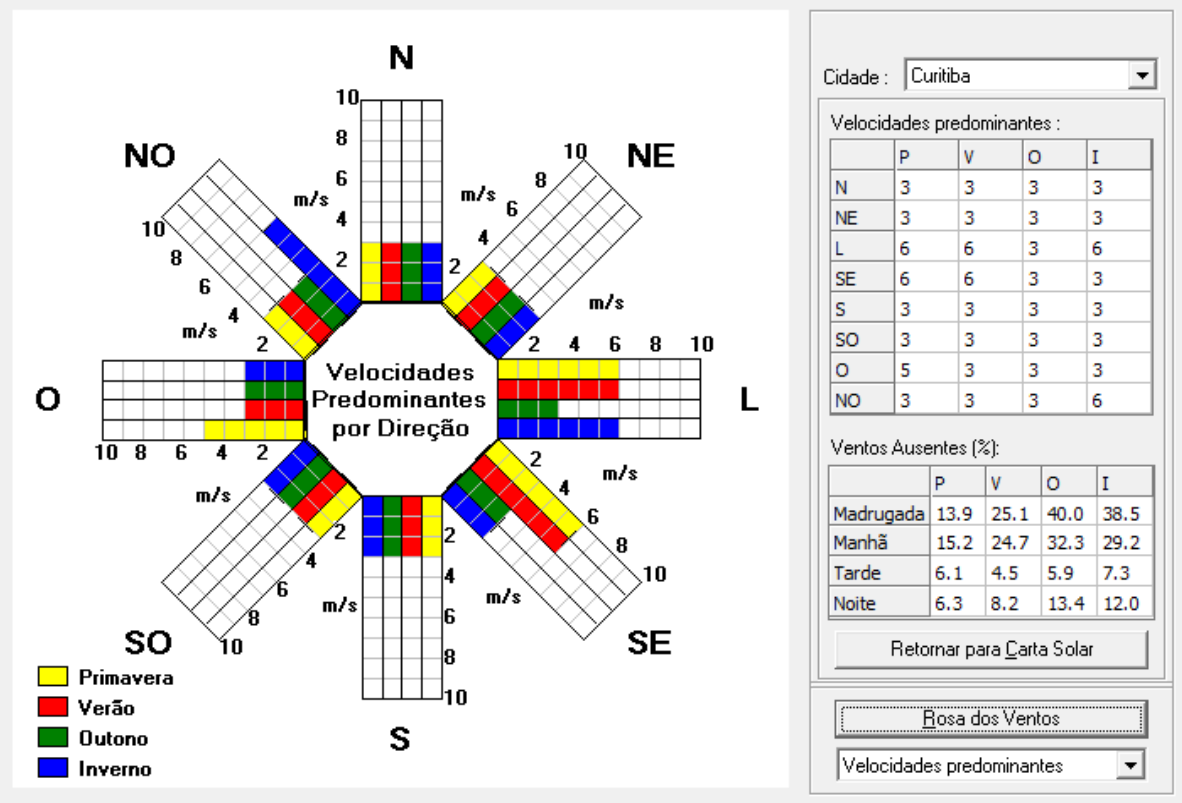


Figura 3.4: Identificação das fontes sonoras em relação ao vagão-moradia.

3.3. Condicionantes Climáticas

Através do programa Analysis SOL-AR 6.2 (LABEE- Laboratório de Eficiência em Edificações)[4], geramos a Rosa dos Ventos referente à cidade de Curitiba. Nela é possível identificar a predominância e intensidade dos ventos da cidade, além da porcentagem de 'ventos ausentes' nos períodos 'madrugada', 'manhã', 'tarde' e 'noite', conforme Figura 3.5.



	P	V	O	I
N	3	3	3	3
NE	3	3	3	3
L	6	6	3	6
SE	6	6	3	3
S	3	3	3	3
SO	3	3	3	3
O	5	3	3	3
NO	3	3	3	6

	P	V	O	I
Madrugada	13.9	25.1	40.0	38.5
Manhã	15.2	24.7	32.3	29.2
Tarde	6.1	4.5	5.9	7.3
Noite	6.3	8.2	13.4	12.0

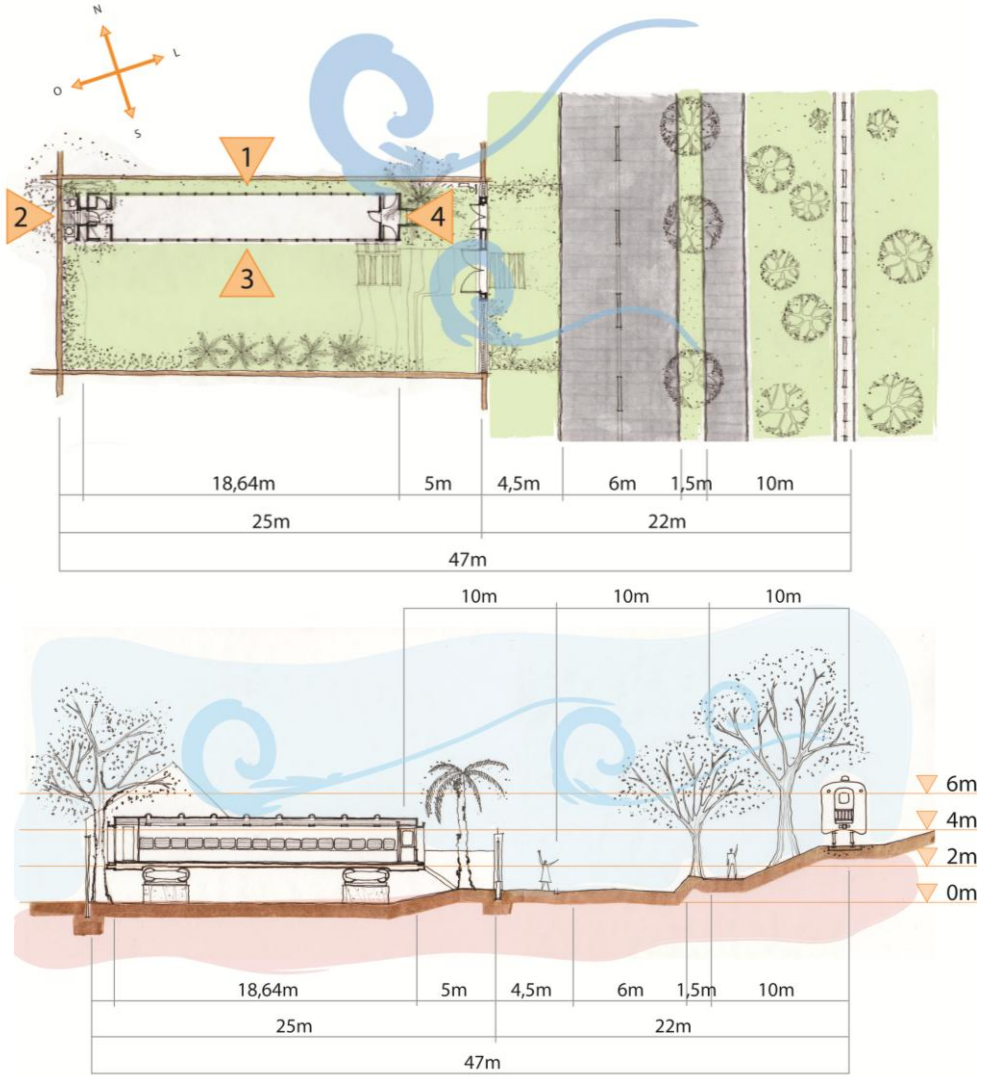
Figura 2.5: Geração da Rosa dos Ventos de Curitiba pelo Programa Sol-Ar 6.2.

[4] Disponível em www.labeee.ufsc.br/software/analysis**SOLAR**.htm. O SOL-AR é um programa gráfico que permite a obtenção da carta solar da latitude especificada, auxiliando no projeto de proteções solares através da visualização gráfica dos ângulos de projeção desejados sobre transferidor de ângulos, que pode ser plotado para qualquer ângulo de orientação. Este programa também gera a 'Rosa do Ventos' de algumas cidades.

A ventilação dominante no local é a Leste/Sudeste nas estações da Primavera, Verão e Inverno. Na estação do Inverno também ocorrem ventos Noroeste. No Outono a ventilação é a mais amena. O terreno e o vagão aproveitam os ventos dominantes do quadrante Leste e Sudeste nas estações quentes, principalmente pela permeabilidade existente em função do gradil frontal. Mesmo existindo o muro dos fundos, o vagão e o terreno ainda recebem uma porcentagem dos ventos frios do Inverno advindos do Noroeste, visto que não existe uma barreira maior de isolamento, além de continuarem recebendo os ventos da direção Leste.

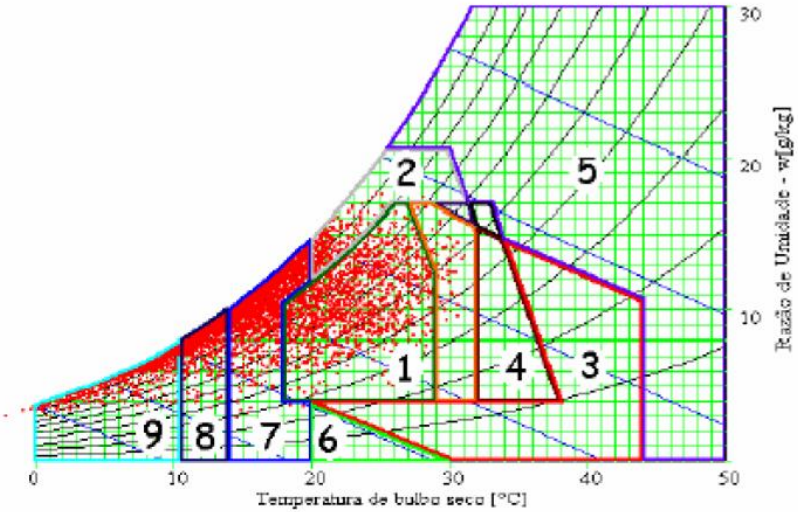
A cota mais baixa do terreno é aproximadamente 3m inferior à cota da linha férrea. O vagão está inserido em cima de dois blocos de concreto, criando assim, um espaço entre rodados para abrigo de carros e atividades de lazer. Nos fundos do terreno existe uma árvore paineira, que também protege os fundos do vagão da radiação solar no verão (vegetação caduca, com folhas que caem no inverno).

As Figuras 3.6 e 3.7 seguintes, representam a situação, a implantação e o corte transversal esquemático do objeto do estudo de caso. As fachadas do vagão-moradia foram identificadas como Elevação 1 (voltada para o quadrante NNE, Nor-nordeste), Elevação 2 (voltada para o quadrante ONO, Oés-noroeste), Elevação 3 (voltada para o quadrante SSO, Su-sudoeste, e, Elevação 4 (voltada para o quadrante ESE, És-sudeste). Notar a posição do lote e vagão-moradia em relação ao Norte e aos ventos dominantes Leste e Sudeste.



Figuras 3.6 e 3.7: Situação, Implantação e Corte Longitudinal Esquemáticos do vagão no terreno. Desenho da autora.

Conforme LAMBERTS; DUTRA e PEREIRA (1997), a análise visual da carta bioclimática de Curitiba, apresentada na Figura 3.8, demonstra que a maior parte do desconforto térmico é causado pelo frio. A mancha constituída por pontos, que representam cada hora do ano, possui maior concentração na região 7, onde é indicado o uso de massa térmica para aquecimento, aproveitando o calor solar.



Onde:
1=Zona de conforto
2=Zona de ventilação
3=Zona de resfriamento evaporativo
4=Zona de massa térmica para resfriamento
5=Zona de ar condicionado
6=Zona de umidificação
7=Zona de massa térmica e aquecimento solar passivo
8=Zona de aquecimento solar passivo
9=Zona de aquecimento artificial

Figura 3.8: Carta Bioclimática de Curitiba. Fonte: GOULART; LAMBERTS e FIRMINO (1998)

Segundo GOULART, LAMBERTS e FIRMINO (1998), a distribuição de horas de conforto e desconforto pode ser analisada através da Tabela 3.1, organizada considerando as intersecções das regiões 2, 3 e 4 da carta bioclimática, ou seja, a soma das horas pode superar os 100%. Nesta tabela identificamos que, em Curitiba, ocorre conforto térmico em 20,9% das horas do ano, enquanto que em 72,9% das horas o desconforto é causado pelo frio e, no restante, pelo calor.

CONFORTO			20,9
DESCONFORTO	CALOR	V	5,8
		RE	0,7
		MR	0,7
		AC	0
	FRIO	MA/AS	42,4
		AS	18,8
		AA	11,7

Onde:
V=ventilação, RE=resfriamento evaporativo,
MR=massa térmica para resfriamento,
AC=ar condicionado,
MA/AS=massa térmica para aquecimento/aquecimento solar,
AS=aquecimento solar,
AA=aquecimento artificial.

Tabela 3.1. Distribuição das estratégias bioclimáticas para Curitiba, em %.
Fonte: GOULART, LAMBERTS e FIRMINO (1998)

Portanto, segundo LAMBERTS; DUTRA e PEREIRA (1997), para se ter conforto térmico nestes 72,9% de horas de frio, um projeto arquitetônico em Curitiba deve utilizar as seguintes estratégias bioclimáticas: massa térmica para aquecimento (42,4%), aquecimento solar (18,8%) e aquecimento artificial (11,7%). Ou seja, na Cidade de Curitiba, em 61,2% das horas do ano o conforto térmico pode ser alcançado através do aproveitamento do calor do Sol, em combinação com o uso de massa térmica nos fechamentos, enquanto que o frio interno exigirá o uso de aquecimento artificial em 11,7% das horas do ano.

3.4. Insolação

Sendo a latitude da Cidade de Curitiba próxima ao Trópico de Capricórnio, os dias são mais curtos no inverno e mais longos no verão; e o Sol está mais baixo no inverno e mais alto no verão. Assim sendo, a orientação Norte permite as melhores condições de insolação para uma edificação em Curitiba, por receber insolação durante o dia inteiro no inverno e menor insolação no verão.

CAMPOS (2005) ilustra, conforme a Figura 3.9, uma comparação entre o percurso do Sol no inverno e no verão na latitude de Curitiba; ambas as imagens representam o sombreamento pelo Sol de meio-dia.

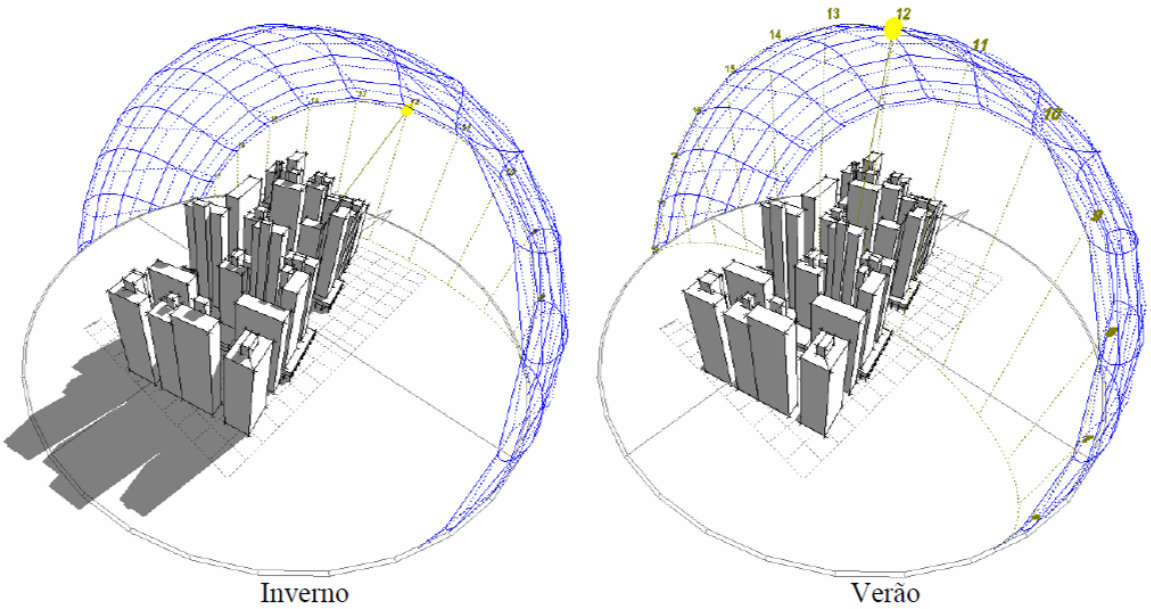


Figura 3.9: Percurso do Sol nos Solstícios de Inverno e Verão em Curitiba. Fonte: CAMPOS (2005)

Em virtude destas constatações e da necessidade de avaliar a quantidade de insolação recebida nas fachadas do vagão, além da extensão das sombras provocadas, fez-se necessário o estudo da Carta Solar de Curitiba em relação às Elevações 1, 2, 3 e 4.

Visto que a angulação do terreno em relação à fachada Norte foi identificada (18°) através do *site* de geo referenciamento 'Google Maps', conforme já ilustrado na Figura 3.3, prosseguimos através do programa Analysis SOL-AR 6.2 (LABEE- Laboratório de Eficiência em Edificações)[5], gerando a Carta Solar referente à cidade de Curitiba (Figura 3.10), objetivando identificar as horas de insolação em cada uma das elevações do estudo de caso.

[5] Disponível em www.labeee.ufsc.br/software/analysis**SOLAR**.htm. O SOL-AR é um programa gráfico que permite a obtenção da carta solar da latitude especificada, auxiliando no projeto de proteções solares através da visualização gráfica dos ângulos de projeção desejados sobre transferidor de ângulos, que pode ser plotado para qualquer ângulo de orientação.

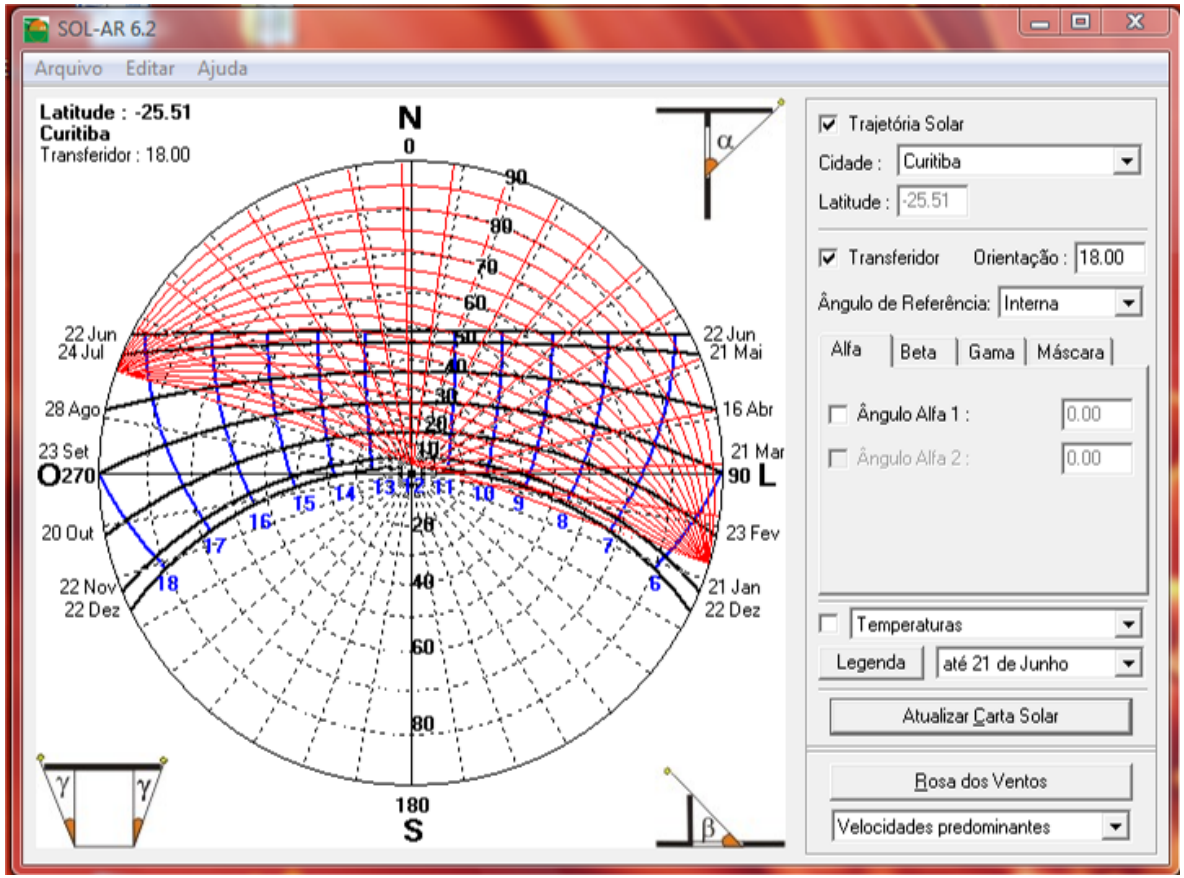


Figura 3.10: Geração da Carta Solar de Curitiba. Fonte Programa Sol-Ar 6.2

Tendo as Cartas Solares impressas, procedemos ao estudo do período diário de insolação nas fachadas, relacionando-as com as Estações Climáticas, conforme Figuras 3.11 até 3.14, e, desconsiderando a interferência de sombra devido aos muros de divisa e construções do entorno. As fachadas do vagão-moradia, como já descrito, foram identificadas. Tal estudo possibilitou a montagem da Tabela 3.2 em relação à Elevação 1; para efeito comparativo relacionamos os mesmos horários determinados para as Medições Higrotérmicas.

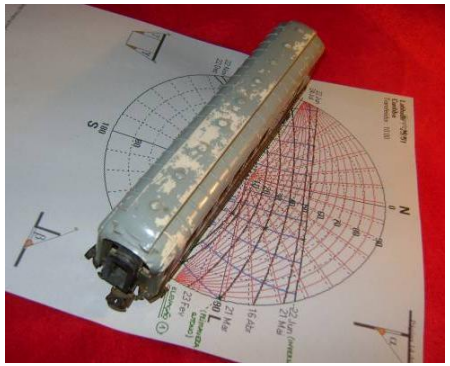


Figura 3.11: Elevação 1 (quadrante Norte)

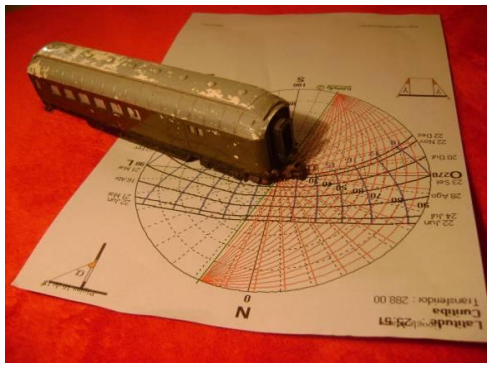


Figura 3.12: Elevação 2 (quadrante Oeste)

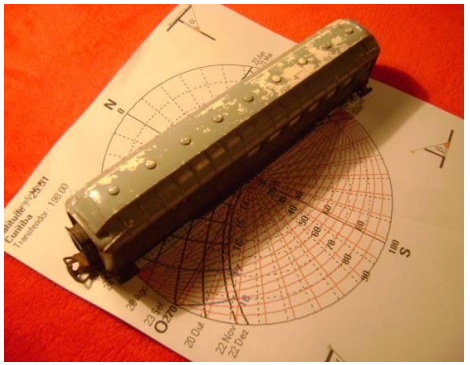


Figura 3.13: Elevação 3 (quadrante Sul)

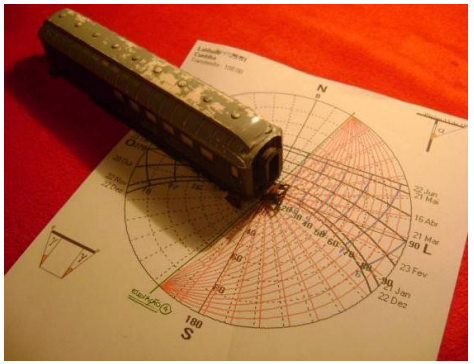


Figura 3.14: Elevação 4 (quadrante Leste)

Figuras 3.11 até 3.14: Estudo do período diário de insolação para todas as elevações, desconsiderando muros de divisas e construções vizinhas.

INVERNO 22 de Junho Nascente ±06:45h Poente ±17:15h			PRIMAVERA 23 de Setembro OUTONO 21 de Março Nascente ±06:00h Poente ±18:00h			VERÃO 22 de Dezembro Nascente ±05:45h Poente ±18:45h		
Hora	Azimute	Altitude	Hora	Azimute	Altitude	Hora	Azimute	Altitude
06:00	*	*	06:00	*	*	06:00	*	*
09:00	45°	65°	09:00	65°	50°	09:00	95°	40°
12:00	0°	50°	12:00	0°	25°	12:00	0°	5°
15:00	-45°	65°	15:00	-65°	50°	15:00	-	-
18:00	**	**	18:18	-	-	18:00	-	-
Elevação 1, Sol até ±17:15h			Elevação 1, Sol até ±15:10h			Elevação 1, Sol entre ±11 e ±13:00h		
Elevação 2, ±11:00 até ±17:15h			Elevação 2, ±11:30 até ±18:00h			Elevação 2, ±11:00 até ±18:45h		
Elevação 3, sem sol			Elevação 3, ±15:30 até ±18:00h			Elevação 3, ±05:45 até ±07:00h e de ±13:00h até ±18:45h		
Elevação 4, ±06:45 até ±11:00h			Elevação 4, ±06:00 até ±11:30h			Elevação 4, ±05:45 até ±11:00h		

Tabela 3.2. :Estudo da Insolação na Elevação 1 de acordo com as Cartas Solares

A fim de obter imagens da insolação incidente e das sombras projetadas no vagão moradia, utilizamos o Programa Sketch-Up Versão 8, conforme Figura 3.15. A utilização deste programa possibilitou o confronto das informações obtidas nas cartas solares. Tal procedimento comprovou a eficiência de ambos os resultados[6].

Para realizar as sombras projetadas de forma fiel às estações climáticas e horas desejadas, é necessário abrir 'Configurações de Sombra' dentro do endereço Janelas – Sombras. UTC significa Tempo Universal Coordenado (todos os fusos horários são definidos em relação ao UTC, que é o fuso horário que contém a Cidade de Londres, quando esta não está no horário de verão e onde se localiza o meridiano de Greenwich). A Cidade de Curitiba tem UTC = -3,00.

Figura 3.15: Configurações no Programa Sketch-Up Versão 8, para a cidade de Curitiba e de acordo com as Estações Climáticas

[6] As perspectivas geradas, também aproveitando as datas e horários determinados nas Medições Higrotérmicas e Cartas Solares, serão apresentadas no Capítulo 4-Análise dos resultados e diretrizes de adequação.

3.5. Medição da Temperatura

O registro das temperaturas foi realizado em 6 pontos de medição, através de pares de termômetro. Foram fixados dois termômetros – lado a lado – um interna e outro externamente, em 3 áreas principais a serem estudadas. Do lado interno ficaram os termômetros ímpares e, do lado externo, os pares. (Figura 3.16).

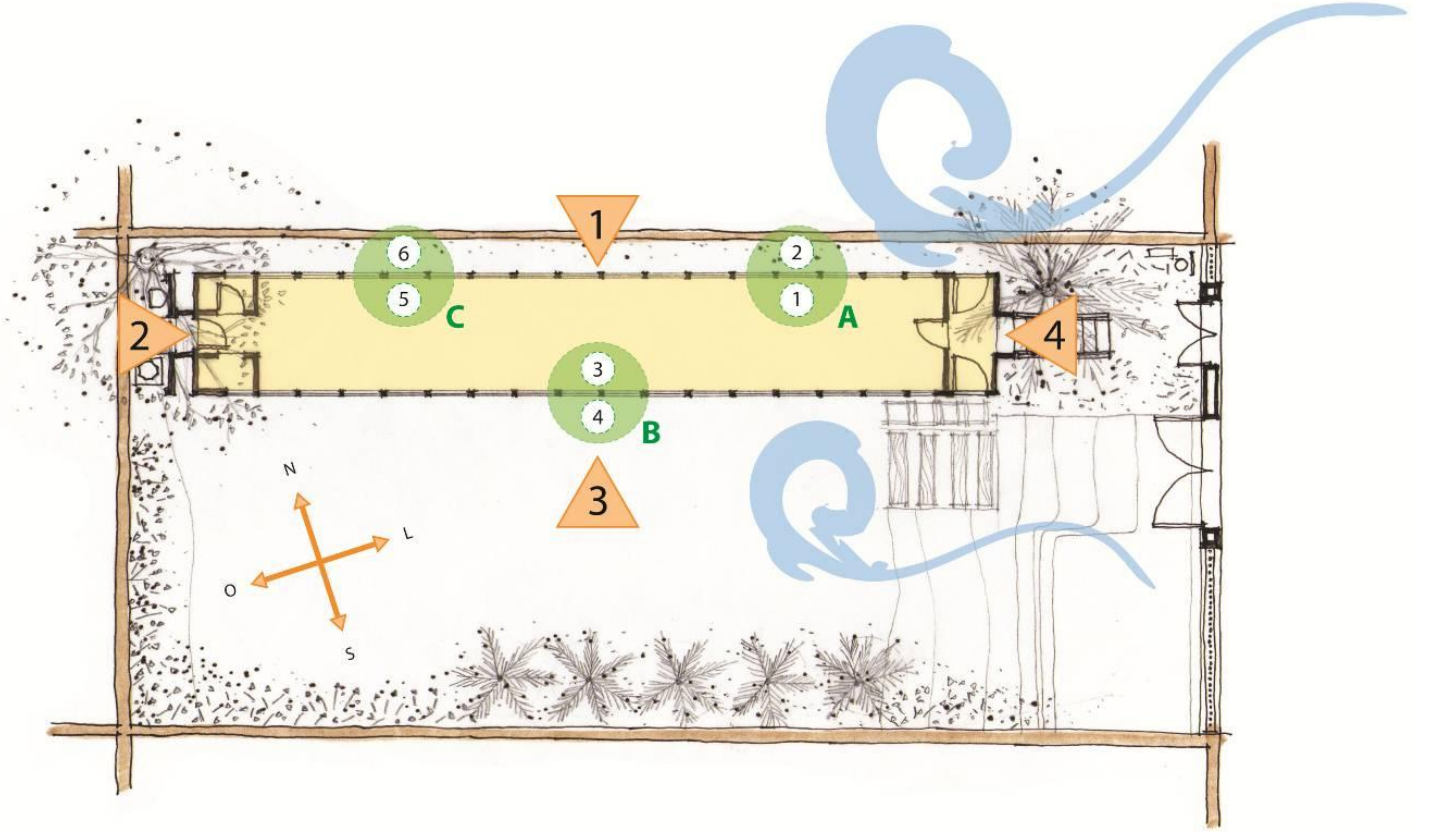


Figura 3.16: Seleção dos pontos de medição da temperatura

A área ‘A’ foi escolhida por receber insolação na parte da manhã e não possuir barreira de proteção (o muro é abaixo da linha inferior das janelas do vagão); nesta área foram instalados os termômetros 1, internamente e 2, externamente.

A área ‘B’ foi escolhida por receber insolação em algumas estações do ano mesmo estando voltada para o quadrante Sul, e por estar localizada exatamente no centro do vagão, possibilitando uma leitura comparativa com as áreas ‘A’ e ‘C’. Nesta área foram instalados os termômetros 3, internamente e 4, externamente.

A área ‘C’ foi escolhida por não receber muita insolação, devido ao muro de divisa que bloqueia a incidência direta dos raios solares, mesmo sendo esta face voltada para o quadrante Norte; nesta área foram instalados os termômetros 5, internamente e, 6, externamente.

Utilizamos 6 termômetros marca ‘Incoterm’ de bulbo de mercúrio. Os termômetros, além de seu número de série também foram numerados de 1 a 6 conforme Figura 3.17.

Figura 3.17: Identificação dos termômetros

Após a identificação, os termômetros foram aferidos de acordo com o seguinte procedimento:

-inicialmente os termômetros foram posicionados lado a lado em uma área qualquer em temperatura ambiente;
-as temperaturas foram registradas após um período de repouso de 30 minutos;
-em um recipiente com gelo, acompanhou-se através do Multímetro ITMP500, na função ‘temperatura’, a proximidade até o valor de 1°C;
-as 6 unidades foram imersas no recipiente com gelo fundente a 1°C (Figura 3.18);

Figura 3.18: Imersão dos termômetros no recipiente com gelo fundente a 1°C.

-em seguida as temperaturas foram registradas novamente;
-considerando o termômetro número 6 perfeitamente calibrado para a experiência, temos as seguintes aferições para comparação entre os demais termômetros (ver Tabela 3.3 e Tabela 3.4).

AFERIÇÃO DE EQUIPAMENTOS: TERMÔMETRO 'INCOTERM' DE BULBO DE MERCÚRIO						
NÚMERO DE SÉRIE DO TERMÔMETRO	44501	44487	44496	44500	44492	44490
LOCALIZAÇÃO ESPACIAL DO TERMÔMETRO	1 'A'	2 'A'	3 'B'	4 'B'	5 'C'	6 'C'
TEMPERATURA AMBIENTE REGISTRADA EM UMA ÁREA QUALQUER	27,2°C	27°C	27,1°C	27,1°C	27,6°C	27,3°C
TEMPERATURA DENTRO DO RECIPIENTE COM GELO	0,5°C	0,4°C	0,6°C	0,4°C	0,9°C	0,5°C

Tabela 3.3: Aferição dos Termômetros

AJUSTES DE TEMPERATURAS ENTRE OS 6 TERMÔMETROS (TOMANDO O Nº 6 COMO CALIBRADO)	
TERMÔMETRO 1	TEMPERATURA AFERIDA EM 1 = TEMPERATURA MEDIDA EM 1 + 0°C
TERMÔMETRO 2	TEMPERATURA AFERIDA EM 2 = TEMPERATURA MEDIDA EM 2 + 0,1°C
TERMÔMETRO 3	TEMPERATURA AFERIDA EM 3 = TEMPERATURA MEDIDA EM 3 – 0,1°C
TERMÔMETRO 4	TEMPERATURA AFERIDA EM 4 = TEMPERATURA MEDIDA EM 4 + 0,1°C
TERMÔMETRO 4	TEMPERATURA AFERIDA EM 5 = TEMPERATURA MEDIDA EM 5 – 0,4°C
TERMÔMETRO 6	TEMPERATURA AFERIDA EM 6 = TEMPERATURA TOMADA COMO CALIBRADA

Tabela 3.4: Ajustes de temperaturas entre os termômetros

As figuras 2.19 e 2.20 ilustram a instalação interna e externa dos termômetros.

Figura 3.19: Instalação interna dos termômetros

Figura 3.20: Instalação externa dos termômetros

As medições higrotérmicas foram datadas de 4 até 13 de Novembro de 2010, um período de 10 dias. Determinaram-se os seguintes horários para a coleta de dados: 06:00h – 09:00h – 12:00h – 15:00h – 18:00h – 21:00h e 24:00h. Diariamente, foram coletados também os dados climáticos da cidade através do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC, para as informações de Temperatura, Umidade Relativa, Condição do Tempo, Sensação Térmica, Direção e Intensidade do Vento e, através da medição de dois termômetros de máximas e mínimas[7], um colocado na parte externa do vagão e outro na parte interna, diariamente e sempre as 12:00h.

Durante estes 10 dias, as planilhas e gráficos foram sendo desenvolvidas no 'Excel' registrando a coleta diária dos dados; perfazendo 10 Tabelas de 'Medição Higrotérmica' que serão apresentadas no Capítulo 4-Análise dos resultados e diretrizes de adequação.

3.6. Registro de níveis de pressão sonora

Foram também realizadas medições dos níveis de ruído no entorno imediato e interior do vagão, diferenciando os ruídos de fundo e os ruídos ocasionados pela fonte sonora principal, no caso o comboio de vagões na linha férrea, e, comparados os valores obtidos com as normas técnicas pertinentes.

O equipamento utilizado para medição foi o medidor de Nível de Pressão Sonora marca Rion (modelo SL-18), de acordo com os procedimentos recomendados pela NBR 10.151/2000. As medições foram realizadas em Laeq (Nível de Ruído Equivalente) durante períodos de 5 minutos. Também foram realizadas medições instantâneas para avaliar o impacto do silvo/apito de alerta dos comboios.

Foram selecionados pontos de medição 'A', 'B', 'C' e 'ponto vermelho', conforme as Figuras 3.21 e 3.22 (Localização dos pontos de medição). A letra 'A' representa o início do saguão do vagão-moradia, 'B' corresponde à calçada externa, 'C' é o canteiro de divisa entre a rua e a ciclovia, e, o 'ponto vermelho' representa o eixo da linha férrea. Tais pontos estão distantes exatamente 10m um do outro; portanto, dentro do vagão, a distância até a fonte mais ruidosa, os comboios, é de 30m. No 'ponto vermelho' as medições foram realizadas à 1m de distância da fonte sonora principal.

[7] O termômetro de máxima e mínima registra as variações das temperaturas ocorridas em um ambiente em um período de tempo pré-estabelecido. Ele fornece três registros, ou seja: a temperatura mínima (mais fria), a temperatura máxima (mais quente) e a temperatura do momento.

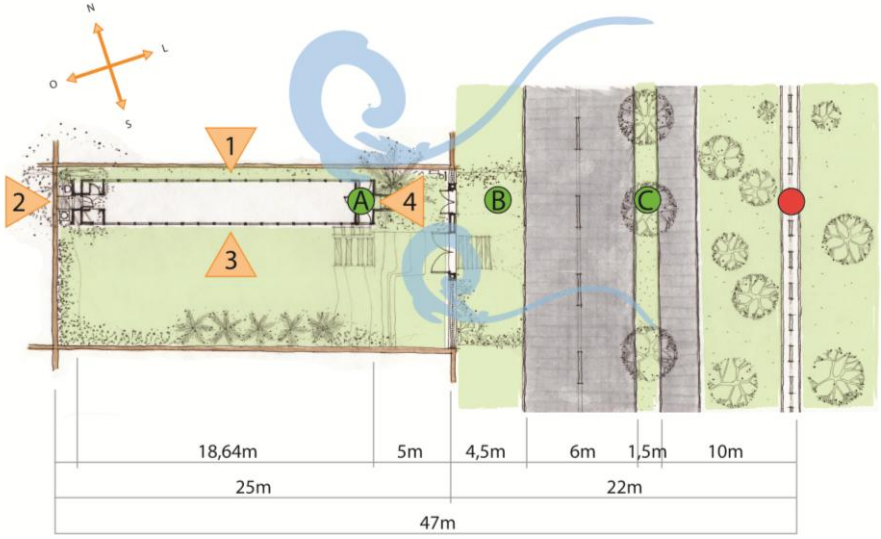


Figura 3.21: Localização dos pontos de medição em planta

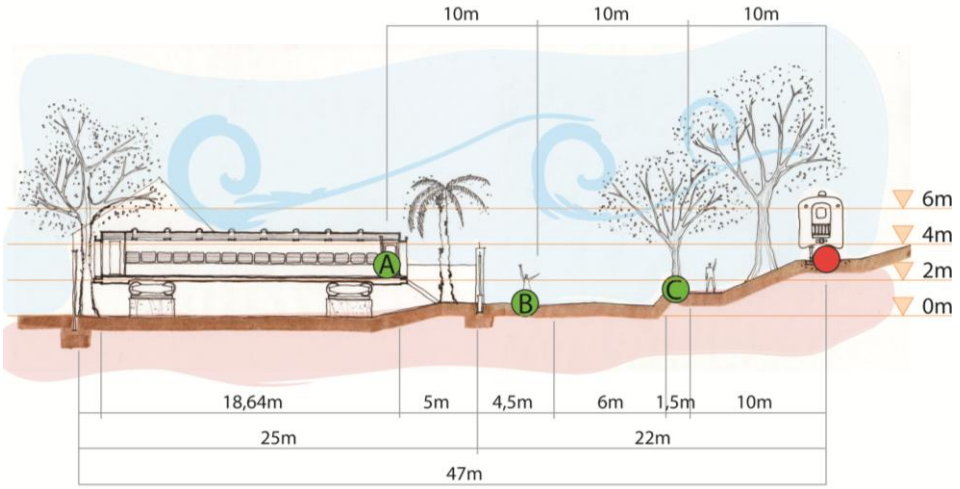


Figura 3.22: Localização dos pontos de medição em corte

Para garantir maior fidelidade na obtenção dos resultados, as medições foram realizadas em 3 momentos: no dia 11 de Abril de 2009, entre os dias 14 e 20 de Abril de 2010 e entre os dias 10 e 13 de Janeiro de 2011.

Para avaliar tanto situações de intenso movimento quanto períodos mais silenciosos, foram realizadas medições nos períodos diurno (7:00 – 19:00 horas), vespertino (19:00 – 22:00 horas) e noturno (22.00 – 7:00 horas). Estes horários foram definidos de acordo com a Lei 10.625 de Curitiba, conforme descrito na Tabela 2.6 - Níveis de pressão sonora máximos, que será apresentada mais à frente.

3.7. Medição do ruído

Segundo Silva (1997), a avaliação do nível sonoro pelo ouvido humano é diferente entre as pessoas; também uma mesma pessoa pode julgar os sons de maneiras diversas em diferentes ocasiões; o ouvido humano não traduz em números absolutos a grandeza acústica; o ouvido não tem memória acurada e fiel que possa recuperar valores percebidos anteriormente.

Segundo Bistafa (2006), medições acústicas fornecem informações de amplitude, de frequência e de fase dos sons em geral, e particularmente de ruídos, permitindo:

-identificar e localizar fontes de ruído dominantes;
-selecionar métodos, dispositivos e materiais para o controle do ruído;
-avaliar e comparar soluções de controle do ruído;
-verificar o atendimento a normas e legislações de controle de ruído;
-determinar a potência de fontes sonoras;
-avaliar a qualidade acústica de um recinto, sua adequação para determinado uso etc.

Segundo Niemeyer (2007), um dos aspectos fundamentais na medição do ruído é a escolha do período de tempo sobre o qual são registrados os sinais sonoros, que depende do objetivo da pesquisa e da variação temporal do ruído.

O índice usado como referência para avaliação de ruído ambiental é o L_{Aeq} : Nível de Pressão Sonora Equivalente, definido pela NBR 10151 / 2000 como "*o nível que, na hipótese de poder ser mantido constante durante o período de medição, acumularia a mesma quantidade de energia acústica que os diversos níveis variáveis acumulam no mesmo período".*

Também existem os índices estatísticos, métodos que registram a variação da pressão sonora em determinado intervalo de tempo. Os valores encontrados são admitidos como independentes e, constituem curvas de distribuição estatística dos níveis registrados. As recomendações são de que as amostras estatísticas devem ser escolhidas de modo a garantir que sejam representativas, e que a distribuição de probabilidades se aproxime da realidade.

Dentre os níveis estatísticos, dois são de particular interesse:

- (L_{90}) é o nível ultrapassado em 90% do tempo de medição, usado para estimar o nível de ruído de fundo (NICOL, 2004), sendo um dos critérios recomendados pela norma NBR-10151 para avaliar ruído de fundo;
- (L_{10}) é o nível sonoro ultrapassado em 10% do tempo de medição, usado na avaliação do nível de ruído de pico (intrusivos).

Grosso modo, quanto mais afastado estiver o L_{10} do L_{90}, maior será o incômodo do ruído, devido a variações bruscas de nível (BISTAFA, 2006).

Os equipamentos para medição de nível de pressão sonora mais modernos calculam automaticamente, entre outros, os valores de (LAeq), (L_{90}) e (L_{10}), além de registrarem o nível máximo (Lmx) e mínimo (Lmn) ocorridos durante o período de medição.

Quando a flutuação ao longo do tempo é mais complexa, a NBR 10151 recomenda a adoção do L_{eq} , ou Nível Sonoro Equivalente, sendo, por definição, o nível sonoro correspondente à média da energia acústica percebida durante um determinado período de observação. No caso de um ruído variável percebido durante um determinado intervalo de tempo, o L_{eq} representa o nível de ruído constante, e no mesmo período, que poderá ser produzido com a mesma energia do ruído de fato percebido.

A Figura 3.23 apresenta 55 estudos de casos de ruído em comunidades, por meio de um gráfico de reação comunitária em função do nível dia e noite (L_{dn})[8]; tais estudos são apenas representativos da resposta de uma grande população (10 mil pessoas ou mais), não sendo recomendados para prever reações individuais ao ruído ambiente.

[8] O chamado 'nível dia e noite' (Ldn) é uma grandeza desenvolvida pela Agência de Proteção Ambiental norte-americana (*EPA – Environmental Protection Agency*) para avaliação do ruído em comunidades, proveniente de todas as fontes. O Ldn é uma medida similar ao nível equivalente, calculado durante um período de 24horas, com a diferença de que, os níveis sonoros, durante o período noturno, são penalizados em 10dB. Essa penalização se deve ao fato de que, durante o período noturno, considerado o período normal de repouso da maioria das pessoas, os ruídos são julgados mais perturbadores do que durante o período diurno.

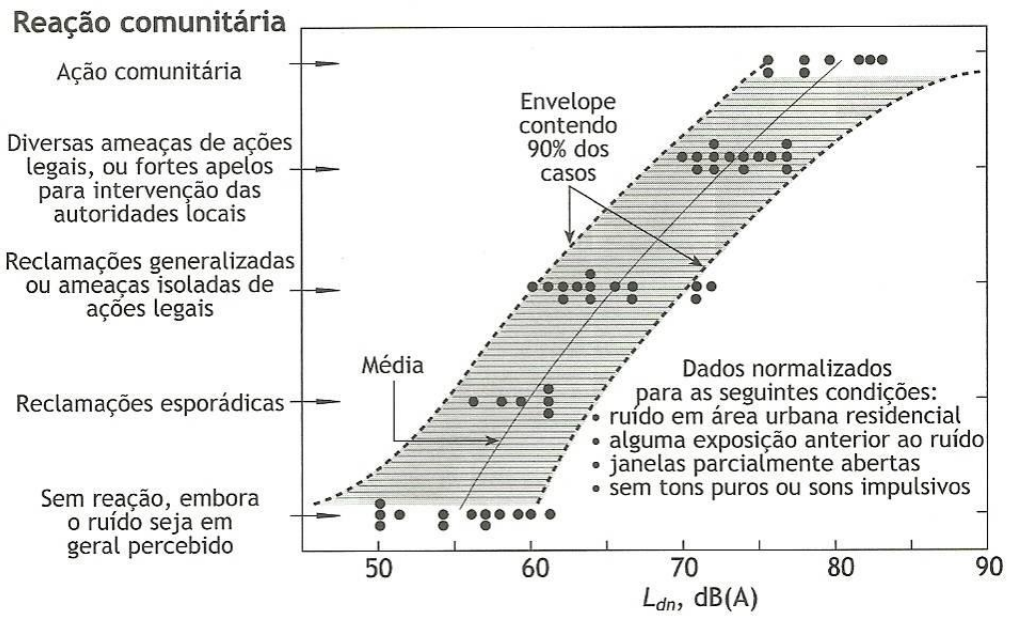


Figura 3.23: Reação comunitária em função do Ldn.
Fonte: Eldred citado em Lord et AL, Fonte BISTAFA, 2006

A Figura 3.24 apresenta os resultados de estudos realizados em diversas localidades do Estados Unidos e Europa sobre a porcentagem de pessoas severamente perturbadas pelo ruído de tráfego veicular e aéreo. Nota-se no gráfico uma surpreendente correlação ente o Ldn e a porcentagem de pessoas incomodadas (%HA).

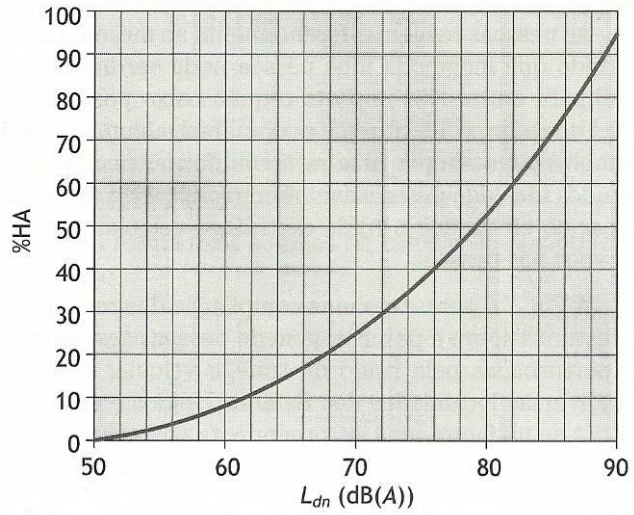


Figura 3.24: Porcentagem de pessoas severamente perturbadas pelo ruído de tráfego veicular e aéreo (%HA) versus Ldn, em diversas localidades dos Estados Unidos e Europa, inclusive Londres, Paris e Munique. Fonte: adaptada de Schultz, citado por Lamancusa apud BISTAFA, 2006

O controle do ruído ambiental busca soluções de projeto de espaços públicos que contemplem a qualidade acústica (WHO,1999) e o aprimoramento da legislação para controle do ruído urbano (NBR 10151-2000).

No Brasil, a Resolução 001 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), de 09 de Março de 1990, estabelece padrões para emissão de ruídos no território brasileiro. Esta Resolução visa limitar a emissão de ruídos em decorrência de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, no interesse da saúde e do sossego público; especificamente, não consta no documento nenhuma menção ao ruído de tráfego, porém, indica que este tipo de ruído produzido por veículos automotores obedece à norma expedida pelo CONTRAN – Conselho Nacional de Trânsito. A resolução 001 do CONAMA indica também que, todas as normas reguladoras da poluição sonora, emitidas a partir da data da resolução, deverão ser com ela compatibilizadas.

> A emissão de ruídos, em decorrência de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política obedecerá, no interesse da saúde, do sossego público, aos padrões, critérios e diretrizes estabelecidos nesta Resolução.(...) São prejudiciais à saúde e ao sossego público, para os fins do item anterior aos ruídos com níveis superiores aos considerados aceitáveis pela norma NBR 10.151 - Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas Visando o Conforto da Comunidade, da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. (CONAMA, 1990).

A norma NBR 10151 – Acústica-Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade / Procedimento, na sua mais recente edição (Junho 2000), estabeleceu condições para avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidades. Essencialmente, esta norma requer a medição do L_{eq} ponderado, que deve ser corrigido com +5dB caso o ruído tenha componentes tonais; este nível corrigido é então comparado com o nível-critério avaliação (NCA). Ver Tabela 3.5.

Nível-critério avaliação para ambientes externos, em dB(A) – NBR 10.151/2000		
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

Tabela 3.5: Nível-critério de avaliação para ambientes externos, em dB(A). Fonte: NBR 10151/2000

Na esfera Municipal de Curitiba, os limites máximos de ruído ambiental são definidos pela Lei nº10625/2002, que 'Dispõe sobre ruídos urbanos, proteção do bem estar e do sossego público em Curitiba/PR'. (ver em Anexo). Para efeitos desta Lei, a medição do nível de pressão sonora é definido a partir do cruzamento dos parâmetros da norma NBR 10151 /2000 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT e o Zoneamento Municipal, conforme a tabela 3.6, a seguir.

Zoneamento	Diurno (07-19h)	Vespertino (19-22h)	Noturno (22-07h)
ZR-1, 2 e 3, ZR-B, ZR-AV, ZR-M, APA-SARU, APA-SMRU	55 dB(A)	50 dB(A)	45 dB(A)
ZR-OC, ZR-SF, ZR-U, ZR-P, ZT-MF, ZT-NC, ZE-E, ZE-M, Z-CON, SE-CC, SE-OS, SE-OI, APA-ST	60 dB(A)	55 dB(A)	50 dB(A)
ZR-4, ZC, ZT-BR116, ZUM, ZE-D, SE, SH, SE-BR-116, SE-MF, SE-CF, SE-WB, SE-AC, SE-CB, SE-PE, SC-SF, SC-UM, SE-NC, SEI, SEHIS, SELE, CONEC, APA-SS Vias prioritárias 1 e 2, Vias setoriais, Vias coletoras 1, 2 e 3.	65 dB(A)	60 dB(A)	55 dB(A)
ZS-1, ZS-2, ZES, ZI, APA-SUE	70 dB(A)	60 dB(A)	60 dB(A)
ZR=Zonas Residenciais; APA=Setores de Restrição de Uso; SC=Setores Especiais Comerciais; SE=Setores Especiais; SEHIS=Setor Especial Habitação Interesse Social; SEI=Setor Especial Institucional; SH=Setor Histórico; ZC=Zona Central; Z-COM=Zona de Contenção; ZE=Zonas Especiais; ZI=Zona Industrial; ZS=Zonas de Serviço; ZT=Zonas de Transição; Z-UM=Zona de Uso Misto.			

Tabela 3.6. Níveis de pressão sonora máximos, divididos em períodos do dia, estabelecidos conforme a Lei 10.625 e o Zoneamento em Curitiba.

Os limites de horários para período diurno e noturno são definidos pelas autoridades municipais, de acordo com os hábitos da população. Na cidade de Curitiba, para fins de aplicação da lei, o período diurno é o intervalo de tempo compreendido entre 07h01 até às 19h00; o período vespertino é o intervalo de tempo compreendido entre 19h01 até às 22h00; e, o período noturno é o intervalo de tempo compreendido entre 22h01 até às 07h00.

A norma NBR 10152, Nível de Ruído para Conforto Acústico de Dezembro 1987, fixa os níveis de ruído de fundo compatíveis com ambientes diversos. Os valores definidos pela NBR 10152/1987 foram estabelecidos de acordo com a função assumida pelo edifício e da atividade desempenhada no ambiente em questão (ver Tabela 3.7). O valor inferior da faixa representa o nível sonoro para conforto, enquanto que o valor superior significa o nível sonoro aceitável para a finalidade. Níveis superiores aos estabelecidos nesta tabela são considerados de desconforto, sem necessariamente implicar risco de dano à saúde.

Níveis sonoros para conforto acústico – NBR 10.152/1987			
Locais		**dB (A)**	**NC**
Hospitais	Apartamentos, Enfermarias, Berçários, Centros Cirúrgicos	35-45	30-40
	Laboratórios, Áreas para uso público	40-50	35-45
	Serviços	45-55	40-50
Escolas	Bibliotecas, Salas de música, Salas de desenho	35-45	30-40
	Salas de aula, Laboratórios	40-50	35-45
	Circulação	45-55	40-50
Hotéis	Apartamentos	35-45	30-40
	Restaurantes, Salas de estar	40-50	35-45
	Portaria, Recepção, Circulação	45-55	40-50
Residências	Dormitórios	35-45	30-40
	Salas de estar	45-55	35-45
Auditórios	Salas de concertos, Teatros	30-40	25-30
	Salas de conferências, Cinemas, Salas de uso múltiplo	35-45	30-35
Restaurantes		40-50	35-45
Escritórios	Salas de reunião	30-40	25-35
	Salas de gerência, salas de projetos e administração	35-45	30-40
	Salas de computadores	45-65	40-60
	Salas de mecanografia	50-60	45-55
Igrejas e Templos (cultos meditativos)		40-50	35-45
Locais para esporte	Pavilhões fechados para espetáculos e atividades esportivas	45-60	40-55

Tabela 3.7: Níveis sonoros para conforto acústico. (Fonte: NBR 10152/1987)

A NBR 12179/1992, 'Tratamento acústico em recintos fechados', fixa os critérios fundamentais para execução de tratamentos acústicos em recintos fechados. O nível de som do recinto deve ser fixado de acordo com a NBR 10152. Estabelecido este nível e, conhecido o nível de som exterior, obtém-se, por diferença, a queda de nível de som, em decibéis. Esta norma anexa uma primeira tabela com os valores do isolamento acústico de diversos materiais, uma segunda tabela com os coeficientes de absorção acústica (Tabela de Hans W. Bobran) e um gráfico de Bolt Beranek e Newman que apresenta valores ótimos para o volume em metros cúbicos de um ambiente *versus* o tempo de reverberação a 500Hz, para comparação do valor de tempo de reverberação obtido com o tempo de reverberação ótimo (onde a diferença entre os valores deve ser a menor possível)[9].

[9] As tabelas mencionadas constam no Anexo.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS E DIRETRIZES DE ADEQUAÇÃO

4. ANÁLISE DE RESULTADOS E DIRETRIZES DE ADEQUAÇÃO

"Embora o espaço como escrita já seja uma metáfora bastante comum nos meios acadêmicos e profissionais, é preciso transformar metáforas em ferramentas científicas para a pesquisa e o projeto arquitetônico." Roland Barthes, 1984.

Este capítulo apresenta os resultados e análises das medições realizadas em campo e diretrizes e propostas gerais de adequação ambiental do vagão-moradia, com o objetivo de mitigar os problemas térmicos e acústicos vivenciados pela autora. Também apresenta diretrizes de projeto para outros casos de *retrofit* de vagões e *containers* na forma de recomendações ou atitudes de projeto, com o objetivo de contribuir e subsidiar o aproveitamento destas sucatas.

4.1. Avaliações de conforto higrotérmico

4.1.1. Gráficos de Insolação

Seguem as perspectivas geradas pelo Programa Sketch-Up, Versão 8, que obtiveram imagens da insolação incidente e das sombras projetadas no vagão, nas datas e horários determinados nas Medições Higrotérmicas e Cartas Solares, para efeito comparativo e subsídio de análise, conforme lista abaixo. Ver também Figuras 4.1 até 4.24.

OUTONO 21.03.2010	INVERNO 22.06.2010	PRIMAVERA 23.09.2010	VERÃO 22.12.2010
Fig. 4.01. – 06:20h	Fig. 4.06. – 06:00h	Fig. 4.12. – 06:05h	Fig. 4.18. – 06:00h
Fig. 4.02. – 09:00h	Fig. 4.07. – 09:00h	Fig. 4.13. – 09:00h	Fig. 4.19. – 09:00h
Fig. 4.03. – 12:00h	Fig. 4.08. – 12:00h	Fig. 4.14. – 12:00h	Fig. 4.20. – 12:00h
Fig. 4.04. – 15:00h	Fig. 4.09. – 12:30h	Fig. 4.15. – 15:00h	Fig. 4.21. – 15:00h
Fig. 4.05. – 18:18h	Fig. 4.10. – 15:00h	Fig. 4.16. – 16:00h	Fig. 4.22. – 15:00h
	Fig. 4.11. – 18:00h	Fig. 4.17. – 18:00h	Fig. 4.23. – 18:00h
			Fig. 4.24. – 16:50h

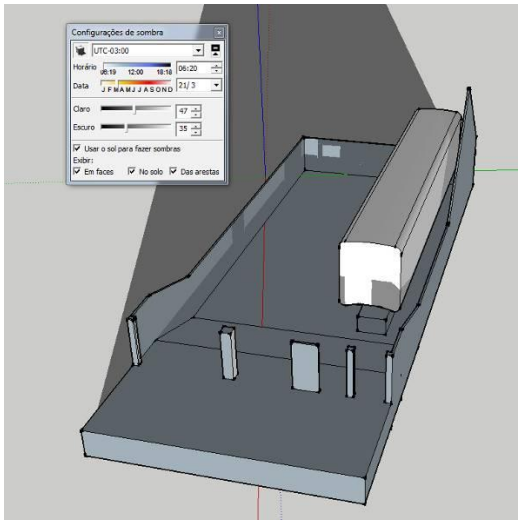


Figura 4.1: Outono 21.03.2010 às 06:20h – visão Leste

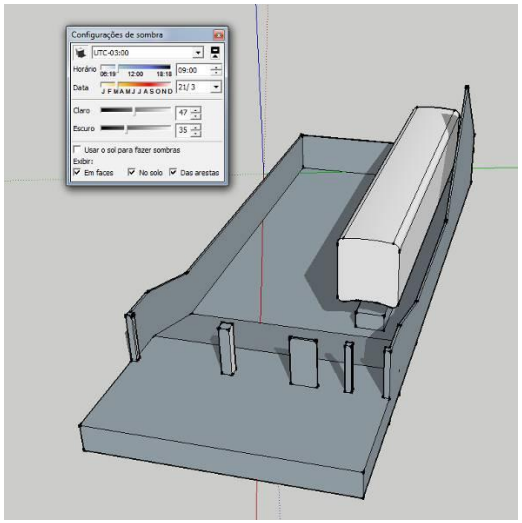


Figura 4.2: Outono 21.03.2010 às 09:00h – visão Leste

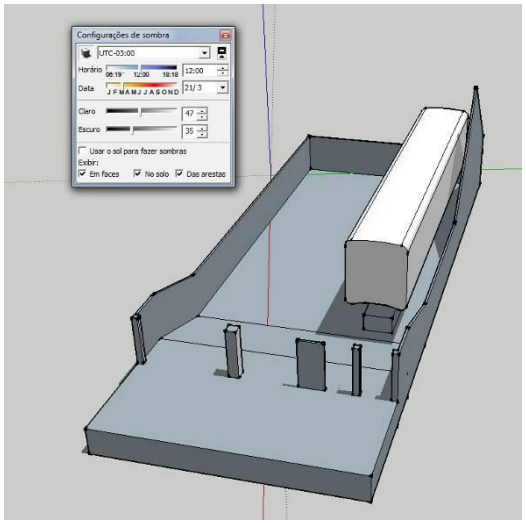


Figura 4.3: Outono 21.03.2010 às 12:00h – visão Leste

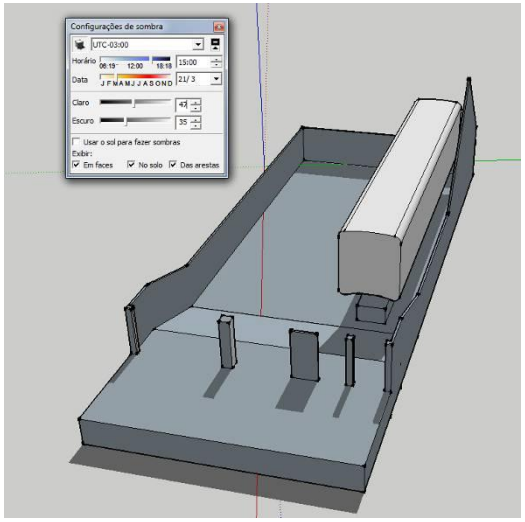


Figura 4.4: Outono 21.03.2010 às 15:00h – visão Leste

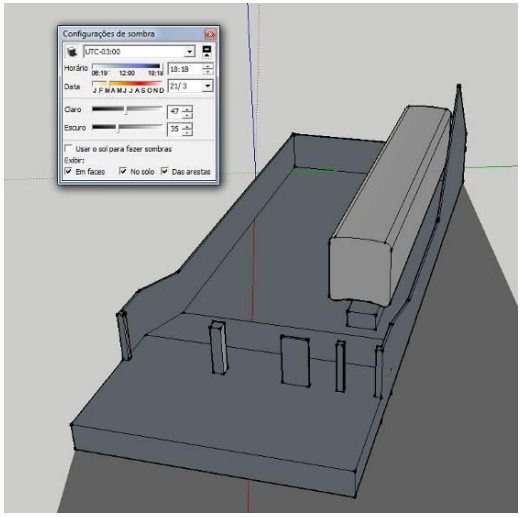


Figura 4.5: Outono 21.03.2010 às 18:18h – visão Leste

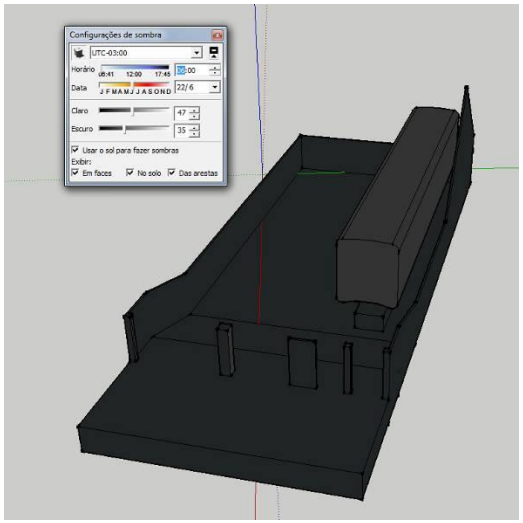


Figura 4.6: Inverno 22.06.2010 às 06:00h – visão Leste

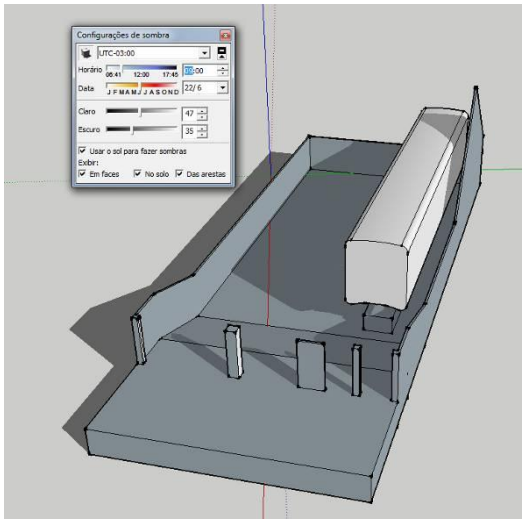


Figura 4.7: Inverno 22.06.2010 às 09:00h – visão Leste

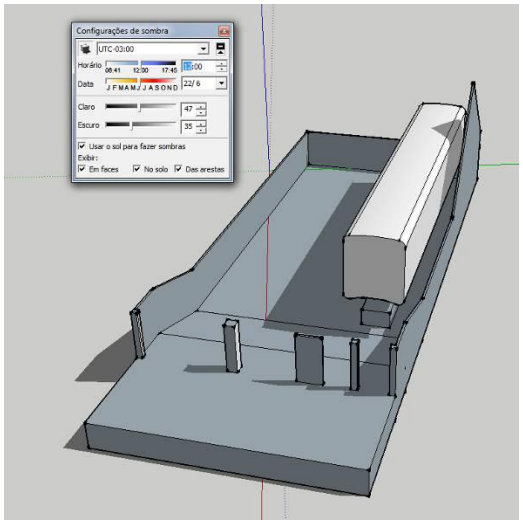


Figura 4.8: Inverno 22.06.2010 às 12:00h – visão Leste

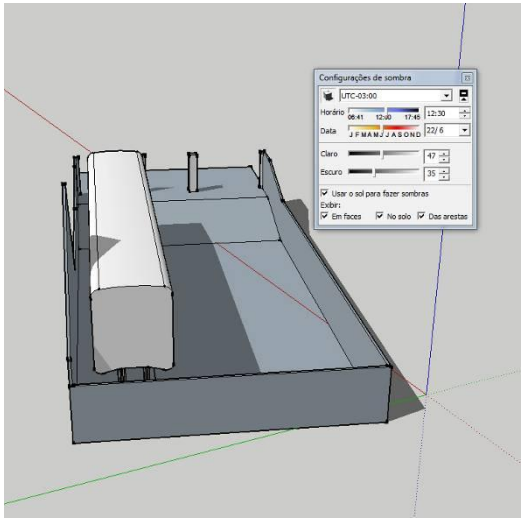


Figura 4.9: Inverno 22.06.2010 às 12:30 h – visão Oeste

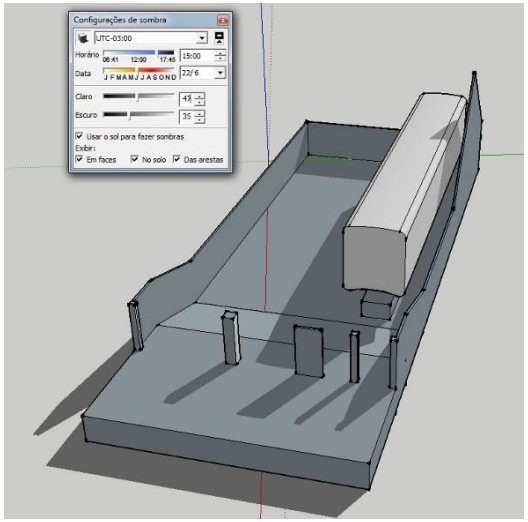


Figura 4.10:Inverno 22.06.2010 às 15:00h – visão Leste

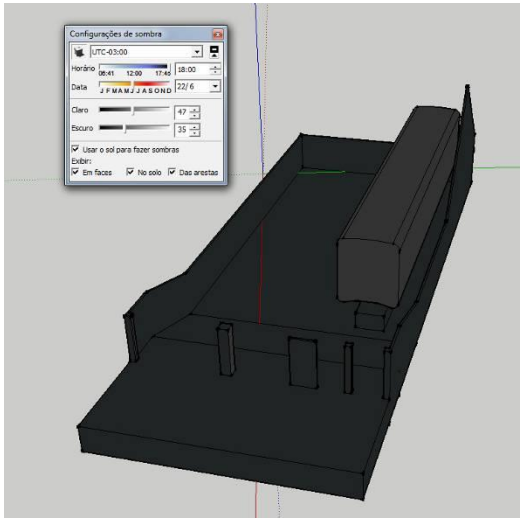


Figura 4.11: Inverno 22.06.2010 às 18:00h– visão Leste

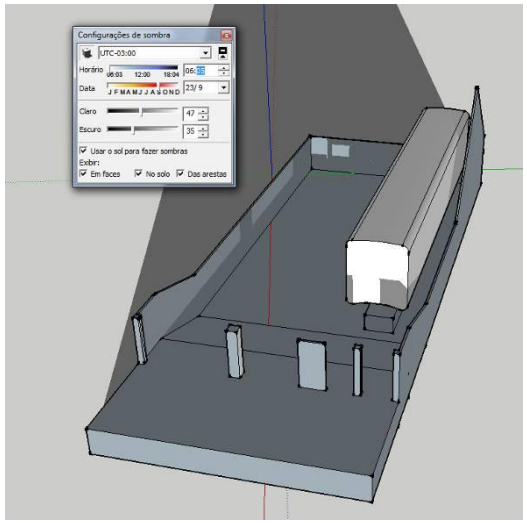


Figura 4.12:Primavera 23.09.2010 às 6:05h–visão Leste

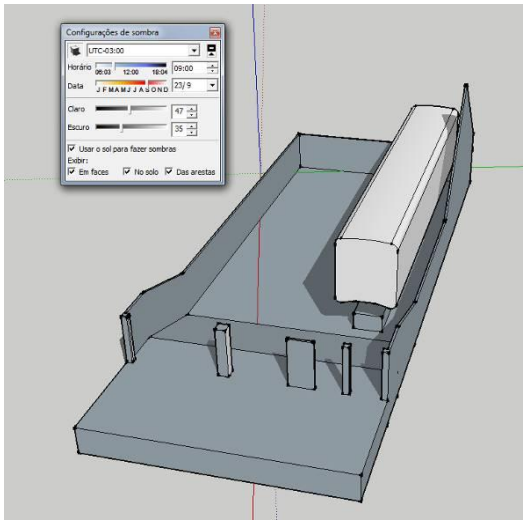


Figura 4.13:Primavera 23.09.2010 às 9:00h–visão Leste

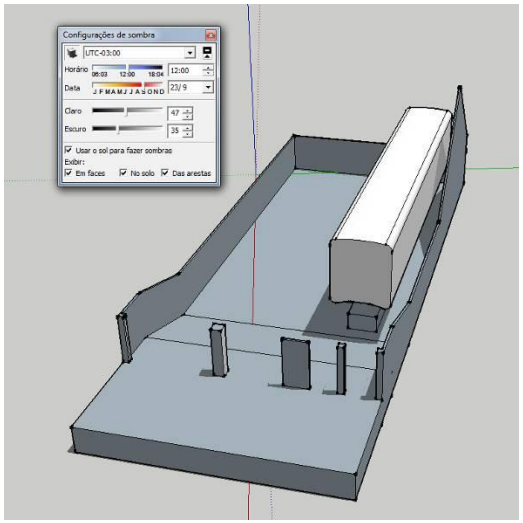


Figura 4.14: Primavera 23.09.2010 às 12:00h - visão Leste

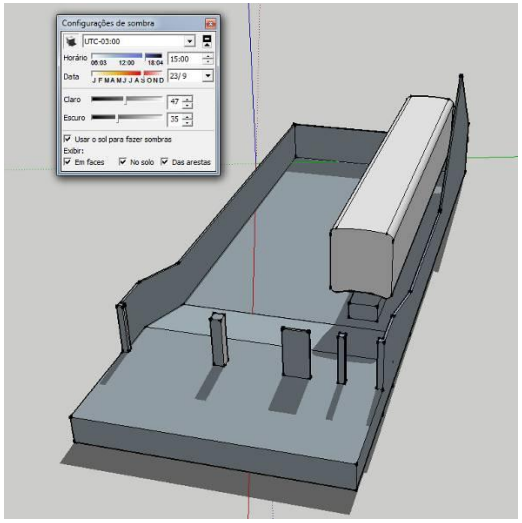


Fig. 4.15: Primavera 23.09.2010 às 15:00h – visão Leste

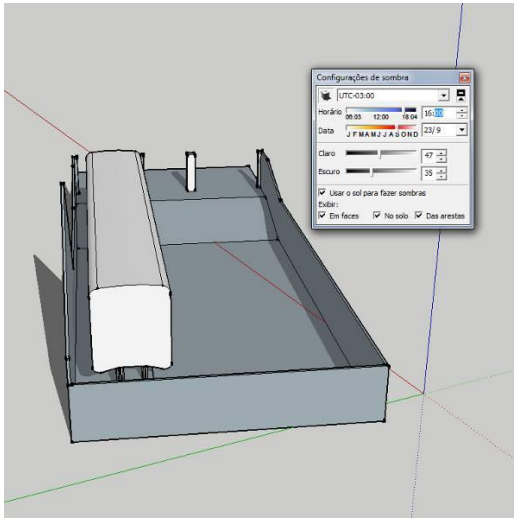


Fig. 4.16: Primavera 23.09.2010 às 16:00h – visão Oeste

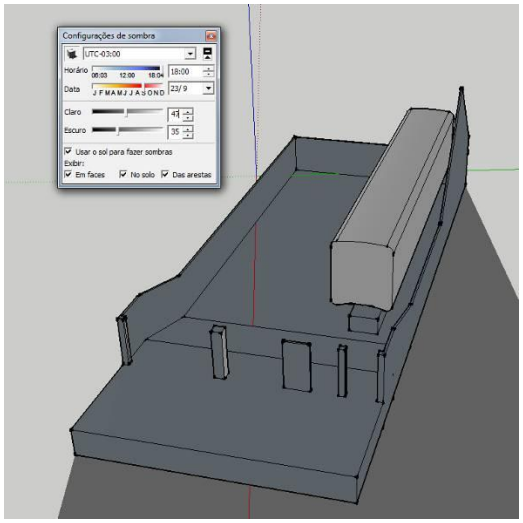


Fig. 4.17: Primavera 23.09.2010 às 18:00h – visão Leste

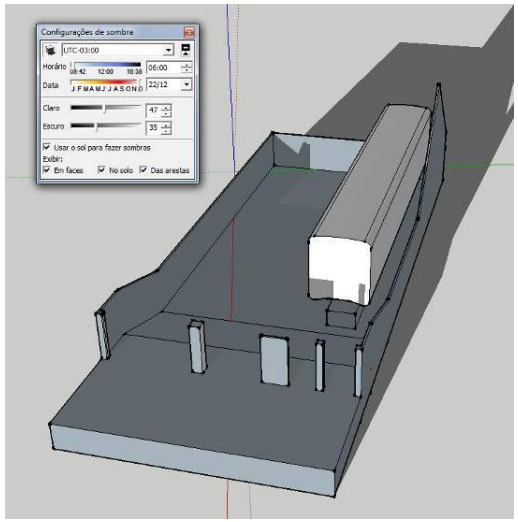


Figura 4.18: Verão 22.12.2010 às 06:00h – visão Leste

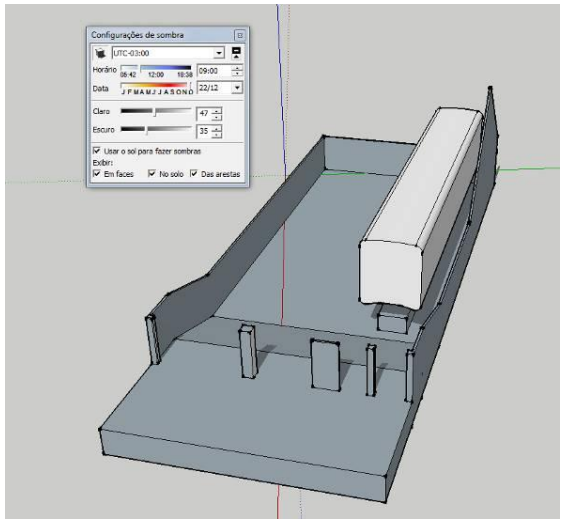


Figura 4.19: Verão 22.12.2010 às 09:00h – visão Leste

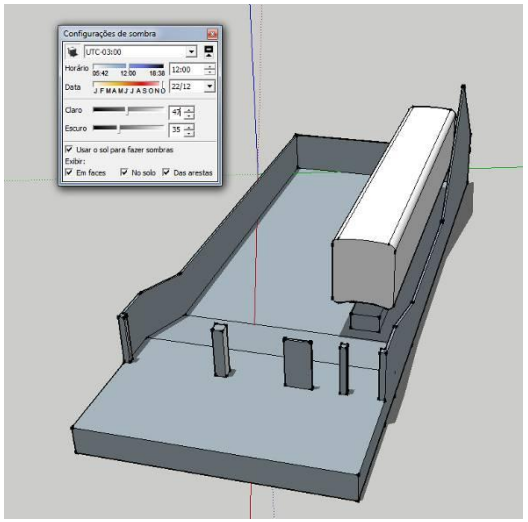


Figura 4.20: Verão 22.12.2010 às 12:00h – visão Leste

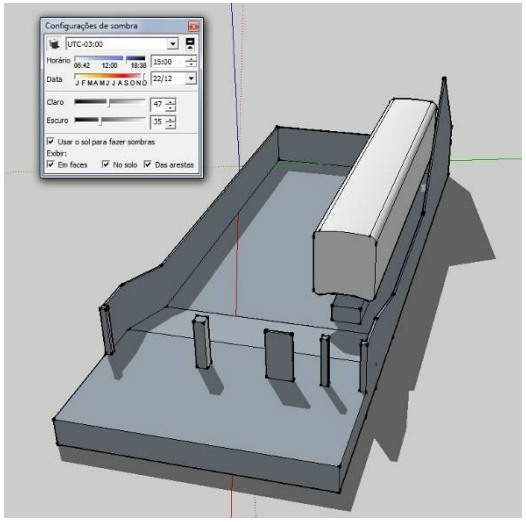


Figura 4.21: Verão 22.12.2010 às 15:00h – visão Leste

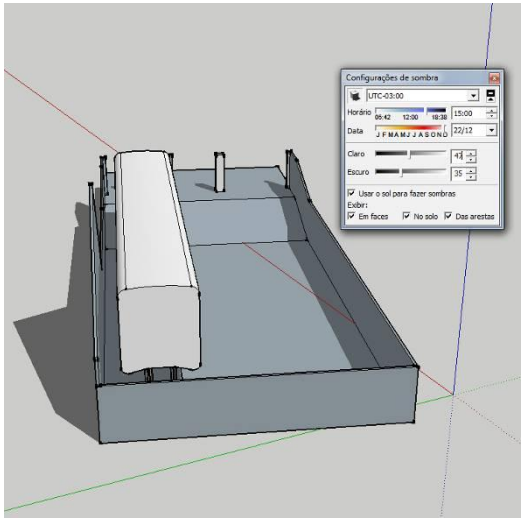


Figura 4.22: Verão 22.12.2010 às 15:00h – visão Oeste

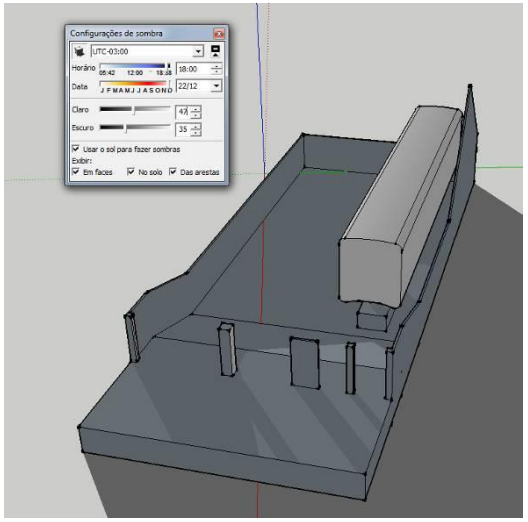


Figura 4.23: Verão 22.12.2010 às 18:00h – visão Leste

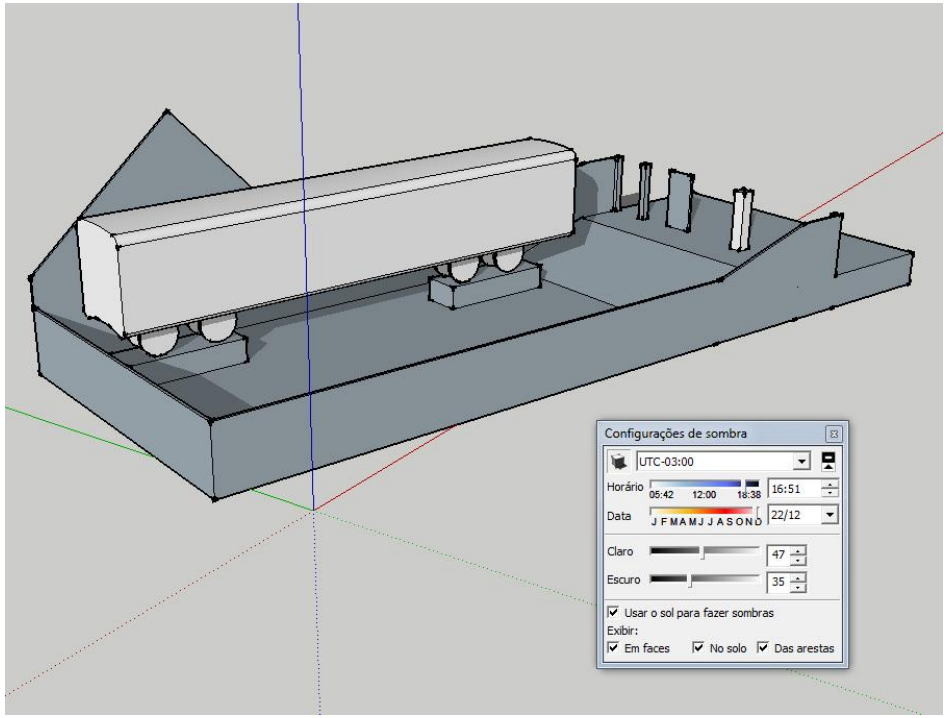
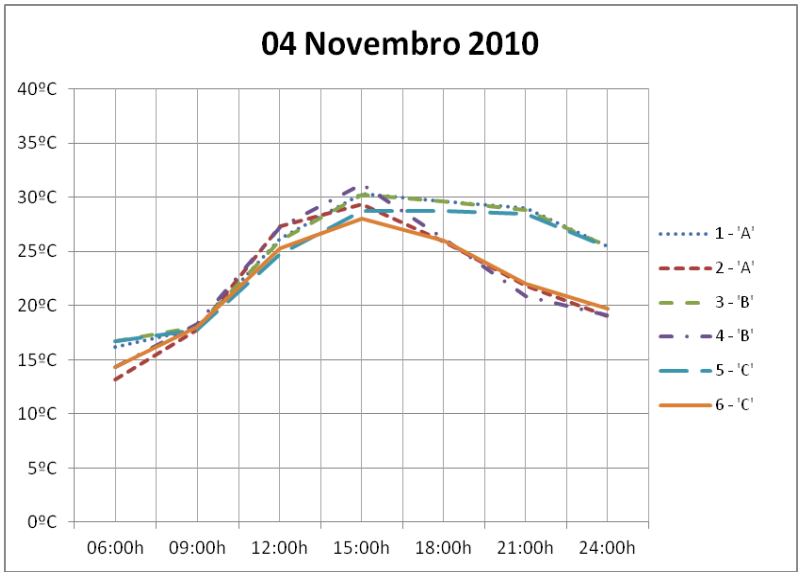


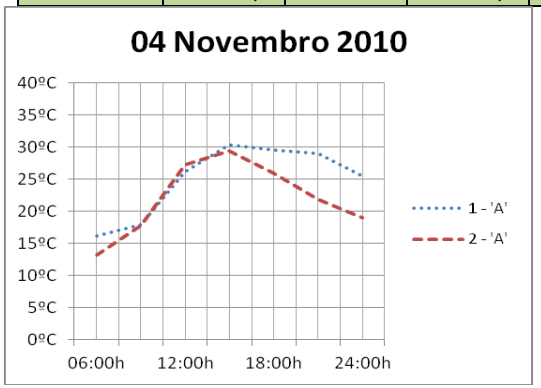
Figura 4.24: Verão 22.12.2010 às 16:50h – visão Sul.

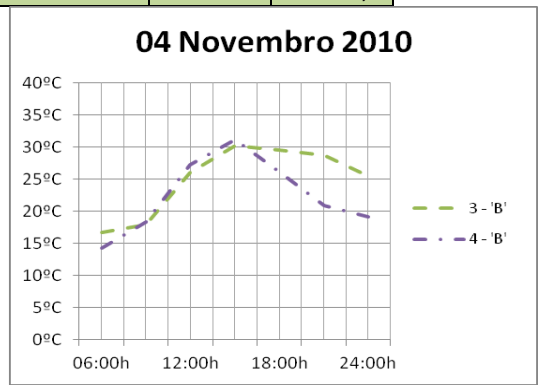
4.1.2. Tabelas de ‘Medição de Temperatura’

Segue as Tabelas de ‘Medição de Temperatura’, que foram apuradas entre os dias 4 e 13 de Novembro de 2010:

MEDICÕES DE TEMPERATURA REALIZADAS							
DATA	**04/nov/10**			ESTAÇÃO		PRIMAVERA	
Dados CPTEC - CENTRO DE PREVISÃO DO TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS/CURITIBA							
TEMPERATURA	24°C		SENSAÇÃO TÉRMICA			25°C	
UMIDADE RELATIVA	46%		DIREÇÃO E INTENS. DO VENTO			ND - 12Km/h	
CONDIÇÃO DO TEMPO	Predomínio de Sol				HORA	09:00h	
MEDIÇÃO REALIZADA em ºC: TEMPERATURAS MÁXIMAS E MÍNIMAS							
TEMP. MÁXIMA INTERNA		32°C	TEMP. MÍNIMA INTERNA			14°C	
TEMP. MÁXIMA EXTERNA		34°C	TEMP. MÍNIMA EXTERNA			9°C	
MEDICÃO REALIZADA em ºC: NÚMERO DO TERMÔMETRO x HORA DO DIA							
Nº/local	06:00h	09:00h	12:00h	15:00h	18:00h	21:00h	24:00h
1 - 'A'	16,2	17,9	26,2	30,3	29,6	29	25,5
2 - 'A'	13,2	17,8	27,3	29,4	25,9	21,8	19
3 - 'B'	16,7	18	26	30,2	29,6	28,8	25,5
4 - 'B'	14,3	18,3	27,2	31,2	26,2	20,9	19,1
5 - 'C'	16,7	17,8	24,8	28,7	28,7	28,5	25,4
6 - 'C'	14,3	18	25,3	28	26	22	19,7







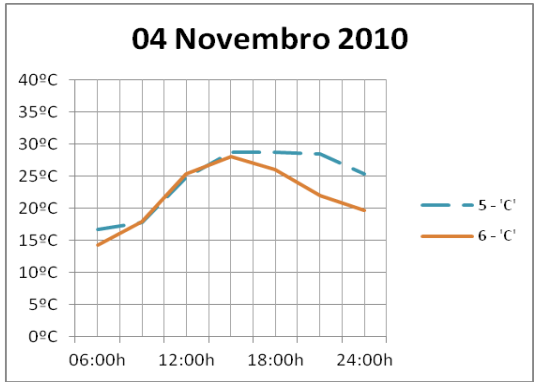
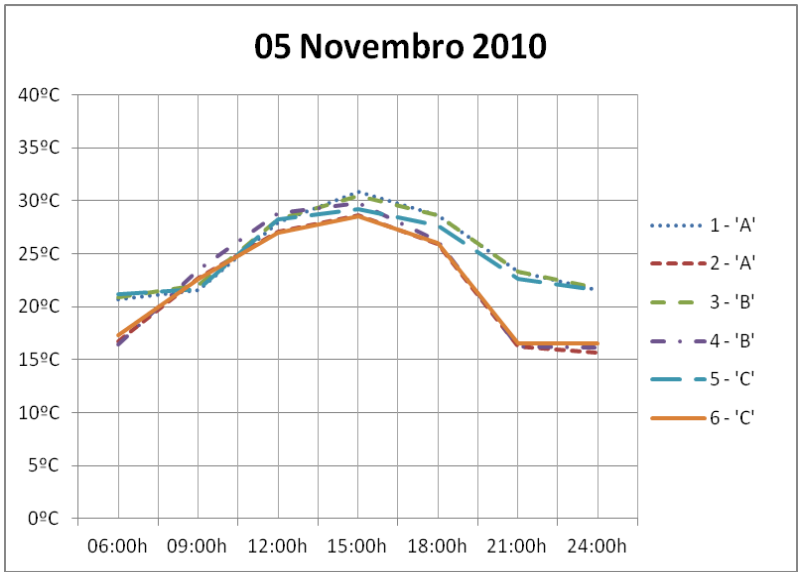
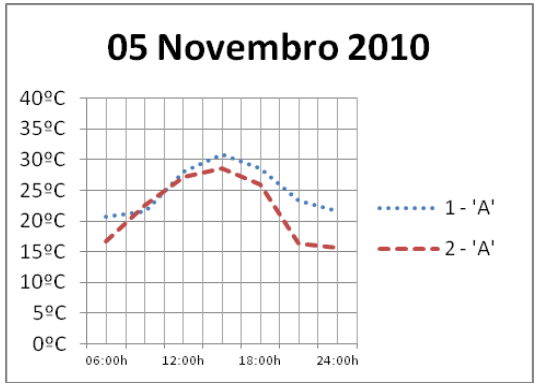
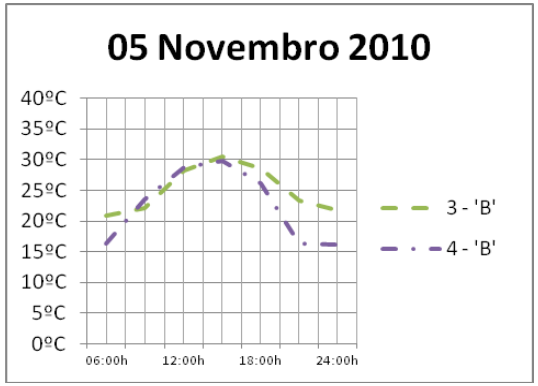


Tabela 4.1: Data: 04 de Novembro de 2010

MEDICÕES DE TEMPERATURAS REALIZADAS							
DATA	05/nov/10			ESTAÇÃO	PRIMAVERA		
Dados CPTEC - CENTRO DE PREVISÃO DO TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS/CURITIBA							
TEMPERATURA	27°C	SENSAÇÃO TÉRMICA			27°C		
UMIDADE RELATIVA	47%	DIREÇÃO E INTENS. DO VENTO			ND - 25Km/h		
CONDIÇÃO DO TEMPO		Pred. Sol + possib. Temporal		HORA	11:30h		
MEDIÇÃO REALIZADA em ºC: TEMPERATURAS MÁXIMAS E MÍNIMAS							
TEMP. MÁXIMA INTERNA		32°C	TEMP. MÍNIMA INTERNA		14°C		
TEMP. MÁXIMA EXTERNA		34°C	TEMP. MÍNIMA EXTERNA		11°C		
MEDICÃO REALIZADA em ºC: NÚMERO DO TERMÔMETRO x HORA DO DIA							
Nº/local	06:00h	09:00h	12:00h	15:00h	18:00h	21:00h	24:00h
1 - 'A'	20,7	21,6	28	30,9	28,6	23,3	21,6
2 - 'A'	16,7	22,7	27,1	28,6	25,9	16,3	15,7
3 - 'B'	20,9	22,1	28,3	30,5	28,6	23,3	21,8
4 - 'B'	16,4	23,5	28,8	29,8	26,2	16,3	16,2
5 - 'C'	21,2	21,7	28,3	29,2	27,7	22,6	21,6
6 - 'C'	17,3	22,6	27	28,5	26	16,5	16,5







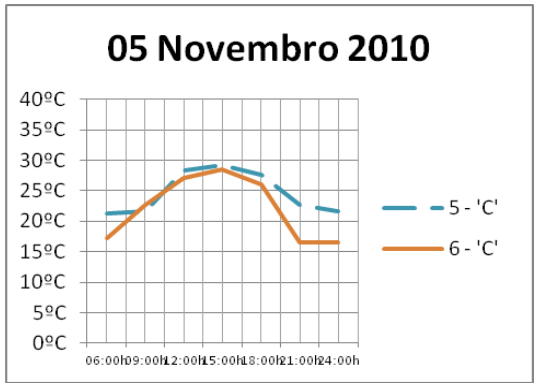
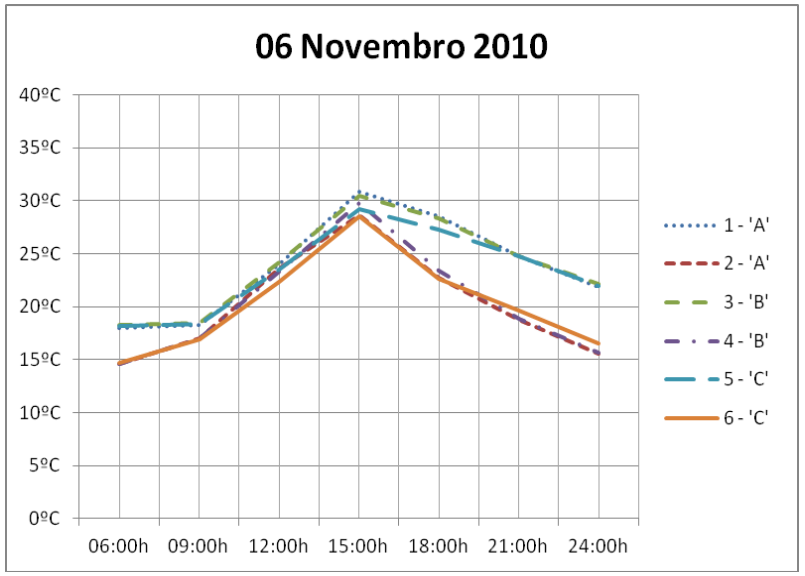
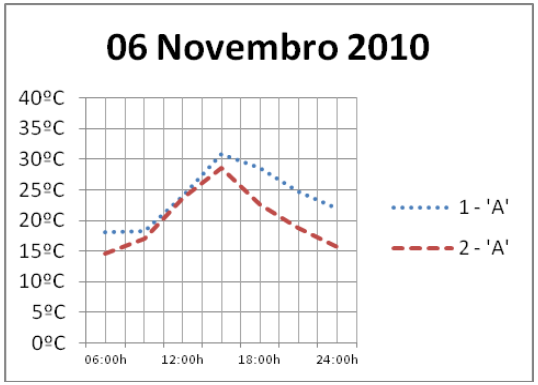
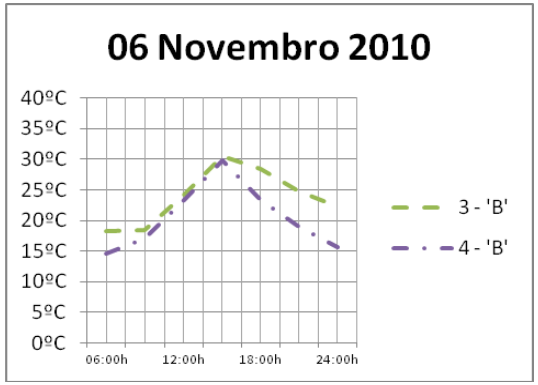


Tabela 4.2: Data: 05 de Novembro de 2010

MEDIÇÕES DE TEMPERATURAS REALIZADAS							
DATA	**06/nov/10**			ESTAÇÃO		PRIMAVERA	
Dados CPTEC - CENTRO DE PREVISÃO DO TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS/CURITIBA							
TEMPERATURA	15°C	SENSAÇÃO TÉRMICA				12°C	
UMIDADE RELATIVA	87%	DIREÇÃO E INTENS. DO VENTO				SO - 14Km/h	
CONDIÇÃO DO TEMPO		Nublado + Chuva Forte Manhã			HORA	07:30h	
MEDIÇÃO REALIZADA em °C: TEMPERATURAS MÁXIMAS E MÍNIMAS							
TEMP. MÁXIMA INTERNA		32°C	TEMP. MÍNIMA INTERNA			18°C	
TEMP. MÁXIMA EXTERNA		33°C	TEMP. MÍNIMA EXTERNA			14°C	
MEDICÃO REALIZADA em °C: NÚMERO DO TERMÔMETRO x HORA DO DIA							
Nº/local	06:00h	09:00h	12:00h	15:00h	18:00h	21:00h	24:00h
1 - 'A'	18	18,3	24	30,9	28,5	24,8	21,9
2 - 'A'	14,6	17	23,6	28,6	22,7	18,8	15,6
3 - 'B'	18,3	18,5	24,2	30,5	28,4	24,8	22,2
4 - 'B'	14,6	17	23,3	29,8	23,4	18,9	15,7
5 - 'C'	18,2	18,4	23,5	29,2	27,3	24,8	22
6 - 'C'	14,7	16,9	22,4	28,5	22,6	19,6	16,5







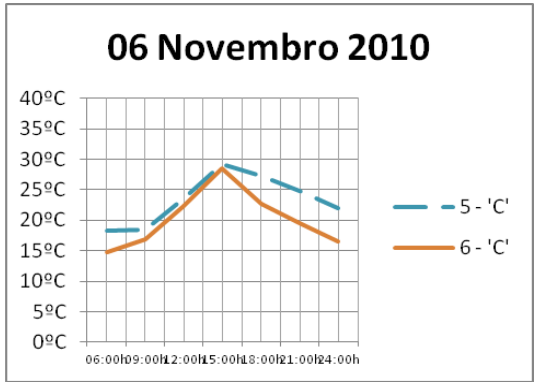
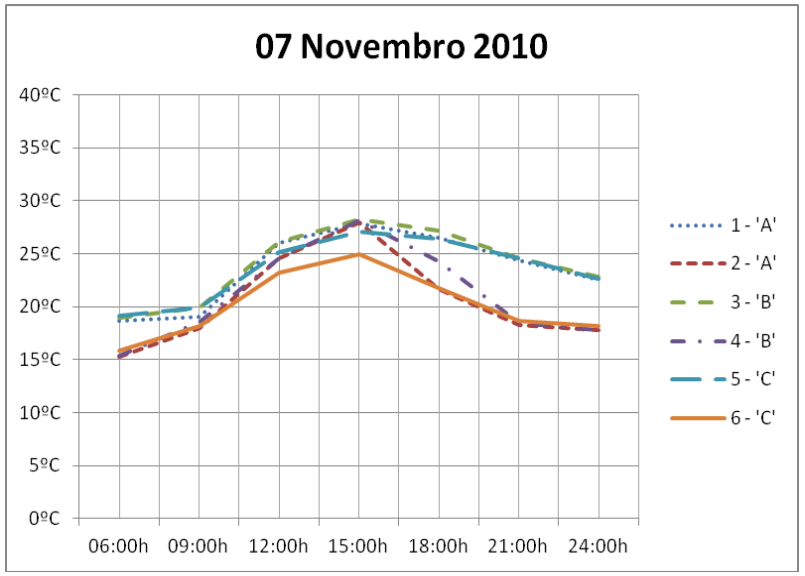
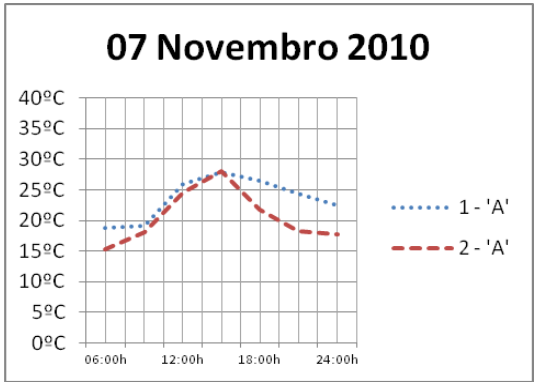
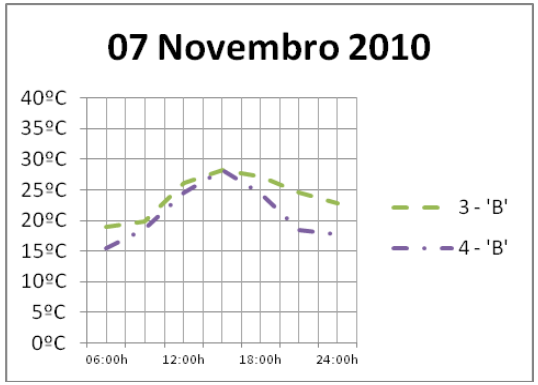


Tabela 4.3: Data: 06 de Novembro de 2010

MEDIÇÕES DE TEMPERATURAS REALIZADAS							
DATA	**07/nov/10**			ESTAÇÃO		PRIMAVERA	
Dados CPTEC - CENTRO DE PREVISÃO DO TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS/CURITIBA							
TEMPERATURA	20°C	SENSAÇÃO TÉRMICA					20°C
UMIDADE RELATIVA	68%	DIREÇÃO E INTENS. DO VENTO				NE - 3Km/h	
CONDIÇÃO DO TEMPO		Nublado			HORA	09:15h	
MEDIÇÃO REALIZADA em °C: TEMPERATURAS MÁXIMAS E MÍNIMAS							
TEMP. MÁXIMA INTERNA		28,5°C	TEMP. MÍNIMA INTERNA			18°C	
TEMP. MÁXIMA EXTERNA		28,5°C	TEMP. MÍNIMA EXTERNA			14,5°C	
MEDICÃO REALIZADA em °C: NÚMERO DO TERMÔMETRO x HORA DO DIA							
Nº/local	06:00h	09:00h	12:00h	15:00h	18:00h	21:00h	24:00h
1 - 'A'	18,7	19,1	26	27,9	26,5	24,4	22,5
2 - 'A'	15,3	18	24,6	28	21,7	18,3	17,8
3 - 'B'	19	19,9	26,1	28,3	27,2	24,6	22,8
4 - 'B'	15,4	18,6	24,6	28,2	24,3	18,5	17,8
5 - 'C'	19,2	19,9	25,2	27,1	26,4	24,6	22,6
6 - 'C'	15,9	18,2	23,2	25	21,8	18,7	18,2







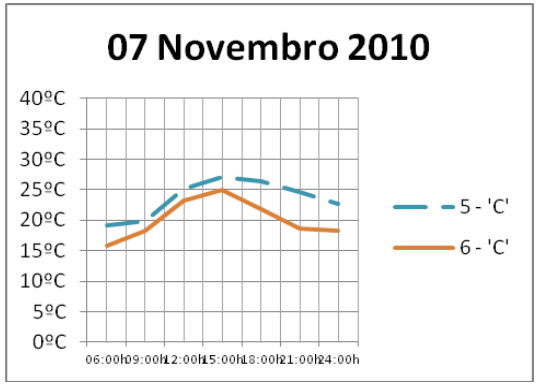
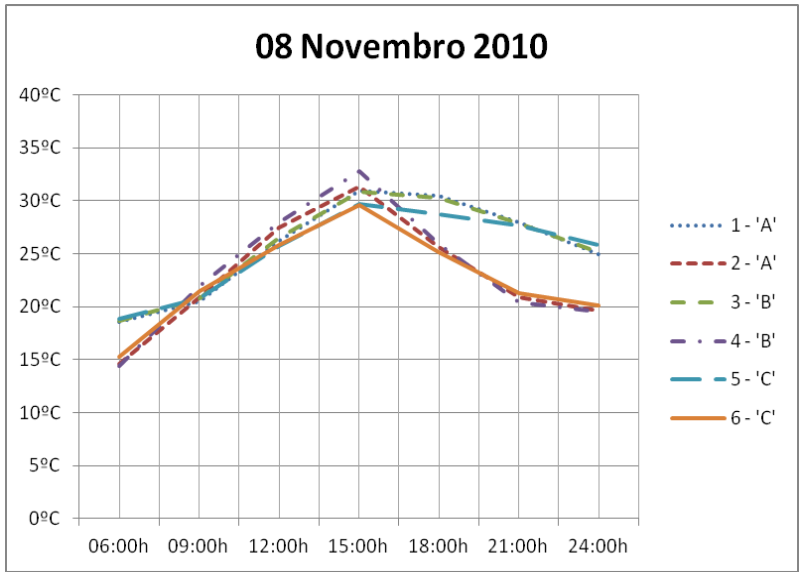
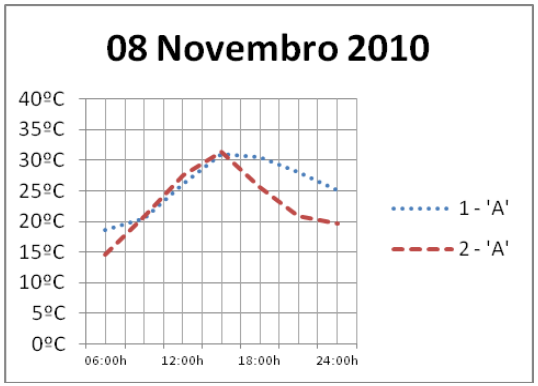
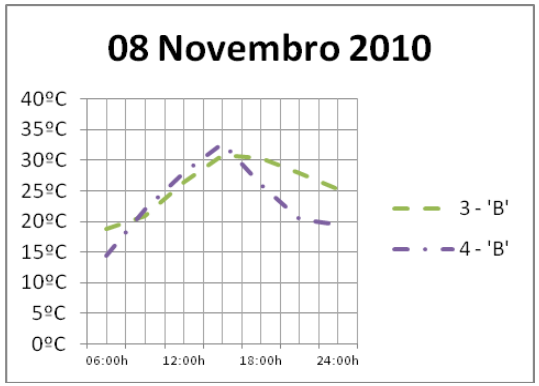


Tabela 4.4: Data 07 de Novembro de 2010

MEDIÇÕES DE TEMPERATURA REALIZADAS							
DATA	**08/nov/10**			ESTAÇÃO		PRIMAVERA	
Dados CPTEC - CENTRO DE PREVISÃO DO TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS/CURITIBA							
TEMPERATURA	21°C	SENSAÇÃO TÉRMICA				24°C	
UMIDADE RELATIVA	64%	DIREÇÃO E INTENS. DO VENTO			ND - 3Km/h		
CONDIÇÃO DO TEMPO		Predomínio de Sol		HORA	09:00h		
MEDIÇÃO REALIZADA em °C: TEMPERATURAS MÁXIMAS E MÍNIMAS							
TEMP. MÁXIMA INTERNA		31,5°C	TEMP. MÍNIMA INTERNA		18,5°C		
TEMP. MÁXIMA EXTERNA		32°C	TEMP. MÍNIMA EXTERNA		14,5°C		
MEDICÃO REALIZADA em ºC: NÚMERO DO TERMÔMETRO x HORA DO DIA							
Nº/local	06:00h	09:00h	12:00h	15:00h	18:00h	21:00h	24:00h
1 - 'A'	18,6	20,5	26,2	31	30,5	28	25
2 - 'A'	14,6	20,9	27,5	31,4	25,6	20,9	19,6
3 - 'B'	18,7	20,8	26,5	30,9	30,3	27,9	25,2
4 - 'B'	14,4	22	28	32,8	25,9	20,4	19,5
5 - 'C'	18,9	20,8	25,7	29,7	28,7	27,7	25,8
6 - 'C'	15,3	21,5	25,8	29,6	25,2	21,3	20,1







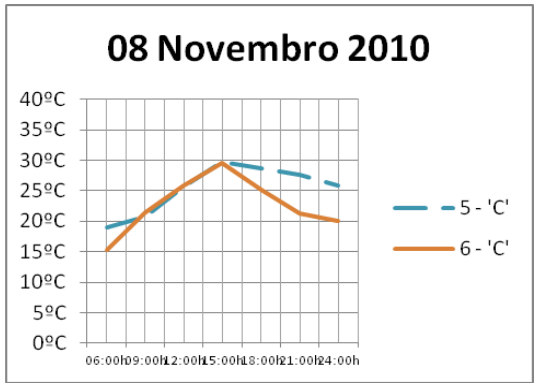
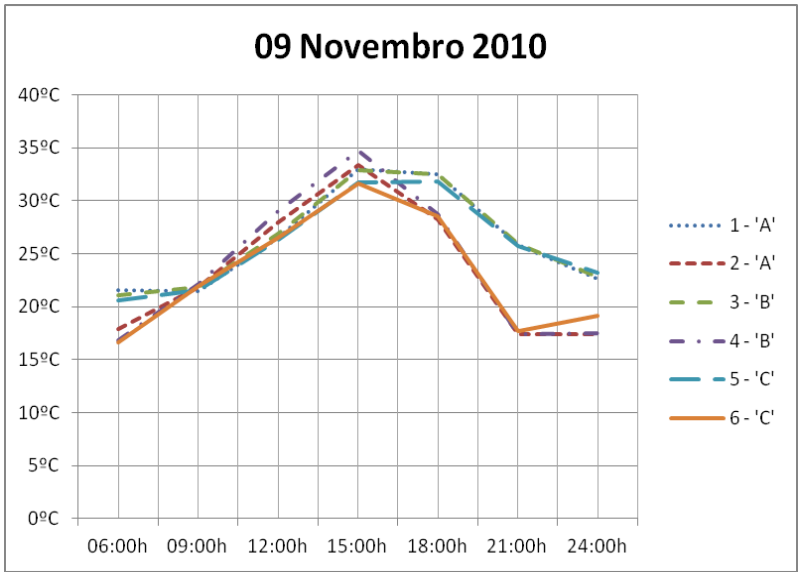
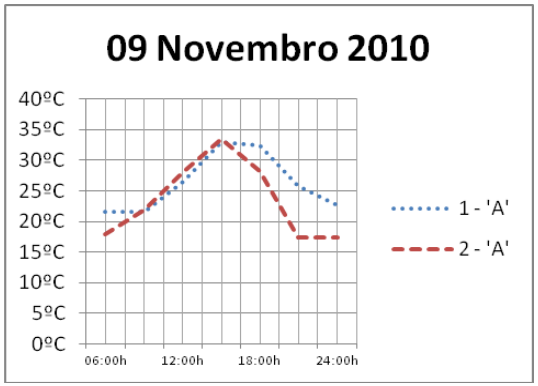
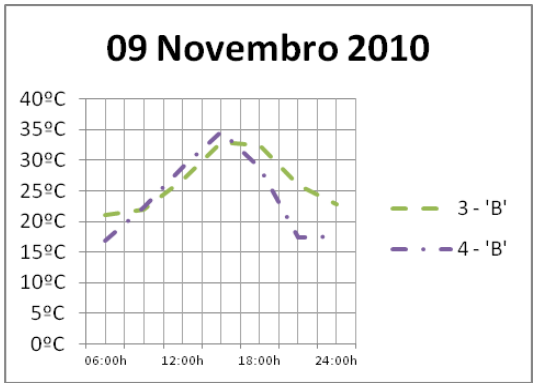


Tabela 4.5: Data 08 de Novembro de 2010

MEDIÇÕES DE TEMPERATURA REALIZADAS							
DATA	**09/nov/10**			ESTAÇÃO		PRIMAVERA	
Dados CPTEC - CENTRO DE PREVISÃO DO TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS/CURITIBA							
TEMPERATURA	16°C	SENSAÇÃO TÉRMICA					16°C
UMIDADE RELATIVA	100%	DIREÇÃO E INTENS. DO VENTO					E - 3Km/h
CONDIÇÃO DO TEMPO		Pred. Sol+chuva com trovoada			HORA		06:00h
MEDIÇÃO REALIZADA em °C: TEMPERATURAS MÁXIMAS E MÍNIMAS							
TEMP. MÁXIMA INTERNA		35°C	TEMP. MÍNIMA INTERNA				20°C
TEMP. MÁXIMA EXTERNA		34°C	TEMP. MÍNIMA EXTERNA				16,5°C
MEDICÃO REALIZADA em ºC: NÚMERO DO TERMÔMETRO x HORA DO DIA							
Nº/local	06:00h	09:00h	12:00h	15:00h	18:00h	21:00h	24:00h
1 - 'A'	21,6	21,5	26,5	33	32,5	25,8	22,6
2 - 'A'	17,9	21,9	28	33,4	28,3	17,4	17,4
3 - 'B'	21,1	21,9	26,9	32,9	32,5	25,9	22,8
4 - 'B'	16,8	22,2	29	34,7	28,7	17,4	17,5
5 - 'C'	20,6	21,6	26,3	31,7	31,8	25,7	23,2
6 - 'C'	16,6	22	26,5	31,6	28,5	17,7	19,2







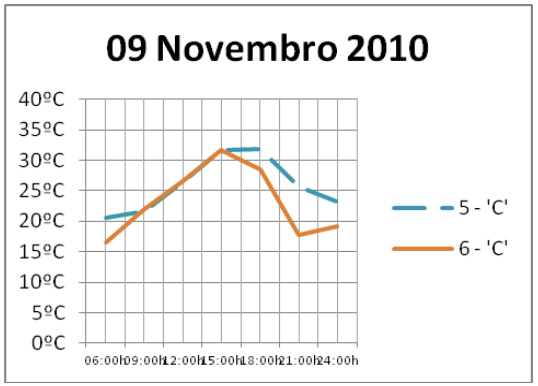
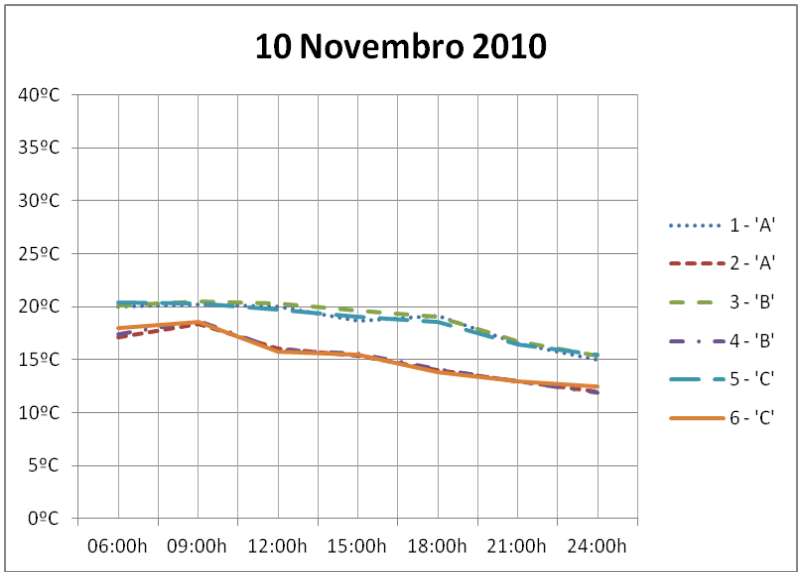
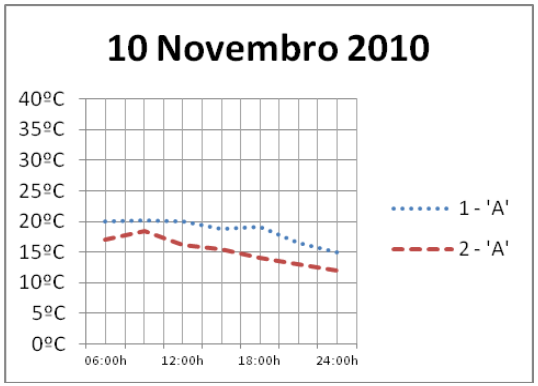
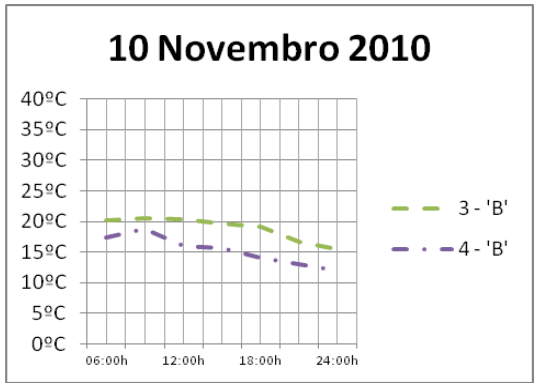


Tabela 4.6: Data 09 de Novembro de 2010

MEDIÇÕES DE TEMPERATURA REALIZADAS							
DATA	**10/nov/10**			ESTAÇÃO		PRIMAVERA	
Dados CPTEC - CENTRO DE PREVISÃO DO TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS/CURITIBA							
TEMPERATURA	16°C	SENSAÇÃO TÉRMICA				12°C	
UMIDADE RELATIVA	87%	DIREÇÃO E INTENS. DO VENTO				E - 18Km/h	
CONDIÇÃO DO TEMPO		Chuvisco o dia todo			HORA	14:00h	
MEDIÇÃO REALIZADA em °C: TEMPERATURAS MÁXIMAS E MÍNIMAS							
TEMP. MÁXIMA INTERNA		20,5°C	TEMP. MÍNIMA INTERNA			14°C	
TEMP. MÁXIMA EXTERNA		20,5°C	TEMP. MÍNIMA EXTERNA			10°C	
MEDICÃO REALIZADA em °C: NÚMERO DO TERMÔMETRO x HORA DO DIA							
Nº/local	06:00h	09:00h	12:00h	15:00h	18:00h	21:00h	24:00h
1 - 'A'	20	20,2	20	18,7	19,2	16,5	15
2 - 'A'	17,1	18,4	16,1	15,4	14	13	12
3 - 'B'	20,1	20,5	20,3	19,6	19,1	16,7	15,4
4 - 'B'	17,4	18,7	16	15,6	14,1	13	11,9
5 - 'C'	20,4	20,3	19,7	19,1	18,6	16,4	15,5
6 - 'C'	18	18,6	15,8	15,5	13,8	13	12,5







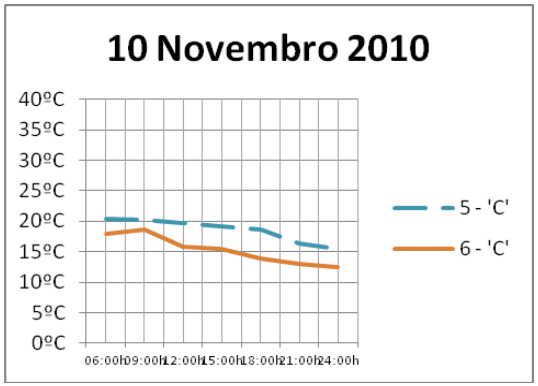
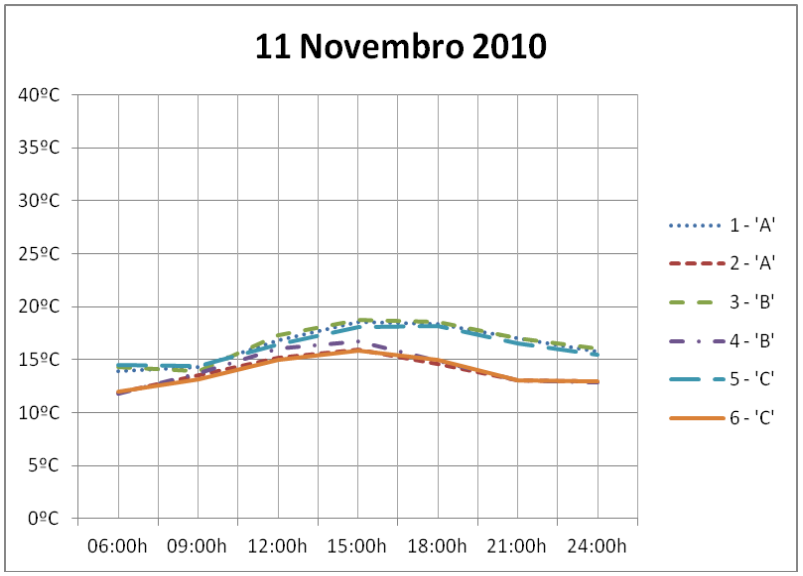
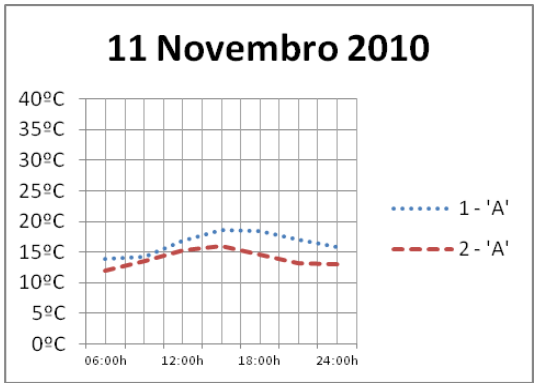
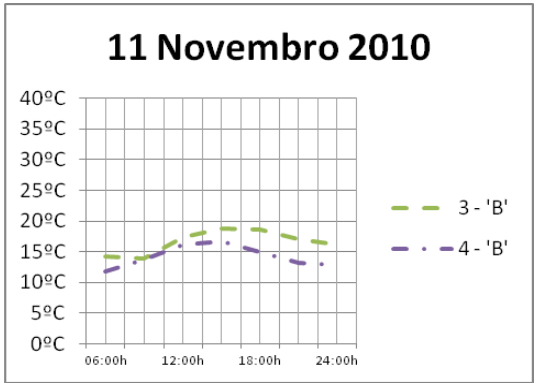


Tabela 4.7: Data 10 de Novembro de 2010

MEDIÇÕES DE TEMPERATURA REALIZADAS						
DATA	**11/nov/10**			ESTAÇÃO	PRIMAVERA	
Dados CPTEC - CENTRO DE PREVISÃO DO TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS/CURITIBA						
TEMPERATURA	13°C	SENSAÇÃO TÉRMICA				12°C
UMIDADE RELATIVA	88%	DIREÇÃO E INTENS. DO VENTO			E - 19Km/h	
CONDIÇÃO DO TEMPO		Encoberto + Chuvisco dia todo		HORA	09:00h	
MEDIÇÃO REALIZADA em °C: TEMPERATURAS MÁXIMAS E MÍNIMAS						
TEMP. MÁXIMA INTERNA		19°C	TEMP. MÍNIMA INTERNA			13°C
TEMP. MÁXIMA EXTERNA		18°C	TEMP. MÍNIMA EXTERNA			09°C
MEDICÃO REALIZADA em °C: NÚMERO DO TERMÔMETRO x HORA DO DIA						
Nº/local	06:00h	09:00h	12:00h	15:00h	18:00h	21:00h	24:00h
1 - 'A'	13,9	14,3	16,8	18,6	18,4	17	15,8
2 - 'A'	11,9	13,5	15,2	16	14,6	13,1	13
3 - 'B'	14,3	13,9	17,3	18,8	18,6	17	16,1
4 - 'B'	11,8	13,7	16,1	16,7	14,9	13,1	12,9
5 - 'C'	14,5	14,4	16,4	18,1	18,2	16,5	15,5
6 - 'C'	12	13,2	15	15,9	15	13,1	13







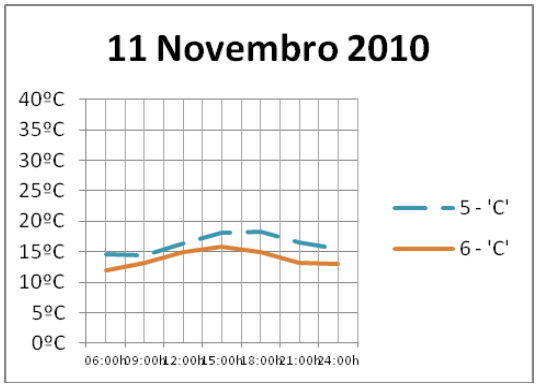
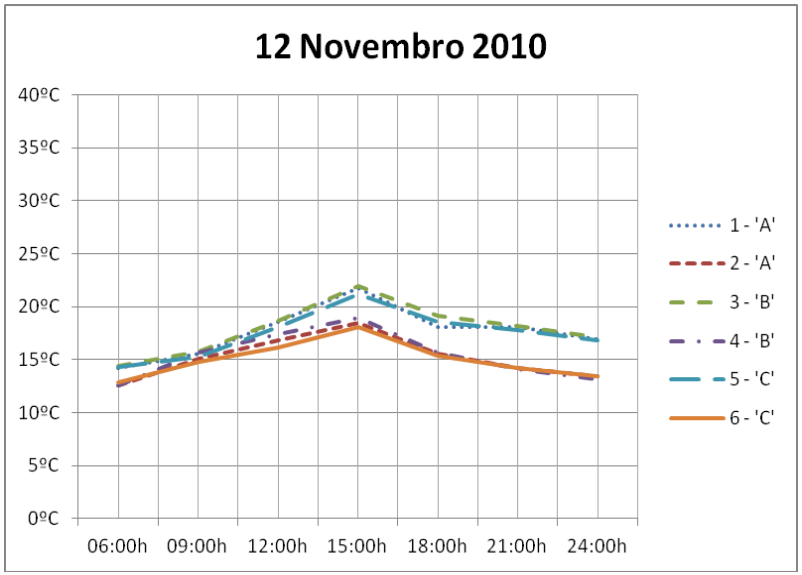
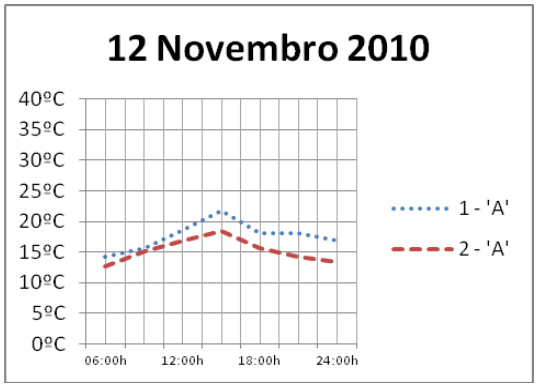
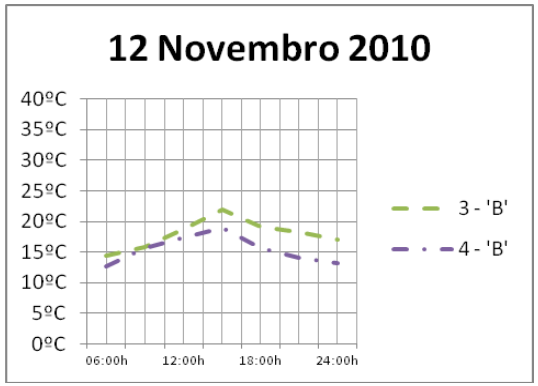


Tabela 4.8: Data 11 de Novembro de 2010

MEDIÇÕES DE TEMPERATURA REALIZADAS							
DATA	**12/nov/10**			ESTAÇÃO		PRIMAVERA	
Dados CPTEC - CENTRO DE PREVISÃO DO TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS/CURITIBA							
TEMPERATURA	15°C	SENSAÇÃO TÉRMICA				11°C	
UMIDADE RELATIVA	87%	DIREÇÃO E INTENS. DO VENTO				SE - 16Km/h	
CONDIÇÃO DO TEMPO		Encoberto			HORA	17:00h	
MEDIÇÃO REALIZADA em °C: TEMPERATURAS MÁXIMAS E MÍNIMAS							
TEMP. MÁXIMA INTERNA		22°C	TEMP. MÍNIMA INTERNA			11°C	
TEMP. MÁXIMA EXTERNA		18°C	TEMP. MÍNIMA EXTERNA			09°C	
MEDICÃO REALIZADA em °C: NÚMERO DO TERMÔMETRO x HORA DO DIA							
Nº/local	06:00h	09:00h	12:00h	15:00h	18:00h	21:00h	24:00h
1 - 'A'	14,2	15,6	18,6	21,8	18,1	18,1	16,9
2 - 'A'	12,6	15,1	16,8	18,5	15,6	14,2	13,4
3 - 'B'	14,4	15,8	18,7	22	19,2	18,2	17,1
4 - 'B'	12,6	15,7	17,4	19	15,7	14,1	13,2
5 - 'C'	14,3	15,3	18,1	21,2	18,6	17,8	16,8
6 - 'C'	12,9	14,8	16,2	18,1	15,4	14,2	13,4







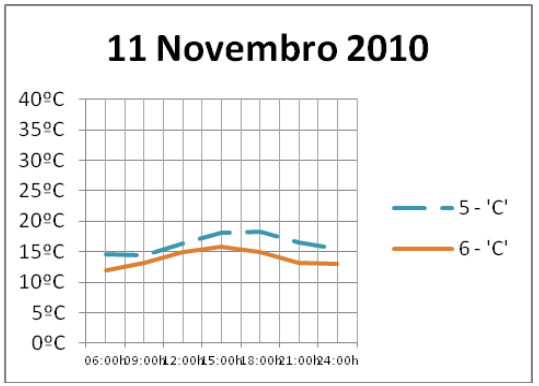
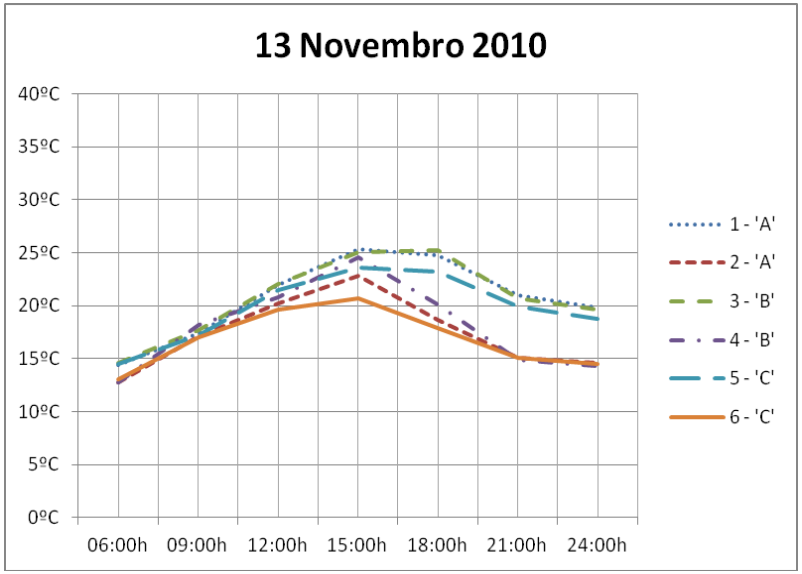
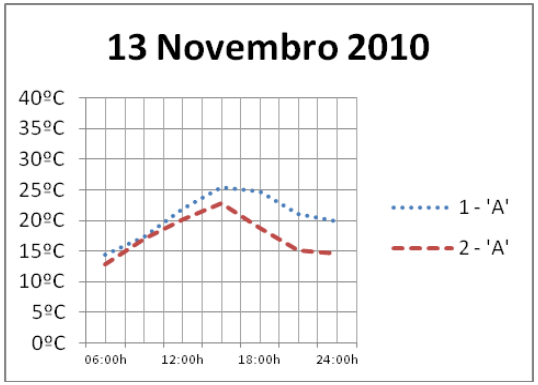
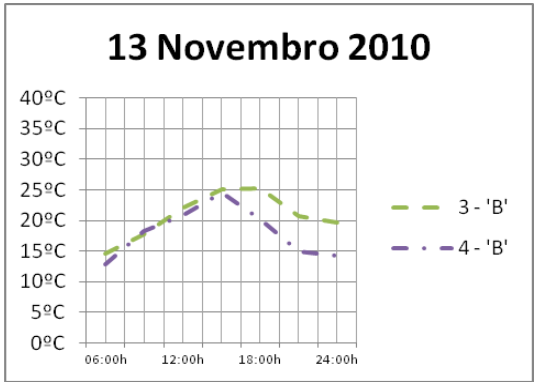


Tabela 4.9: Data 12 de Novembro de 2010

MEDIÇÕES DE TEMPERATURA REALIZADAS							
DATA	**13/nov/10**			ESTAÇÃO		PRIMAVERA	
Dados CPTEC - CENTRO DE PREVISÃO DO TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS/CURITIBA							
TEMPERATURA	1°ºC	SENSAÇÃO TÉRMICA				11°C	
UMIDADE RELATIVA	77%	DIREÇÃO E INTENS. DO VENTO				E - 25Km/h	
CONDIÇÃO DO TEMPO		Nublado			HORA	17:30h	
MEDIÇÃO REALIZADA em °C: TEMPERATURAS MÁXIMAS E MÍNIMAS							
TEMP. MÁXIMA INTERNA		26°C	TEMP. MÍNIMA INTERNA			14°C	
TEMP. MÁXIMA EXTERNA		27°C	TEMP. MÍNIMA EXTERNA			11°C	
MEDICÃO REALIZADA em °C: NÚMERO DO TERMÔMETRO x HORA DO DIA							
Nº/local	06:00h	09:00h	12:00h	15:00h	18:00h	21:00h	24:00h
1 - 'A'	14,4	17,4	22	25,4	24,8	21	19,8
2 - 'A'	12,8	17,1	20,2	22,8	18,7	15,1	14,6
3 - 'B'	14,6	17,7	22,1	25,1	25,3	20,7	19,6
4 - 'B'	12,8	18,2	20,8	24,6	20,1	14,9	14,3
5 - 'C'	14,5	17,2	21,5	23,6	23,2	19,9	18,8
6 - 'C'	13,1	17	19,6	20,7	17,9	15,1	14,5







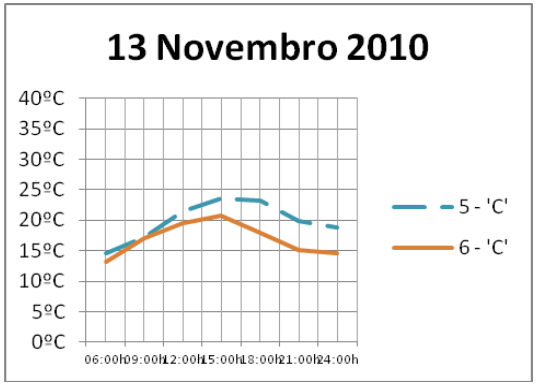


Tabela 4.10: Data 13 de Novembro de 2010

Todas as tabelas tiveram, quando relevantes, comentários resumidos em ‘A’, ‘B’ ou ‘C’. Tais comentários avaliam as ocorrências na data considerada e embasam as análises posteriores.

Para exemplificar, no dia 04 de Novembro de 2010, os comentários estendidos foram estes:

> .em ‘A’, a temperatura interna 1 inicia 3°C acima da temperatura externa 2, indicando que o vagão está mais quente logo no começo do dia (06:00h), porém, a noite foi agradável e sem baixas temperaturas. Às 09:00h as temperaturas são praticamente iguais interna e externamente. Ao meio dia, a temperatura no interior está apenas 1,1°C abaixo da temperatura externa e, às 15:00h, a temperatura interna ultrapassa a externa em 0.9°C. Às 18:00h a temperatura interna permanece próxima da medição de 15:00h, enquanto externamente já diminuiu em 3,7°C; o mesmo ocorrendo às 21:00h quando internamente mediu-se 29°C e externamente 21,8°C, uma diferença a maior de mais de 7°C. À meia noite, esta diferença cai para apenas 6,5°C. Observe-se que à noite as portas de acesso permanecem fechadas.
>
> .em ‘B’ ocorre que a temperatura externa ultrapassa as mesmas medidas em ‘A’ depois do meio dia, pela incidência solar, e mantendo-se assim até o final da tarde. Já à noite, as temperaturas externas em ‘A’ e ‘B’ são praticamente iguais. As temperaturas internas em ‘A’ e em ‘B’ são muito próximas o dia todo.
>
> .em ‘C’ nota-se que a temperatura externa é a que mais se mantém alta em relação às demais, possivelmente devido à proximidade do vagão com a empena/muro de divisa do vizinho e, por não sofrer tanto a ação dos ventos. Notamos também que, esta condição de maior temperatura mantém-se até pela manhã, influenciando na temperatura interna a maior, da mesma maneira. Porém, durante o transcorrer do dia as temperaturas internas são as mais baixas registradas.
>
> .nota-se que o ‘pico de calor’ ocorre às 15:00h; nota-se também que, as linhas dos pontos internos 1, 3 e 5 iniciam e terminam com proximidade de valores; assim como as linhas dos pontos externos 2, 4 e 6 tendo em 3 ‘B’ (interior) o ápice de calor às 15:00h devido incidência solar.

4.1.3. Análise dos resultados

Em relação às Medições de Temperatura, realizadas ‘in loco’ interna e externamente, podemos constatar facilmente, através da observação visual dos gráficos e tabelas expostos no Capítulo 4, que as temperaturas internas no vagão-moradia apresentam praticamente os mesmos valores externos medidos, sendo ainda mais elevadas nos dias quentes e possivelmente mais baixas nos dias frios. Nas primeiras horas do dia, o calor ainda é mais elevado que as temperaturas externas. No período aproximado das 09:00h da manhã elas tendem a igualar-se. O calor interno tende a permanecer após o horário de pico (entre 15:00 e 16:00h) até depois da meia-noite.

Nos dias mais frios da experiência, 10 e 11 de Novembro, as temperaturas chegam a igualar-se antes do horário de pico. Infelizmente, na época da experiência não ocorreram dias ainda mais frios. Porém, estes dois dias com temperaturas amenas já puderam servir de parâmetro acerca do comportamento térmico do vagão.

As temperaturas internas são diferentes nos pontos 'A', 'B' e 'C', em virtude da maior ou menor taxa de insolação recebida no decorrer do dia, e ainda devido à ação dos ventos.

Finalmente, podemos constatar que o vagão-moradia quase não possui inércia térmica, acompanhando as variações de temperatura praticamente ao mesmo tempo em que elas ocorrem. Nos dias quentes, o objeto mantêm o calor interno acima da temperatura externa, variando em aproximadamente 5°C a mais (fator agravado pelo fechamento das esquadrias depois de certo horário). Quando a temperatura externa diminui à noite, as internas tendem a se igualar. O mesmo ocorre durante os dias frios.

Os materiais constituintes dos fechamentos do vagão, basicamente ferro e vidro, caracterizam-se por um alto índice de condutibilidade térmica, conferindo ao objeto vagão-moradia o caráter de uma 'casca' envoltória que não abriga dos desconfortos higrotérmicos e variações climáticas externas, como proteção contra chuvas e ventos internos. A direção predominante dos ventos, aliada à forma longilínea do vagão, sua situação no terreno e tipologia de aberturas (porta frontal e porta dos fundos, janelas no sentido do comprimento e respiros superiores no teto), conferem ao objeto um aspecto de 'flauta'. Isso pode acarretar tanto resultados positivos (nos dias quentes quando e enquanto as esquadrias podem ser abertas) como resultados negativos nos dias frios (quando as esquadrias devem ser abertas para ventilação higiênica e não concentração de umidade no interior).

Em relação às Medições de Insolação, demonstradas nas cartas solares e confrontadas com as sombras projetadas pelas perspectivas do estudo de caso modelado no programa '*Sketh-Up'*, constatamos que a posição do vagão no terreno, excluindo-se os motivos e intenções que causaram tal implantação, não propicia o aproveitamento do calor do Sol. Isso ocorre simplesmente por que esta posição não garante os efeitos da orientação Norte. Estudando todas as simulações nos dias mais críticos de todas as estações climáticas, ainda assim, podemos constatar que a posição escolhida do vagão-moradia não garante também os benefícios que podem ser usufruídos seletivamente pela insolação no verão e no inverno.

A implantação do objeto do terreno agrava consideravelmente o desconforto higrotérmico interno, visto que, no verão, ocasiona o recebimento de insolação direta nos fechamentos do objeto, principalmente no teto (o Sol é mais alto nesta época do ano) quase que o dia todo, desde o nascente até o poente. Esta posição contraria o pressuposto de que a empena lateral do vizinho poderia contribuir para amenizar as temperaturas internas através de sombra projetada.

Já no inverno, as condições também se agravam. O Sol, estando mais baixo e os dias sendo mais curtos nessa época do ano, somados à sombra projetada da empena da construção vizinha, ocasionam pouquíssima insolação no objeto.

Por outro lado, no outono e na primavera, a insolação recebida e as sombras projetadas são muito parecidas. Nessas épocas do ano, também fica visível que a insolação incidente no objeto poderia ser melhorada, pois como está os horários em que a insolação incide no objeto não são os mais favoráveis.

Comparando-se todos os resultados obtidos, os das Medições de Temperatura, das Cartas Solares e da Medição de Insolação, concluímos que, o vagão-moradia, basicamente constituído por chapa de aço (carcaça, portas e venezianas das janelas) e vidro (janelas), apresenta 'alto índice de condutibilidade térmica' que, associado à sua pouca espessura, resulta em baixa inércia térmica. Esta inércia térmica permite a brusca troca de calor, ocasionando baixas temperaturas internas durante o inverno, principalmente à noite, e altas temperaturas internas no verão, principalmente de dia. O vento, associado ao formato do vagão, fluxo aerodinâmico e posicionamento em relação às direções dominantes, altera a condutibilidade térmica superficial dos materiais de fechamento; dependendo do período do ano esta variação pode ser benéfica, ou não. Como a posição escolhida para o vagão buscou a sombra do muro para bloquear a incidência direta da radiação solar no verão, para ambas as estações inverno e verão, esta estratégia tornou-se inapropriada, conduzindo à necessidade de soluções de conforto durante o ano.

Ou seja, o objeto vagão submete seus usuários à microclimas internos, impróprios para as diversas atividades, tanto residenciais quanto de trabalho. Ademais, o interior é confrontado com o paradoxo exterior/ar livre, no qual, salvo nos horários de chuva, uma passagem de frente polar, ausência de sombra ou outras intempéries mais agressivas, torna-o mais confortável.

Resumindo, o objeto com suas características de 'casca', tanto está mal posicionado no terreno quanto não possui materiais de fechamento com propriedades intrínsecas apropriadas ao conforto higrotérmico para a Cidade de Curitiba. Para a adequação ambiental faz-se necessária a correção dos problemas diagnosticados, podendo resultar efetivamente no conforto higrotérmico do usuário.

4.2. Avaliação de Conforto Acústico

4.2.1. Resultado das medições

A Tabela 4.11 apresenta os dados obtidos em campo, durante e nos intervalos da passagem do comboio, a diferença contabilizada entre estas medições e os níveis máximos permitidos pela Lei 10.625/2002, para os diferentes períodos do dia. Em azul visualiza-se o valor medido; em vermelho, a diferença entre o valor medido e o nível permitido pela legislação para a ZR3 (Zona Residencial 3) onde o caso em estudo se encontra.

Pontos de Medição		Diurno – 55 dB(A)		Vespertino – 50 dB(A)		Noturno – 45 dB(A)		Apito ou Silvo
		Com trem	Sem trem	Com trem	Sem trem	Com trem	Sem trem	
A	**Valor medido**	78	55	75	55	76	45	72
	Diferença	23	Zero	25	05	31	zero	
B	**Valor medido**	85	62	89	60	85	50	78
	Diferença	30	7	39	10	40	5	
C	**Valor medido**	92	59	92	62	92	52	80
	Diferença	37	04	42	12	47	7	
●	**Valor medido**	104	62	104	66	104	54	86
	Diferença	46	07	54	16	59	9	

Tabela 4.11. Relação entre valores medidos e níveis permitidos pela Lei 10.625/2002 para ZR3, em dB (A).

4.2.2. Análise dos resultados

Avaliando os resultados obtidos, considera-se que, apesar da pouca proteção oferecida pelo fechamento (metal + vidro) do vagão-moradia, durante o período diurno e noturno, os valores registrados em 'A' (dentro do vagão) nos intervalos entre a passagem dos comboios, atenderam à legislação. A comparação com os níveis de ruído de fundo recomendados para o interior dos compartimentos (NBR 10152/1987) recomenda que o nível de ruído para conforto acústico no interior do vagão deva estar situado entre 35 e 45 dB(A), considerando os usos como dormitório ou escritório. Já no período vespertino, o limite foi ultrapassado em 5 dB.

No espaço externo, os níveis medidos – considerando o ruído dos trens – são progressivamente atenuados pela distância. A variação dos níveis medidos nos intervalos entre os comboios e os níveis aferidos espelha a contribuição das demais fontes sonoras: vias de tráfego de automóveis, ciclovia e calçadas.

Justamente pelos níveis de pressão sonora serem usualmente estáveis (mesmo quando ultrapassam os níveis permitidos), ao ocorrer a brusca variação do ruído ambiental pela passagem, apito ou silvo do comboio, o desconforto sonoro é agravado, ultrapassando a faculdade de adaptação psicofísica e pondo à prova o organismo humano, causando estresse, distúrbios do sono e do humor.

Em relação aos resultados obtidos nestas medições, realizadas 'in loco' interna e externamente, podemos constatar, através da observação da Tabela 4.11, que as fontes sonoras existentes na área de estudo considerada podem ser divididas, basicamente, em duas:

.as habituais, que alimentam a poluição sonora e configuram um ruído ambiental que pode ser caracterizado como ruído de fundo (este ruído de fundo é configurado continuamente através do tráfego de veículos pesados, do tráfego aeroviário[1], buzinas, sirenes, ruídos mecânicos de construções etc.), contribuindo eventualmente para o desconforto acústico;

.a fonte sonora principal, no caso, a passagem dos comboios e o silvo do trem que passa na linha férrea em frente à área estudada, é que configura um desconforto acústico acentuado.

A direção dos ventos dominantes e a configuração espacial da área (permeabilidade do gradil frontal, topografia, ausência de barreiras, distância da fonte ao receptor) contribuem para a que as ondas sonoras de todas as fontes atinjam o usuário.

Os dados coletados demonstram que, o ruído da passagem dos comboios e apito ou silvo (entre 72 dB e 104 dB) é incômodo, podendo ser classificado como 'barulhento' e 'muito barulhento' de acordo com a Tabela 2.1, exposta no Capítulo 1 - Fundamentação Teórica. Os ruídos de fundo (45 dB até 66 dB) podem ser classificados como 'tranquilos' e 'moderados'. De qualquer maneira, ambos ultrapassam os limites estabelecidos pela Lei Municipal.

Internamente, apesar da fragilidade acústica dos fechamentos em chapa metálica (com baixa massa superficial, que transmite para o interior os ruídos externos produzidos pelo impacto de chuva, granizo e até mesmo pássaros sobre o teto), de o espaço interno ser muito suscetível às ocorrências externas (direção dos ventos dominantes, quantidade de esquadrias, alinhamento de aberturas, formato do objeto e implantação no terreno) além da falta de isolamento adequado das esquadrias[2], o ruído habitual penetra sem registrar valores muito distantes dos estabelecidos por Lei (somente no período vespertino o limite foi ultrapassado em 5 dB).

O sinal sonoro dos cruzamentos e o apito ou silvo têm duração de aproximadamente 1 minuto; estes ruídos, mesmo que de curta duração, configuram as situações mais críticas[3], principalmente à noite. De qualquer maneira, comprova-se que são mais um dos componentes da poluição sonora, porém não os únicos.

Ao observarmos a recomendação da OMS (WHO, 2001), que prescreve que, para a maioria das pessoas, a exposição continuada ao longo de uma vida ao ruído ambiental médio de 70 dB não causará problemas auditivos, e que o ouvido de um adulto pode tolerar um nível de ruído ocasional de até 140dB (sendo que para as crianças esta exposição não deve ultrapassar 120dB), podemos refletir e concluir que, os ruídos habituais resultantes da poluição sonora

[1] Os bairros Hugo Lange e Cabral fazem divisa com o Bairro Bacacheri, que abriga o Aeroporto do Bacacheri, que realiza vôos domésticos para outros estados brasileiros.

[2] O ruído externo penetra através dos vãos de ventilação: 34 janelas sendo 17 ao longo de cada lateral, 8 respiros no teto, 2 portas de acesso (uma em cada ponta do vagão).

[3] A proximidade entre as 48 passagens de nível ocasiona pouco intervalo de tempo entre a finalização de um aviso sonoro, por apito ou silvo, e o início do próximo aviso antes do novo cruzamento.

na área de estudo dependem da sensibilidade auditiva de cada ser humano. Assim, mesmo quando ocasionados pelo comboio e silvo, apesar de realmente barulhentos, podem ser tolerados.

É preciso considerar também que, os usuários acabam se acostumando com a presença do comboio e aos sons altos emitidos. Isso ocorre, provavelmente, porque o nosso cotidiano é pautado habitualmente por diversos mecanismos emissores de som elevado, como I-Pod, MP-3, brinquedos eletrônicos, aparelhos de televisão, micro computador, *play station*, rádios, entre outros.

Associado a isto, o espaço urbano, em geral, apresenta-se extremamente barulhento, com sons oriundos do trânsito, máquinas de construção civil, templos e igrejas, propagandas em carros de som móveis, animais, casas noturnas..., enfim, uma infinidade de ruídos que levam as pessoas à exposição continuada de barulhos indesejáveis, consolidando a poluição sonora urbana (PAZ et ALL, 2005).

De qualquer maneira, além dos dados expostos, é preciso reputar atentamente à antiguidade e historicidade das linhas férreas de Curitiba como contribuintes do desenvolvimento da própria cidade que, pelo seu crescimento, percorreu, atingiu, englobou e atravessou as fronteiras deste circuito antes longínquo, projetado originalmente fora da capacidade de ocasionar danos acústicos aos moradores. Ontem e hoje estes trens ao trafegar em meio à cidade, carregam a inusitada mensagem e a imagem lúdica de um transporte que une gerações através de uma linha fixa entre dois pontos, fazendo parte do imaginário, fazendo parte da realidade.

Concluindo, o objeto vagão, com suas características de 'casca', também em relação ao conforto acústico, possui materiais de fechamento e revestimento interno (metal e vidro principalmente) com 'baixo coeficiente' de absorção acústica e, ainda, possuindo uma forma alongada, com paralelismo a paredes laterais e curvatura interna no teto, são itens que, associados, resultam em um ambiente no qual as reflexões sobre as superfícies internas são significativas para promover o desconforto do usuário. Para a adequação ambiental faz-se necessária a correção dos problemas diagnosticados, com vistas a resultar, efetivamente, no conforto acústico do usuário.

4.3. Diretrizes de projeto para adequação ambiental

> As soluções que ajudarão a propiciar conforto térmico, as que permitirão gozar um conforto visual, e as que criarão um ambiente com conforto acústico, devem tratar-se em conjunto no projeto de arquitetura, que deverá dar uma resposta integrada aos problemas que se apresentarão em cada caso. (CORBELLA & YANNAS, 2003).

É uma premissa *sine qua non*, a necessidade, a urgência e o esforço em se compatibilizar soluções que atendam às diversas áreas do conforto térmico, acústico ou visual, a fim de subsidiar as intervenções e adequações em espaços construídos e projetos. Bem como é muito importante o entendimento no uso das soluções, a fim de que a solução de um desconforto não acarrete no aumento do problema de outro desconforto, ou no desconforto do que era confortável. Em contrapartida, a solução de um desconforto pode, e deve, ser favorável para a solução de outro. A título ilustrativo citamos, por exemplo, o uso de vegetação, obviamente em locais previamente estudados, e que pode atender tanto ao conforto higrotérmico, quanto o acústico e visual.

As soluções ideais de conforto ambiental devem estar de acordo com o clima local, apresentar boa relação custo-benefício e privilegiar o uso de materiais de fácil manutenção e baixo impacto ambiental. Deve-se considerar a melhor implantação, a direção dos ventos e da trajetória solar nas 4 estações climáticas e a posição da edificação em relação às fontes sonoras, suas cores e forma.

No caso de cidades como Curitiba, situadas zona de clima subtropical (no qual tanto o calor quanto o frio apresentam um certo rigor), entende-se que as soluções de conforto térmico devem ser baseadas na avaliação dos dados climáticos locais (umidade relativa do ar, amplitude térmica, pluviosidade e radiação solar nas estações extremas de verão e de inverno). Em resumo, deve-se optar por diretrizes de projeto que:

.Permitam tanto a ventilação cruzada e abundante (verão), quanto a vedação completa das aberturas (inverno);
.Utilizem elementos de sombreamento móveis, para permitir a insolação seletiva de espaços internos (sombreamento no verão e insolação no inverno);
.Utilizem para sombreamento, preferencialmente, e estudadas as orientações, a vegetação caduca (as folhas caem no inverno);
.Evitem que o sombreamento de um edifício e demais elementos (muros, vegetação) acarrete o sombreamento desnecessário em outro;
.Utilizem materiais de fechamento com inércia térmica compatível com a situação climática;
.Planejem as áreas livres buscando evitar tanto o excesso de radiação como a canalização de ventos frios.

Ainda no caso de Curitiba, a capital do país que possui as menores temperaturas médias, ainda deve-se atentar ao fato de que:

.A orientação mais favorável é a Norte;
.O conforto térmico pode ser alcançado através do aproveitamento do calor do Sol em pouco mais de 60% das horas do ano;
.O frio interno exigirá o uso de aquecimento artificial em pouco mais de 10% das horas do ano;
.A umidade relativa do ar é quase sempre alta, com média de 82%.

Em relação aos ruídos urbanos, dados como ‘inevitáveis’ na maioria das vezes, é necessário adotar práticas e instrumentos de traçado urbano e paisagismo que apresentem potencial para reduzir o impacto sonoro no meio urbano.

Como já explicitado, o objetivo específico deste trabalho é avaliar e analisar o conforto térmico e acústico do objeto de estudo (itens já demonstrados), apresentando diretrizes de projeto para sua adequação ambiental, priorizando o uso de materiais e equipamentos de baixo impacto ambiental. E, o objetivo geral, através do alcance do objetivo específico, é subsidiar futuras intervenções para adequação ambiental de vagões e *containers* metálicos, entendendo que tais objetos reciclados possam reduzir o impacto ambiental e a demanda por espaços de moradia.

As diretrizes propostas para este estudo de caso consideraram, além do uso de materiais e equipamentos de baixo impacto ambiental, as características específicas do terreno existente e o diagnóstico apresentado no início deste capítulo. Como premissa de projeto, a autora decidiu não abrir mão das características plásticas e formais originais do vagão e da permeabilidade do fechamento (gradil) frontal do terreno, em função do contato visual e da ventilação que estas soluções permitem. Estas serão chamadas 'Diretrizes de projeto para adequação ambiental do estudo de caso'.

Em relação ao objetivo geral / subsidiar futuras intervenções para adequação ambiental de vagões e containers metálicos, sugerimos as 'Diretrizes de projeto para adequação ambiental de vagões e containers'.

4.3.1. Diretrizes de projeto para adequação ambiental do estudo de caso.

Como acima descrito, as diretrizes principais consideraram:

.Análise de resultados da avaliação de conforto higrotérmico,
.Análise de resultados da avaliação de conforto acústico,
.Uso de materiais e equipamentos de baixo impacto ambiental,
.Manutenção plástica e formal original do vagão,
.Permeabilidade do fechamento (gradil) frontal do terreno em função do contato visual e da ventilação.

A partir das diretrizes principais consideradas, e objetivando as propostas de adequação, foram elaborados os seguintes sub-itens:

.Implantação,
.Arquitetura do Vagão/Materialidade,
.Propostas de Adequação Ambiental:
    .Higrotérmicas,
    .Acústicas.

Estas são as diretrizes preliminares de adequação que, no momento, a autora visualiza para resolver, minimizar ou atenuar os problemas que ora incomodam. Implementá-las em curto prazo, demandaria esforço financeiro e logístico. Tais diretrizes também poderão, e deverão, ter novos gráficos de sombra, a fim de gerar novos parâmetros para análise, e, desta maneira, outras diretrizes complementares.

4.3.1.1. Implantação

Primeiramente, foi constatado que o vagão está 'mal posicionado' no terreno tanto para o conforto higrotérmico quanto para o conforto acústico. A primeira proposta de adequação, portanto, é justamente a correção destes problemas diagnosticados.

Para tanto, vale visualizar novamente a implantação do vagão no terreno. Assim geramos uma imagem aérea no programa *'Sketch-Up',* conforme Figura 4.25 abaixo, configurando justamente o dia e a hora aproximados da imagem disponibilizada pelo site de geo referenciamento *'Google Maps'* em 22 de Maio 2009, às 10:30h, um dia de outono (ver Figura 3.1 no capítulo 3-Métodos e Procedimentos). Por convenção, a orientação Norte é indicada como a parte superior de mapas.

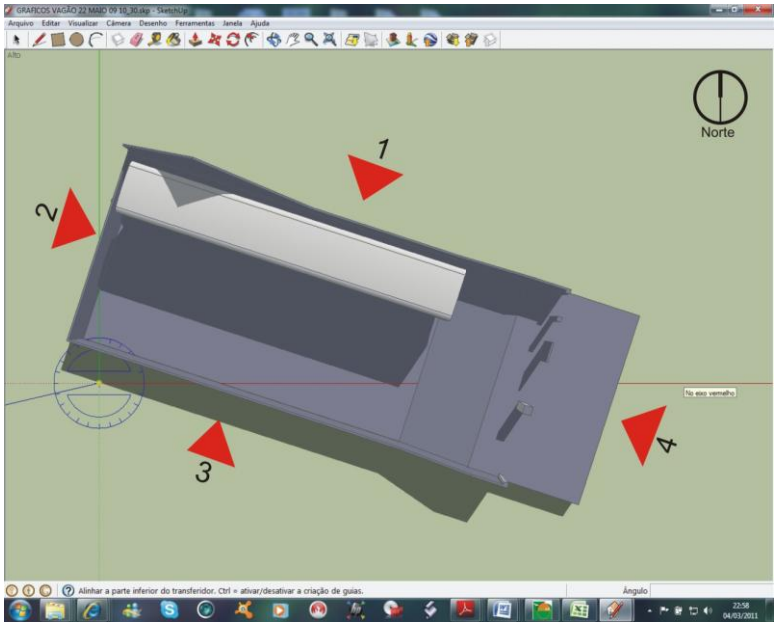


Figura 4.25: Visão aérea da implantação do vagão no terreno.

Independentemente das dificuldades técnicas e financeiras envolvidas na movimentação do vagão, é fácil observar que, se o vagão for removido para a outra lateral do terreno, de maneira paralela à posição atual e assegurando uma distância uniforme de aproximadamente 1,5m até o novo alinhamento, certamente desfrutará de mais insolação na elevação 1 (mais voltada ao quadrante Norte) pela redução da sombra projetada pelo muro/empena). Assim como também, usufruirá os benefícios da insolação no final do dia, na elevação 3, visto que, neste alinhamento, não existem obstáculos à insolação.

Se esta mesma remoção acontecesse paralela ao eixo vermelho, ou seja, com a elevação 1, totalmente voltada para o Norte, as condições de insolação seriam ainda melhores. Porém, em virtude das dimensões do terreno e da forma longilínea do vagão, esta possibilidade, apesar de possível, torna-se menos interessante sob o ponto de vista da utilização de áreas livres.

Tal configuração implicaria na formação de um triângulo no fundo do terreno, dividido em duas áreas livres, além de dificultar o acesso ao interior e, expor as janelas de uma lateral do objeto. Possivelmente também aumentaria a área de exposição às fontes sonoras.

De qualquer maneira, esta é uma possibilidade que pode ser estudada mais acuradamente. As diretrizes propostas a seguir consideram a primeira opção (vagão alinhado com a divisa).

A movimentação do vagão é mais adequada em relação à insolação. Entretanto, no verão, o Sol mais alto continuará incidindo no teto do vagão, e este é um fator a ser resolvido. Com relação à ventilação, a inclinação em relação aos ventos dominantes permanece praticamente a mesma, mas a ampliação da distância do vagão em relação ao novo alinhamento predial (atualmente com 80cm, proposto 1,50m) deverá ser favorável.

4.3.1.2. Arquitetura do vagão / Materialidade

Atualmente um corte transversal esquemático completo do vagão e do terreno é como se observa na Figura 4.26, com detalhes já explicados anteriormente. Na Figura 4.27 vê-se um corte transversal esquemático ampliado.

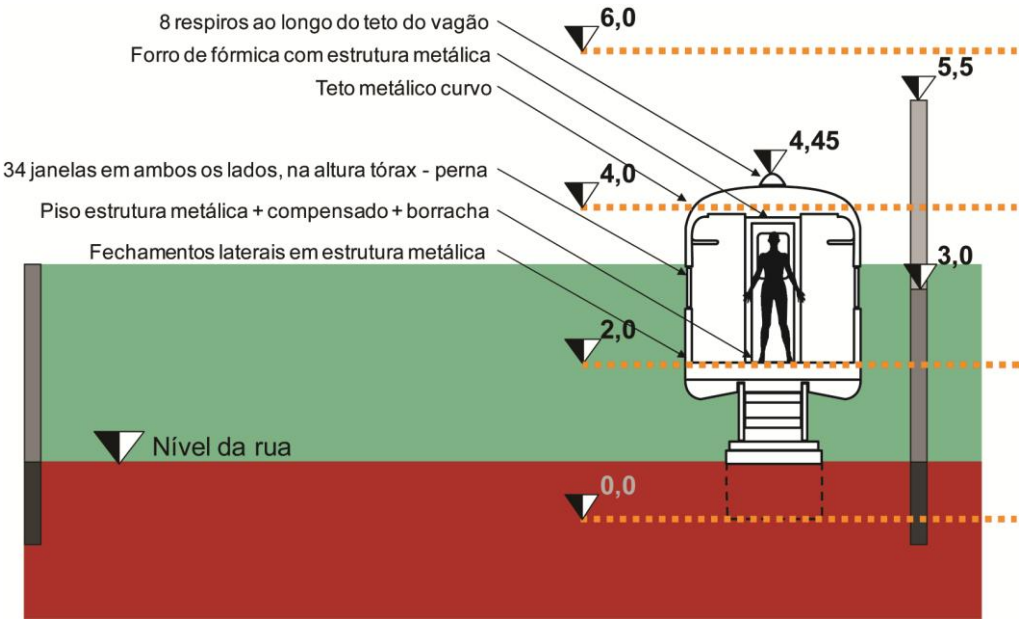


Figura 4.26: Corte transversal esquemático completo do vagão e do terreno atualmente

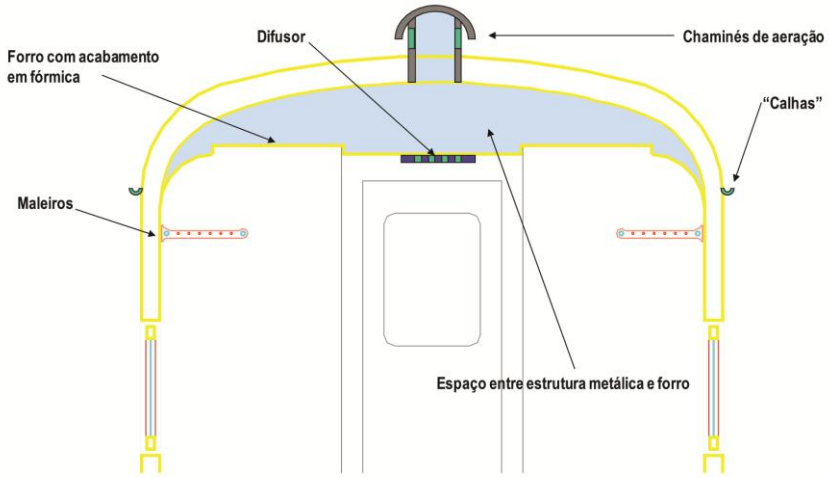


Figura 4.27. Corte transversal esquemático ampliado do vagão.

O teto arredondado é justamente a continuação das paredes metálicas laterais e, nele acontecem, longitudinalmente 8 chaminés de aeração. As paredes possuem aproximadamente 10cm de espessura sendo compostas por chapa metálica no lado exterior, montantes internos metálicos e acabamento melamínico (convencionado fórmica) internamente. O teto possui os montantes internos, também metálicos e, internamente não possui acabamento. Um pouco mais abaixo, existe um forro com acabamento em fórmica que cria um espaço entre a estrutura metálica do teto e forro. Neste espaço acontecem as instalações elétricas e os difusores centrais. A posição de tais difusores coincide com a posição das chaminés de aeração e têm a função de retirar o ar quente acumulado. Porém, este mecanismo provavelmente funcionasse melhor em movimento, de acordo com a função original do vagão. Todas as janelas ao longo de cada elevação longitudinal possuem duas partes móveis tipo guilhotina, vidro e veneziana. Ver figuras 4.28 e 4.29.

Figura 4.28.: Foto dos difusores centrais no forro do vagão

Figura 4.29. Foto das venezianas metálicas das janelas

4.3.1.3. Propostas de Adequação Ambiental

As intervenções propostas para adequação ambiental estão indicadas na Figura 4.30. O critério de escolha dos materiais especificados, assim como suas propriedades térmicas e acústicas, reportam-se aos estudos apresentados no Capítulo 2 – Fundamentação Teórica.

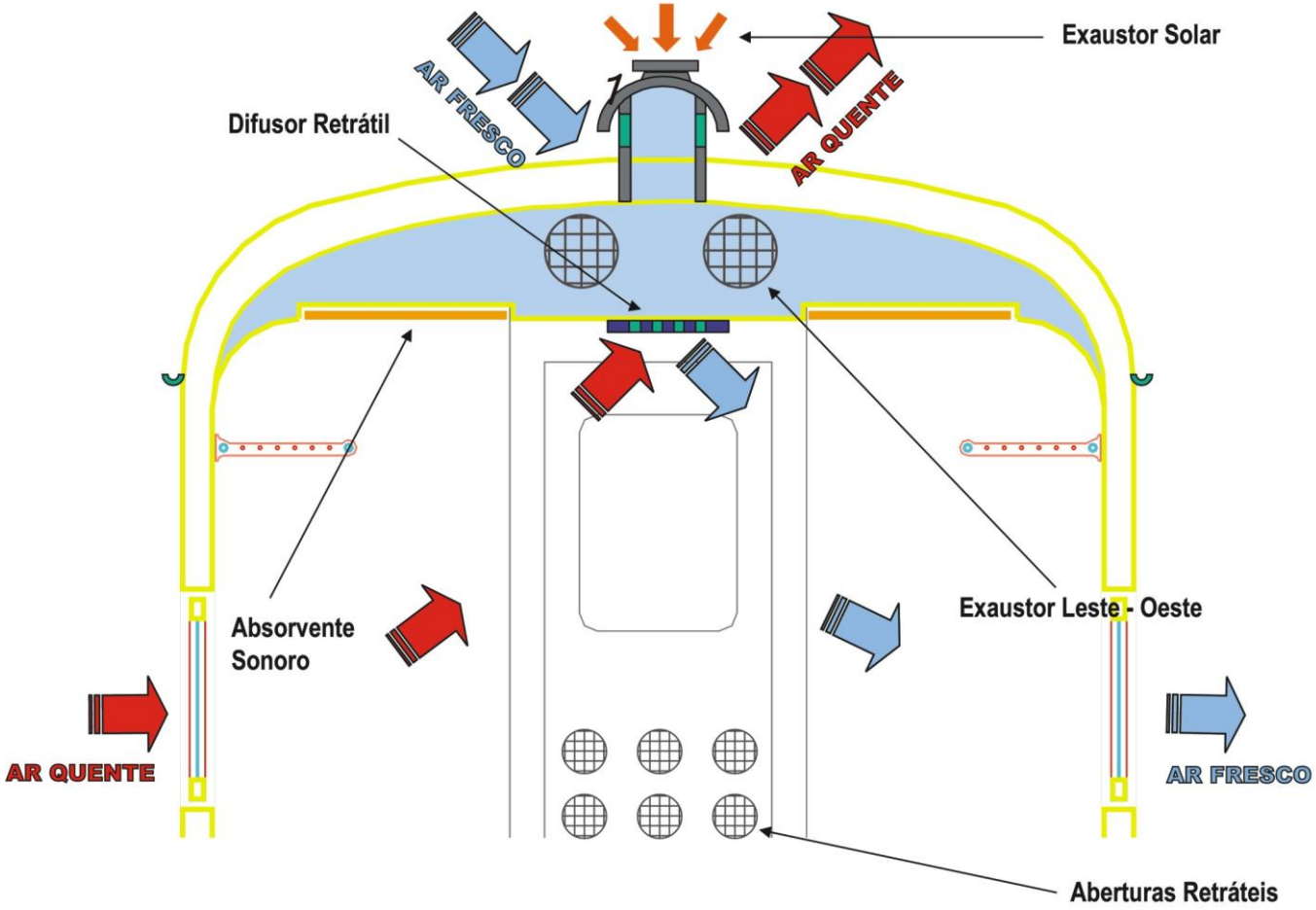


Figura 4.30.: Corte transversal esquemático e parcial proposto para o vagão moradia.

4.3.1.3.1. Propostas de Adequação Higrotérmica

.Remoção do vagão para a outra lateral do terreno, de maneira paralela à posição atual e assegurando uma distância uniforme de aproximadamente 1,5m até o novo alinhamento, conforme já explicitado no item 4.3.1.1 – Implantação.

.Pintar externamente as paredes e o teto com pintura especial em cor clara com o objetivo de amenizar a absorção do calor através da reflexão dos raios solares, que na situação atual é muito elevada em função da cor (verde escuro e das manchas de ferrugem e corrosões na chapa). Considerar a adição de espuma à base de óleo de mamona[4] (LOPES, 2005) para melhorar o desempenho da pintura;

.Instalar exaustores solar[5] na parte superior das chaminés de aeração visando a retirada do ar quente no interior do vagão, nos meses de calor;

.Substituir os difusores atuais por sistema com abertura retrátil. Além de aumentar a vazão para exaustão de quente, também permite a vedação total do sistema nos dias frios;

.Instalar difusores de ar com aberturas retráteis nas faces frontal e dos fundos visando o aproveitamento dos ventos de quadrante leste e sudeste, propiciando que as janelas possam permanecer fechadas em dias de chuva e a ventilação higiênica;

.Instalar difusores de ar com aberturas retráteis nas portas frontais e dos fundos do vagão (abaixo das janelas existentes nas portas). Essa medida visa que as portas não precisem permanecer abertas para a ventilação quando necessária, criando ventilação cruzada (de conforto) na altura do usuário e ainda mantendo a privacidade e a segurança;

4.3.1.3.2. Propostas de Adequação Acústica

.Aplicar material absorvente sonoro nas reentrâncias laterais existentes do forro de fórmica, visando atenuar os efeitos de reverberação interna (resultante da combinação dos fatores forma e revestimento das superfícies com baixo coeficiente de absorção sonora dos materiais de revestimento). Os materiais considerados são: fibra mineral combinadas com lã de PET, ou argamassas à base de resíduos como, por exemplo, casca de arroz (SANTOS, 2005), ou ainda a fibra de coco.

---

[4] A espuma à base de óleo de mamona foi pesquisada em Subcoberturas na Ilha Solteria/SP, em 2009, apresentando excelente desempenho como isolante térmico e contribuindo para reflexão dos raios solares quando adicionado produto na cor branca. É produzida à base de biomassa, um recurso vegetal renovável.

[5] Exautor solar tipo Solar Star, recém chegados no mercado, funcionam através de uma pequena célula fotovoltaica que alimenta a geração de uma pequena ventoinha. O sistema é praticamente todo feito em plástico, é resistente às intempéries e não corrosivo. Foi projetado para exaustão de ar quente contido em áticos e estruturas de telhado.

.Para amortecer a vibração transmitida através dos rodados que sustentam o vagão, será necessário utilizar um material resiliente, como por exemplo, mantas acústicas produzidas a partir dos grânulos de pneu reciclado. O material resiliente deve ser inserido entre os trilhos e os rodados e entre os trilhos e a base de concreto, ambos linhas neutras que absorverão as vibrações isolando as peças metálicas. Ver Figura 4.31.

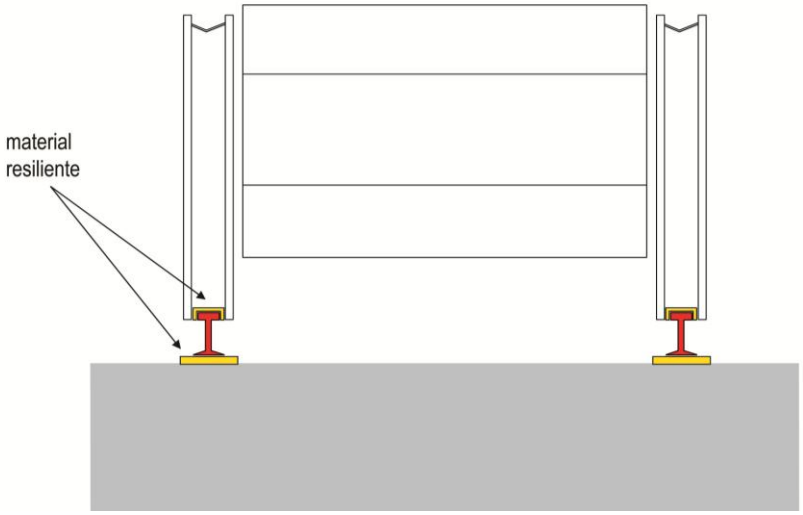


Figura 4.31.: Corte transversal esquemático da base de concreto e rodados metálicos que sustentam o vagão.

4.3.1.3.3. Propostas de Adequação Higrotérmica e Acústica

.Preencher os espaços vazios entre as chapas metálicas e os montantes estruturais, com material que apresente, simultaneamente, bom desempenho térmico e acústico como lã de PET. Em função de suas características físicas a lã de PET permite reforçar o isolamento acústico (sistema 'massa-mola-massa') e melhora as condições do isolamento térmico;

.Revisar a vedação das juntas e gaxetas entre a chapa metálica e o caixilho e entre este e as folhas das janelas, visando a redução do vazamento de ruído e a infiltração de ar frio, no inverno e, ainda para as janelas, trocar os vidros existentes por 'vidro translúcido canelado' para atenuar a radiação;

4.3.2. Diretrizes de projeto para adequação ambiental de vagões e *containers*.

Após todo o exposto neste trabalho, tanto em virtude da demonstração da experiência de habitar o caso e através deste conhecimento adquirido propor uma metodologia de avaliação e análise que pode ser re-aplicada em demais casos e intervenções futuras (até mesmo como efeito comparativo), quanto pelas referências inovadoras positivas exemplificadas (podendo estas ser objeto de novas pesquisas e desdobramentos), crê-se que sim, é possível uma contribuição através do *retrofit* de vagões e *containers* metálicos quando o aproveitamento destas sucatas for realizado preferencialmente através de recomendações ou atitudes de projeto que subsidiem e contribuam para a melhoria do conforto higrotérmico e acústico de tais objetos.

Este trabalho defende que vagões e *containers* podem ser habitáveis de forma permanente desde que algumas exigências de conforto higrotérmico e acústico sejam adaptadas à forma original destes objetos de maneira sutil e com materiais e equipamentos de baixo impacto ambiental, e dentro de procedimentos usuais do pensamento do espaço construído.

Intencionando subsidiar futuras intervenções para adequação ambiental de tais vagões e *containers* metálicos, entendendo que tais objetos reciclados realmente podem reduzir o impacto ambiental e a demanda por espaços de moradia, e levantando a importância de conhecimento técnico aplicado para as decisões de projeto, sugerimos neste trabalho as seguintes diretrizes:

I) Entendimento do objeto como arquitetura: discernir as características e os recursos da forma destas estruturas metálicas

> Temos uma primeira classe de objetos cujo espaço construído se mescla com o próprio meio de locomoção, incluindo aí a classe dos veículos, que podemos considerar como arquitetura após certo limiar de tamanho. Os veículos de natureza capsular limitam-se a oferecer abrigo enquanto transportam de um lado a outro o passageiro, como o automóvel, habitáculos no sentido dado por Bruno Munari (1998). No entanto, os vagões de trem, com quartos e restaurantes, pertencem indiscutivelmente ao reino da arquitetura, no sentido dado por Stout (1991). (PAZ, 2008).

A manutenção da forma original destes objetos, vagões e *containers*, é uma escolha individual do arquiteto. Porém vale lembrar que a manutenção de suas formas confere esbeltez além de memória visual da função primária. Como já citado no Capítulo 2 – Fundamentação teórica, a geometria do formato exterior varia muito pouco, basicamente em relação às aberturas, o que confere flexibilidade de uso interno e padronização da carcaça. Porém tais objetos podem ter limites formais de arranjos entre si, dadas suas condicionantes estruturais, suas dimensões pré-estabelecidas e convencionadas com variações mínimas que não traduzem propriamente a 'versatilidade' de um sistema com vários destes objetos. Peças ou construções distintas adicionadas a estes objetos podem ampliar variações, porém, inversamente a esta lógica, quanto maior o número de 'peças' mais o sistema pode perder a elegância da síntese, esta que justamente é um dos motivos iniciais para o uso de tais objetos: realizar espaços dentro de uma elementaridade. Elementaridade onde reside boa parte da eficiência do manuseio e transporte no caso de funções transitórias, temporárias, portáteis ou móveis.

II) Entendimento da função a ser assumida pelo objeto: correspondência do objeto com as ações que se destina abrigar

O objeto, vagão ou *container*, propiciará um lugar de forma transitória, temporária, portátil ou móvel? Por exemplo: campos de refugiados ou desabrigados de algum desastre natural, ou mesmo casos esporádicos tratados como projetos exóticos e incomuns.

Ou o objeto será fixo com dedicação exclusiva para um lugar?

A resposta das perguntas acima poderá delimitar ou acrescentar soluções, visto que se a função for transitória o objeto poderá ter diferentes soluções e estratégias de conforto em virtude da abertura para outras possibilidades.

III) Entendimento da mobilidade e meio de transporte destes objetos até o local de implantação

Estudar questões operacionais e a logística de transporte destes objetos em virtude da portabilidade e escala dos mesmos e do veículo de transporte propriamente dito, que deverá ser capaz de percorrer sem transtornos uma área urbana, rural ou mesmo natural.

Lembrar que vagões e *containers* são objetos rígidos, sólidos, inteiriços, sem a possibilidade de partição ou compactação, ou seja, são objetos cuja forma passa a depender do meio de transporte, sendo este um problema premente que certamente interferirá no projeto e na forma final da arquitetura. O *container*, obviamente, é uma peça mais portátil, desenhada para uma remoção e transporte mais facilitado.

O exercício deste entendimento e busca de solução é uma ferramenta poderosa que pode organizar casos transitórios ou temporários, móveis ou portáteis, ou, mesmo casos fixos; auxiliando, inclusive, na proposição de novos modelos e logísticas que dependerão intrinsecamente do local de implantação e da função que objeto irá assumir.

IV) Entendimento do lugar

> O lugar é o espaço qualificado: é um espaço que se torna percebido pelo homem por conter significados profundos, geralmente representados por imagens referenciais fortes (CASTELLO, 2005).

Proceder a uma análise de sítio: estudar detalhadamente o espaço onde será inserido o objeto/projeto, entendendo a arquitetura como agente de tridimensionalidade que deverá alterar, melhorar e contribuir positivamente na construção de um lugar em consonância com o homem, este que certamente será influenciado pela nova construção.

Estudar e vivenciar, de uma maneira mais geral, a história local, a cultura, a arte, as tradições, a vegetação, o clima, as áreas livres, os encontros, as essências. E, de uma maneira mais pontual, estudar o zoneamento, a topografia, o entorno, o microclima, os sons, os ruídos e as fontes sonoras, as necessidades do homem e daquele espaço, a fim de ampliar o repertório arquitetural e enriquecer o processo criativo na busca da idealização de um lugar onde o objeto emane não somente um espaço interno como também um espaço externo, ambos valorosos e significantes, que contem uma história e que envolvam este homem.

V) Entendimento do clima local

O estudo do clima local é importantíssimo e influencia o homem e a arquitetura de forma direta.

Na região do empreendimento deverão ser levantados dados estáticos: geografia e relevo, e, dados dinâmicos: temperatura, umidade, ventilação, radiação. Também deverá ser estudada a vegetação local a fim de privilegiar o plantio desta.

Sugere-se levantar e analisar a Carta Bioclimática, a Carta Solar e a Rosa dos Ventos da cidade conforme sua latitude. Esta análise propiciará identificar dados concretos acerca das melhores estratégias de conforto local, insolação local, predominância e intensidade de ventos dominantes (e melhor aproveitamento dos mesmos).

VI) Entendimento da implantação *versus* projeto

Em virtude do entendimento do clima local, sugere-se ter a Carta Solar impressa e proceder com o estudo do período diário de insolação nas fachadas do Estudo Preliminar do Projeto, relacionando-as com as estações climáticas. Da mesma forma em relação à Rosa dos Ventos local, proceder com o estudo da orientação das aberturas em relação à pertinência ou não dos ventos dominantes conforme as estações climáticas.

VII) Entendimento da arquitetura do objeto/materialidade

Levantamento arquitetônico do objeto com levantamento completo dos materiais constituintes da sua arquitetura, dimensões, aberturas, revestimentos, vãos, equipamentos elétricos e hidráulicos etc.

VIII) Adoção de uma metodologia e avaliação de conforto higrotérmico e acústico

Adotar uma metodologia para medição e registro e avaliação de temperatura e níveis de pressão sonora local e no objeto. A metodologia adotada poderá ser a mesma criada e explicitada neste trabalho ou contribuir para novas variações e desdobramentos.

IX) Análise de resultados e diretrizes de adequação

Analisar criteriosamente os resultados obtidos, higrotérmicos e acústicos, comparando as ferramentas utilizadas na metodologia adotada, a fim de concluir o comportamento do objeto/projeto no local de implantação e, desta maneira promover as mudanças necessárias, que poderão ser alvo de novas medições e análises.

É preciso entender o desconforto para promover o conforto.

Como já dito anteriormente, deve-se considerar a melhor implantação, a direção dos ventos e da trajetória solar nas 4 estações climáticas e a posição da edificação em relação às fontes sonoras, suas cores e forma.

Pós projeto final de implantação do objeto, elencar as diretrizes de adequação ambiental, que deverão ser um conjunto de propostas e especificações no projeto arquitetônico que utilizem estratégias de conforto higrotérmico e acústico e que respondam integralmente aos problemas levantados no caso.

X) Determinação de critérios para escolha de materiais e equipamentos

Estabelecer critérios para a especificação técnica dos materiais e equipamentos que farão parte da adequação do objeto (e entorno do mesmo) para o conforto higrotérmico e acústico do lugar.

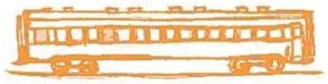
Os critérios sugeridos neste trabalho para escolha de materiais e equipamentos são:

.estudo detalhado das propriedades higrotérmicas e acústicas dos materiais,
.preferência por materiais alternativos e eficientes no desempenho,
.preferência por materiais de fácil manuseio e baixo impacto ambiental,
.boa relação custo-benefício.

XI) Propostas de adequação

Finalmente, após verificação e atendimento dos itens anteriores, sugere-se que as propostas de adequação ambiental atendam aos seguintes itens:

.adoção de soluções acordadas ao clima local,
.adoção de soluções que mantenham a plástica, características e forma original dos vagões e *containers,*
.adoção de soluções que compatibilizem conforto higrotérmico e acústico.



5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

"Pense globalmente e atue localmente."
John Lennon (1984)

5.1. Considerações Finais Técnicas

Desconsiderando os motivos pessoais que levaram a autora a implantar o objeto de estudo de caso próximo à empena de divisa com o vizinho, temos os fatos.

1º. A experiência através do desconforto térmico e acústico mostrou que a decisão de implantação foi um equívoco;

2º. O estudo aprofundado dos motivos do desconforto térmico e acústico demonstrou que a decisão de implantação agravou os problemas e, que os materiais de fechamento do vagão não possuíam desempenho térmico e acústico apropriados;

3º. O estudo aprofundado dos motivos do desconforto térmico e acústico demonstrou a importância de conhecimento técnico aplicado para as decisões de projeto (implantação, orientação, escolha de materiais, utilização de estratégias de conforto etc.) e a necessidade de avaliação e análise do local de projeto (análise de sítio, clima, topografia, insolação, ventilação, fontes sonoras etc.);

4º. O estudo de diretrizes de adequação ambiental apontou as possibilidades de obter melhoria no conforto térmico e acústico através de materiais e equipamentos de baixo impacto ambiental, mantendo as características formais originais do vagão e a permeabilidade da divisa frontal;

5º. O estudo de diretrizes de adequação ambiental enalteceu a necessidade em compatibilizar as soluções de conforto térmico e conforto acústico e, ainda, a possibilidade de integração de estratégias sustentáveis ao projeto visando manutenção do passado e garantia do futuro;

Os objetivos da pesquisa foram atingidos.

O objetivo específico 'avaliar e analisar o conforto térmico e acústico do objeto de estudo', criou uma metodologia de avaliação que pode ser aplicada para futuras intervenções no objeto de caso específico, até mesmo como efeito comparativo, assim como também contribuir e subsidiar outros casos gerais; e culminou nas diretrizes para a adequação ambiental do vagão moradia priorizando o uso de materiais e equipamentos de baixo impacto ambiental.

O objetivo geral, ‘subsidiar futuras intervenções para adequação ambiental de vagões e *containers* metálicos, entendendo que tais objetos reciclados possam reduzir o impacto ambiental e a demanda por espaços de moradia’, se mostrou realizável através de recomendações ou atitudes de projeto que demonstram a possibilidade do *retrofit*, apontando, inclusive, caminhos e desdobramentos.

Como já citado anteriormente, Fritjof Capra (2002) afirma que “as ações humanas decorrem do significado que atribuímos ao ambiente que nos rodeia”.

Sendo assim, este trabalho pode ser o passo inicial para uma prática mais recorrente de *retrofit* para aproveitamento da sucata de vagões e *containers,* com consciência das necessidades de avaliação e análise local e da importância das decisões de projeto para, além de outras considerações, obtenção de conforto térmico e acústico, objetivando o abrigo do homem, no espaço que constrói para sua morada.

5.2.Considerações Finais Poéticas

Um homem precisa viajar.
Por sua conta, não por meio de histórias, imagens, livros ou TV.

Precisa viajar por si, com seus olhos e pés, para entender o que é seu. Para um dia plantar as suas próprias árvores e dar-lhes valor.
Conhecer o frio para desfrutar do calor. E o oposto.
Sentir a distância e o desabrigo para estar bem sob o próprio teto.

Um homem precisa viajar para lugares que não conhece para quebrar essa arrogância que nos faz ver o mundo como o imaginamos,
e não simplesmente como é ou pode ser;
que nos faz professores e doutores do que não vimos,
quando deveríamos ser alunos, e simplesmente ir ver.

Amyr Klink

Algumas pessoas encontram em algum lugar do mundo, seu espaço próprio, incomum, especial e motivador. Estes lugares contam histórias que se confundem com a história destas pessoas. Alguns destes lugares resgatam, no ser humano, seu lado mais sensível, fazendo existir uma indivisível sustentabilidade pessoal-ambiental. Alguns destes lugares possuem uma arquitetura com capacidade de se transformar em *lugar*[1]. Algumas destas 'arquiteturas' podem melhorar a vida das cidades prescrevendo, talvez, um remédio para as enfermidades e patologias do caos urbano. Daí, a idéia de sustentabilidade consideraria também a "insustentável leveza do ser"[2], como prioridade de existência futura.

Aqui o 'lugar' é um terreno em Curitiba no qual foi inserido um vagão de trem metálico com função de moradia e escritório, o 'caso'.

Habitando o 'caso', descobriu-se o desconforto que gerou o 'estudo do caso'.

O 'estudo do caso' gerou esta dissertação de Mestrado, que fundamentou teoricamente a autora e lhe forneceu as ferramentas necessárias para planejar os métodos e procedimentos necessários de análise ambiental para as diretrizes de adequação do 'caso'.

Isso na cidade de Curitiba, desde muito, fazendo sempre juz ao título de capital com as temperaturas médias mais baixas do Brasil.

Durante as buscas, as descobertas. A estratégia de implantação, que não foi prioridade inicial vide a possibilidade de construção de outra morada mais convencional, constatou-se equivocada e agravante. Os materiais de fechamento ineficientes no desempenho. Mas, importantes estudos, análises e avaliações apontaram que as melhorias são possíveis, e, ainda, com materiais e equipamentos de baixo impacto ambiental, com a manutenção da forma esbelta original do vagão e com a permeabilidade das grades frontais, permitindo visão 'aos olhos da rua'.

As diretrizes de adequação ambiental ilustradas, enalteceram a necessidade de compatibilização das soluções e decisões de projetos para o conforto térmico e acústico que tanto se deseja.

O *retrofit,* planejado, é possível. Pode reduzir o impacto ambiental e a demanda por espaços de moradia.

---

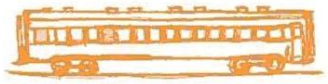
[1] *"Precisamente, a idéia de lugar diferencia-se da de espaço pela presença da experiência. Lugar está relacionado com o processo fenomenológico da percepção e da experiência do mundo por parte do corpo humano"*. Josep Maria Montaner no livro "A Modernidade Superada", de 2001, cap. "Espaço e antiespaço, lugar e não lugar na arquitetura moderna".

[2] Parafraseando e solicitando licença poética à Milan Kundera e o tema de seu livro "A Insustentável Leveza do Ser", de 1983. *"O mais pesado fardo nos esmaga, nos faz dobrar sob ele, nos esmaga contra o chão. Na poesia amorosa de todos os séculos, porém, a mulher deseja receber o peso do corpo masculino. O fardo mais pesado é, portanto, ao mesmo tempo a imagem da mais intensa realização vital. Quanto mais pesado o fardo, mais próxima da terra está nossa vida, e mais ela é real e verdadeira. Por outro lado, a ausência total de fardo faz com que o ser humano se torne mais leve que o ar, com que ele voe, se distancie da terra, do ser terrestre, faz com que ele se torne semi-real, que seus movimentos sejam tão livres quanto insignificantes."* (Capítulo 2).

O *slogan* minimalista de Mies Van der Rohe, “menos é mais”, pode coincidir com as exigências ecologistas e com a cultura e a economia da sustentabilidade: conseguir o máximo rendimento e qualidade de vida com o mínimo sacrifício de recursos e a mínima hipoteca do futuro e o máximo de ciclos de reciclagem; potencializar uma cultura menos consumista e esbanjadora com menos objetos porém melhores, que sejam mais eficazes, leves, imateriais, desmontáveis, multiusos e reutilizáveis.

Além dos limites visíveis da busca que empreende o homem, existe a criatividade e sua inesgotável possibilidade para elaborar propostas, tentando recriar o essencial, economizando meios, simplificando e utilizando o mínimo para conseguir o máximo.

■



6. BIBLIOGRAFIA E REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

6. Bibliografia e Referências bibliográficas

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR-10151 (2000) - **Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade.** ABNT. Rio de Janeiro.

_____. NBR-10152 (1987). **Níveis de ruído para Conforto Acústico**. ABNT. Rio de Janeiro.

_____. NBR-12179 (1992) – **Tratamento acústico em recintos fechados.** ABNT. Rio de Janeiro.

_____. NBR-15575 (2010) – **Desempenho de Edifícios Habitacionais até cinco Pavimentos.** ABNT. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Construção Industrializada. **ABCI**: Manual técnico de caixilhos / janelas. São Paulo: Editora PINI, 1991.

AGUIRRE, Lina de Moraes; OLIVEIRA, Juliano; BRITTO CORREA, Celina; **Habitando o *container*.** Centro Politécnico da Universidade Católica de Pelotas. Pelotas: NUTAU, 2010.

AMORIM, Luiz e LEITÃO, Lucia. (Orgs) A casa, espaço e narrativas. In**: A Casa Nossa de cada dia.** Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2007.

ARNAU, Amo Joaquin. Arquitectura, estética, empírica. Bilbao: Edita Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad Politécnica de Valencia, 1975.

AUGOYARD, Jean-François. **Un outil interdisciplinaire: l'effet sonore.** Grenoble: Annales du **Colloque 'La Qualite Sonore des Espaces Habités'**, 1991.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos***.* 9. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

AZEVEDO, G. **Notas de aula Disciplina Avaliação de Desempenho do Ambiente Construído.** FAP 715, FAU-PROARQ, 2009.

BABISCH, W; ISING, H; GALLACHER, J; SWEETNAN, M; ELWOOD, C. **Traffic noise and cardiovascular risk: the caerphilly and speedwell studies, third phase ¾ 10 ¾ year to follow up.** Arch Environ Health, 1999.

BELOJEVIC, G; JAKOVLEVIC, B. **Subjective reactions for traffic noise with regard to some personality traits**. Environ Int, 1997.

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. São Paulo: Blucher, 2006.

BUSTOS ROMERO, M. A. **Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano**. Brasília: Editora CopyMarket.com, 2000.

BUSTOS ROMERO, M. A. **A arquitetura bioclimática do espaço público**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2007.

CAPRA, F. **As conexões ocultas: ciência para uma vida sustentável**. Tradução Marcelo Brandão Cipolla. São Paulo: Editora Cultrix, 2002.

CARVALHO, J. A. Espaço e Ideais. In: **A Casa Nossa de cada dia** / organizadores Lúcia Leitão e Luiz Amorim. Recife: Ed.: Universitária da UFPE, 2007.

CASTELLO, L. **Repensando o lugar no Projeto Urbano. Variações na Percepção de lugar na Virada do Milênio**. Tese de doutorado. Professor Orientador: Vicente Del Rio. Porto Alegre: UFRGS/PROPAR, 2005.

CEMPRE-Compromisso Empresarial para Reciclagem. **Ficha Técnica 8.** Compromisso empresarial para reciclagem. Disponível em http://www.reciclagem.pcc.usp.br/pneus.htm. Acesso em Janeiro/2011.

CETUR- Centre d'Études des Transports Urbains. **Guide du Bruit des Transportes Terrestres. Prevision des Niveaux Sonores**. França: Ministère de l'Équipement et de L'Amenagement du Territoire, 1980.

CONAMA-Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 258, de 26 de Agosto de 1999.**

CORBELLA, O. & YANNAS, S.**Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos – conforto ambiental**. Rio de Janeiro: Revan, 2003.

CORRÊA, J. A.. Em torno da dinâmica Espaço-Tempo. In: **A Casa Nossa de cada dia** / organizadores Lúcia Leitão e Luiz Amorim. Recife: Ed.Universitária da UFPE, 2007.

COUTINHO, E. **O espaço da arquitetura**. São Paulo: Perspectiva, 1977.

DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Aspectos Climáticos de Curitiba-PR**: uma contribuição para o ensino médio**.** Curitiba: *RA'E O Espaço Geográfico em Análise*, 1999. nº 03, p. 229-253.

DE BOTTON, A. **A arquitetura da felicidade.** Tradução Talita M. Rodrigues. Rio de Janeiro: Rocco, 2007.

DE MASI, Domenico. **O ócio criativo**. Rio de Janeiro: Sextante, 2000.

DELAGE, Bernard. **Les Sonoritées du Passage: La Cité Berryer**. Grenoble: Colloque La Qualite Sonore des Espaces Habitès, 1991.

DRACH, Patricia Regina Chaves. Modelagem Computacional e Simulação Numérica in **Arquitetura Visando Conforto em Ambientes Construídos**. Petrópolis: LNCC, 2007.

ECHAVARRIA, P. M. **Arquitetura Portátil, Envolventes Imprevisíveis**. Barcelona: Ed. Arian Mostaedi, 2008.

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

EVEREST, F. A. **The master handbook of acoustics.** 3 ed. New York: TAB Books, impres. McGraw-Hill, 1994.

FLETCHER,H.; MUNSON, W. A., **Loudness – its definition, measurement and calculations**. J. Acoust. Soc. Am., 1933.

FRAMPTON, Kenneth. **All works by Le Corbusier.** FLC/ADAGP, Paris and DACS, London, 2001.

FRANCISCO, D. P. Danos socioambientais urbanos na cidade de Curitiba in: **Revista Discente Expressões Geográficas**. Florianópolis-SC, N° 01, p. 42-56, Junho, 2005. www.cfh.ufsc.br/~expgeograficas

FREIRE, W. J. **Tecnologias e Materiais Alternativos de Construção.** Campinas, São Paulo: Editora da Unicamp, 2003.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico.** 5ª.Ed. São Paulo: Studio Nobel, 1987.

GARLET, G.; GREVEN, H. A. **Aproveitamento de resíduos de E.V.A. da indústria calçadista na construção civil.** *Anais* do *Workshop* Reciclagem e Reutilização de resíduos como Materiais de Construção Civil. São Paulo: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 1996.

GASPERIN, A de. **A presença do ruído do trem em escolas do entorno da linha férrea na cidade de Curitiba-pr: contribuição para a construção dialética em educação sócio-ambiental.** Dissertação de Mestrado, Setor de Educação, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

GIVONI, B. **Man, Climate and Architecture**. Londres: Apllied Science Publishers Ltd., 1982.

HANSEN, C. H. **Fundamentals of Acoustics**, 2005.

INMETRO/IDEC. **Meio Ambiente e Consumo.** Coleção educação para o consumo responsável. 2002.

IPPUC–Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba. Disponível em: http://ippucnet.ippuc.org.br/Bancodedados/Curitibaemdados/Curitiba_em_dados_Pesquisa.asp., Acessos em 2007, 05/2009 e 07/2010.

IPT/CEMPRE. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado.** São Paulo, 2000.

IST – **Compatibilização dos Projetos de Arquitetura e Acústica em Edifícios** – Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura de Lisboa.

JACOBS, Jane. **A natureza das economias**. São Paulo: Beca Produções, 2001.

KASMIERCZAK, C. S. **Desenvolvimento de componentes para a construção civil a partir de resíduos da indústria calçadista – Metodologia.** *Anais* do *Workshop* Reciclagem e Reutilização de resíduos como Materiais de Construção Civil. São Paulo: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 1996.

KOENINGSBERGER, O., INGERSOLL, T., MAYHEW, A., SZOKOLAY, S.. **Viviendas y Edificios en Zonas Cálidas e Tropicales.** Madrid : Paraninfo, 1977.

LEITÃO, L. Espaço do abrigo? Espaço do afeto! In: DEL RIO, V. (Org). **Projeto do lugar**: **colaboração entre psicologia, arquitetura e urbanismo**. Rio de Janeiro: Contracapa/Proarq-UFRJ, 2002.

LOPES, E. M. L. Desempenho térmico da espuma poliuretana à base de óleo de mamona utilizada em componentes da edificação (subcoberturas) estudo em Ilha Solteira - SP. / Campinas, São Paulo, 2009.

MADAZIO, V. L.; BERNINI, C. I.; SAMORA, P. R.; FERNANDES, P. B. **Avaliação do conforto térmico de uma escola de lata.** Textos do Laboratório de Climatologia e Biogeografia – Departamento de Geografia / FFLCH / USP – São Paulo, 2003.

MALUF, C. S. **Espaço, tempo e lugar**. São Paulo: Revista do Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAU/USP, v. 23, p. 70-83, 2008.

MASCARÓ, L. **Energia na edificação, estratégia para minimizar seu consumo**. São Paulo: Projeto Editores Associados Ltda, 1985.

MASCHKE, C. **Preventive medical limits for chronic traffic noise exposure**. Acústica. Berlin, Germany, 1999.

MAYER, H. Die humanbiometeorologische Bewertung dês Stadtklimas. In: **VDI Bericht Umweltmeteorologie**. Düsseldorf: 1990.

MERLEAU-PONTY, M. **Fenomenologia da Percepção**. São Paulo: Martins Editora, 1994.

MERLIN, P. & CHOAY, F. **Dictionnaire de L' Urbanisme et de L' Amenagement**. Paris: Presses Universitaires de France, 1988.

MONROY, M. M.: **Comportamiento térmico de cerramientos soleados: um modelo de simulación por diferenciais finitas**. Gran Canárias: Universidad de Las Palmas de Gran Canária, Servicio de Publicaciones, Colegio Oficial de Arquitectos de Gran Canarias, Demarcacion de Gran Canaria, 1999.

MONTANER, J.M. **A Modernidade Superada: Arquitetura, Arte e Pensamento do Século XX.** Barcelona: Editorial Gustavo Gilli, 2001.

MONTEIRO, C. A. F. (Org.). **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2003.

MORENO, J. **O futuro das cidades.** São Paulo: Editora SENAC, 2002.

MORIZE, H. **Contribuição ao estudo do clima do Brasil**. Rio de Janeiro:, Ministério da Agricultura, Indústria e Comércio, 1927.

MOSER, Gabriel. **Psicologia ambiental e política ambiental**: estratégias para a construção do futuro. Estudos Psicológicos. Natal: vol.3, nº.1, Universidade René Descartes-Paris V, 1998.

MUNARI, B. **Das coisas nascem coisas.** São Paulo: Ed. Martins Fontes, 1998.

MUNFORD, L. **A cidade na história: suas origens, transformações e perspectivas**. São Paulo: Ed. Martins Fontes, 1982.

NICOL, F. Adaptive Thermal Comfort Standards in the Hot-humid Tropics. In Revista Energy and Buildings, n. 36, pp. 628-637. 2004.

_____. **The Effect of Street Dimensions and Traffic Density on the Noise Level and *Natural* Ventilation Potential in Urban Canyons** In: *Energy and Buildings*, n. 36. 2004.

NIEMEYER, M. L. A. **Ruído urbano e arquitetura em clima tropical úmido** – Dissertação de mestrado. São Paulo: PROARQ- FAU/UFRJ, 1998.

NIEMEYER, M. L. A. **Conforto Acústico e Térmico, em Situação de Verão, em Ambiente Urbano: Uma proposta Metodológica** – Tese de Doutorado. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2007.

_____. Notas de aula. Disciplina 'Conforto Acústico'. Rio de Janeiro: FAT 704, FAU/PROARQ/UFRJ, 2009.

OKE, T. R. **Boundary layer climates**. London: Methuen & Co., 1978.

PAULA, E. V.; MENDONÇA, F. A. **Análise Geográfica do dengue no Paraná e em Curitiba no período 1995-2002**. Curitiba: *Anais do V SBCG*, 2002.

PAZ, D. J. M. **Arquitetura efêmera ou transitória – Esboços de uma caracterização.** Arquitextos, São Paulo, 09.102, Vitruvius, 2008.

PAZ, Octavio. **O Arco e a Lira**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1982. Coleção Logos.

PRADO, Adélia. Oráculos de Maio. Poema Domus. São Paulo: Siciliano, 1999.

PIMENTEL,K.; NIEMEYER, L. **O modo como me apropriei de um espaço: a saga e a experiência de um vagão de trem como moradia**. Artigo publicado no livro 'Ordem, desordem, ordenamento: Arquitetura', Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), 2009.

PIMENTEL,K.; NIEMEYER, L. **Análise do ruído ambiental ferroviário em Bairros da Cidade de Curitiba – PR: historicidade, problemas e soluções.** Artigo apresentado no PLURIS 2010 – 4º Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável, ocorrido entre 06 a 08 de outubro de 2010 na Cidade de Faro – Portugal, 2010.

RÊGO FILHO, L. M. *et* AL. **A cultura do coco verde – perspectivas, tecnologias e viabilidade**. Niterói: Pesagro, 1999.

RHEIGANTZ, P. A.; AZEVEDO, G. A.; BRASILEIRO, A.; QUEIROZ, M. **Observando a qualidade do lugar: procedimentos para a avaliação pós-ocupação.** Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Pós-Graduação em Arquitetura, 2009.

RICHARDSON, P.; DIETRICH, L. XS: **Grandes idéias para pequenos edifícios.** Barcelona: Editorial Gustavo Gilli, S.A., 2002.

RIVERO, R. **Arquitetura e Clima: acondicionamento térmico natural.** 2ª. Ed. rev. e ampl. Porto Alegre: Luzzatto Editores, 1986.

RYKWERT, J. **A casa de Adão no Paraíso: uma idéia da cabana primitiva na história da arquitetura**. São Paulo: Perspectiva, 2003.

ROSSI, Aldo. **A arquitetura da cidade.** São Paulo: Martins Fontes, 1966.

ROSSI, F A.; KRÜGER, Eduardo L. **Análise da variação de temperaturas locais em função das características de ocupação do solo em Curitiba.** R. RA´E GA, Curitiba: Editora UFPR, 2005. n. 10, p. 93-105.

SARDEIRO, P. S. **Parâmetros para a escolha de superfícies translúcidas, visando o conforto térmico e visual na edificação.** Campinas: Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Tese de Doutorado, 202 p., 2007.

SANTOS, J. L. P. dos. **Estudo do potencial tecnológico de materiais alternativos em absorção sonora**. Santa Maria: Ed. da UFSM, 2005.

SAYEGH, S. Estação Natureza. Disponível em: http://www.revistaau.com.br/arquitetura-urbanismo/184/imprime142800.asp. Acesso em: 11/2010.

SENHORAS, E. M. **Oportunidades da cadeia agroindustrial do coco verde.** Revista Urutágua, nº 05, Maringá / PR, 2005. Disponível em: www.urutagua.uem.br//005/22tra_senhoras.pdf ou http://www.urutagua.uem.br//005/22eco_senhoras.htm. Acesso em Dezembro 2010.

SILVA, C. T. dal P. **Réplica Púchkin e Tólstói.** disponível em: http://www.jornalopcao.com.br/index.asp?secao=Cartas&subsecao=Colunas&idjornal=197, Ago.2008.

SILVA, P. **Acústica arquitetônica e condicionamento de ar.** Belo Horizonte: EDTAL, 1997.

STANGENHAUS, C.R. **Paredes, Conforto Higrotérmico, Edificações, Ponderações e Propostas para Clima Tropical Úmido em Situação de Verão.** Dissertação de Mestrado FAU-UFRJ, 1992.

STOUT, R. **Cozinheiros demais.** São Paulo: Ed. Schwarcz, 1991.

TUAN, Y. F. **Topofilia. Um estudo da percepção, atitudes e valores do meio ambiente**. (Lívia de Oliveira, trad.). São Paulo: DIFEL, 1980.

VALÉRY, P., 1871 – 1945. **Eupalinos ou o Arquiteto**; tradução de Olga Reggiani**.** Rio de Janeiro: Ed. 34, 1996.

VIDAL, A.; PIMENTA, C., SANT'ANNA, S. **Vila Barulho D'Água – Um caso de arquitetura sustentável.** org. Silvio Sant'Anna. São Paulo: PróLivros, 2005.

VITRÚVIO. **Tratado de Arquitectura**. "Escolha de lugares sem ressonância", Capítulo III, Livro V e "A progressão da voz em altura", Capítulo III, Livro V 35 a 25 a.C. Lisboa: IST PRESS, 2006.

WHO, World Health Organization (2001) **Occupational and community noise**. Fact Sheet nº 258. Disponível em: http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs258/en/print.html. Acesso em Maio 2005.

WHO, Word Health Organization. **Guidelines for Community Noise**. 1999. Disponivel em: http://www.who.int/peh/noise/guidelines2.html

ZANELLA VERISSIMO, M. E.; MENDONÇA, F. A. **Algumas considerações sobre o clima urbano de Curitiba e suas repercussões na saúde da população.** Encontro da Associação Nacional de Pós Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade. P. 1-15. São Paulo: ANPPAS, 2004.

ZANNIN, P. H. T. Barulho no transporte coletivo pode causar danos à saúde. In **Gazeta do Povo**. Curitiba, 09 de novembro, 2002.

ZANNIN, P. H. T.; CALIXTO, A.; DINIZ, F. B.; FERREIRA, J. A.; SCHUHLI, R. B. **Incômodo causado pelo ruído urbano à população de Curitiba, PR.** Curitiba: Rev. Saúde Pública, (v. 36), n. 4. p. 521- 524, 2002.

ZEVI, B. **Saber Ver a Arquitetura**. Lisboa: Editorial Minerva, 1977.

ZORZAL, F. M. B.; DIESEL, A; BORTOLI, P. S.; PEREIRA, L. C. (2002) **Carta de ruído da cidade de Curitiba enquanto poluição sonora difusa.** In Anais do VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2002.

Sites consultados:

http://www.abpfsp.com.br/carros.htm, em Julho 2009.

http://almanaquedarffsa.blogspot.com/, em Julho 2010.

http://almanaquedarffsa.blogspot.com/2010/06/budd-ii-vi-efs-serie-500-jhb-rjc.html

http://www.alusistem.com.br/ALU-NOTICIAS.html, em Fevereiro 2005

http://www.apiacasarquitetos.com.br/projetos

http://www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos_2009-2/container/Topico4.htm, em Maio 2009.

http://www.aubicon.com.br/site2010/index.php?q=produtos/mantas-acusticas, em Novembro 2010.

http://www.camaradebelmonte.ba.gov.br/?area=noticias&permalink=cela-conteiner-motiva-pedido-de-intervencao-no-espirito-santo, em Julho de 2009.

http://ciclovivo.wordpress.com/2010/03/10/vagoes-velhos-de-metro-sao-reutilizados-e-transformados-em-estudios-de-arte/, em Junho 2010.

http://www.daltontiepolo.blogspot.com/

http://www.defender.org.br/vagao-vira-espaco-pedagogico/, em Julho 2009

http://diariodonordeste.globo.com/materia.asp?codigo=209014, em Julho 2009

http://espacomultiuso.blogspot.com/2009/06/blog-post.html, em Julho 2009.

http://fortalezaemfotos.blogspot.com/2011/01/praca-luiza-tavora-praca-do-ceart.html, 2011.

http://www.geografia.fflch.usp.br/inferior/laboratorios/lcb/az/TA019.pdf, em Maio 2009.

http://www.google.pt/search?hl=pt-BR&rlz=1T4ADRA_pt-BRBR390BR390&defl=pt&q=define:PET+&sa=X&ei=7rt2TcmrBsyftwfq6MWiBg&ved=0CBoQkAE

http://itsgreendesign.blogspot.com/2008_12_01_archive.html, em Julho 2009.

http://www.jusbrasil.com.br/noticias/131769/mpe-quer-retirada-de-sucatas-de-vagoes-de-trem-de-area-central, em Julho de 2009

http://www.jusbrasil.com.br/noticias/131769/mpe-quer-retirada-de-sucatas-de-vagoes-de-trem-de-area-central, em Julho de 2009.

http://www.loboguara.com/projetos/usp/projetousp.pdf

http://melhorlugar.blogspot.com/2008_09_01_archive.html (Zurique)

http://noticiasdosvales.blogspot.com/2008_04_06_archive.html, em Janeiro 2011.

http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/cidade/estudantes-amsterda-micro-apartamentos-lata-confortavel-superinteressante-555994.shtml, em Maio 2009.

http://portal.saude.rj.gov.br/Imprensa/notago2708.shtml, em Julho de 2009.

http://www.pousadatremdoimperador.com.br/, em Agosto 2009 e Novembro 2010.

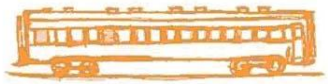
http://pt.wikipedia.org/wiki/Cloreto_de_polivinila (PVC)

http://www.sonex.com.br, em Fevereiro 2011.

http://www.trisoft.com.br/site/index.php/isolamento-termo-acustico.html, em Dezembro 2010.

http://www.urutagua.uem.br//005/22eco_senhoras.htm, em Dezembro 2010.

http://www.villageunderground.co.uk/



ANEXOS

ANEXOS DA INTRODUÇÃO

I - A CIDADE DE CURITIBA

.Antecedentes Históricos
.Imigração
.Meio Ambiente

A CIDADE DE CURITIBA

> No Brasil, um exemplo de cidade ecologicamente correta é Curitiba, capital do Paraná. O planejamento urbano concebido pelo arquiteto Jorge Wilheim e implementado pela administração do também arquiteto Jaime Lerner, nos anos 1970, dotou a cidade de grandes parques, um original e eficaz sistema de transporte de massa, centros de arte e recreação e um eficiente sistema de disposição do lixo. A geógrafa Rosa Moura lembra que o brilho de elogios e premiações internacionais levou o projeto Curitiba a ser 'copiado' em muitas outras cidades. (MORENO, 2002)

Curitiba está situada num altiplano 934,6 metros acima do nível do mar, distante aproximadamente 400km de São Paulo/SP., latitude 25º25'48'' Sul, longitude 49º16'15'' Oeste. Totaliza 75 bairros distribuídos em um relevo levemente ondulado em um território de 430,9 quilômetros quadrados quase totalmente ocupado e uma população de 1.828.092 pessoas (IBGE/2008).

Formada por 26 municípios, a Região Metropolitana (incluindo a capital), possui uma população de 3.261.168 habitantes (estimativa IBGE/2006) e experimentou uma taxa de crescimento de 3,4% de 2000 a 2006 (4,6% sem contar Curitiba). Seu PIB em 2003, segundo o IBGE, foi de R$ 32,7 bilhões, sinalizando o maior ciclo de crescimento de sua história.

Nos últimos 30 anos, Curitiba esteve voltada para o seu planejamento urbano. Hoje a capital avança no sentido de estender seus serviços e soluções à sua Região Metropolitana, com o objetivo de manter e ampliar o padrão de qualidade de vida já conquistado.

.Antecedentes Históricos

Em 29 de março de 1693, o capitão-povoador Matheus Martins Leme promoveu a primeira eleição para a Câmara de Vereadores e a instalação da Vila, como exigiam as Ordenações Portuguesas. Estava fundada a Vila de Nossa Senhora da Luz dos Pinhais, depois Curitiba.

A mudança do nome da vila e da rotina do povoado veio em 1721, com a visita do Ouvidor Raphael Pires Pardinho, hoje nome de praça na cidade. Ele foi, provavelmente, a primeira autoridade a se preocupar com o meio ambiente, iniciando uma tradição pela qual Curitiba hoje é reconhecida internacionalmente.

Já naquela época, o ouvidor determinou aos habitantes que tivessem certos cuidados com a natureza. O corte de árvores, por exemplo, só poderia ser feito em áreas delimitadas, e os moradores ficavam obrigados a limpar o Ribeiro (hoje Rio Belém), a fim de evitar o banhado em frente à Igreja Matriz. O Ouvidor Pardinho estabeleceu também que as casas não poderiam ser construídas sem autorização da Câmara e deveriam ser cobertas com telhas; as ruas já iniciadas teriam de ser prolongadas, para que a vila crescesse.

A origem da palavra Curitiba é Guarani: ‘kur yt yba’ quer dizer ‘grande quantidade de pinheiros, pinheiral’, na linguagem dos índios primeiros habitantes do território. As terras onde hoje está Curitiba apresentavam grande quantidade de *Araucaria angustifolia*, o Pinheiro-do-Paraná (figura 1).

Figura 1: Pinheiros-do-Paraná.

Esta árvore adulta tem a forma de uma taça e sua semente é o pinhão, fonte de proteína e alimento de grande consumo, *in natura* ou como ingrediente da culinária regional paranaense. O pinhão servia de alimento a um pássaro também encontrado em grande quantidade no começo da ocupação do território: a gralha-azul (*Cyanocorax caeruleus*). De acordo com lenda local, esta ave de corpo azulado e cabeça preta, colhia o pinhão com o bico e o enterrava no solo para consumo posterior (figura 2); desses pinhões enterrados acabavam nascendo novos pinheiros.

Figura 2: Gralha Azul.

No século XVII, a principal atividade econômica da cidade era a mineração, aliada à agricultura de subsistência. O ciclo seguinte, que perdurou entre os séculos XVIII e XIX, foi o da atividade tropeira, derivada da pecuária. No final do século XIX, com o ciclo da erva-mate e da madeira em expansão, dois acontecimentos foram bem marcantes: a chegada em massa de imigrantes europeus e a construção da Estrada de Ferro Paranaguá-Curitiba, ligando o Litoral ao Primeiro Planalto Paranaense em 1885; com 40,90Km de extensão. A linha Paranaguá-Curitiba foi mais tarde conectada com a ferrovia que fazia a ligação entre os estados ao norte (São Paulo) ao sul (Santa Catarina e Rio Grande do Sul) do Paraná.

No século XX, no cenário da cidade planejada, a indústria se agregou com força ao perfil econômico antes embasado nas atividades comerciais e do setor de serviços. A cidade enfrentou, especialmente nos anos 1970, a urbanização acelerada, em grande parte provocada pelas migrações do campo, oriundas da

substituição da mão-de-obra agrícola pelas máquinas. A "mítica imigrante do trabalho"[1], aliada a gestões municipais sem quebra de continuidade, acabou criando uma Curitiba planejada e premiada internacionalmente, em gestão urbana, meio ambiente e transporte coletivo.

Os últimos resultados dos índices de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M) e de Condição de Vida (ICV) e Índice de Qualidade de Vida (IQV) para Curitiba (Tabela 1) apresentaram resultados de Alto Desenvolvimento Humano, acima de 0,800, e acima de 77% para o IQV, destacando-se como um dos poucos municípios do Brasil que está nos patamares dos países desenvolvidos.

Tabela 1: Índices de Desenvolvimento Humano de Curitiba.

IDH-M					ICV					IQV	
Região	IDH				Região	ICV				Curitiba	
	1970	1980	1991	1997		1970	1980	1991	2001	1996	2000
Curitiba	0,713	0,760	0,819	-	Curitiba	0,708	0,771	0,835	0,808	64,59	77,23
Paraná	0,440	0,700	0,760	0,847	Paraná	0,502	0,675	0,753	-		
Brasil	0,462	0,685	0,742	0,739	Brasil	0,532	0,655	0,723	-		

.Imigração

Os habitantes primitivos de Curitiba eram principalmente grupos indígenas das famílias lingüísticas Jê e Tupi-Guarani, esses grupos incluíam os Kaingang, Xokleng e Tingüi.

Portugueses chegaram em busca de ouro no século 17 e tornaram-se predominantes na região. Até o século 18, a maioria dos habitantes da Vila de Curitiba eram portugueses, espanhóis, índios ou mestiços; nessa época, os tropeiros contribuíam, em grande parte, para o estilo de vida da vila.

De povoado a metrópole, o traço fundamental que definiu o perfil de Curitiba foi a chegada de imigrantes das mais variadas procedências. Europeus e asiáticos contribuíram para a formação da estrutura populacional, econômica, social e cultural da cidade; assim como paulistas, gaúchos, mineiros, nordestinos, construindo a imagem da cidade.

No início do século 19, chegaram as primeiras famílias alemãs e em 1867 estabeleceram-se 35 núcleos coloniais de imigrantes, a maioria italianos, ucranianos e poloneses. Em menor número haviam austríacos, suíços, holandeses, franceses e russos. Os imigrantes conferiram um novo ritmo de crescimento à cidade e influenciaram de forma marcante os hábitos e costumes locais.

[1] Expressão cunhada pelo poeta Paulo Leminski nascido em Curitiba em 24 de Agosto de 1944, falecido em 7 de Junho de 1989 na mesma cidade. Foi também escritor, tradutor e professor, sua obra tem exercido marcante influência em todos os movimentos poéticos dos últimos 20 anos. (PMC, 2009)

Em 1872, segundo registros históricos, os alemães iniciaram o processo de industrialização, metalurgia e gráfica; incrementaram o comércio, introduziram modificações na arquitetura e disseminaram hábitos alimentares.

Os poloneses chegaram em 1871 e criaram as colônias de Tomás Coelho (Araucária), Muricy (São José dos Pinhais), Santa Cândida, Orleans, Lamenha, Pilarzinho e Abranches; atuaram basicamente na lavoura e no comércio e hoje formam em Curitiba a maior colônia polonesa no Brasil.

Os italianos vieram para Curitiba em 1872 e, em 1878, criaram a Colônia Santa Felicidade. Os oriundos do norte da Itália eram, em sua maioria, operários, artesãos, profissionais especializados e comerciantes, e os do sul dedicavam-se à lavoura e introduziram novos implementos agrícolas. Assim como os poloneses, eles vendiam na cidade, de carroça, sua produção de hortaliças.

Os ucranianos vieram em 1895 e estabeleceram-se no Campo da Galícia expandindo suas propriedades ao longo da atual Avenida Cândido Hartmann e por todo o Bairro do Bigorrilho.

No início do século 20, chegaram os imigrantes orientais, principalmente japoneses, sírios e libaneses. Os japoneses deslocaram-se para cá em maior número em 1924 e se fixaram nos bairros Uberaba, Campo Comprido, Santa Felicidade e no Município de Araucária. Os sírios e libaneses estabeleceram comércio de roupas, sapatos, tecidos e armarinhos ocupando a área central da cidade.

.Meio Ambiente

Curitiba tem um dos melhores índices de áreas verdes do País: 52 metros quadrados por habitante, totalizando aproximadamente 82 milhões de metros quadrados. Nos anos 1970 muitos vazios urbanos foram transformados em parques e bosques que unem as funções de preservação ambiental, saneamento, esporte e lazer.

Alguns parques são lineares existindo à medida que diversos deles se unem ao longo dos grandes rios e em fundos de vale e funcionando como barreiras naturais para impedir a ocupação indevida dessas áreas (sujeitas a enchentes) e para livrar os rios e córregos da degradação (transformação em depósitos de lixo). Os lagos formados em alguns parques contêm naturalmente as enchentes porque funcionam como reguladores da vazão de suas águas.

A coleta do lixo reciclável, a compra do lixo e o sistema de deposição dos resíduos, no Aterro Sanitário da Caximba, chamaram a atenção da Organização das Nações Unidas (ONU), em 1990, quando Curitiba recebeu o *United Nations Environment Program* (Unep), prêmio máximo na área de meio ambiente.

Contemporaneamente, os programas de separação domiciliar e coleta seletiva de lixo reciclável vêm sendo pensados e aplicados também por alguns municípios vizinhos, em uma atitude de metrópole reforçada pela legislação e sua fiscalização, por órgãos das três esferas de Poder Público.

A coleta seletiva de lixo foi adotada por 14 prefeituras da Região Metropolitana, e o transporte coletivo foi integrado a 13, antecipando soluções a problemas ambientais e urbanos, como nas décadas de 70 e 80 quando os índices de expansão demográfica de até 5,7% ao ano, consolidaram a capital como referência mundial em infra-estrutura urbana, em transporte coletivo, em cuidados ambientais e em atendimento social.

A Rede Integrada de Transporte- RIT, implantada a partir de 1980, é composta por diferentes linhas (alimentadoras, interbairros, expressas, ligeirinhos, bi-articulados, troncais, convencionais) que são integradas em terminais e estações tubo (figura 3), permitindo que os trajetos mais longos (geralmente utilizados pela população de menor poder aquisitivo) sejam subsidiados pelos mais curtos (classicamente onde vive a população mais rica).

Figura 3: Sistema de transporte bi-articulado e estações tubo.

Segundo o IBGE, a taxa anual de crescimento da Região Metropolitana é de 3,02 % - superior, portanto, à média de 1,53% ao ano verificada nos demais centros urbanos do País.

■

ANEXOS DO CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

E

ANEXOS DO CAPÍTULO 3 – MÉTODOS E PROCEDIMENTOS

I - Lei n. 10.625, de 19 de dezembro de 2002, Prefeitura Municipal de Curitiba

II – Coeficientes de absorção acústica, de acordo com a norma NBR 12.179/1992.

III – Valores do isolamento acústico de diversos materiais, de acordo com a norma NBR 12.179/1992.

Observação:
Os textos foram inseridos na íntegra, conforme publicados e pesquisados.
Necessariamente não seguem a formatação da dissertação.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA

SECRETARIA MUNICIPAL DO MEIO AMBIENTE

LEI N.º 10.625

PUBLICADA NO D.O.M em 19/12/02

"Dispõe sobre ruídos urbanos, proteção do bem estar e do sossego público, revoga as Leis 8583 de 02 de janeiro de 1995, 8726 de 19 de dezembro de 1996, 9142 de 18 de setembro de 1997, e dá outras providências."

A CÂMARA MUNICIPAL DE CURITIBA, CAPITAL DO ESTADO DO PARANÁ, decretou e eu, Prefeito Municipal, sanciono a seguinte lei:

Art. 1º - É proibido perturbar o sossego e o bem estar público com sons, ruídos e vibrações que causem incômodo de qualquer natureza ou que ultrapassem os limites fixados nesta lei.

Parágrafo único - As vibrações serão consideradas prejudiciais quando ocasionarem ou puderem ocasionar danos materiais, à saúde e ao bem estar público.

Art. 2º - Para os efeitos desta Lei, aplicam-se as seguintes definições:

I. SOM: vibração acústica capaz de provocar sensações auditivas.

II. RUÍDO: som capaz de causar perturbação ao sossego público ou efeitos psicológicos e fisiológicos negativos em seres humanos e animais.

III. VIBRAÇÃO: movimento oscilatório transmitido pelo solo ou por uma estrutura qualquer.

IV. POLUIÇÃO SONORA: emissão de som ou ruído que seja, direta ou indiretamente, ofensiva ou nociva à saúde, à segurança e ao bem estar da coletividade ou transgrida as disposições fixadas nesta lei.

V. RUÍDO IMPULSIVO: som de curta duração, com início abrupto e parada rápida, caracterizado por um pico de pressão de duração menor que um segundo.

VI. RUÍDO CONTÍNUO: som com flutuação de nível de pressão sonora tão pequena, que pode ser desprezada dentro do período de observação.

VII. RUÍDO INTERMITENTE: som cujo nível de pressão sonora cai abruptamente ao nível sonoro do ambiente, várias vezes durante o período de observação, desde que o tempo em que o nível sonoro se mantém constante e diferente daquele do ambiente seja de ordem de grandeza de um segundo ou mais.

VIII. RUÍDO DE FUNDO: sons emitidos durante o período de observação, que não aquele objeto da medição.

IX. NÍVEL EQUIVALENTE (Leq): nível médio de energia do som, obtido integrando-se os níveis individuais de energia em um período de tempo e dividindo-se pelo período.

X. **dB** (Decibel): unidade de medida do nível de ruído.

XI. **dB(A)**: curva de avaliação normalizada e adaptada à capacidade de recepção da audição humana.

XII. ZONA SENSÍVEL À RUÍDO OU ZONA DE SILÊNCIO: é aquela que, para atingir seus propósitos, necessita que lhe seja assegurado um silêncio excepcional. Define-se como zona de silêncio a faixa determinada pelo raio de 200,00m (duzentos metros) de distância de hospitais, escolas, bibliotecas públicas, hotéis, postos de saúde ou similares.

XIII. LIMITE REAL DA PROPRIEDADE: aquele representado por um plano imaginário que separa a propriedade real de uma pessoa física ou jurídica de outra.

XIV. SERVIÇO DE CONSTRUÇÃO CIVIL: qualquer operação de escavação, construção, demolição, remoção, reforma ou alteração substancial de uma edificação, estrutura ou obras e as relacionadas a serviços públicos tais como energia elétrica, gás, telefone, água, esgoto e sistema viário.

Art. 3º - Para fins de aplicação desta Lei, ficam definidos os seguintes períodos:

I. DIURNO: das 07h01 às 19:00h;

II. VESPERTINO: das 19h01 às 22h00;

III. NOTURNO: das 22h01 às 07h00.

Art. 4º - Para os efeitos desta Lei, a medição do nível de pressão sonora deverá ser efetuada de acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.

Parágrafo único - A medição pode ser realizada a 5,00m (cinco metros) de qualquer uma das divisas do imóvel gerador do incômodo, ou em qualquer ponto dentro do limite real do imóvel que sofre o incômodo.

Art. 5º - A emissão de sons e ruídos por quaisquer atividades industriais, comerciais, prestação de serviços, religiosas, sociais, recreativas e de carga e descarga não podem exceder os níveis de pressão sonora contidos na Anexo I, que é parte integrante desta Lei.

§ 1º - No caso de criação de Setores Especiais, conforme previsto na Lei Municipal 9800/2000, caberá a Secretaria Municipal do Meio Ambiente estabelecer os níveis de pressão sonora admissíveis, por meio de regulamentação própria.

§ 2º **-** Quando a fonte poluidora e o imóvel que sofre o incômodo estiverem localizados em diferentes zonas de uso e ocupação do solo, serão considerados os limites estabelecidos para a zona em que se localiza a propriedade que sofre o incomodo.

§ 3º - Quando a propriedade que sofre o incômodo tratar-se de escola, creche, biblioteca pública, hospital, ambulatório, casa de saúde ou similar com leitos para internamento, hotel ou similar, devem ser atendidos os limites estabelecidos para **ZR-1**, independentemente da zona de uso e deve ser observado o raio de 200m (duzentos metros) de distância, definida como zona de silêncio.

Art. 6º – Os sons e ruídos produzidos pelos serviços de construção civil devem respeitar os limites máximos estabelecidos no Anexo II, que é parte integrante desta Lei.

Parágrafo único - Excetuam-se destas restrições as obras e os serviços urgentes e inadiáveis decorrentes de casos fortuitos ou de força maior, acidentes graves ou perigo iminente à segurança e ao bem estar da comunidade, bem como o restabelecimento de serviços públicos essenciais, tais como energia elétrica, gás, telefone, água, esgoto e sistema viário.

Art. 7º - A emissão de som ou ruídos produzidos por veículos automotores, aeroplanos e aeródromos e os produzidos no interior dos ambientes de trabalho, devem obedecer as normas expedidas respectivamente pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente e pelos órgãos competentes do Ministério da Aeronáutica e Ministério do Trabalho.

Parágrafo Único – No tocante à emissão de ruído por veículos automotores, o Município pode estabelecer, por meio de regulamentação específica, critérios de controle considerando o interesse local.

Art. 8º – A realização de shows, concertos e apresentações musicais de caráter cultural e artísticos, em áreas públicas ou particulares, dependem de prévio licenciamento ambiental da Secretaria Municipal do Meio Ambiente, independente de outras licenças exigíveis.

Parágrafo único - Cabe a Secretaria Municipal do Meio Ambiente e Secretaria Municipal de Urbanismo estabelecer em regulamentação própria, as condições para realização dos eventos musicais mencionados no caput deste artigo.

Art. 9º - A utilização das áreas dos parques e praças municipais com uso de equipamentos sonoros, alto falantes, fogos de artifício ou outros meios que possam causar poluição sonora dependem de prévio licenciamento ambiental da Secretaria Municipal do Meio Ambiente, independente de outras licenças exigíveis.

Art. 10 - Fica proibida a utilização de equipamentos sonoros fixos ou móveis, como meio de propaganda ou publicidade, nos logradouros públicos.

§ 1º - Quando não se tratar de logradouros públicos, a utilização de equipamentos sonoros como meio de propaganda e publicidade deve respeitar os limites estabelecidos no anexo I desta lei.

§ 2º - Não será concedida autorização para uso de equipamentos sonoros em veículos de empresas de distribuição e comercialização de gás, ficando vedado o uso de alto-falantes e outras fontes de emissão sonora nos veículos destinados ao transporte do produto.

§ 3º - Casos especiais poderão ser analisados e eventualmente autorizados pela Secretaria Municipal do meio Ambiente.

Art. 11 - Não se compreende nas proibições dos artigos anteriores ruídos e sons produzidos:

I - pelas manifestações tradicionais do carnaval e Ano Novo;

II - por vozes ou aparelhos usados na propaganda eleitoral ou manifestações trabalhistas, para os quais será estabelecido regulamento próprio pelos órgãos competentes, considerando as legislações específicas;

III - por sinos de igrejas ou templos religiosos, desde que sirvam exclusivamente para indicar as horas ou anunciar a realização de atos ou cultos religiosos;

IV - por fanfarras ou bandas de músicas em procissão, cortejos ou desfiles cívicos;

V - por sirenes ou aparelhos de sinalização sonora utilizados por ambulâncias, carros de bombeiros ou viaturas policiais;

VI - por explosivos utilizados no arrebentamento de pedreiras, rochas ou nas demolições, desde que detonadas no período diurno e previamente licenciados pela Secretaria Municipal do Meio Ambiente;

VII - por alarme sonoro de segurança, residencial ou veicular, desde que o sinal sonoro não se prolongue por tempo superior à 15 minutos;

VIII - por culto religioso, realizado no período diurno e vespertino, desde que não ultrapasse o limite de **65 dB(A).**

IX - por shows, concertos e apresentações musicais de caráter cultural e artístico, desde que realizados dentro das condições autorizadas pela Secretaria Municipal do Meio Ambiente.

Art. 12 – As atividades potencialmente causadoras de poluição sonora, definidas em regulamento próprio, dependem de prévio licenciamento ambiental da Secretaria Municipal do Meio Ambiente para obtenção dos alvarás de construção e funcionamento.

Art. 13 - A queima de fogos de artifício fica sujeita ao controle da Secretaria Municipal do Meio Ambiente, que aplicará as sanções previstas na presente Lei, quando constatado incômodo à vizinhança.

Art. 14 - Para a execução de testes de fabricação ou instalação de alarmes sonoros, devem ser utilizados dispositivos de controle, de forma que não seja necessária a emissão sonora acima dos limites estabelecidos na Tabela I desta Lei.

Parágrafo único – Em caso de acionamento periódico ou constante de alarmes sonoros serão aplicadas as sanções previstas nesta Lei, independente da obrigação de cessar a transgressão.

Art. 15 – Os fiscais da Secretaria Municipal do Meio Ambiente, no exercício da ação fiscalizadora, têm a entrada franqueada nas dependências da fonte poluidora, onde podem permanecer pelo tempo que se fizer necessário.
Parágrafo Único – Os fiscais da Secretaria Municipal do Meio Ambiente podem solicitar o auxílio das autoridades policiais no desempenho da ação fiscalizadora.

Art. 16 – As pessoas físicas e jurídicas, de direito público ou privado, que infringirem qualquer dispositivo desta Lei, seus regulamentos e demais normas dela decorrentes, ficam sujeitas às seguintes sanções, independente da obrigação de cessar a transgressão:

I. Notificação por escrito;

II. Multa simples ou diária;

III. Cassação da Licença Ambiental;

IV. Embargo;

V. Interdição parcial ou total;

VI. Perda ou restrição de incentivos e benefícios fiscais concedidos pelo Município.

Art. 17 – Para imposição da sanção e graduação da multa a autoridade ambiental deve observar:

I. As circunstâncias atenuantes e agravantes;

II. A gravidade do fato, tendo em vista as consequências para a saúde e o meio ambiente;

III. A natureza da infração e suas consequências;

IV. O porte do empreendimento;

V. Os antecedentes do infrator quanto às normas ambientais;

VI. A capacidade econômica do infrator.

Art. 18 – Para efeito de aplicação das sanções, as infrações são classificadas como leves, graves ou gravíssimas, de acordo com a Anexo III, parte integrante desta Lei e com os critérios abaixo:

I - LEVES - aquelas em que o infrator seja beneficiado por circunstâncias atenuantes;

II. GRAVES - aquelas em que for verificada circunstância agravante;

III. GRAVÍSSIMAS - aquelas em que seja verificada a persistência da reincidência.

Art. 19 – Os valores das multas serão expressos em moeda corrente nacional e para cada tipo de infração, corresponderá:

I. Nas infrações leves - até R$ 5.300,00 (cinco mil e trezentos reais).

II. Nas infrações graves – de R$ 5.301,00 (cinco mil trezentos e um reais) a R$ 10.700,00 (dez mil e setecentos reais).

III. Nas infrações gravíssimas - de R$ 10.701,00 (dez mil setecentas e um reais) a R$ 18.000,00 (dezoito mil reais).

Parágrafo único: A atualização monetária das multas dar-se-á com base na variação do Índice de Preços ao Consumidor Amplo – IPCA, medido pela Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, ou outro que venha ser instituído pelo Governo Federal.

Art. 20 – São circunstâncias atenuantes:

I. Menor grau de compreensão e escolaridade do infrator;

II. Arrependimento eficaz do infrator manifestado pela espontânea reparação do dano, ou limitação significativa do ruído emitido;

III. Ser o infrator primário e a falta cometida de natureza leve.

Art. 21 – São circunstâncias agravantes:

I. Ser o infrator reincidente ou cometer a infração de forma continuada;

II. Ter o infrator agido com dolo direto ou eventual.

§ 1º - A reincidência verifica-se quando o agente comete nova infração do mesmo tipo.

§ 2º - No caso de infração continuada caracterizada pela repetição da ação ou omissão inicialmente punida, a penalidade de multa pode ser aplicada diariamente até cessar a infração.

Art. 22 - O autuado terá direito a ampla defesa, em processo administrativo, conforme regulamentações específicas, num prazo máximo de trinta dias a partir do recebimento do auto de infração, endereçado ao Secretário Municipal do Meio Ambiente - SMMA.

Art. 23 - No caso de decisão condenatória, o autuado terá direito a recorrer da decisão, em forma de processo administrativo, num prazo máximo de trinta dias, contados a partir da ciência da condenação, encaminhado ao Conselho Municipal do Meio Ambiente – CMMA.

Art. 24 - Os recursos interpostos das decisões não definitivas terão efeito suspensivo relativo ao pagamento da penalidade, sem prejuízo da aplicação de novas autuações por reincidência ou continuidade do dano.

Art. 25 - Exauridos os recursos administrativos, o infrator terá prazo de dez dias para efetuar o recolhimento do valor da multa, sob pena da inscrição em dívida ativa.

Art. 26 - As multas previstas nesta Lei podem ter sua exigibilidade suspensa quando o infrator, por termo de compromisso aprovado pela autoridade ambiental competente, obrigar-se à adoção imediata de medidas específicas para cessar ou corrigir a poluição sonora.

Parágrafo único - Cumpridas integralmente as obrigações assumidas pelo infrator, a multa pode ter uma redução de até 90% (noventa por cento) do valor original.

Art. 27 – Na aplicação das normas estabelecidas por esta Lei, compete à Secretaria Municipal do Meio Ambiente:

I - Estabelecer o programa de controle dos ruídos urbanos e exercer o poder de controle e fiscalização das fontes de poluição sonora;

II - Aplicar as sanções previstas na legislação vigente;

III - Organizar programas de educação e conscientização.

Art. 28 – O Executivo Municipal regulamentará em até 90 (noventa) dias da publicação desta lei, as questões específicas à poluição sonora produzida pelo apito do trem.

Art. 29 – Ficam expressamente revogadas as Leis Municipais n.ºs 8583 de 02 de janeiro de 1995, 8726 de 19 de outubro de 1995, 8996 de 13 de dezembro de 1996 e 9142 de 18 de setembro de 1997.

Art. 30 – Esta lei entra em vigor na data de sua publicação.

PALÁCIO 29 DE MARÇO, em 19 de dezembro de 2002.

Cassio Taniguchi
PREFEITO MUNICIPAL

ANEXOS LEI 10.625/02

I

Níveis de Pressão Sonora Máximos ZONAS DE USO

	DIURNO	VESPERTINO	NOTURNO
ZR-1, ZR-2, ZR-3, ZR-B, ZR-AV, ZR-M, APA-SARU, APA-SMRU	**55 dB(A)**	**50 dB(A)**	**45 dB (A)**
ZR-OC, ZR-SF, ZR-U, ZR-P, ZT-MF, ZT-NC, ZE-E, ZE-M, Z-CON, SE-CC, SE-PS, SE-OI , APA-ST	**60 dB (A)**	**55 dB (A)**	**50 dB (A)**
ZR-4, ZC, ZT-BR116, ZUM, ZE-D, SE, SH, SE-BR-116, SE-MF, SE-CF, SE-WB, SE-AC, SE-CB,CONEC, SE-PE, SC-SF, SC-UM, SE-NC, SEI, SEHIS, SE-LE, APA-SS Vias prioritárias 1 e 2, Vias setoriais, Vias coletoras 1,2 e 3	**65 dB (A)**	**60 dB (A)**	**55 dB (A)**
ZS-1, ZS-2, ZES, ZI, APA-SUE	**70 dB (A)**	**60 dB (A)**	**60 dB (A)**

Os casos não contemplados nesta tabela serão objeto de análise específica por parte da Secretaria Municipal do Meio Ambiente

II

Níveis de Pressão Sonora Máximos para Serviços de Construção Civil Atividades não confináveis	Limite de 90 dB(A), permitido somente de segunda-feira a sexta-feira, no período diurno.
Atividades passíveis de confinamento	De segunda-feira a sexta-feira, no período diurno: limites constantes na Tabela I acrescidos de 5 dB(A).
	De segunda-feira a sexta-feira, nos períodos vespertinos e noturnos: limites constantes na Tabela I,

Sábados, Domingos e Feriados, qualquer período: Devem ser respeitados os limites constantes na Tabela I, tanto para as atividades passíveis de confinamento como para as não confináveis.

III

Classificação das Infrações ARTIGOS	**CLASSIFICAÇÃO**	**OBSERVAÇÕES**
5º e 6º	Leve	Até 10(A) dB (dez decibéis) acima do limite
5º e 6º	Grave	De 10(A) dB (dez decibéis) a 30 dB (trinta decibéis) acima do limite
5º e 6º	Gravíssima	Mais de 30(A) dB (trinta decibéis) acima do limite
8º, 9º 10º, 12º e 13º	Leve	Atividade desenvolvida sem licença

Coeficientes de absorção acústica NBR 12.179 / 1992 (Fonte tabela de Hana W. Bobran)						
MATERIAIS	**FREQUÊNCIAS (Hz)**					
	125	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**
Materiais de construção, usuais, densos, revestimentos, pintura						
Reboco áspero, cal	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07
Reboco liso	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,06
Teto pesado suspenso (de gesso)	0,02	-	0,03	-	0,05	-
Estuque	0,03	-	0,04	-	0,07	-
Superfície de concreto	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07
Revestimento de pedras sintéticas	0,02	-	0,05	-	0,07	-
Chapas de mármore	0,01	0,01	0,01	-	0,02	-
Revestimento aderente de vidro	0,04	-	0,03	-	0,02	-
Revestimento de vidro espaçado a cada 5cm de parede	0,25	0,20	0,10	0,05	0,02	0,02
Vidraça de janela	-	0,04	0,03	0,02	-	-
Assoalhados						
Tapetes de borracha	0,04	0,04	0,08	0,12	0,03	0,10
Taco colado	0,04	0,04	0,06	0,12	0,10	0,17
Linóleo	0,02	-	0,03	-	0,04	-
Passadeira fina porosa	0,03	-	0,17	-	0,40	-
Tapete bouclet duro	0,03	0,03	0,04	0,10	0,19	0,35
Tapete de 5mm de espessura	0,04	0,04	0,15	0,29	0,52	0,59
Tapete bouclet macio	0,08	-	0,20	-	0,52	-
Passadeira de coco	0,02	0,03	0,05	0,10	0,27	0,48
Tapete de veludo	0,05	0,06	0,10	0,24	0,42	0,60
Tapete de 5mm sobre base de feltro de 5mm	0,07	0,21	0,57	0,68	0,81	0,72
Materiais porosos e isolantes						
a) Fibras naturais:						
Chapa leve de lã de madeira, de 25mm, em parede rígida	0,04	0,13	0,52	0,75	0,61	0,72
Chapa leve de lã de madeira com espaço de 5cm, vazio	0,25	0,33	0,50	00,65	0,65	0,70
Chapa leve de lã de madeira com espaço de 5cm enchido de absorvente acústico	0,18	0,33	0,80	0,90	0,80	0,83
Chapa leve de lã de madeira, de 25mm, com espaço vazio de 2,4cm	0,06	0,20	0,66	0,49	0,72	0,76
Chapa leve de lã de madeira, de 50mm, diretamente em parede rígida	0,11	0,33	0,90	0,60	0,79	0,68

Chapa leve de lã de madeira, de 25mm, com espaço de 2,4cm, coberta de folha sintética perfurada	0,13	0,66	0,48	0,44	0,72	0,73
Chapa de cavacos de madeira, de 13mm, com espaço vazio de 5cm até a parede	0,24	0,20	0,19	0,20	0,26	0,45
Feltro de fibra natural, de 5mm, diretamente na parede	0,09	0,12	0,18	0,30	0,55	0,59
Chapa de acústica macia, de fibra perfurada ranhurada, com espaço de 5cm da parede (esp. 12mm)	0,20	0,36	0,31	0,34	0,46	0,62
Chapa de acústica macia diretamente na parede	0,03	0,14	0,27	0,40	0,52	0,73
Chapa de acústica macia, de 12mm, com perfuração integral, espaçada a 5cm	0,03	0,23	0,69	0,61	0,73	0,71
Chapa de acústica macia, diretamente na parede	0,03	0,13	0,39	0,71	0,82	0,83
Chapa tubular de cavacos de madeira, entalhada e folheada, de 25mm, espaçada a 3cm da parede, entalhes espaçados a 19mm, espaço sem enchimento	0,19	0,36	0,39	0,63	0,98	1,00
Chapa tubular de cavacos de madeira, entalhada e folheada, de 25mm, espaçada a 3cm da parede, entalhes espaçados a 38mm	0,29	0,25	0,36	0,60	0,87	0,50
b) Minerais:						
Revestidos de amianto pulverizado, ± 12mm de espessura	-	0,30	0,35	0,50	0,60	-
Parede de pedra-pomes de 100mm, sem revestimento	0,03	0,17	0,26	0,50	0,56	0,68
c) Materiais sintéticos:						
Espuma de uréia, 50mm, 15kg/m³, diretamente parede densa	0,12	0,20	0,45	0,65	0,70	0,75
Chapa absorvente microporosa em chapa de base, espaçada da parede a 50mm	0,37	0,70	0,59	0,54	0,59	0,62
Folha absorvente fina, microporosa, a 50mm da parede, espaço vazio	0,04	0,15	0,52	0,95	0,93	0,58
Móveis, tecido, humano						
Uma pessoa com cadeira	0,33	-	0,44	-	0,46	-
Público por pessoa, fileiras fechadas	0,28	-	0,40	-	0,44	-
Poltrona estofada, vazia, coberta de tecido	0,28	0,28	0,28	0,28	0,34	0,34
Cadeira estofada, chata, com tecido	0,13	-	0,20	-	0,25	-
Cadeira estofada com couro sintético	0,13	-	0,15	-	0,07	-
Cadeira de assento dobradiço, de madeira vazia	0,05	0,05	0,05	0,05	0,08	0,05
Tecido de algodão, esticado liso	0,04	-	0,13	-	0,32	-
Tecido de algodão, esticado liso, 50/150mm, na frente da parede lisa	0,20	-	0,38	-	0,45	-
Cobertura de cretone	0,07	-	0,15	-	0,25	-
Feltro de fribra natural, 5mm, de espessura	0,09	0,12	0,18	0,30	0,55	0,59
Tecido de juta, de fio grosso	0,05	-	0,07	-	0,12	-
Tecido de juta, de fio grosso forrado de feltro estampado de 15mm	0,18	0,18	0,38	0,72	0,75	0,78
Cortina grossa, drapeada	0,25	-	0,40	-	0,60	-

Cortina de porta comum, opaca	0,15	-	0,20	-	0,40	-
Tela cinematográfica	0,10	-	0,20	-	0,50	-
Publico em ambientes muito grandes, por pessoa	0,13	0,31	0,45	0,51	0,51	0,43
Cadeira de assento dobradiço, encosto com estofamento espesso, poroso, lado inferior do assento absorvente	0,28	-	0,28	-	0,34	-
Portas, janelas, aberturas						
Janela aberta	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Portas de madeira, fechadas	0,14	-	0,06	-	0,10	-
Recessos com cortinas	0,25	-	0,30	-	0,35	-
Abertura embaixo do balcão	0,25	-	-	-	-	0,80
Grade venilador, cada 50% de seção livre	0,30	-	0,50	-	0,50	-
Co-vibradores (chapas densas e folhas)						
Madeira compensada de 3mm, a 50mm da parede, espaço vazio	0,25	0,34	0,18	0,10	0,10	0,06
Madeira compensada de 3mm, a 50mm da parede, espaço vazio, amortecimento nas bordas	0,46	0,47	0,23	0,12	0,10	0,06
Madeira compensada de 3mm, a 50mm da parede, espaço enchido de lã mineral	0,61	0,65	0,24	0,12	0,10	0,06
Lã mineral de 50mm, coberta de papelão denso	0,74	0,54	0,36	0,32	0,30	0,17
Vidro plano de 3mm – 4mm, com 50mm de espaço e amortecimento nas bordas	0,23	0,11	0,09	0,01	0,01	0,03
Chapas de papelão-gesso de 9,5mm, sem furos na frente, espaço de 50mm, enchido de lã mineral	0,36	0,12	0,08	0,07	0,06	0,10
Madeira compensada de 2,5mm, na frente de feltro mineral de 50mm, cada 40 Kg/m³	0,21	0,37	0,24	0,12	0,02	0,03
Sistemas absorventes especiais						
Caixões de chapa perfurada com chapas de feltro de lã de vidro de 30mm, suspensos a 180mm	0,30	0,43	0,61	0,62	0,85	0,66
Cunhas pontuadas de lã de vidro (absorvente de cunha para câmara não-reverberante) 500mm de comprimento, na frente de um ressoador, de 150mm de espessura	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Chapa perfurada, forrada de lã de vidro ou cassa, na frente, de 40mm a 50mm de espaço vazio	0,01	0,03	0,10	0,16	0,17	0,20
Chapa perfurada de 3mm, proporção de furos cada 16% forrada de lã de fibra mineral de cada, 0,5mm, na frente de 45mm a 50mm de espaço vazio	0,01	0,10	0,19	0,25	0,46	0,21
Chapa-grade compensada, entalhada, sem forro, a 30mm da parede	0,06	0,02	0,10	0,16	0,22	0,18
Chapa de cimento-amianto, 4mm, furos na proporção de 16% de 5mm de diâmetro, na frente de tecido e feltro de lã mineral de 50mm (cada 50kg/m³).	0,20	0,68	0,91	0,82	0,82	0,76

Valores do isolamento acústico de diversos materiais, de acordo com a norma NBR 12.179/1992.

Valor do isolamento acústico de diversos materiais	
Material	Isolamento acústico em decibéis (500 Hz) (dB)
Alvenaria de tijolo maciço (espessura de 10 cm)	45
Alvenaria de tijolo maciço (espessura de 20 cm)	50
Alvenaria de tijolo maciço (espessura de 30 cm)	53
Alvenaria de tijolo maciço (espessura de 40 cm)	55
Alvenaria de tijolo furado (espessura de 25 cm)	10
Chapa de fibra de madeira tipo ‘soft-board’ (espessura de 12 mm)	18
Chapa de fibra de madeira tipo ‘soft-board’, com camada de ar intermediária de 10 cm	30
Chapas ocas de gesso (espessura de 10 cm)	24
Compensado de madeira (espessura de 6,0 mm)	20
Compensado de madeira (espessura de 6,0 mm), duas placas com camada de ar intermediária de 10 cm	25
Concreto-laje entre pavimentos	68
Vidro de janela (espessura de 2,0 a 4,0 mm)	20 a 24
Vidro grosso (espessura de 4,0 a 6,0 mm)	26 a 32
Vidro de fundição (espessura de 3 a 4 mm) uma placa	24
Vidro de fundição (espessura de 4 a 6 mm) duas placas com camada de ar intermediária	36