

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

BIANCA CARLA DANTAS DE ARAÚJO

PROPOSTA DE ELEMENTO VAZADO ACÚSTICO

São Paulo/SP
2010

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

BIANCA CARLA DANTAS DE ARAÚJO

PROPOSTA DE ELEMENTO VAZADO ACÚSTICO

Tese apresentada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo para obtenção do Título de Doutor em Arquitetura e Urbanismo

Área de Concentração: Tecnologia da Arquitetura

Orientador: Prof. Dr. Sylvio R. Bistafa

São Paulo/SP
2010

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

E-MAIL: dantasbianca@gmail.com

Araújo, Bianca Carla Dantas de
A663p Proposta de elemento vazado acústico / Bianca Carla
Dantas de Araújo. --São Paulo, 2010.
196 p. : il.

Tese (Doutorado - Área de Concentração: Tecnologia da
Arquitetura) - FAUUSP.
Orientador: Sylvio R. Bistafa

1.Acústica arquitetônica 2.Elementos vazados 3.Isolamento
acústico 4.Conforto acústico das construções. I.Título

CDU 534.84

DEDICATÓRIA

A Maria Eduarda de Araújo Cunha e
Paulo Eduardo de Araújo Cunha,
minha nova família.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Sylvio R. Bistafa, pela orientação, dedicação, disponibilidade, compreensão, seriedade, e pela amizade que foi construída.

À Profa. Dra. Virgínia Araújo e ao Prof. Eduardo Henrique Araújo, meus pais, pelo empenho, dedicação, conhecimentos compartilhados e pela constante presença.

À Larissa Araújo, minha irmã, pela amizade, disponibilidade e torcida nas conquistas.

À Profa. Dra. Ruth Duarte, pelo apoio e correção dos textos.

Aos amigos Marcela Cunha, Leonardo Jorge, Anna Rachel Baracho, Débora Nogueira, Ana Luiza Flor e Vanessa Mesquita pela disponibilidade em sempre ajudar.

Aos amigos e familiares que direta e indiretamente contribuíram para a concretização desta tese.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, pelo apoio concedido a esta pesquisa, sugestões e críticas.

RESUMO

ARAÚJO, Bianca C. D. **Proposta de Elemento Vazado Acústico**. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

O conforto ambiental requer a busca de alternativas de projeto que promovam menos impacto energético na arquitetura. Em locais de climas quentes e úmidos, a ventilação natural é uma das estratégias de projeto; inseridos nesta visão, os elementos vazados (cobogós ou combogós, com são popularmente conhecidos no nordeste brasileiro) agem como componentes arquitetônicos que proporcionam permanente ventilação natural, proteção solar e iluminação natural, além de facilidade de fabricação. Apesar do uso secular dos elementos vazados, eles perderam espaço na produção arquitetônica contemporânea, e são raras pesquisas com vistas a aprimorar seu potencial como alternativa passiva de projeto. Entretanto, existe consciência dos problemas acústicos correlatos que advém da sua utilização na ventilação natural, tais como o comprometimento na isolação dos ruídos externos e na privacidade entre ambientes. O presente trabalho, por esses motivos, tem por proposta desenvolver um elemento vazado acústico, objetivando utilizá-lo na minoração do problema da dicotomia entre os aspectos térmicos e acústicos envolvidos. O desempenho do isolamento sonoro *in situ* dos elementos criados foi avaliado com base na Norma ISO 140-5, tendo sido também estudado o desempenho da ventilação natural através de simulações computacionais, utilizando métodos da dinâmica dos fluidos computacional - CFD. Foram desenvolvidos 4 tipos de blocos, todos eles avaliados em diferentes montagens numa parede do tipo fachada, segundo 3 condições: fechados e abertos (com e sem material absorvente). Os resultados revelaram o quão susceptível é a transmissão do ruído em aberturas de ventilação, entretanto, resultados satisfatórios de isolamento sonoro foram obtidos, principalmente em uma das montagens (bloco tipo 3, caixa), a qual apresentou desempenho similar ao bloco fechado com um Índice de Redução de Ruído Padrão Global (D_{ntw}) de 27 dB. Esta montagem apresenta relação de área aberta satisfatória para promover a ventilação natural dentro de um ambiente (confirmada pelo melhor desempenho comparativo de ventilação dos blocos simulados), além de apresentar isolamento sonoro superior ao de outros (poucos) elementos existentes no mercado, com o objetivo de promover a ventilação natural e reduzir a transmissão de ruído para se obter bom desempenho.

Palavras-chave: Acústica Arquitetônica, Elemento Vazado, Isolamento Acústico, Conforto Acústico das construções.

ABSTRACT

ARAÚJO, Bianca C. D. **Proposal Acoustic Hollow Element**. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

The environmental comfort requires the search for design alternatives that promote less energy impact on architecture. In places with hot and humid climates, natural ventilation is one of design strategies; into this vision, the hollow elements (cobogós or combogós, as popularly known in northeastern Brazil) act as architectural components that provide permanent natural ventilation, sun protection and natural lighting, and ease of manufacture. Despite the secular use of hollow elements, they lost space in contemporary architectural production, and there are few surveys with a view to enhancing its potential as an alternative passive design. However, there is awareness of the problems related noise that comes from its use in natural ventilation, such as commitment in the isolation of external noise and privacy between environments. In this work, for these reasons, the proposal is to develop an element hollow sound, aiming to use it in alleviating the problem of the dichotomy between the thermal and acoustic aspects involved. The performance of sound insulation in situ of the elements created was assessed based on the ISO 140-5, was also studied the performance of natural ventilation through computer simulations, using methods of computational fluid dynamics - CFD. Were developed 4 types of blocks, all studied at different mounts on a wall like facade, according to 3 conditions: closed and open (with and without sound absorption material). The results revealed how likely is the transmission of noise from the vent, however, satisfactory sound insulation were obtained, especially in one of the mounts (block type 3, box), which presented a performance similar to a closed block with index Noise Reduction Global Standard (Dntw) of 27 dB. This assembly has an open area ratio of satisfactory to promote natural ventilation in an environment (confirmed by the comparative performance of simulated ventilation of the blocks), while maintaining sound insulation than the other (few) elements in the market, with the objective to promote natural ventilation and reduce noise transmission to achieve good performance

Palavras-chave: Architectural Acoustics, Hollow Elements, Acoustic Insulation, Acoustic comfort of buildings.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa do Brasil com localização de Natal	11
Figura 2. Mapa da cidade de Natal	14
Figura 3. Esquema de brises horizontal e vertical com os respectivos ângulos de obstrução	17
Figura 4. Esquema de brises misto com respectiva máscara de sombra	18
Figura 5. Imagens de alguns modelos de cobogós utilizados no mercado brasileiro	19
Figura 6. Foto do edifício da Caixa de água da Sé de Luiz Nunes, 1937	20
Figura 7. Foto do Conjunto Residencial Parque Guinle, de Lúcio Costa, 1948	22
Figura 8. Desenho das câmaras de teste com cobogós analisados por Bittencourt (1993)	24
Figura 9. Gráfico da curva típica de PT para parede simples	31
Figura 10. Gráfico da Perda na Transmissão de paredes com aberturas	34
Figura 11. Imagem da veneziana acústica	37
Figura 12. Perda na transmissão da partição de área de teste abrangidos pelo painel de madeira	40
Figura 13. Perda na transmissão da <i>acoustic Louvre</i> pela ISO 140	40
Figura 14. Croqui e imagem do peitoril ventilado	42
Figura 15. Croqui do peitoril ventilado	43
Figura 16. Resultados do Índice de Redução Sonora (R) para as diferentes configurações de peitoril ventilado	45
Figura 17. Imagem do <i>Silenceair</i> ®	47
Figura 18. Gráfico de desempenho acústico do <i>Silenceair</i> ®	49
Figura 19. Gráfico comparando o desempenho dos elementos de fachada com aberturas	51
Figura 20. Foto do medidor digital de nível de pressão sonora utilizado no ensaio	55
Figura 21. Foto do microfone utilizado na pesquisa	56
Figura 22. Foto do alto-falante e do computador portátil	57
Figura 23. Anemômetro Digital Portátil	57

Figura 24. Ressonador de cavidade ou de Helmholtz	59
Figura 25. Croqui do ressonador de Helmholtz	60
Figura 26. Curva de absorção sonora versus frequência do ressonador de Helmholtz com alto e baixo fator de qualidade	60
Figura 27. Ressonador de cavidade ou de Helmholtz comercializado como <i>SoundBlox</i> ® nos EUA	61
Figura 28. Montagem dos blocos com cavidades formando as fendas do ressonador, permitindo a passagem da ventilação	62
Figura 29. Foto dos elementos tipo 1 (menor, P) e 2 (maior, G)	63
Figura 30. Foto da fôrma de madeira do elemento menor	63
Figura 31. Foto da fôrma do elemento maior	63
Figura 32. Foto da cura do elemento menor	63
Figura 33. Foto da cura do elemento maior	64
Figura 34. Foto da forma de empilhamento	64
Figura 35. Croqui esquemático das dimensões do bloco pequeno (P)	64
Figura 36. Croqui esquemático das dimensões do bloco grande (G)	65
Figura 37. Croqui esquemático das dimensões do bloco tipo caixa (C)	66
Figura 38. Croqui esquemático das dimensões do bloco tipo caixa grande (CG)	67
Figura 39. Croqui do elemento (ressonador) instalado como vazado	67
Figura 40. Croqui dos blocos com a lã de vidro	68
Figura 41. Planta da sala de teste com detalhe para a fachada onde foram aplicados os elementos vazados	72
Figura 42. Foto da sala de teste internamente	73
Figura 43. Foto externa da sala de teste	73
Figura 44. Tempos de Reverberação da sala em bandas de 1/3-oitava com a parede de teste montada com blocos com aberturas	84
Figura 45. Tempos de Reverberação da sala em bandas de 1/3-oitava com a parede de teste montada com blocos sem aberturas	85
Figura 46. Foto da sala internamente com a parede de testes montada com o bloco tipo 1 (Pfechado)	85
Figura 47. Foto externa da parede de teste montada com o bloco tipo 1 com indicação da área radiante interna da parede	86

- Figura 48. Espectros em bandas de 1/3-oitava do nível sonoro médio espacial interno e externo e a Redução de Ruído (D) obtidos com a parede de teste montada com o bloco pequeno fechado (Pfechado) 87
- Figura 49. Espectros em bandas de 1/3-oitava da Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) e do Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45}) com a parede de teste montada com o bloco fechado (Pfechado) 88
- Figura 50. Foto da parede de teste montada com o bloco tipo 1 pequeno (P) espaçados de 5cm e sem lã de vidro (P5s/lã), com indicação da área radiante interna da parede 88
- Figura 51. Espectros em bandas de 1/3-oitava do nível sonoro médio espacial interno e externo e a Redução de Ruído (D) obtidos com a parede de teste montada com o bloco pequeno aberto 5 cm sem lã (P5s/lã) 89
- Figura 52. Espectros em bandas de 1/3-oitava da Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) e do Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45}) com a parede de teste montada com o bloco pequeno aberto 5 cm sem lã (P5s/lã) 90
- Figura 53. Foto da parede de teste montada com o bloco tipo 1 pequeno (P) espaçados de 5cm e com lã de vidro nas cavidades (P5c/lã) 91
- Figura 54. Espectros em bandas de 1/3-oitava do nível sonoro médio espacial interno e externo e a Redução de Ruído (D) obtidos com a parede de teste montada com o bloco pequeno aberto 5 cm com lã (P5c/lã) 92
- Figura 55. Espectros em bandas de 1/3-oitava da Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) e do Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45}) com a parede de teste montada com o bloco pequeno aberto 5 cm com lã (P5c/lã) 93
- Figura 56. Espectros em bandas de 1/3-oitava da Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) com a parede de teste montada com as variantes do bloco pequeno (P) 93
- Figura 57. Espectros em bandas de 1/3-oitava do Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45}) com a parede de teste montada com as variantes do bloco pequeno (P) 94
- Figura 58. Tomada fotográfica da parede de testes montada, sem aberturas, com o bloco tipo 2_(Gfechado) 95
- Figura 59. Outra tomada fotográfica da parede de teste montada, sem aberturas, com o bloco tipo 2 (Gfechado) 95
- Figura 60. Espectros em bandas de 1/3-oitava do nível sonoro médio espacial interno e externo e a Redução de Ruído (D) obtidos com a parede de teste montada com o bloco grande fechado (Gfechado) 96
- Figura 61. Espectros em bandas de 1/3-oitava da Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) e do Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45}) com a parede de teste montada com o bloco grande fechado (Gfechado) 97
- Figura 62. Foto da parede de testes montada, com aberturas de 5 cm, com o bloco tipo 2, sem lã de vidro (G5s/lã) 97

- Figura 63. Foto do detalhe da separação de 5 cm da montagem mostrada na 97
Figura 62
- Figura 64. Espectros em bandas de 1/3-oitava do nível sonoro médio espacial 98
interno e externo e a Redução de Ruído (D) obtidos com a parede de teste
montada com o bloco grande aberto 5cm sem lã de vidro (G5s/lã)
- Figura 65. Espectros em bandas de 1/3-oitava da Redução de Ruído Padrão 99
(D_{nt}) e do Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45}) com a parede de teste
montada com o bloco grande aberto 5cm sem lã de vidro (G5s/lã)
- Figura 66. Foto da parede de teste montada com o bloco tipo 2, espaçado de 100
5cm e com lã de vidro nas cavidades (G5c/lã)
- Figura 67. Espectros em bandas de 1/3-oitava do nível sonoro médio espacial 101
interno e externo e a Redução de Ruído (D) obtidos com a parede de teste
montada com o bloco grande aberto 5cm com lã de vidro (G5c/lã)
- Figura 68. Espectros em bandas de 1/3-oitava da Redução de Ruído Padrão 102
(D_{nt}) e do Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45}) com a parede de teste
montada com o bloco grande aberto 5cm com lã de vidro (G5c/lã)
- Figura 69. Tomada fotográfica da parede de teste montada com o bloco tipo 2 102
espaçado 10cm e com lã de vidro nas cavidades (G10c/lã)
- Figura 70. Foto do detalhe da separação de 10 cm da montagem mostrada na 102
Figura 69
- Figura 71. Espectros em bandas de 1/3-oitava do nível sonoro médio espacial 103
interno e externo e a Redução de Ruído (D) obtidos com a parede de teste
montada com o bloco grande aberto 10cm com lã de vidro (G10c/lã)
- Figura 72. Espectros em bandas de 1/3-oitava da Redução de Ruído Padrão 104
(D_{nt}) e do Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45}) com a parede de teste
montada com o bloco grande aberto 10cm com lã de vidro (G10c/lã)
- Figura 73. Foto da parede de teste montada com o bloco tipo espaçado 10 cm e 104
sem lã de vidro (G10s/lã)
- Figura 74. Foto do detalhe da separação de 10 cm da montagem mostrada na 104
Figura 73
- Figura 75. Espectros em bandas de 1/3-oitava do nível sonoro médio espacial 105
interno e externo e a Redução de Ruído (D) obtidos com a parede de teste
montada com o bloco grande aberto 10cm sem lã de vidro (G10s/lã)
- Figura 76. Espectros em bandas de 1/3-oitava da Redução de Ruído Padrão 106
(D_{nt}) e do Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45}) com a parede de teste
montada com o bloco grande aberto 10cm sem lã de vidro (G10sc/lã)
- Figura 77. Espectros em bandas de 1/3-oitava da Redução de Ruído Padrão 107
(D_{nt}) com a parede de teste montada com as variantes do bloco grande
espaçado de 5cm (G5)

- Figura 78. Espectros em bandas de 1/3-oitava da Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) com a parede de teste montada com as variantes do bloco grande espaçado de 10cm (G10) 108
- Figura 79. Espectros em bandas de 1/3-oitava do Índice de Redução Sonora Aparente (R'₄₅) com a parede de teste montada com as variantes do bloco grande espaçado de 5cm (G5) 109
- Figura 80. Espectros em bandas de 1/3-oitava do Índice de Redução Sonora Aparente (R'₄₅) com a parede de teste montada com as variantes do bloco grande aberto 10cm (G10) 109
- Figura 81. Foto da parede de teste montada com bloco tipo 3 com lã de vidro (Cc/lã) 110
- Figura 82. Outra tomada fotográfica da parede de teste montada com bloco tipo 3 com lã de vidro (Cc/lã) 110
- Figura 83. Espectros em bandas de 1/3-oitava do nível sonoro médio espacial interno e externo e a Redução de Ruído (D) obtidos com a parede de teste montada com o bloco caixa com lã de vidro (Cc/lã) 111
- Figura 84. Espectros em bandas de 1/3-oitava da Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) e do Índice de Redução Sonora Aparente (R'₄₅) com a parede de teste montada com o bloco caixa com lã de vidro (Cc/lã) 112
- Figura 85. Foto da parede de teste montada com bloco tipo 3 sem lã de vidro (Cs/lã) 112
- Figura 86. Foto da parede de teste montada com bloco tipo 3 sem lã de vidro (Cs/lã) 112
- Figura 87. Espectros em bandas de 1/3-oitava do nível sonoro médio espacial interno e externo e a Redução de Ruído (D) obtidos com a parede de teste montada com o bloco caixa sem lã de vidro (Cs/lã) 113
- Figura 88. Espectros em bandas de 1/3-oitava da Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) e do Índice de Redução Sonora Aparente (R'₄₅) com a parede de teste montada com o bloco caixa sem lã de vidro (Cs/lã) 114
- Figura 89. Espectros em bandas de 1/3-oitava do nível sonoro médio espacial interno e externo e a Redução de Ruído (D) obtidos com a parede de teste montada com o bloco caixa fechado (Cfechado) 115
- Figura 90. Espectros em bandas de 1/3-oitava da Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) e do Índice de Redução Sonora Aparente (R'₄₅) com a parede de teste montada com o bloco caixa fechado (Cfechado) 116
- Figura 91. Foto da parede de teste montada com o bloco tipo 4 aberto sem lã de vidro (CG) 116
- Figura 92. Outra tomada fotográfica interna da parede de teste montada com o bloco tipo 4 aberto sem lã de vidro (CG) 116

- Figura 93. Espectros em bandas de 1/3-oitava do nível sonoro médio espacial interno e externo e a Redução de Ruído (D) obtidos com a parede de teste montada com o bloco caixa grande (CG) 117
- Figura 94. Espectros em bandas de 1/3-oitava da Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) e do Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45}) com a parede de teste montada com o bloco caixa grande (CG) 118
- Figura 95. Espectros em bandas de 1/3-oitava da Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) com a parede de teste montada com as variantes do bloco caixa (C), e caixa grande (CG) 119
- Figura 96. Espectros em bandas de 1/3-oitava do Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45}) com a parede de teste montada com as variantes do bloco caixa (C), e do bloco caixa grande (CG) 120
- Figura 97. Espectros em bandas de 1/3-oitava da Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) de todos os blocos estudados, com respectivo Índice de Redução de Ruído Padrão Global (D_{ntw}) 124
- Figura 98. Espectros em bandas de 1/3-oitava do Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45}) das variações do bloco caixa (C) do bloco caixa grande (CG) 124
- Figura 99. Gráfico comparativo dos dados do isolamento sonoro global dos elementos com aberturas e comparação com o desempenho do elemento vazado desenvolvido na pesquisa (caixa com lã de vidro – Cc/lã) 126
- Figura 100. Interação do local e ponto de medição para o bloco tipo 1 (pequeno, T_1) na condição fechado (C_1) 130
- Figura 101. Interação do local e ponto de medição para o bloco tipo 2 (grande com 5cm de espaçamento, T_2) na condição sem lã de vidro (C_3) 131
- Figura 102. Interação do local e ponto de medição para o bloco tipo 3 (grande com 10cm de espaçamento, T_3) na condição com lã de vidro (C_2) 131
- Figura 103. Interação do local e ponto de medição para o bloco tipo 4 (caixa, T_4) na condição com lã de vidro (C_2) 132
- Figura 104. Gráfico comparativo do efeito da condição sobre o isolamento sonoro ($p=0,00$) 134
- Figura 105. Gráfico comparativo do efeito da condição (C_2 e C_3) do bloco tipo 4 (T_4), $p=0,55$ 135
- Figura 106. Gráfico comparativo do efeito da condição (C_1) dos blocos grande, pequeno e caixa, $p=0,065$ 136
- Figura 107. Gráfico comparativo do efeito da condição (C_2) dos blocos grande, pequeno e caixa, $p=0,009$ 136
- Figura 108. Gráfico comparativo do efeito da condição (C_3) dos blocos grande, pequeno, caixa e caixa grande, $p=0,01$ 137

Figura 109. Gráfico comparativo do efeito da frequência (F_4) dos blocos nas condições C_2 e C_3	139
Figura 110. Gráfico comparativo do efeito da frequência (F_4) dos blocos nas condições C_2 e C_3	139
Figura 111. Gráfico comparativo do efeito da frequência (F_4) dos blocos nas condições C_2 e C_3	140
Figura 112. Gráfico comparativo do efeito da frequência (F_4) dos blocos nas condições C_2 e C_3	140
Figura 113. Gráfico comparativo do efeito da frequência (F_4) dos blocos nas condições C_2 e C_3	141
Figura 114. Gráfico comparativo do efeito da frequência (F_4) dos blocos nas condições C_2 e C_3	141
Figura 115. Visualização em planta da simulação de ventilação natural do bloco pequeno (P)	147
Figura 116. Visualização em 3 dimensões da simulação de ventilação natural do bloco pequeno (P)	147
Figura 117. Visualização em planta da simulação de ventilação natural do bloco grande (G)	148
Figura 118. Visualização em corte transversal da simulação de ventilação natural do bloco grande (G)	148
Figura 119. Visualização em planta da simulação de ventilação natural do bloco caixa (C)	149
Figura 120. Visualização em corte transversal da simulação de ventilação natural do bloco caixa (C)	149
Figura 121. Visualização em 3 dimensões da simulação de ventilação natural do bloco caixa (C)	150
Figura 122. Visualização em 3 dimensões da simulação de ventilação natural do bloco caixa (C)	150
Figura 123. Gráfico dos dados médios de L_{eq} (dBA) por frequência e por ponto	153
Figura 124. Espectros de ruído classificado como NC 45	155

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Variáveis ambientais nas épocas características	12
Tabela 2 – Elementos do clima a serem controlados	13
Tabela 3 – Resultado do Índice de Isolamento Sonoro Global (R_w) das diferentes configurações de peitoril ventilado	46
Tabela 4 – Composições dos blocos ensaiados na pesquisa	70
Tabela 5 – Resumo das características dos blocos desenvolvidos e avaliados, com respectivo o desempenho global de isolamento sonoro	121
Tabela 6 – Comparação dos dados de Redução de Ruído Padrão Global (D_{ntw}) e da média aritmética da Redução de Ruído Padrão (D_{nt})	134

“Proposta de Elemento Vazado Acústico”

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	i
AGRADECIMENTOS	ii
RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
LISTA DE FIGURAS E TABELAS	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Hipótese	6
1.2 Proposta	6
1.3 Objetivos	7
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA E OBJETO DE ESTUDO	8
2.1 Caracterização das Estratégias Bioclimáticas para Regiões de Clima Quente e Úmido – o caso de Natal/RN	8
2.2 Elementos Vazados	16
3. ISOLAMENTO ACÚSTICO E ABERTURAS: REVISÃO	27
BIBLIOGRÁFICA	
3.1 Isolação acústica de paredes para sons aéreos	28
3.1.1 Perda na Transmissão de paredes compostas	33
3.2 Dicotomia Conforto Térmico e Conforto Acústico nos elementos de fachada	35
3.2.1. Venezianas Acústicas	37
3.2.2. Peitoril Ventilado	42
3.2.3. <i>Silenceair</i> ®	46
3.2.4. Considerações finais	49
4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	52
4.1 Métodos adotados	52
4.2 Instrumentos de medição	54
4.3 Protótipos e montagem dos elementos vazados	58
4.4 Avaliação do isolamento sonoro	71
4.5 Análise estatística	78
4.6 Simulação de ventilação natural	80
4.7 Incertezas Experimentais	82

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	83
5.1 Desempenho acústico dos elementos vazados	83
5.1.1 Desempenho global de isolamento sonoro	120
5.2 Análise estatística	126
5.3 Desempenho de ventilação natural dos elementos	142
5.3.1 Resultados das simulações de ventilação natural	145
5.4 Considerações finais	151
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	156
6.1 Considerações iniciais	156
6.2 Conclusões	158
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	162
APÊNDICE	167
ANEXOS	169

1. INTRODUÇÃO

Na arquitetura, alternativas passivas de projeto deve ser objeto de concepção nos estudos preliminares, para que a eficiência energética do sistema seja otimizada. Essas alternativas estão embasadas em conceitos técnicos de conforto ambiental que devem buscar justificativa na concretizada “arquitetura bioclimática”.

De acordo com Romero (1988), a concepção arquitetural do bioclimatismo é, antes de tudo, uma interação de vários elementos como o climático, do lugar, de uma cultura, com a finalidade de criar ambientes, onde o próprio ambiente construído atua como mecanismo de controle das variáveis do meio através da envoltória, seu entorno e, ainda, através do aproveitamento dos elementos e fatores do clima para o melhor controle da radiação solar (calor e iluminação natural) e da ventilação natural.

Uma parte significativa do uso de energia em edificações está associada ao condicionamento de ar e à iluminação artificial. Devido ao clima ameno existente em grande parte do território nacional, a construção de edificações adequadas ao clima local pode resultar em consumo de energia substancialmente menor. Cabe salientar que na fase de projeto da edificação é que são tomadas as decisões mais importantes ligadas ao seu consumo futuro. A elaboração de projetos que considerem adequadamente o clima da região na qual a edificação está inserida resulta na melhoria da eficiência energética da mesma (LOBO, BITTENCOURT, 2003).

As habitações de caráter popular geralmente são bastante deficientes em relação ao conforto térmico dos usuários. Sabe-se que muitos problemas que acarretam o desconforto térmico nos conjuntos habitacionais são resultado das

soluções arquitetônicas adotadas, que visam atender a uma política de minimização de custos sem maiores preocupações com o conforto ambiental dos habitantes dessas construções. Entre os principais problemas detectados nos conjuntos habitacionais do litoral Nordeste, está a insuficiente circulação de ar nos ambientes internos, demandando soluções que aumentem a ventilação natural nos mesmos.

O clima quente e úmido domina grande parte do Brasil. Nesse clima, as oscilações das temperaturas diárias e sazonais são pequenas e o nível de umidade relativa do ar é bastante alto. É típica a existência de céu parcialmente nublado, produzindo grande quantidade de radiação difusa. Nessas regiões, as edificações devem evitar ganhos de calor externo, enquanto dissipam aquele produzido no seu interior. Desta forma, a ventilação pode ser usada com a finalidade de resfriar o edifício, aquecido pela radiação solar e por ganhos internos de calor, nos quais altas taxas de ventilação podem fazer com que a temperatura interna se aproxime da externa.

Para que a edificação apresente um desempenho de conforto ambiental com ênfase na eficiência energética, conforme discutido, é necessário que elementos e componentes do edifício desempenhem o papel de condutor das potencialidades climáticas existentes no entorno para o interior construído. As aberturas nas fachadas, orientadas adequadamente para o ganho térmico de iluminação natural, são um dos pontos preponderantes porque o tipo de elemento de vedação dessa abertura pode definir uma das estratégias bioclimáticas.

Para ser possível o controle do conforto ambiental, em locais de climas quente e úmido, estabelecendo a ventilação como recurso natural e renovável, é necessário lançar mão de alternativas que aproveitem seu potencial para que tornem-se, novas tecnologias de soluções passivas. Essas novas alternativas não

necessariamente induzem à soluções que apresentem custos altos que inviabilizem a utilização e o incentivo ao uso nas edificações, pois há no mercado nacional um elemento com bastante potencialidade técnica e com baixa cotação.

Nesta visão se inserem os elementos vazados, popularmente conhecidos (principalmente no nordeste do Brasil) como “cobogós” ou “combogós”. Para construções localizadas em regiões quentes e úmidas, nas quais a ventilação natural constitui estratégia de fundamental importância, os elementos vazados podem constituir componentes arquitetônicos de grande potencial plástico e funcional. Além da ventilação, os elementos vazados propiciam, ainda, proteção solar e podem funcionar como um filtro da intensa iluminação natural proveniente das abóbadas celestes características de regiões de baixa latitude. Tudo isso em um único componente de fácil fabricação e preços reduzidos (BITTENCOURT, 1995).

Apesar do uso secular dos elementos vazados, são raras as pesquisas com vistas a determinar seu uso ambiental. Entretanto, existe consciência dos problemas correlatos que advêm da ventilação natural como estratégia de resfriamento. Entre eles, destacam-se os problemas acústicos, incidência de chuvas de vento e a presença de insetos.

Para Losso e Viveiros (2003), a questão de como resolver o problema dos aspectos conflitantes no conforto ambiental, como o acústico e o térmico, é um aspecto recorrente que deve ser avaliado. Uma alternativa reportada pelos autores é usar nos edifícios elementos que permitam a passagem da ventilação, mas que parcialmente bloqueiem o ruído externo, para possibilitar bons resultados.

Neste contexto, é proposta a presente pesquisa de tese, na qual são levantados os aspectos de conforto ambiental (térmico e acústico) utilizando como objeto de estudo o elemento vazado ou cobogó.

Na revisão bibliográfica inicialmente realizada sobre o assunto, foi constatada insuficiência de estudos sobre o aproveitamento da ventilação natural com preocupação acústica – fator limitante das iniciativas de elaboração de elementos alternativos que abordem esta problemática, principalmente no Brasil.

A pesquisa proposta, portanto, é importante, por poder apresentar contribuição prática para a realidade de estudo:

- Será mais uma fonte de conhecimento na discussão sobre como encontrar o “equilíbrio” do conforto acústico e térmico;
- Servirá como estudo que possa embasar o desenvolvimento de alternativas passivas, com vistas à eficiência energética das edificações;
- Discutirá as adequações climáticas para os locais quentes e úmidos, aproveitando suas potencialidades;
- O produto da pesquisa poderá ser alternativa para contribuir para a minimização do consumo energético de edificações;
- Poderá vir a constituir mais um elemento a ser aplicado em estudos acústicos, principalmente como alternativa acessível à população, bem como a ser utilizada nas áreas técnicas de edificações industriais e de serviços.

Este contexto desperta uma inquietude que converge para a pesquisa na busca por diretrizes e respostas que possam embasar as soluções desejadas, como é o caso da proposta de desenvolvimento do produto de um elemento vazado acústico, objeto de estudo.

A pesquisa é original, pois a literatura não reporta nada semelhante; ademais é viável por depender apenas de trabalho da doutoranda e de

equipamentos existentes. Desta forma, esta pesquisa contempla aos três quesitos de uma tese: original, importante e viável o que *per se* justifica este trabalho.

O plano de trabalho proposto para esta tese está apresentado em seis capítulos: “Capítulo 2 – Caracterização da área e objeto de estudo”, com caracterização das estratégias bioclimáticas para regiões de clima quente e úmido, como o caso da cidade de Natal/RN, local da pesquisa de campo. Em seguida à caracterização do objeto de estudo, os elementos vazados – mais comumente denominados combogós ou cobogós nas regiões do Norte e Nordeste – foram levantados aspectos históricos de sua criação e utilização, além de sua adequação ao tipo de clima quente e úmido; “Capítulo 3 – Isolamento acústico e aberturas: revisão bibliográfica”, com a abordagem teórica das variáveis relacionadas com o isolamento acústico de paredes, a relação com as aberturas, discute a dicotomia do conforto térmico e acústico para os elementos de fachada, assim como apresenta os experimentos realizados neste contexto; “Capítulo 4 – procedimentos metodológicos”, com a descrição dos métodos adotados na pesquisa; “Capítulo 5 – Análise e discussão dos resultados”, com a apresentação dos dados coletados e simulados, a análise a partir do tratamento estatístico dos dados coletados e a discussão dos resultados; e, por fim, Capítulo 6- Conclusões”, apresentando as conclusões do estudo.

1.1 Hipótese

A hipótese a ser testada é que o elemento vazado pode isolar o som e ser um componente aliado na acústica arquitetônica para projetos em climas quentes e úmidos.

1.2 Proposta

A proposta da pesquisa é o desenvolvimento de um elemento vazado acústico como componente aliado na acústica arquitetônica para projetos em climas quentes e úmidos.

1.3 Objetivos

O objetivo precípua deste projeto de pesquisa é, portanto, utilizar o elemento vazado acústico na minoração do problema da dicotomia entre os aspectos térmicos e acústicos envolvidos.

Os objetivos específicos são:

- Caracterizar o objeto de estudo – elemento vazado, em relação a histórico, aplicações, desempenho em relação à ventilação natural, iluminação e filtro de radiação solar, chuvas, custos e processos de produção;

- Caracterizar os fenômenos acústicos envolvidos na pesquisa; e os fenômenos de ventilação natural como alternativa passiva em locais de climas quentes e úmidos;
- Estudar a geometria do elemento com relação aos fenômenos de ventilação natural e qualidades acústicas, desenvolvendo protótipos físicos e virtuais;
- Avaliar o desempenho em relação à ventilação natural dos protótipos virtuais a partir de simulações em programas computacionais específicos;
- Realizar medições com os elementos a partir de métodos próprios para avaliar o desempenho dos mesmos em relação ao isolamento sonoro.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA E OBJETO DE ESTUDO

A utilização de alternativas passivas nos edifícios para controle do consumo energético e promoção de conforto térmico para os usuários deve ser relacionada com a bioclimatologia, ou seja, a arquitetura adaptada ao clima. Desta forma, o presente capítulo relaciona a caracterização bioclimática da área de estudo, na qual o objeto – Elemento Vazado, é pesquisado e avaliado. Em seguida, estes elementos são conceituados, contextualizados e exemplificados, de forma a propiciar melhor compreensão das relações que envolvem a presente pesquisa.

2.1 Caracterização das Estratégias Bioclimáticas para Regiões de Clima Quente e Úmido – o caso de Natal/RN

O controle do conforto ambiental pode ser atingido através de estratégias de intervenções nos edifícios e na porção urbana – estabelecidas as devidas escalas de estudo – cujas tecnologias empregadas transcendam o uso de recursos não renováveis que promovem impactos no meio ambiente.

Segundo Pedrini (2002) as variações do consumo energético nas edificações estão relacionadas com as seguintes decisões passivas de projeto: a relação da abertura e área de piso do local, profundidade e pé-direito do mesmo; orientação das fachadas, ângulos verticais e horizontais dos elementos de proteção solar; ventilação natural; iluminação natural; sistema construtivo das envoltentes. O

conforto ambiental requer adicionalmente à busca por alternativas de projeto com menos impacto energético na arquitetura.

A energia necessária para operar os edifícios está entre os grandes focos de desperdícios no espaço construído (LOBO, BITTENCOURT, 2003). A utilização de tecnologias passivas para o controle ambiental é uma alternativa com aproveitamento dos recursos climáticos, por exemplo, visando principalmente à economia de energia e aumento do bem estar da população.

Em locais de climas quentes e úmidos, presentes em várias regiões do território brasileiros – caracterizados por altas temperaturas do ar e umidades relativas, e baixas amplitudes diárias e sazonais – a ventilação natural é uma das estratégias passivas de projeto, para melhorar as condições de desconforto térmico e reduzir o consumo de energia elétrica com condicionamento artificial do ar (GIVONI, 1992).

O ecossistema no qual fora ensaiado o objeto da investigação desta pesquisa está inserido na cidade de Natal, capital do Rio Grande do Norte, localizada no litoral oriental do estado, em região de baixa latitude e que, nos últimos anos, tem passado por um acelerado crescimento urbano, caracterizado tanto pela criação de estruturas verticais em alguns bairros, quanto pela expansão horizontal de sua malha urbana em direção às cidades vizinhas, o que muitas vezes acarreta a ocupação de dunas e devastação de sua flora. Este fato provoca alterações no comportamento térmico dos espaços microclimáticos do ambiente urbano e das edificações, pois os atributos da forma urbana têm sido muito modificados.

As características climáticas de Natal (RN), são bastante definidas e constantes, clima quente e úmido, com alta umidade relativa do ar, intensa radiação solar, e amplitude térmica pequena, tanto diária quanto sazonal. Dada sua

localização geográfica, em Natal não há quatro estações marcadas, mas duas características épocas anuais com pequenas variações, uma de abril a setembro, e outra de outubro a março.

O período de abril a setembro caracteriza-se por temperaturas do ar mais amenas, umidades relativas do ar mais elevadas, velocidades dos ventos mais intensas e com predominância de ventos de sudeste com tendências para a direção sul. O outro período (outubro a março) caracteriza-se por temperaturas do ar mais altas, umidades relativas mais baixas, velocidades dos ventos menores e com predominância também sudeste, com tendência na direção leste.

A grande presença de nuvens, ou seja, alta concentração de vapor de água ameniza a intensa radiação solar direta, mas não permite a reirradiação noturna, o que impede acentuada queda da temperatura e provoca radiação solar difusa bastante intensa. Ainda que a perda de calor por evaporação seja dificultada, a temperatura pode ser amenizada pela movimentação do ar. Variáveis em velocidade, os ventos são quase constantes na direção sudeste (ARAÚJO; MARTINS; ARAÚJO, 1998).

Motta (2003) afirma que Natal é a única cidade brasileira a possuir toda uma história de pesquisas acerca de sua atmosfera, durante os últimos 35 anos. Com a instalação do Centro de Lançamentos da Barreira do Inferno - CLBI¹, em 1965, órgão do Ministério da Aeronáutica, foram lançados foguetes com cargas-úteis científicas que visavam, através de vôos, fazer sondagens sobre Natal em busca da qualificação e quantificação de seus constituintes.

Segundo Motta (2003), um trabalho conduzido por uma pesquisadora do INPE – Instituto de Pesquisas Espaciais, Lycia Nordemann, comparou a qualidade

¹ Hoje o CLBI está muito próximo da área urbana, e por razões técnicas de proximidade com a linha do equador, foi criado o Centro de Lançamento em Alcântara/MA, passando, assim, as atividades para este.

do ar em seis cidades do litoral brasileiro (Fortaleza, Natal, Salvador, Niterói, Caraguatatuba e Florianópolis), e detectou que Natal possuía uma atmosfera com uma boa qualidade do ar. As águas de chuva de Natal foram consideradas como possuidora de composição química isenta de poluição e representativa das águas de chuva da região costeira.

De acordo com Araújo; Martins; Araújo (1998), Natal caracteriza-se por um clima quente e úmido, e suas coordenadas (latitude $5^{\circ} 45' 54''$ Sul e longitude $35^{\circ} 12' 05''$ Oeste) definem sua posição intertropical, muito próxima à linha do equador (Figuras 1 e 2). A fim de definir os dias típicos para projeto térmico de edificações em Natal, os autores utilizaram com base cinco anos de dados horários, 1986-1990, coletados junto à estação do CLBI.



Figura 1. Mapa do Brasil com localização de Natal
Fonte: Araújo; Martins; Araújo (1998)

A Tabela 1 ilustra um quadro com as médias das variáveis ambientais nas épocas características:

Tabela 1 – Variáveis ambientais nas épocas características

VARIÁVEIS AMBIENTAIS		abril-setembro	outubro-março
TEMPERATURA DO AR	Máxima	28,7° C (13h)	30,8° C (13h)
	Mínima	23° C (5h)	24,8° C (5h)
VELOCIDADE DOS VENTOS	Máxima	5,0 m/s (13h)	5,2 m/s (13h)
	Mínima	2,2 m/s (5h)	3,7 m/s (5h)
UMIDADE DO AR	Máxima	94 % (6h)	87% (6h)
	Mínima	74% (13h)	66% (13h)
DIREÇÃO DOS VENTOS (predominante)		170° S	130° S

Fonte: Costa (2003) a partir de Araújo; Martins; Araújo (1998).

A temperatura do ar apresenta durante o dia quatro períodos distintos, de 1h às 6h, de 6h às 12h, de 12h às 18h e 18h às 24h, cujo comportamento é decrescente, crescente, decrescente e decrescente, respectivamente. A umidade relativa do ar, por sua vez, tem comportamento inverso do dia típico da temperatura do ar, mas também apresenta quatro períodos distintos.

A velocidade dos ventos apresenta um comportamento semelhante ao da temperatura ao longo do dia, porém com estabilização nos valores da velocidade das massas de ar, no período de 12h até 18h. A análise do comportamento do dia típico da direção dos ventos mostra a predominância a 1500 na direção das massas de ar e certa estabilidade ao longo do dia. Em relação à radiação solar global, percebe-se também os dois períodos distintos anuais para os planos verticais e para o horizontal, onde se observa a evidência do ganho da radiação solar por estar muito próximo à linha do equador.

Romero (1988) enfatiza que para o clima do tipo quente e úmido, os elementos do clima podem ser controlados da maneira como explicita a Tabela 2.

Tabela 2 – Elementos do clima a serem controlados

ELEMENTOS DO CLIMA A SEREM CONTROLADOS	
TEMPERATURA	Reduzindo a produção de calor e em razão da condução e da convecção dos impactos externos
VENTOS	Aumentando o movimento do ar
UMIDADE	Evitando a absorção e diminuir a pressão de vapor. Promovendo a evaporação
RADIAÇÃO	Reduzindo a absorção de radiação
PRECIPITAÇÕES	Com a proteção máxima nos espaços públicos

Fonte: Costa (2003) a partir de Araújo; Martins; Araújo (1998).

A ventilação no nível urbano tem forte influência na dissipação de calor nos climas quente-úmido, evitando aumento da temperatura na camada intra-urbana e, conseqüentemente, dificultando a formação de ilhas de calor ou de áreas estagnadas.

A Cidade de Natal é assim limitada (Figura 2)

- Norte: Município de Extremoz;
- Sul: Municípios de Parnamirim e Macaíba;
- Leste: Oceano Atlântico;
- Oeste: São Gonçalo do Amarante.

Segundo Araújo et al (2000), existem em Natal/RN duas áreas de entrada de ventilação: uma próxima ao Morro do Careca e a outra na Orla que está compreendida entre a Ponta do Morcego e o Forte dos Reis Magos. O Parque das Dunas exerce uma influência como barreira para a ventilação natural, ocasionando nas regiões a sotavento, com o Campus da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, uma sombra de vento além de um re-direcionamento dos ventos que vêm do mar (Figura 2).

Para promover a ventilação – elemento do clima cujas condições são

bastante modificadas pela urbanização e que pode ser controlada e modificada pelo desenho urbano – e que tem a capacidade de retirar calor dos ambientes por convecção, deve ser priorizada a rugosidade e porosidade da porção urbana. Estes atributos da forma urbana podem ser trabalhados através da diversidade de alturas das edificações nas porções de maior adensamento onde a penetração dos ventos é dificultada. A porosidade é conseguida com elementos que criem os efeitos adequados de ventilação, como a utilização de áreas verdes e recuos, por exemplo (ARAÚJO, 2004).

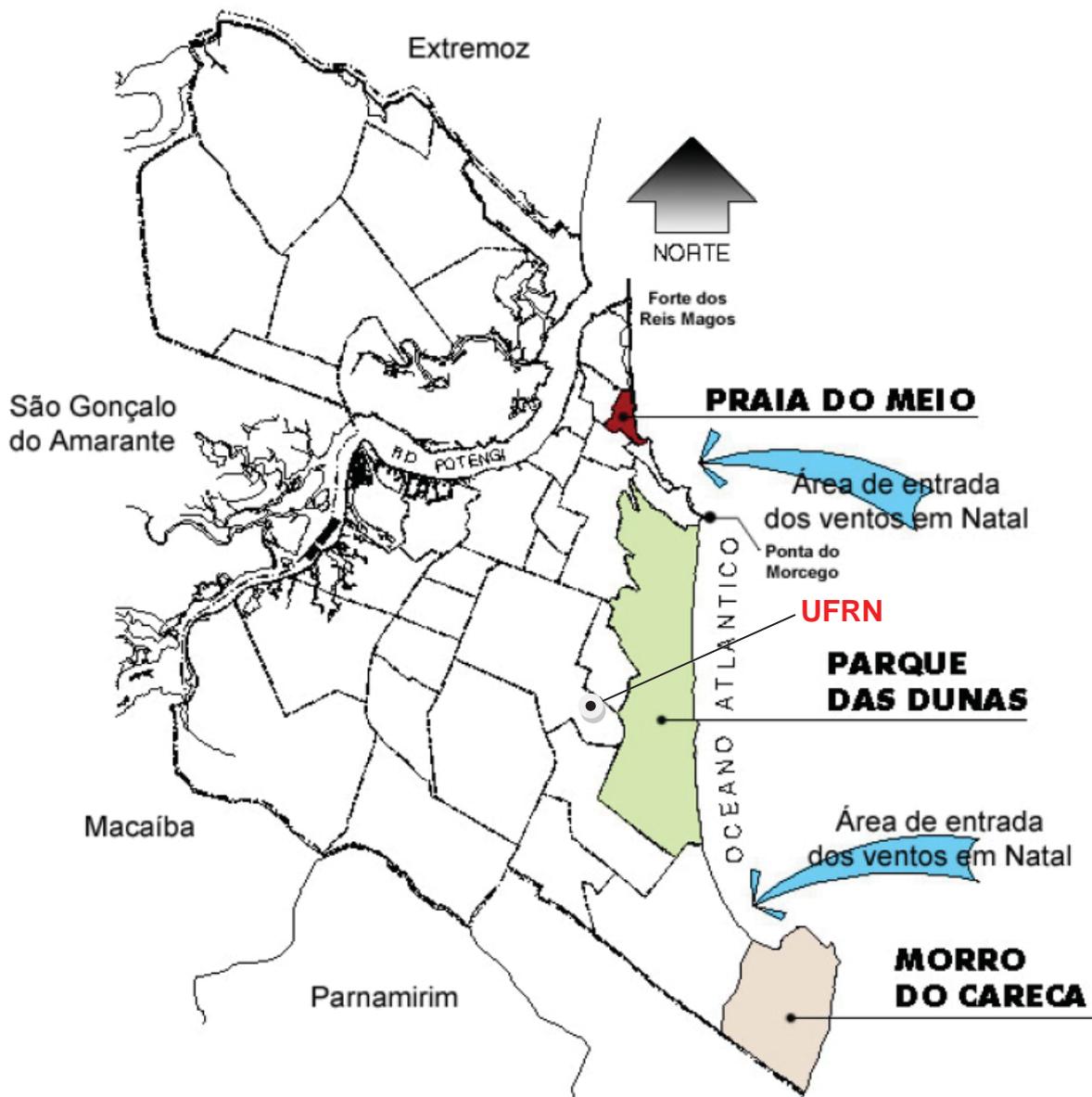


Figura 2. Mapa da cidade de Natal
Fonte: Marques (2003)

Em um clima no qual as temperaturas são altas e a amplitude térmica muito baixa, com altos índices de umidade do ar, como o da área objeto de estudo, a minimização dos ganhos de calor deve ser atendida da melhor forma possível para que os efeitos combinados da ventilação possam lograr êxito. Desta forma, a preocupação com as características térmicas das superfícies, como o albedo, assim como com o sombreamento das mesmas, devem ser tomados como definidores do espaço para que o rigor térmico não seja intensificado e sim amenizado.

O uso de material de alto albedo diminui a quantidade da radiação solar absorvida através das envoltórias dos edifícios e estruturas urbanas e mantém suas superfícies resfriadas. Materiais com alta emissividade são bons emissores de energia de ondas longas e facilmente perdem a energia que tem sido absorvida como radiação de ondas curtas. As temperaturas de superfícies mais baixas contribuem para diminuir a temperatura do ar do ambiente, uma vez que as trocas de calor por convecção de uma superfície mais fria é menor. Tais reduções de temperatura podem ter um impacto significativo no consumo de energia para resfriamento em áreas urbanas, fato esse de grande importância em cidades de clima quente (SANTAMORIS, 1997).

A presença da vegetação é papel fundamental em todos os aspectos do planejamento, pois suas múltiplas características e usos permitem que este atributo possa contribuir para a amenidade climática e uma conseqüente ambiência urbana agradável. As árvores, os arbustos e outras plantas menores, no seu conjunto, constituem elementos da estrutura urbana. Podem caracterizar os espaços da cidade por suas formas, cores e modo de agrupamento; são elementos de composição e de desenho ao contribuir para organizar, definir e até delimitar esses

espaços. Desempenham funções importantes para o recinto urbano e para seus habitantes. O tratamento da massa de vegetação proporciona noção de espaço, condição de sombra e de frescor, porém a eficiência depende de sua intensidade, forma, dimensões e localização.

As diretrizes de planejamento urbano, segundo as prescrições características do clima quente e úmido de Natal, são priorizar principalmente a ventilação; minimizar o ganho de calor, aproveitando a iluminação natural; e a implantação de áreas verdes para promover, dentre outros aspectos, o sombreamento das superfícies.

2.2 Elementos Vazados

Para a arquitetura, na visão bioclimática, vários são os tipos de dispositivos de controle da radiação solar ou quebra-sóis como também são chamados. Além de proteger da radiação solar e direcionar a luz solar, eles podem se tornar elementos arquitetônicos interessantes. Os brises são os mais conhecidos, entretanto existem outros como toldos, pérgulas, venezianas etc.

O *brise-soleil* é um elemento construtivo constituído por lâminas geralmente paralelas, externas à edificação. A principal função desses elementos é impedir a radiação solar direta na edificação. Possui também outras funções além da redução de ganhos de calor, como o controle do excesso de luminosidade, o controle da ventilação e da visibilidade, além do sombreamento das fechadas. “A concepção desse elemento é basicamente funcional, porém sua aplicação passa a dialogar com

a composição arquitetônica da edificação. Assim, também se enquadra nos preceitos modernistas visto que sua “forma segue a função” (CASTRO, 2004, p.22).

Segundo Bittencourt (2004), os referidos brises podem ser classificados em móveis e fixos quanto ao movimento; e quanto à posição que ocupam podem ser classificados como verticais, horizontais e mistos. Quanto à mobilidade, o brise móvel possui lâminas pivotantes ou basculantes que acompanham o movimento do Sol provocando sombras nos momentos adequados de acordo com as necessidades do edifício (GUTIERREZ, 2004).

Cada tipologia protege de forma mais adequada determinado ângulo de obstrução (Figura 3). Bittencourt (2004) aponta que para definir os tipos de protetores a serem projetados, vários aspectos devem ser considerados, como eficiência, plasticidade, privacidade, durabilidade, custos, entre outros.

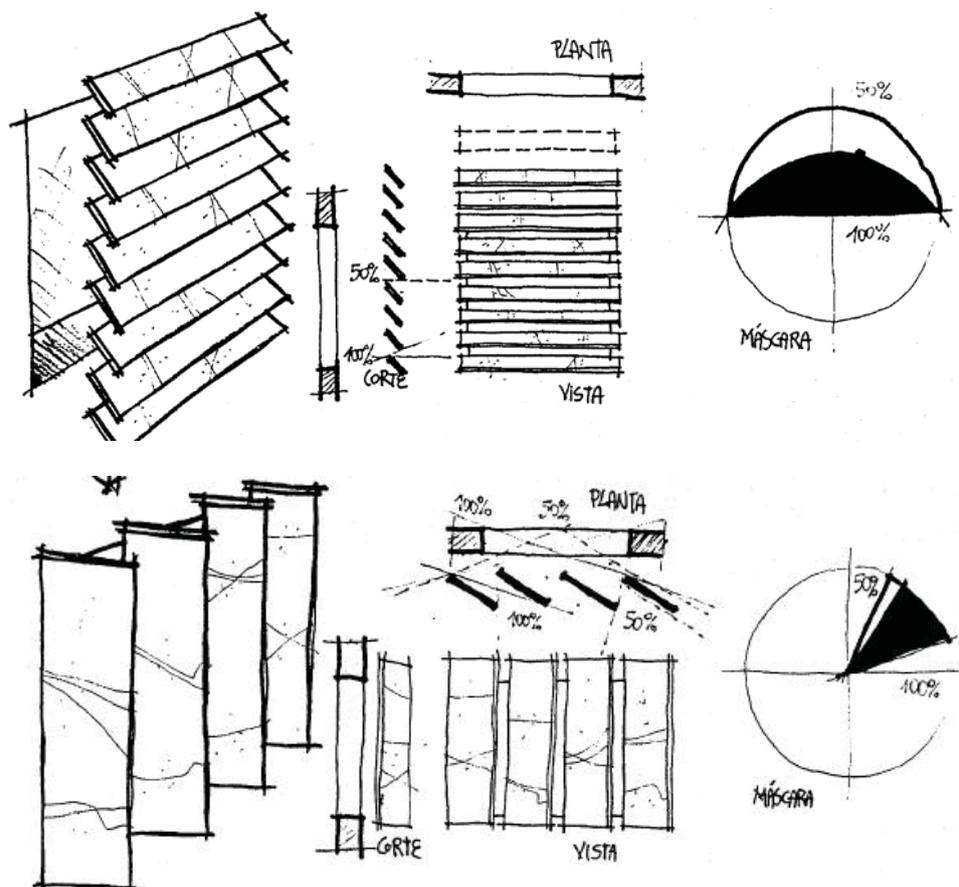


Figura 3. Esquema de brises horizontal e vertical com os respectivos ângulos de obstrução
Fonte: LAMBERTS (2009)

Os brises mistos (Figura 4) são a combinação simultânea de brises horizontais com verticais. Lâminas verticais e horizontais atuam de forma complementar. Isso permite a utilização mínima de painéis para realizar o sombreamento o que resulta em vantagens nos custos, além de promover, também, maior iluminação natural. Os protetores possuem melhor desempenho térmico caso tenham cores claras, pois absorverão menor quantidade de radiação solar, refletindo boa parte da radiação incidente. Também, se forem colocados afastados das vedações transmitirão menos calor a elas. Para isso é necessário conhecer os coeficientes de reflexão e absorção dos materiais da edificação.

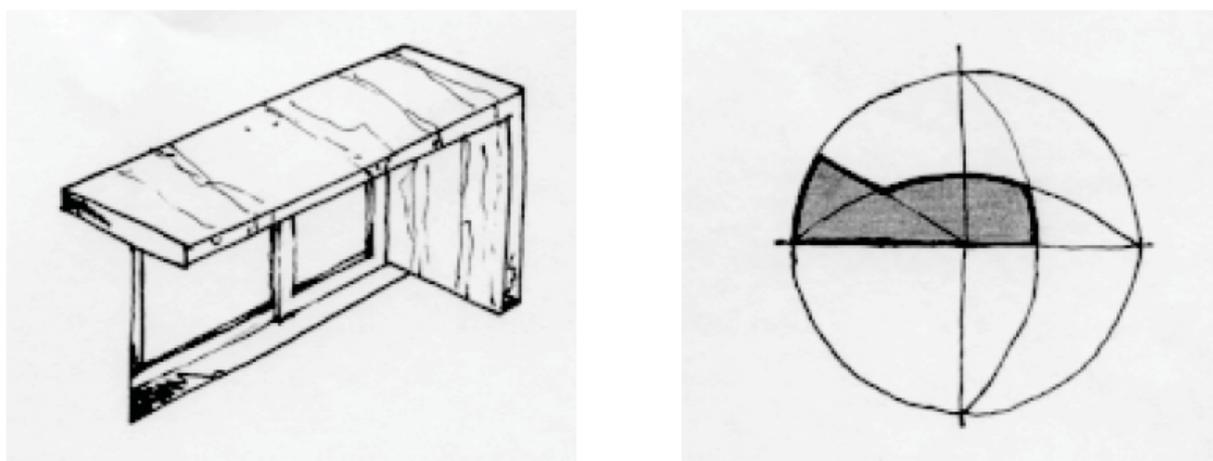


Figura 4. Esquema de brises misto com respectiva máscara de sombra
Fonte: LAMBERTS (2009)

Os cobogós (Figura 5) são de uso freqüente em construções de climas ensolarados e constituem solução inteligente como proteção solar. Na realidade, são protetores mistos em escala reduzida, os quais, além de oferecer proteção solar, podem funcionar como filtro do excesso de luz natural, sem barrar a ventilação (BITTENCOURT, 2004).

Os elementos vazados, cobogós ou combogós, funcionam como componentes arquitetônicos que proporcionam permanente ventilação natural, iluminação natural e proteção solar, pois filtram a intensa radiação solar nessas

regiões e também apresentam facilidade de fabricação. “Se constituem em componentes arquitetônicos de uso comum por ser um tipo de envazadura de baixo custo e satisfatório desempenho ambiental” (BITTENCOURT, 1995, p. 378).



Figura 5. Imagens de alguns modelos de cobogós utilizados no mercado brasileiro

Conforme resgatado e divulgado em Tecnologia...(2005), no Brasil, os elementos vazados, têm sido empregados desde 1930, quando os sócios de uma fábrica que produzia tijolos, o mestre de obras português Amadeu Coimbra, ferreiro alemão Ernest Boeckman e o engenheiro Antônio de Góis os utilizaram em uma construção em Olinda, Pernambuco (a caixa de água da Sé, Figura 6) (SEGAWA, 1988).



Figura 6. Foto do edifício da Caixa de água da Sé de Luiz Nunes, 1937
Fonte: http://www.educatorium.com/projetos/projetos_int.php?id_projetos=43

A propósito, vale citar uma curiosidade: os nomes cobogós e combogós são termos criados a partir da primeira sílaba dos nomes dos seus criadores (SEGAWA, 1988). Conforme descrito em Cobogós (2009), a patente do nome foi registrada em 1929; porém em pesquisa à base de patentes do Instituto Nacional da Propriedade Industrial, não foi encontrado o registro.

No período colonial mineiro existia esse tipo de solução arquitetônica, porém com outro nome e material; era utilizada madeira, formando tramas horizontais e verticais. Em Diamantina e em Ouro Preto, cidades de Minas Gerais, por exemplo, pode-se observar o uso deste tipo de elemento nas edificações. O uso desta técnica na arquitetura colonial mineira teria vindo de Portugal com o nome de Gelasias (COBOGÓS, 2009).

De acordo com o dicionário português, gelosias são grades de ripas de madeira colocadas no vão das janelas e através da qual é possível ver sem ser visto. As gelosias portuguesas, por sua vez, são originadas dos séculos XVII e XVIII e teriam influência mulçumana (os muxarabis são uma solução arquitetônica de origem mourisca, que chegou até a península Ibérica durante o período de ocupação árabe).

Com utilização pioneira em Pernambuco, os elementos vazados, aos poucos, foram se estendendo até se tornarem um componente construtivo comum nas edificações de todo território nacional. Inicialmente fabricados com argamassa, cimento e areia, eram moldados em fôrmas de madeira ou de argila, com cozimento em fornos. Hoje apresentam uma infinidade de materiais para a sua aplicação, como vidro, cerâmica, alumínio, madeira entre outros (conforme pode ser observado na Figura 5).

“Do ponto de vista estético, os cobogós representaram, junto com os pergulados, as treliças e os *brises*, uma solução expressiva ao traduzir a porosidade existente nos painéis vazados do período colonial, que a arquitetura modernista brasileira tentava resgatar. Projetistas renomados, como Lúcio Costa e Luís Nunes, utilizaram os cobogós como solução estética para residências e prédios públicos, produzindo-os com variadas configurações em material cerâmico, louça e vidro.” (TECNOLOGIA..., 2005, p.1) (Figura 7).

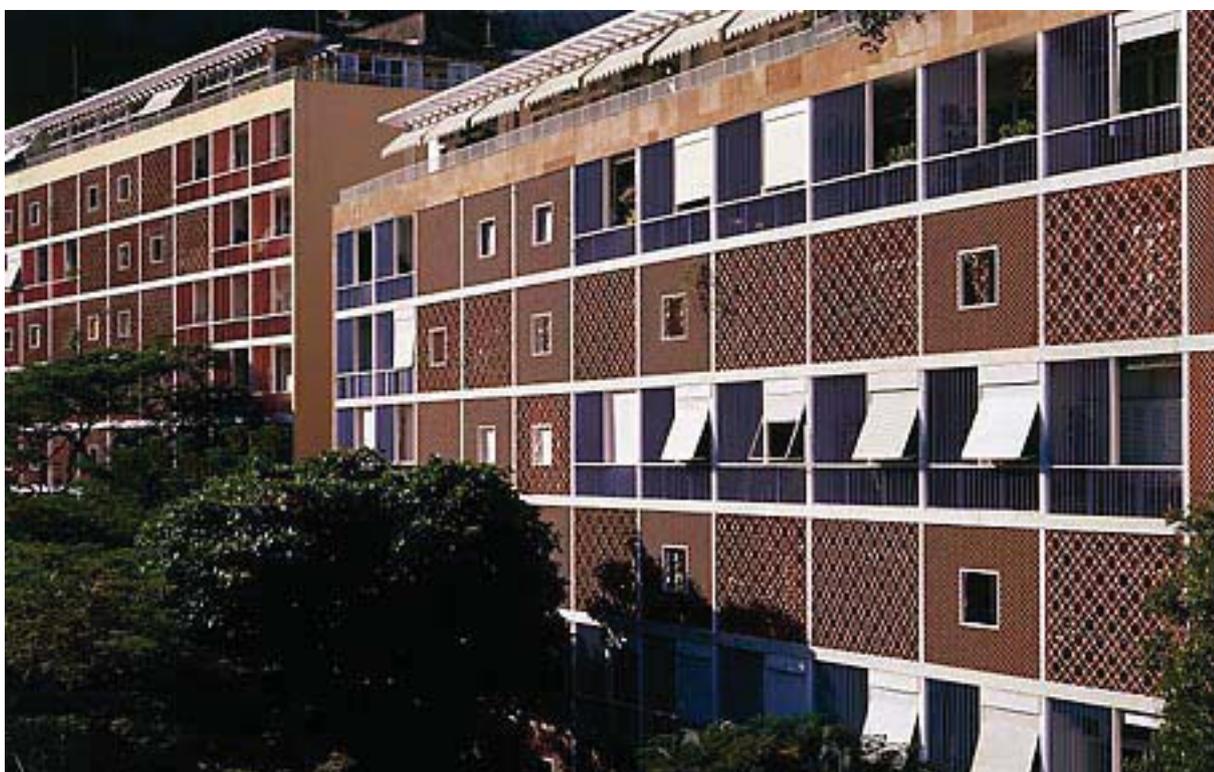


Figura 7. Foto do Conjunto Residencial Parque Guinle, de Lúcio Costa, 1948
Fonte: http://www.educatorium.com/projetos/projetos_int.php?id_projetos=35

De acordo com Flores (2004), a utilização dos cobogós ou elementos vazados para ocultar os compartimentos menos nobres das edificações eram exigências do código de obras de 1960 de Brasília. Neste sentido, percebe-se que 65% dos edifícios construídos durante os anos de 60 e 79, em Brasília, possuem cobogós

como elemento de vedação, enquanto que a partir da década de 80 até os dias atuais, apenas 2% possui esse elemento presente nas fachadas.

Os arquitetos modernistas bem se apropriaram do uso, entre outros elementos, dos dispositivos de proteção solar, como o brise-soleil e os cobogós, acabando por caracterizar a arquitetura brasileira modernista. Lúcio Costa, por exemplo, ultrapassa o rigor compositivo purista ou brutalista, se apropriando de novas linguagens com o uso das cores nos elementos vazados:

“Como resultado final, a riqueza decorativa linear não aparece como um capricho dissonante, mas como uma espantosa trama de cheios e vazios, que se integra na ortogonalidade rigorosa dos primas e dilui a função de vedação atribuída à fachada. Sua aparição figura a possibilidade ideal de uma edificação inteiramente vazada, desmaterializada, por tem o ar como matéria constituinte. Por outro lado, nada mais contrastante em relação à imaterialidade da arquitetura contemporânea, exemplificada nas peles de vidro de Jean Nouvel, do que a presença tátil e cromática dessa cerâmica recortada e multiplicada.” (WISNIK, 2001, p.33)

Da década de sessenta em diante, no Brasil, o uso dos elementos vazados começou a entrar em declínio, devido à adoção, pelos arquitetos brasileiros, de um padrão de construção internacional, em que predominavam fachadas "limpas" e envidraçadas, altamente inadequadas às nossas condições climáticas. Infelizmente, com a adoção do modismo importado, o cobogó passou a ser tratado preconceituosamente como popular (TECNOLOGIA ...,2005).

Estudo criterioso foi desenvolvido por Bittencourt (1993), para identificar a qualidade ambiental dos elementos vazados, a partir da investigação do desempenho da geometria dos blocos no incremento da ventilação em edifícios.

Esse autor (*op.cit.*) avaliou o desempenho de quatro tipologias de cobogós quanto à resistência à passagem da ventilação natural, em função da velocidade e do ângulo de incidência. Para isso, realizou medições em duas câmaras de testes

(Figura 8) com painéis compostos pelos quatro tipos de elementos, tomando como referência um ponto interno em cada câmara (Pi) e um externo (Pe).

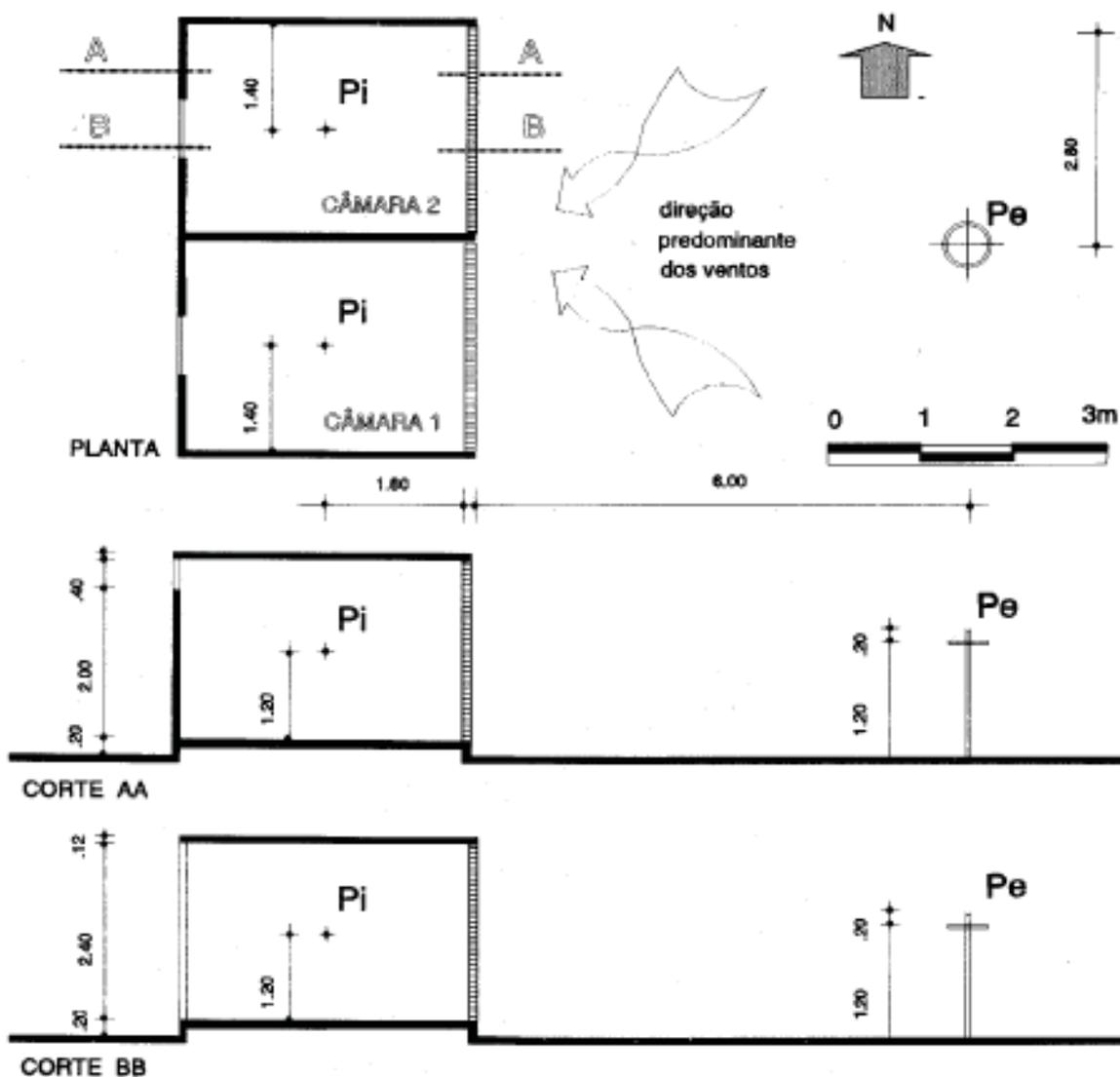


Figura 8. Desenho das câmaras de teste com cobogós analisados por Bittencourt (1993)
Fonte: Bittencourt (1993)

O estudo demonstrou que:

- Os blocos apresentam resistência seletiva em função da velocidade do vento e da forma de cada elemento analisado;

- A resistência oferecida pelos painéis de cobogós é proporcional à porosidade de cada componente e aumenta à medida que a velocidade do vento aumenta, indicando uma característica moduladora na velocidade do ar interior;
- Ângulos de incidência oblíquos à fachada diminuem a velocidade do ar interior;
- Os blocos podem redirecionar o fluxo do ar, proporcionando uma distribuição mais uniforme, se comparada àquela produzida por uma abertura livre de iguais dimensões.

O autor avaliou o desempenho em relação à ventilação natural e identificou que para construções localizadas em regiões quentes e úmidas – nas quais a ventilação natural constitui estratégia de fundamental importância – os elementos vazados constituem componentes arquitetônicos de grande potencial funcional e plástico.

Em contrapartida, as aplicações desses elementos têm sido baseadas em empirismo, nem sempre com resultados satisfatórios, o que compromete a potencialidade identificada na utilização dos elementos vazados. Apesar do uso secular dos mesmos, esta realidade é consequência das raras pesquisas com o propósito de determinar seu uso ambiental. “A bibliografia sobre o tema se mostra muito escassa, a despeito de antiguidade e do potencial bioclimático que este elemento construtivo apresenta” (BITTENCOURT, 1995, p. 378).

Pode ser constatado que, do ponto de vista térmico, o cobogó é um elemento potencialmente importante para aproveitamento da ventilação natural em locais de clima quente e úmido, assim com da iluminação natural e filtro da insolação. Entretanto, apesar deste caráter de alternativa passiva conferido ao elemento

vazado, parece que mesmo atualmente ainda não se firmou como tecnologia a ser explorada; para que isso aconteça, outras pesquisas precisam ser desenvolvidas a fim de aproveitar a vantagem de nova tecnologia passiva que o referido elemento pode apresentar, o que já está comprovado.

3. ISOLAMENTO ACÚSTICO E ABERTURAS: REVISÃO

BIBLIOGRÁFICA

A inter-relação do conforto ambiental térmico (ventilação) e acústico (isolamento do som) possui uma congruência significativa, principalmente em se tratando de partições de vedação nas edificações; e de acordo com a literatura sobre o tema, deve ser procurada a relação ótima entre os elementos menos isolantes e mais isolantes, uma vez que o valor do índice de isolamento sonoro global é bastante influenciado pelos elementos menos isolantes da parede (DASHOFER, 2009). As aberturas como alternativa de sistema passivo para conforto térmico nos edifícios, por exemplo, são as que mais influenciam na isolação acústica das partições.

Neste Capítulo será desenvolvida uma abordagem teórica sobre isolação acústica de paredes para sons aéreos, relacionando as variáveis que caracterizam os fenômenos físicos envolvidos; em seguida será discutida a dicotomia do conforto térmico e acústico para os elementos de fachada, e serão apresentados alguns estudos científicos recentes sobre experimentos com este enfoque.

3.1 Isolação acústica de paredes para sons aéreos

Uma parede entre dois recintos reduz a transmissão sonora entre eles, pois uma frente de onda ao incidir sobre uma parede sólida encontra um meio material com propriedades distintas do ar no recinto, a qual deve então propagar-se através do material sólido, percorrendo a espessura da parede, encontrando do outro lado o ar do recinto contíguo. Toda vez que ocorre uma mudança das características do meio de propagação, há uma redução na intensidade sonora transmitida para o meio seguinte. Portanto, uma parede reduz a intensidade sonora transmitida entre recintos, pois ocorrem duas mudanças do meio de propagação: ar-parede e parede-ar (BISTAFA, 2006).

O parâmetro que caracteriza a capacidade de uma parede transmitir (ou isolar) som é o coeficiente de transmissão sonora (τ). Diferentemente da absorção sonora da parede, cujo parâmetro característico é o coeficiente de absorção sonora, o parâmetro que é normalmente utilizado para caracterizar a isolação sonora de uma parede, não é o coeficiente de transmissão sonora (τ), mas sim uma grandeza dele derivada, chamada de Perda por Transmissão Sonora (PT)¹.

Gerges (2000) define que o isolamento de ruídos fornecido por paredes, pisos, divisórias ou partições, é apenas uma maneira de atenuar a transmissão da energia sonora de um ambiente para outro. A energia sonora pode ser transmitida via aérea (som carregado pelo ar, através da propagação por ondas do tipo longitudinal, ou seja, a vibração das partículas de ar ocorre na mesma direção da

¹ Também denominado Índice de Redução Sonora (R), em português; e *Transmission Loss* (TL) ou *Sound Reduction Index* (SRI) em inglês.

propagação da onda sonora) e/ou via sólida (som carregado pela estrutura, através de vários tipos de ondas, como cisalhamento, torcional, flexão).

No projeto e construção de partições ou paredes de isolamento acústico, devem ser considerados os princípios físicos básicos. Nas diversas faixas de frequência existem parâmetros variáveis que permitem determinar o nível de ruído transmitido. As características de materiais ou dispositivos para isolamento acústico podem ser estabelecidas através da determinação das seguintes grandezas físicas: Perda na Transmissão (PT) e/ou Perda na Inserção (IL) (GERGES, 2000).

A Perda na Transmissão (PT) é o índice que relaciona logaritmicamente a energia sonora transmitida com a energia sonora incidente em uma parede (BISTAFA, 2006). Em termos matemáticos, tem-se:

$$PT = 10\log(1/\tau) \quad (1)$$

Na qual, τ = energia transmitida/energia incidente, denominado coeficiente de transmissão sonora.

A Perda na Transmissão (PT) é determinada experimentalmente através de um ensaio normalizado pela norma ISO 140 (1998), e obtida medindo-se o nível de pressão sonora na sala da fonte (L_{p1}), e na sala de recepção (L_{p2}). A PT da parede é dada por:

$$PT = L_{p1} - L_{p2} + 10\log(S/A_{s.recepção}) \quad (2)$$

Na qual, "S" é a área da parede (m^2), a $A_{s.recepção}$ é a absorção sonora na sala de recepção (em m^2 sabine).

Para se obter o isolamento acústico entre recintos, a Redução de Ruído (D)², é a diferença de níveis entre a sala de emissão (L_{p1}) e a sala de recepção (L_{p2}); no caso de fachadas, é a diferença entre o nível externo e o interno (BISTAFA, 2006).

$$D = L_{p1} - L_{p2} \quad (3)$$

A Perda na Inserção (IL)³ expressa a diferença do nível de pressão sonora (NPS ou L_p) antes ($L_{p \text{ antes}}$) e depois ($L_{p \text{ depois}}$) da colocação do dispositivo isolador (GERGES, 2000). É a diferença de níveis em um mesmo ponto, em uma sala (ou dormitório), por exemplo, com a janela aberta e fechada. Matematicamente tem-se:

$$IL = L_{p \text{ antes}} - L_{p \text{ depois}} \quad (4)$$

De acordo com Gerges (2000), a Perda na Inserção (IL) não depende apenas das características intrínsecas dos materiais, mas também de outros fatores como: local de medição, volume do enclausuramento, orifícios existentes, absorção acústica, entre outros, portanto é um parâmetro de um dispositivo específico.

A Perda por Transmissão de partições é fortemente dependente da frequência do som incidente. Quanto menor a frequência, menor será a isolação acústica da parede. O som que é transmitido para o recinto receptor apresentará um espectro diferente do som original, pois as altas frequências serão mais atenuadas que as baixas (BISTAFA, 2006).

A curva típica de Perda por Transmissão em função da frequência, de painéis sólidos e homogêneos, é ilustrada na Figura 9. Esta curva pode ser subdividida em

² Também denominado *Noise Reduction* (NR) em Inglês

³ Também denominado Diferença de Nível em português, ou *Insertion Loss* (IL) em inglês.

diversas regiões que revelam a propriedade da parede que mais influencia a Perda por Transmissão. Observam-se quatro regiões: nas baixas freqüências, a região controlada pela rigidez e a região controlada pela ressonância do painel, nas médias freqüências, a região controlada pela massa do painel, e nas altas freqüências, a região controlada pelo fenômeno de coincidência (BISTAFA, 2006).

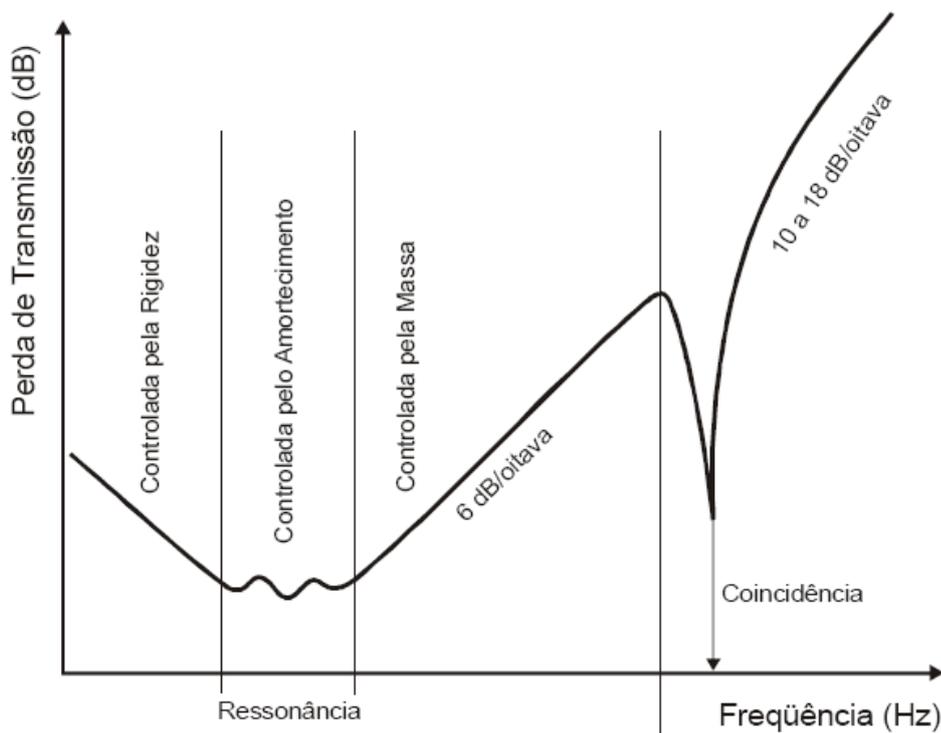


Figura 9. Gráfico da curva típica de PT para parede simples
Fonte: Gerges (2000)

a) Região controlada pela rigidez:

Para freqüências muito baixas, a perda de transmissão não segue a lei da massa, dependendo principalmente das características de rigidez do fechamento.

b) Região controlada pela ressonância:

É a região na qual aparecem as primeiras freqüências de ressonância do sistema. O fechamento se comporta como uma membrana, apresentando uma série de freqüências naturais de ressonância, nas quais ocorrem quedas na Perda na

Transmissão. Essas freqüências dependem das dimensões, da rigidez e da massa do fechamento.

c) Região controlada pela massa:

Ocorre em freqüências superiores ao dobro da freqüência da primeira ressonância e a isolação acústica do fechamento depende da massa e da freqüência incidente. Nestas circunstâncias, a perda de transmissão tende a apresentar um aumento de 6 dB para cada duplicação da massa ou a cada duplicação da freqüência da onda incidente. Pode-se afirmar então, baseado na lei da massa que, para isolar um ruído é necessário usar materiais de alta densidade superficial. Adicionalmente, conclui-se que para as altas freqüências a perda de transmissão é maior que para as baixas freqüências (GERGES, 1992, p.190).

Isto ocorre porque, quanto maior a massa do fechamento e maior a freqüência incidente, maior será a dificuldade de fazer o material vibrar, garantindo assim um isolamento mais eficiente. Nesta região a Perda por Transmissão é dada por:

$$PT=20\log (f.M) - 47 \text{ dB}$$

Na qual f é a freqüência do som incidente, em Hz, e M é a densidade superficial da parede, em Kg/m^2 .

d) Região controlada pela coincidência:

À medida que a freqüência do som incidente se eleva acima das freqüências de ressonância, os comprimentos das ondas no ar se reduzem, aproximando-se dos comprimentos das ondas de flexão no painel. As coincidências ocorrerão numa faixa

de frequências conhecida como “vale de coincidência”. Similarmente à região controlada pela ressonância, na região controlada pela coincidência, a Perda por Transmissão é também controlada pelo amortecimento do painel (BISTAFA, 2006).

3.1.1 Perda na Transmissão de paredes compostas

Conforme Bistafa (2006) é comum paredes apresentarem elementos tais como janelas, portas, aberturas de ventilação etc. que interrompem sua homogeneidade. A Perda por Transmissão de uma partição composta poderá ser obtida a partir da Perda por Transmissão de seus componentes individuais:

$$PT_c = 10 \log(1/\tau_c) \quad (5)$$

Onde, “ τ_c ” é o coeficiente de transmissão da partição composta, dado por:

$$\tau_c = \sum S_i \tau_i / S_i \quad (6)$$

Onde “ S_i ” é a área do i-ésimo componente da partição, e “ τ_i ” é o seu respectivo coeficiente de transmissão sonora obtido por:

$$\tau_i = 10^{-PT_i/10} \quad (7)$$

Onde " τ_i " é a Perda na Transmissão do i -ésimo componente da partição.

Gerges (2000) discute a preocupação que deve ser estabelecida para áreas abertas, como portas, janelas e brechas, pois podem comprometer a eficiência do isolamento sonoro.

Elementos com baixa Perda na Transmissão podem degradar significativamente o desempenho de partições com elevada Perda na Transmissão. "Na prática, elementos que perturbem a homogeneidade de partições devem ser escolhidos com a mais elevada Perda por Transmissão e a menor área possíveis" (BISTAFA, 2006, p. 287).

Gerges (2000) apresenta um gráfico no qual pode ser observado que a abertura de 1% em uma parede pode diminuir as propriedades do isolamento sonoro de 30 dB para 19,6 dB, reforçando a dificuldade de lidar-se com aberturas quando se deseja isolamento (Figura 10).

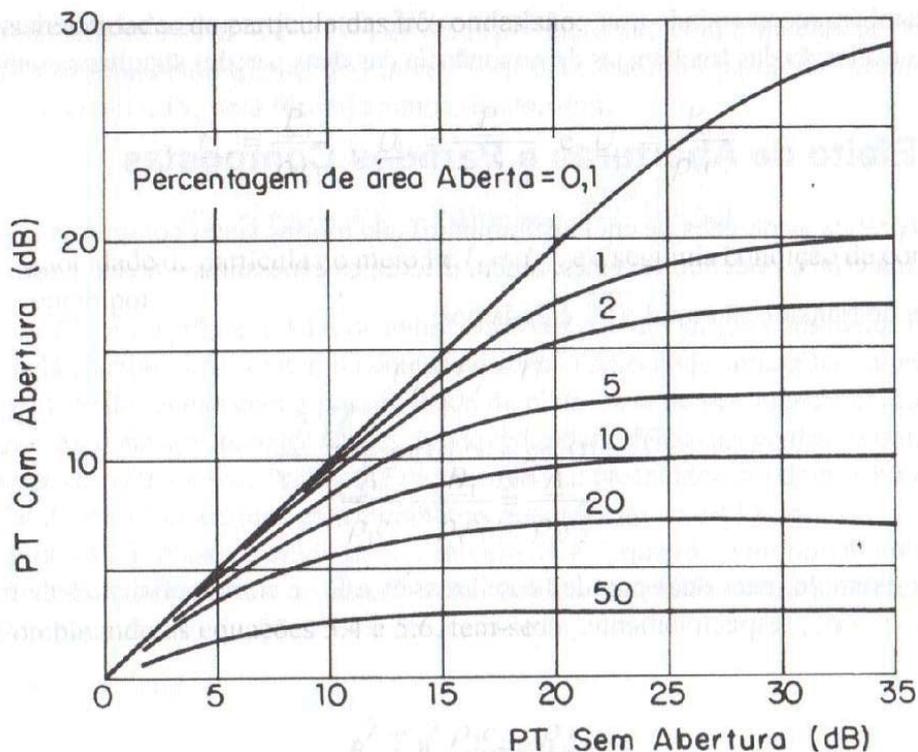


Figura 10. Gráfico da Perda na Transmissão de paredes com aberturas
Fonte: Gerges (2000)

3.2 Dicotomia Conforto Térmico e Conforto Acústico nos elementos de fachada

Novas expectativas podem ser impressas no contexto da arquitetura bioclimática quando se insere outra linha de pesquisa do conforto ambiental: o conforto acústico. A dicotomia observada na área do conforto térmico e luminoso, pela inter-relação mais evidente entre eles, muitas vezes leva a estudar a questão da acústica em separado.

O estudo da acústica arquitetônica não é uma área nova, os conhecimentos dos fenômenos físicos, principalmente, e suas apropriações são tão antigos quanto a proporção com que são utilizados em nossos dias. Na arquitetura, porém, o estudo da acústica é mais recente; as pesquisas dão-se mais em relação à resolução de problemas e às novas alternativas, que a busca do entendimento dos fenômenos propriamente ditos, com a premissa de já serem de conhecimento geral; e de fato o são. Isso não quer dizer que para solucionar problemas – muitas vezes elaborando novas tecnologias – não se tenha que estudar esses fenômenos, muito ao contrário, são fenômenos complexos que somente podem ser aplicados se entendidas as suas capacidades e congruências.

A necessidade encontrada que compile o conforto acústico, térmico e luminoso está bastante evidente nas características ambientais dos espaços contidos em locais de clima quente e úmido. A partir das conclusões de um trabalho sobre a melhoria da qualidade acústica das fachadas próximas a aeroportos em locais de climas quentes, Moraes *et al* (2005, p.10), definem:

“In hot-humid climate regions, the solutions for noise pollution control are often opposing to the thermal comfort ones. A work line exists where the matters of thermal comfort are decided through bio-climatic architecture. This work aimed to propose feasible low cost sustainable solutions for the control of the urban noise pollution in these climates. A suggestion for future experiments would be the rank of absorbent materials in the air inputs. This would absorb the noise therefore improving the acoustical isolation of the facade.”

Conforme citação acima, as soluções para controle do conforto acústico geralmente são opostas às de conforto térmico. Muito se escuta falar sobre a discussão de desempenho de materiais termo-acústicos da mesma forma, o fenômeno deve ser rediscutido quando se fala em elementos que devem permitir a ventilação e, ao mesmo tempo, controlar a emissão de ruídos internos e externos, por exemplo, aproveitando também a luz natural.

Segundo Losso e Viveiros (2003), permanece a questão de como resolver o problema dos aspectos conflitantes no conforto ambiental, como o acústico e o térmico. Para os autores é possível resolvê-los ao mesmo tempo em que se pode ter uma boa aparência arquitetônica. A primeira solução seria trabalhar na escala urbana, no planejamento, instalando os edifícios em áreas calmas do tecido urbano. Outro aspecto seria o correto planejamento de edifício quanto à sua localização, orientação e forma dentro do lote, não apenas em relação aos aspectos de ventilação natural, mas também de ruídos.

Outra alternativa que os autores reportam é usar nos edifícios elementos que permitam a passagem da ventilação, mas que parcialmente bloqueiem o ruído trazido, para ser possível obter-se bom resultado.

A seguir são apresentados alguns resultados dos estudos científicos desenvolvidos no sentido de aliar as alternativas de conforto térmico e acústico.

3.2.1. Venezianas Acústicas

Avaliando uma possível solução neste sentido, Silva (1998) estudou o desempenho das *acoustic louvers*, conhecidas no Brasil como venezianas acústicas, as quais são esquadrias que simultaneamente permitem a entrada de ar no ambiente e reduzem a transmissão do ruído (Figura 11).



Figura 11. Imagem da veneziana acústica
Fonte: Somax (2005)

As venezianas acústicas são utilizados como elementos nos edifícios nos quais o fechamento não se destina a impedir fluxo de ar, normalmente para o exterior. Elas cobrem as abertura de um edifício, permitindo assim a ventilação natural, preservando a privacidade das áreas internas e fornecendo proteção meteorológicas.

No Brasil e em outros países tropicais, as venezianas que têm a função de evitar ou minimizar a radiação solar, são conhecidas pela expressão francesa *brise soleil*. Conforme Silva (1998), aqueles que apresentam boa isolação sonora são nomeados *acoustic louvers*, uma terminologia que é comumente usada na Europa e nos Estados Unidos mas nem tanto no Brasil (venezianas acústicas, em Português).

Uma veneziana acústica é usada quando o controle do ruído é necessário juntamente com ventilação, como por exemplo, para um recinto que abriga um equipamento que produz ruído excessivo. Quando usado em fachadas, uma veneziana acústica pode ter dimensão significativa e se tornar um elemento importante na composição estética, semelhante a um *brise soleil*. No entanto, o isolamento acústico obtido, apesar de ser pequeno, comparado com partições fechadas, pode constituir importante contribuição para controle do ruído industrial (SILVA, 1998).

Segundo Silva (1998), as venezianas acústicas ainda têm que ser plenamente exploradas no Brasil. Na verdade, muitas vezes a arquitetura brasileira parece estar dissociada das condições ambientais pois os edifícios não apresentam eficiente proteção térmica e/ou de conforto acústico ao ambiente. Em um país no qual grande parte do clima é tropical, e nem cidades que sofrem alguns dos mais elevados níveis de ruído urbano em todo o mundo, o uso das venezianas acústicas no planejamento, concepção e para a reparação ou o controle do ruído, tem importantes aplicações.

Atualmente, as venezianas acústicas têm sido aplicadas apenas para controlar o ruído industrial e normalmente são feitas sob encomenda, ao invés de produção em larga escala. O desenho é rudimentar, envolvendo engenharia e pouca análise científica. As *acoustic louvers* têm sido desenvolvidas como esquadrias abertas projetadas para aumentar o isolamento sonoro porém, geralmente, os enfoques têm sido baseados em experiências de engenharia, ao invés de em pesquisa e desenvolvimento (VIVEIROS, *et al*, 2002).

As venezianas acústicas comercializadas, inclusive no Brasil, seguem um *design* padrão e usualmente são especificadas em relação à largura, ângulo e tamanho das aberturas dos painéis e fabricadas em chapas de aço galvanizadas

lisas e perfuradas, com enchimento fono-absorvedor de ruídos em fibra de vidro de alta densidade (SOMAX, 2005).

Silva (1998) avaliou o desempenho acústico das *acoustic louvers* a partir de método alternativo de Resposta Impulsiva, e comparou os resultados com as medições e predições de métodos existentes para validação.

A partir do método de medição *in situ* estabelecido pela norma ISO 140, Silva (1998) utilizou-a em uma área de teste de abertura de 3,5 m², com comprimento mínimo de 1,6 m. A veneziana de 2,0 m² foi colocada em nível com duas faces na abertura. A restante área envolvente ao redor do Louvre foi fechada com uma folha dupla de divisória de madeira, com material absorvente (dentro). Os ambientes foram estruturalmente isolados para assegurar que a transmissão de acompanhamento era insignificante e que a perda de transmissão da parede de ligação era muito maior do que a da veneziana acústica. Portanto, anterior à medição da veneziana, a partição desmontável em torno da mesma foi testada para o isolamento. O “Louvre” foi coberto em ambos os lados com o mesmo tipo de painel de madeira usado em torno dele e material de absorção introduzido nas fendas entre as lâminas (Figura 12). A menor frequência de medição das perdas de transmissão no momento da pesquisa foi de 100 Hz. As medições foram realizadas em Liverpool, Inglaterra.

A Figura 13 mostra os valores medidos para a perda na transmissão. O desempenho de isolamento apresenta a tendência geral de materiais de absorção sonora com valores maiores, com frequência crescente até ao máximo, na faixa de 1k a 2,5 kHz. Como esperado, o Louvre fornece relativamente pouca atenuação nas frequências mais baixas em comparação com a atenuação em altas frequências. Os dados abaixo 630 Hz, que apresentam valores inferiores a 15 dB, são considerados

não confiáveis, devido aos efeitos do acoplamento entre os ambientes. Além disso, na região de baixa frequência, a abertura em si oferece atenuação sonora devido à mudança de impedância através da abertura. Portanto, os resultados superestimam o isolamento acústico do Louvre (SILVA, 1998).

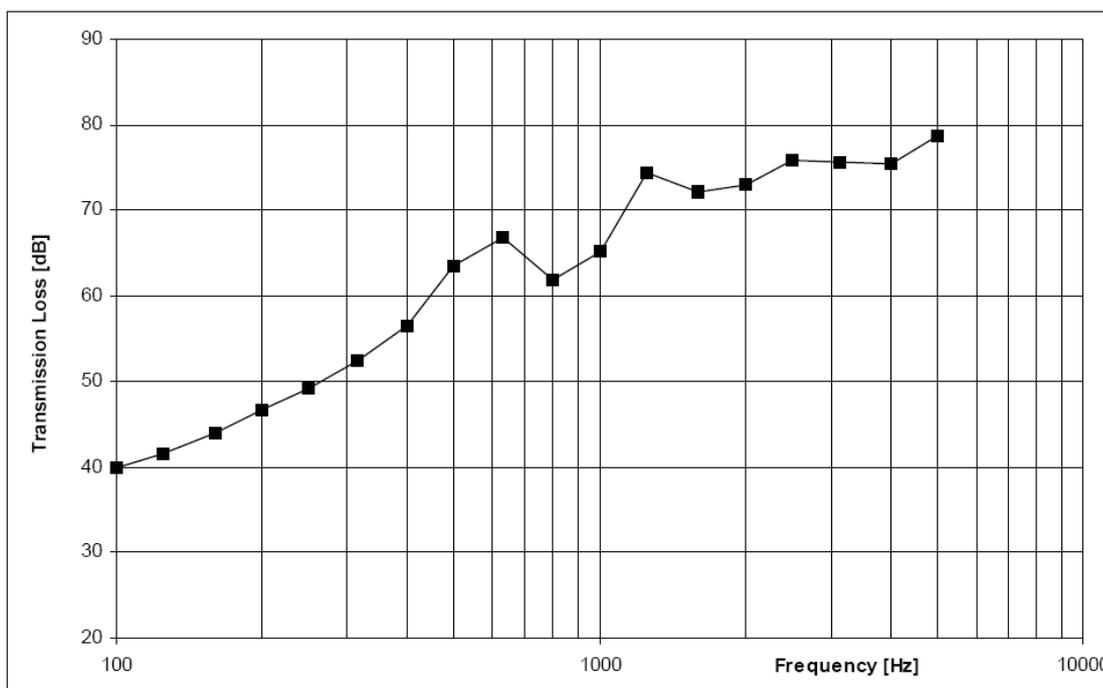


Figura 12. Perda na transmissão da partição de área de teste abrigados pelo painel de madeira
Fonte: Silva (1998)

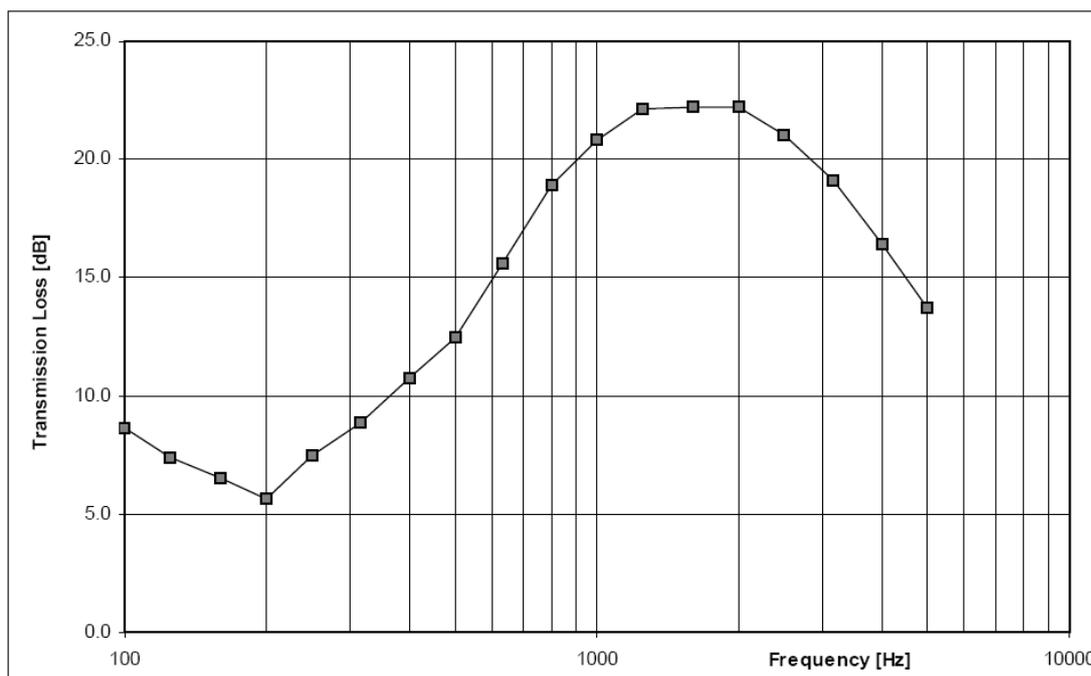


Figura 13. Perda na transmissão da *acoustic Louvre* pela ISO 140
Fonte: Silva (1998)

Na pesquisa foi demonstrado que os principais mecanismos de atenuação sonora de uma veneziana são a mudança de impedância na veneziana, interferência construtiva e destrutiva, e absorção. Então, a massa da lâmina, a geometria e vãos que compõem a veneziana e, também, o material de absorção desempenham papel importante (SILVA, 1998).

A autora identificou que a transmissão sonora através de venezianas foi medida para a faixa de frequência de 100 - 5 kHz e para ângulos de incidência entre -60 graus e +60 graus. Para a região de baixa frequência (abaixo de 1 kHz), a perda de transmissão era, efetivamente, independente do ângulo de incidência e exibiu um aumento monotônico em função do aumento da frequência. Acima de 1 kHz, efeitos de difração de onda acontecem, fruto da periodicidade da veneziana, do ângulo de incidência e do comprimento de onda. Caminhos de transmissão pelos diferentes vãos causam interferências destrutiva e construtiva e as venezianas são altamente direcionais. Foi observado que o ângulo de incidência paralelo à inclinação da lâmina oferece o coeficiente de transmissão mais alto e influenciou fortemente a perda de transmissão média angular.

“The sound insulation of acoustic louvres is not high, particularly at low frequencies, and therefore can be the dominant contribution to the overall performance of a facade or acoustic enclosure.” (VIVEIROS, GIBBS, 2003, p. 1). Como se pode observar, no estudo desenvolvido sobre as venezianas acústicas, conforme afirmação citada, estes elementos não apresentam isolamento sonoro satisfatório, principalmente em ruídos de baixa frequência.

3.2.2. Peitoril Ventilado

Outro elemento de fachada aliado às estratégias bioclimáticas para climas quentes e úmidos é conhecido principalmente no nordeste brasileiro, como “peitoril ventilado”.

Bittencourt et al (2007), descrevem o peitoril ventilado como um dispositivo geralmente executado em concreto, em formato geralmente em “L” invertido (Figura 14), sobreposto a uma abertura localizada no peitoril abaixo das janelas, que tem por finalidade atuar como fonte complementar do movimento de ar proporcionado pelas aberturas. Essa abertura fica protegida das chuvas pelos planos verticais e horizontais do “L”, da maneira a permitir a passagem dos ventos sem penetração de chuvas. Por esta ferramenta (peitoril ventilado) ser uma das estratégias de aplicação da ventilação natural no projeto, ela pode ser pensada de forma única ou atuando em conjunto. Para seu uso se tornar viável e efetivo, é necessário tomar cuidado para que a concentração de poluentes externos seja menor que a dos poluentes internos.

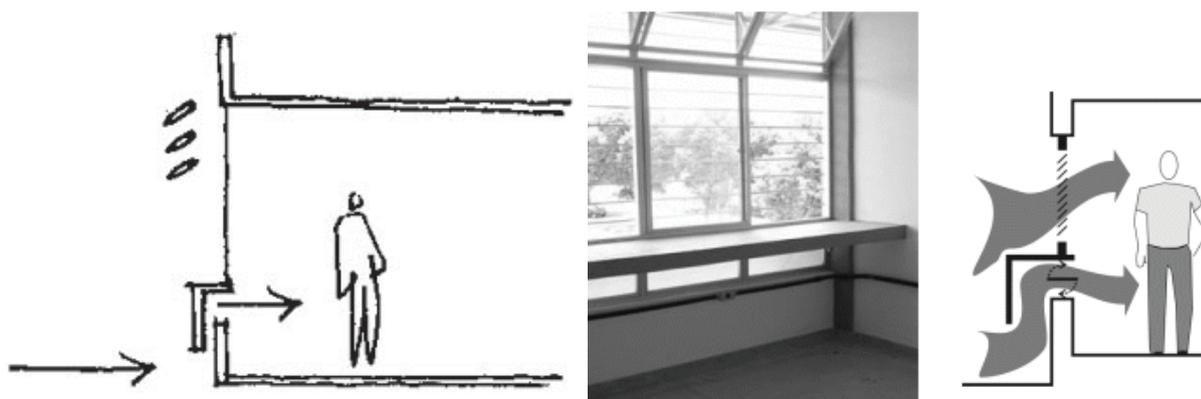


Figura 14. Croqui e imagem do peitoril ventilado
Fonte: Oiticica (2008) e Bittencourt et al (2007)

Oiticica (2008) desenvolveu um trabalho que teve o objetivo de investigar a melhoria da atenuação do ruído em fachadas contendo diferentes tipologias de peitoril ventilado utilizado em regiões de clima quente úmido, buscando subsídios para viabilizar a melhor relação entre ventilação natural, eficiência energética e acústica.

O trabalho representou uma série de investigações cuja finalidade foi conhecer o desempenho acústico de peitoris ventilados e estabelecer melhoria de desempenho para avaliar sua influência na ventilação natural e conforto térmico. As medições foram realizadas com base nas recomendações da ISO 140-5.

A primeira etapa da pesquisa consistiu em avaliar a atenuação sonora promovida por quatro configurações de peitoris, comumente encontradas nas aberturas de janelas em cidades de clima quente úmido. O material empregado para a construção do elemento foi a madeira compensada de 9 mm. Para todas as configurações (Figura 15) foi adotada a mesma área de abertura (1,00m x 0,18 m) e o mesmo espaçamento (0,20m). As medições foram realizadas em Campinas, São Paulo (OITICICA, 2008).

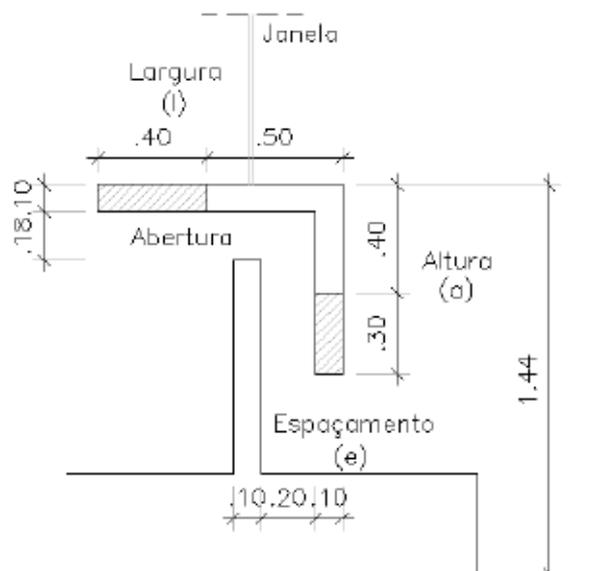


Figura 15 Croqui do peitoril ventilado
Fonte: Oiticica (2008)

Nos resultados (Figura 16) o autor observou que o comportamento do isolamento dos peitoris ventilados em função da frequência, nas configurações (sem tratamento absorvedor/ressonador – Configuração 01) foi quase plano e que os resultados ficam entre o desempenho da janela aberta e fechada (Configuração 04). Com a inserção de novos componentes (configurações 05, 06, 07 e 08) como tratamento do elemento de fachada (absorvedores e/ou ressonadores) através de novos aplicativos na configuração selecionada (peitoril longo – Configuração 04), pode ser observada melhora na atenuação sonora nas frequências a partir de 250 Hz. Esta alteração foi devida à presença da lã de rocha nas superfícies internas do peitoril, relacionadas com a parede da edificação e a parede do peitoril.

Os resultados mostram que um condicionante de fachada – (tipo peitoril ventilado) ao ter sua composição estrutural modificada, seja pela presença de um elemento absorvedor (lã de rocha) ou pela alteração na sua estrutura física (ressonadores) – o isolamento sonoro, embora pequeno nas baixas frequências, melhora consideravelmente nas médias e altas frequências. Outro fato observado foi a pequena diferença nos valores do isolamento sonoro entre as configurações com a presença de abertura para ventilação, e com a fachada literalmente fechada sem passagem para ventilação.

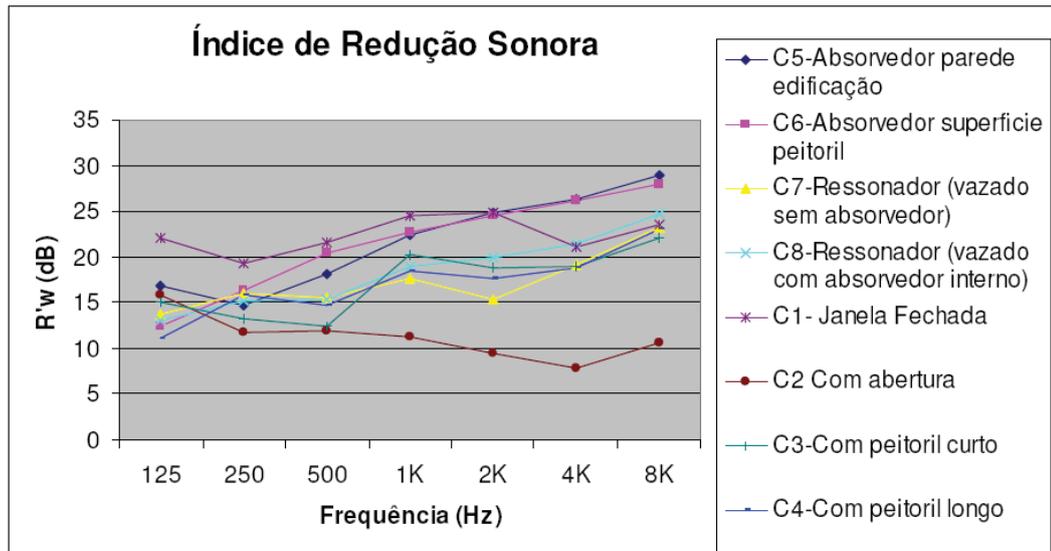


Figura 16. Resultados do Índice de Redução Sonora (R) para as diferentes configurações de peitoril ventilado
Fonte: Oiticica (2008)

De acordo com Oiticica (2008), para fins de comparação, o melhor desempenho de isolamento foi o da situação de janela totalmente fechada (Rw de 24 dB) e o pior desempenho de isolamento a janela com 3,55% de abertura e sem proteção (Rw de 11,5 dB). Janelas cujas aberturas receberam formas diferenciadas de peitoril ventilado apresentaram valores de isolamento intermediários (Rw de 17,5dB e de 17,8 dB) (Tabela 3).

A aplicação da lã de rocha, nas superfícies internas dos dutos do peitoril proporcionou grande interferência no índice de redução sonora ponderado do peitoril ventilado, chegando a valores bem próximos ao de uma a janela fechada. A aplicação da lã de rocha na parede do canal da edificação apresentou melhor desempenho nas baixas frequências destacando, assim, a importância dessas superfícies para redução sonora dos ruídos intrusivos aos ambientes.

Os resultados indicaram “a compatibilização da ventilação, eficiência energética e isolamento acústico viável, e que os peitoris ventilados projetados com formas e materiais adequados podem ser uma boa solução” (OITICICA, 2008).

Tabela 3 – Resultado do Índice de Isolamento Sonoro Global (Rw) das diferentes configurações de peitoril ventilado

CONFIGURAÇÕES	Tipologia das Janelas	R'w (dB)
CONF. 1	Fechada	24
CONF. 2	Com abertura	11,5
CONF. 3	Com Peitoril Curto	17,8
CONF. 4	Com Peitoril Longo	17,5
CONF. 5	Absorvedor parede edificação (com peitoril longo)	21,8
CONF. 6	Absorvedor parede peitoril (com peitoril longo)	23
CONF. 7	Ressonador sem absorvedor interno (com peitoril longo)	16,8
CONF. 8	Ressonador com absorvedor interno (com peitoril longo)	18,3

Fonte: Oitica (2008)

3.2.3. *Silenceair*®

Outra experiência a respeito da questão acústica e de ventilação natural foi estudada na Universidade de Sydney, Austrália, com o desenvolvimento de um protótipo de bloco de policarbonato que permite a passagem do ar e isola o ruído a partir de pequenas cavidades tubulares, que funcionam como ressonadores, além de permitir a iluminação (FRESH AIR, 2004) (Figura 17).



Figura 17. Imagem do *Silenceair*®
Fonte: <http://www.silenceair.com/site/index.html>

Quando do início da revisão bibliográfica do projeto elaborado para a pesquisa de “desenvolvimento de elemento vazado acústico”, ano de 2006, o elemento apresentado acima já havia sido desenvolvido, porém não foram encontradas referências sobre os estudos científicos que avaliassem as proposições do bloco, tampouco suas dimensões e funcionamento.

A informação disponível em *Acoustics Australia* (2004), é que a pesquisa envolveu o desenvolvimento de um ventilador “de ar fresco” que também reduz a intrusão do ruído em edifícios, utilizando tecnologia passiva para reduzir significativamente a transmissão de som através da criação de aberturas de ventilação. “Cada unidade tem uma forma aerodinâmica de abertura de ventilação incorpora linhas de tubos de comprimentos diferentes, conhecido como ressonadores, que são ajustados especificamente para captura de determinadas frequências sonoras que são em seguida, difusa e dispersa, enquanto permite a circulação de ar internamente” (*ACOUSTICS AUSTRALIA*, 2004).

Em pesquisa recente identificou-se que o sistema havia evoluído⁴ e que o elemento passou a ser comercializado pela internet. A promessa é que o elemento desenvolvido, conhecido como “*Silenceair*®”, promova a redução do ruído externo em 85%, com 17% da área total aberta para passagem da ventilação, chegando ao índice de redução sonora de 34 dB em 1.600 Hz. O índice de redução sonora global (R_w) é de 38 dB fechado e 25 dB aberto (Figura 18). Os *Silenceair* são fabricados em polipropileno reciclável e possuem dimensões de 230 mm x 140 mm de largura, com reentrâncias que alternam as ondas destrutivas e construtivas responsáveis pela perda na transmissão (Figura 17).

Possuem uma taxa de renovação do ar, em que cada unidade “*Silenceair*®” permite cerca de 25 metros cúbicos de ar em um quarto de hora em hora. Montagem de duas unidades em um quarto de tamanho padrão de 12 m² permite ar total de reciclagem a cada 35 minutos. Apresentam custo elevados de 150 dólares a unidade para quantidades acima de 100 (SILENCEAIR, 2009).

⁴ Antes a imagem do elemento era em acrílico transparente.

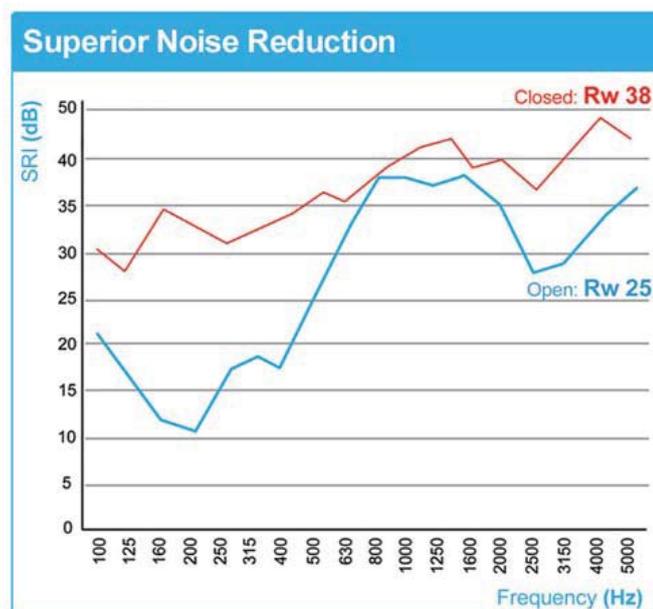


Figura 18. Gráfico de desempenho acústico do *Silenceair*®
Fonte: <http://www.silenceair.com/site/index.html>

3.2.4. Considerações finais

Não é possível garantir que o *Silenceair*® possua desempenho em relação à realidade climática das capitais litorâneas do nordeste brasileiro, principalmente se comparado às regiões de climas quentes e úmidos que apresentam condições climáticas constantes ao longo do dia e do ano.

O elemento analisado foi desenvolvido em local em que as características climáticas são diferentes, com clima subtropical úmido (cidade de Sydney na Austrália, com latitude de 33° sul aproximadamente), onde no inverno deve haver a preocupação de controlar a ventilação, mas sem ser desejada a retirada de calor. Provavelmente por este motivo o elemento apresenta a cavidade voltada para o interior com uma veneziana móvel para controle.

Esta realidade, bastante presente, é levada aos pesquisadores e profissionais como problema a ser avaliado. No entanto, poucas são as alternativas para abranger todas as necessidades; muitas vezes uma delas é evidenciada em detrimento de outra. No mercado a oferta de materiais é limitada e a bibliografia de estudos acadêmicos sobre o assunto é escassa, bem como a avaliação científica desses elementos sobre o comportamento que a eles são propostos.

Os *acoustic louvres* foram extensivamente avaliados por vários autores, especificamente Silva (1998), é também um elemento desenvolvido fora do Brasil e, aqui, mais amplamente utilizado nas soluções de controle de ruído de fábricas. Possui custo elevado e, para o nordeste brasileiro especificamente acrescido ao frete, pois são comercializados no sul e sudeste do Brasil.

Isso não quer dizer que os fabricantes sejam incertos, mas as realidades às quais, na maioria das vezes, suas criações são submetidas – principalmente realidades climáticas e culturais – não são adequadas às realidades brasileiras. Vale ressaltar que, aqui no Brasil, por sua grande dimensão territorial com variações geográficas, o desenvolvimento de produtos aplicados ao estudo do conforto ambiental, deve ser cauteloso e específico, porque têm que ser levadas em consideração, nossas diversidades climáticas e as respostas na busca do conforto.

O peitoril ventilado, por sua vez, representa uma perfeita adequação da arquitetura moderna aos condicionantes climáticos locais, principalmente no nordeste brasileiro de clima quente e úmido.

Considerando a metodologia de medição semelhante, pode-se observar que as perdas na transmissão global dos elementos analisados variam de 23 dB do peitoril ventilado⁵, a 25 dB do *Silenceair*®, e de no máximo 23 dB de Perda na

⁵ Elemento com material absorvente e com peitoril longo, sendo esta a configuração que apresentou melhor desempenho de isolamento sonoro.

Transmissão em 2000 Hz das venezianas acústicas, tendência de comportamento semelhante. Em relação ao desempenho por frequência, pode-se observar o baixo isolamento sonoro em baixas frequências para todos os elementos, porém maior nas altas, sendo o *Silenceair*® o que apresenta maior Perda na Transmissão na banda de oitava de 1000 Hz. O peitoril ventilado (longo) é o que apresenta desempenho de isolamento mais uniforme ao longo das frequências, e o *acoustic louvre*, em termos de isolamento sonoro, é o que possui a performance menos significativa (Figura 19).

Ao compararmos com o desempenho de isolamento sonoro da alvenaria comum, por exemplo, como uma parede de tijolo simples que possui perda na transmissão de 30 dB em 125 Hz, e 37 dB de 250 Hz a 2000 Hz (BISTAFA, 2006), e observarmos a abertura em elementos de fachada, podemos verificar que os sistemas ainda podem ser trabalhados para apresentarem um melhor desempenho de isolamento acústico, inclusive em relação ao material, custos e facilidade de fabricação e adequados à realidade mercadológica, climática, cultural e de conforto sonoro da população brasileira.

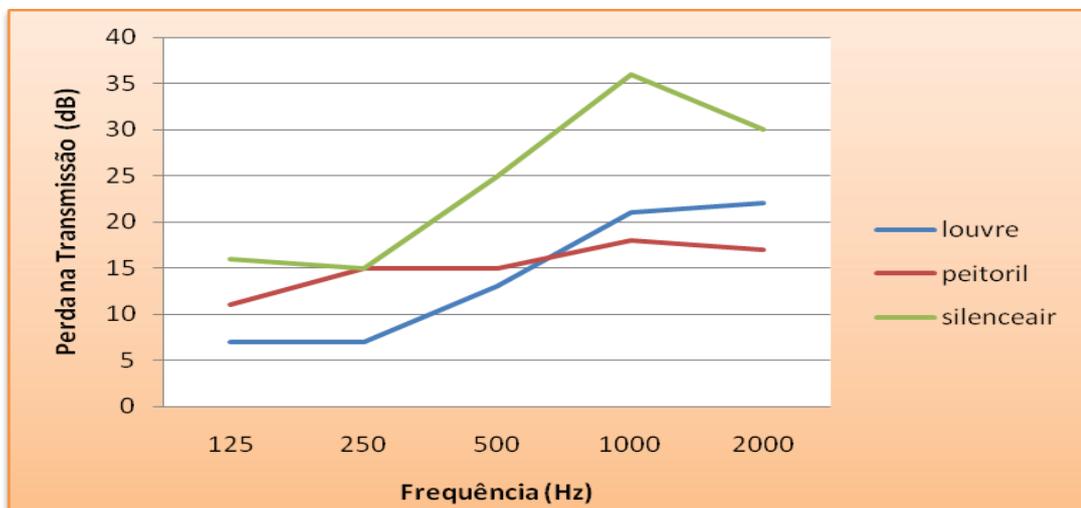


Figura 19. Gráfico comparando o desempenho dos elementos de fachada com aberturas

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.1 Métodos adotados

Os métodos adotados na pesquisa partiram da caracterização das estratégias bioclimáticas para as regiões de clima quente e úmido – caso da cidade de Natal/RN, local onde fora desenvolvida a pesquisa de campo. Em seguida, foi realizada a caracterização do objeto de estudo, os elementos vazados, cobogós ou combogós, levantando aspectos históricos da sua criação e utilização, além de sua adequação ao tipo de clima quente e úmido.

Na revisão bibliográfica foram estabelecidos aspectos das variáveis envolvidas na pesquisa, além das relações de conforto ambiental na arquitetura, no que diz respeito à dicotomia de promoção de ventilação natural e isolamento acústico, ilustrando os estudos científicos sobre o contexto.

A partir das relações identificadas na pesquisa bibliográfica, foram desenvolvidos os protótipos para aplicação na pesquisa. O desenvolvimento do protótipo virtual seguiu as relações geométricas dos ressonadores de Helmholtz. As proporções das cavidades existentes, assim como o material utilizado para sua confecção, serviram de base para o desenho dos tipos de elementos vazados desenvolvidos, os quais possuem a mesma geometria e material, porém com dimensões e proporções distintas, para ser possível realizar uma comparação inicial entre eles e a confecção dos protótipos físicos.

O protótipo virtual do elemento vazado foi elaborado a partir de um contato primário com as relações térmicas e acústicas, as quais foram utilizadas como base para o escopo geométrico preliminar (virtual). Conforme geometrias definidas, posteriormente, foram elaborados protótipos físicos para o teste das medições do isolamento acústico a partir da variação das dimensões do bloco, inserção de material absorvente e dos espaçamentos das áreas vazadas (abertas).

Os protótipos físicos foram confeccionados em quatro tipos, de duas tipologias, com a mesma geometria e material, porém diferentes quanto às dimensões e proporções. Os protótipos foram assentados de maneiras iguais a fim de proporcionar comparações diretas, conforme estabelecido pelo planejamento estatístico de pesquisa de campo.

A avaliação de isolamento sonoro, segundo medições *in situ*, foi seguida pelo procedimento estabelecido na norma ISO 140 – “Medições de isolamento sonoro em edifícios e elementos de edifícios. Parte 5 – Medições em campo do isolamento sonoro a sons aéreos de fachadas e elementos de fachada” (ISO 140).

Na pesquisa, além das geometrias e materiais, foi quantificado o desempenho dos elementos a partir da simulação quanto à resistência oferecida à passagem da ventilação natural. Para essa simulação foi utilizado o programa computacional PHOENICS 3.2, baseado na Mecânica dos Fluidos Computacional (*Computational Fluid Dynamics – CFD*).

Após as simulações e medições do desempenho do elemento vazado acústico quanto ao isolamento sonoro foi realizada a análise estatística a partir da interpretação dos dados coletados. Esta análise foi estabelecida a partir do teste de hipóteses *F-Fisher/Snedeco*, e do “modelo de planejamento tipo fatorial”.

4.2 Instrumentos de medição

Os instrumentos necessários para a medição sonora (equipamento de medição do nível de pressão sonora com filtros de 1/3 de bandas de oitavas, luxímetro, anemômetro e computador portátil), pertencem ao Laboratório de Conforto Ambiental do Departamento de Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (LABCON, 2006), e foram disponibilizados para a pesquisa, assim como as instalações do Laboratório de Construção do Departamento de Arquitetura da UFRN, que cedeu uma sala desse laboratório para servir como câmara-teste para instalação dos elementos vazados em uma fachada para procedimento das medições de isolamento acústico dos blocos desenvolvidos.

O medidor utilizado para os registros/medições da pressão sonora foi o Medidor de Nível Sonoro da marca 01dB (Figura 20), modelo SOLO SLM, Medidor de nível de pressão sonora Solo SLM, Tipo 2 de acordo com as normas IEC 61672-1(2002) / IEC 60651 (2000) / IEC 60804 (2000) e IEC 1260 (1225).

O equipamento possui recursos de medição de nível de pressão sonora equivalente (L_{eq}), conforme a IEC 60804, medições paralelas de L_p , L_{pk} (com ponderação temporal): Start / Stop, 30-140 dB em um único range. Possui ainda filtro de bandas de oitavas (1/1) em tempo real (16Hz-16kHz) - média, mínimo, máximo, e filtro de bandas de oitavas (1/3) em tempo real (12,5Hz-20kHz) - média, mínimo, máximo.



Figura 20. Foto do medidor digital de nível de pressão sonora utilizado no ensaio

Os níveis de pressão sonora dos pontos de registros/medições foram determinados conforme ponderação da escala C, expressa em dB e, conforme as normas técnicas adotadas, foi utilizada a indicação de resposta lenta do medidor bem como, considerou-se o mesmo aferido dentro dos padrões requeridos para o ensaio, em função do Certificado de Calibração e tempo de aquisição do aparelho.

Para investigar a relação entre o som transmitido diretamente pela fachada (parede com cobogós) e o som refletido internamente à sala de recepção, através da medição do Tempo de Reverberação com software *Aurora*, foi utilizado um microfone com padrão de diretividade conhecido como “Figura de 8” da Marca AKG Modelo Estúdio C 414 BXLS (Figura 21).



Figura 21. Foto do microfone utilizado na pesquisa

O alto-falante ou caixa acústica amplificada, modelo CSR 5500XA (Figura 22)

foi adquirido para a pesquisa e possui as seguintes características:

- Sistema Bass-Reflex de 2 vias
- Woofer de 15"
- Corneta com drive de titânio de 1"
- Potência de 200W RMS
- Divisor de frequência: corte em 3.5 KHz
- Resposta de frequência: 40 Hz – 20 KHz
- Entrada XLR ou P10 para microfone, controle de volume individual
- Entrada de linha (2RCA ou XLR) com controle de volume individual
- 1 controle de volume
- 1 controle de graves
- 1 controle de agudos
- Saída de linha XLR ou P10 para sistema auxiliar
- Voltagem: Bivolt 100/220V
- Dimensões: L 43 cm – A 68 cm – P 45 cm
- Peso 21kg



Figura 22. Foto do alto-falante e do computador portátil

Para as medições das velocidades dos ventos no local, de forma a obter um parâmetro do comportamento térmico a ser impresso ao elemento vazado estudado, foi utilizado um anemômetro Digital Portátil ESB modelo 1331 (Figura 23), também disponibilizado pelo LABCON.



Figura 23. Anemômetro Digital Portátil

4.3 Protótipos e montagem dos elementos vazados

Os protótipos virtuais dos elementos vazados foram elaborados a partir de um contato primário com as relações térmicas e acústicas para que, assim, evoluísse o estudo geométrico dos blocos.

O contato com as relações térmicas foi iniciado a partir das referências adquiridas com o trabalho intitulado “Propostas de Elementos Vazados para Condições Bioclimáticas da Cidade do Natal” (ARAÚJO et al, 1999), desenvolvido no Laboratório de Conforto Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, com participação da autora, tendo resultado o desenvolvimento de protótipos físicos que levaram em consideração os aspectos bioclimáticos do ambiente de estudo e questões de fabricação, como fôrma, empilhamento e materiais construtivos. Estudos desta natureza periodicamente têm sido elaborados no referido laboratório, com o propósito de avaliar os elementos vazados existentes no mercado, bem como propor novos elementos, inclusive com a obtenção de patente de alguns elementos propostos pelos alunos.

O princípio para o início do desenvolvimento dos blocos foi a relação geométrica e material utilizados no ressonador de cavidade ou de Helmholtz disponível no mercado americano, o qual aparentemente assemelhava-se ao cobogó, com exceção da característica vazada. A fenda (abertura) existente na cavidade permite a entrada da onda sonora que então é absorvida. Este tipo de absorvedor de som consiste essencialmente de uma cavidade com abertura, e o ar nela contido se comporta como uma mola, a qual é comprimida pela pressão sonora. O atrito do ar junto às paredes internas da cavidade é o mecanismo responsável

pela absorção sonora. A fenda (abertura) existente na cavidade permite a entrada da onda sonora que então é absorvida (Figura 24). Os tamanhos da fenda e da cavidade determinam a frequência de absorção máxima (frequência de ressonância f_0).

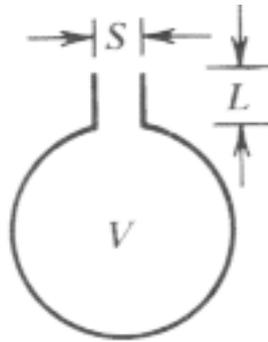


Figura 24. Ressonador de cavidade ou de Helmholtz

A frequência de ressonância (f_0) é calculada a partir da fórmula (BISTAFA, 2006):

$$f_0 = c/2\pi \cdot \sqrt{S/L' \cdot V} \quad (8)$$

Sendo L' o comprimento (m) e S a área da secção transversal do pescoço (m^2), respectivamente, e V o volume (m^3) (Figura 24). L' é o comprimento efetivo do pescoço (m), dado por:

$$L' = L + 1,4\alpha \quad (9)$$

Onde α é o raio da secção transversal do pescoço.

A Figura 25 mostra um ressonador de cavidade em bloco de concreto.

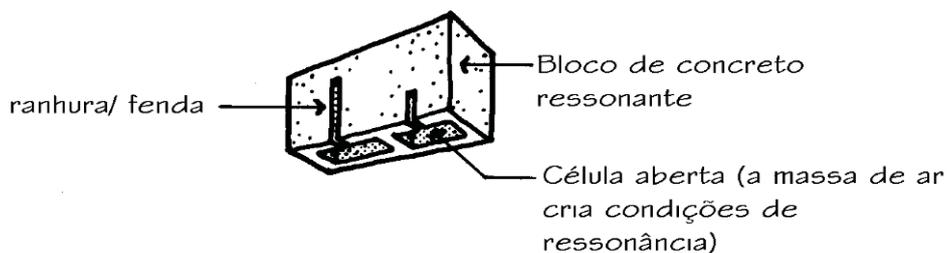


Figura 25. Croqui do ressonador de Helmholtz

Com o ressonador, é possível sintonizar a absorção máxima em uma faixa estreita de freqüências (Figura 26). Nas aplicações, esta faixa é normalmente de baixas freqüências, na qual materiais porosos e fibrosos são pouco eficazes. A forma da curva de ressonância do ressonador é caracterizada pelo fator de qualidade. Quanto mais pontiaguda a curva de ressonância, maior será o fator de qualidade do ressonador. Ressonadores de Helmholtz são caracterizados por um alto fator de qualidade. O fator de qualidade poderá ser reduzido inserindo material absorvente na cavidade do ressonador.

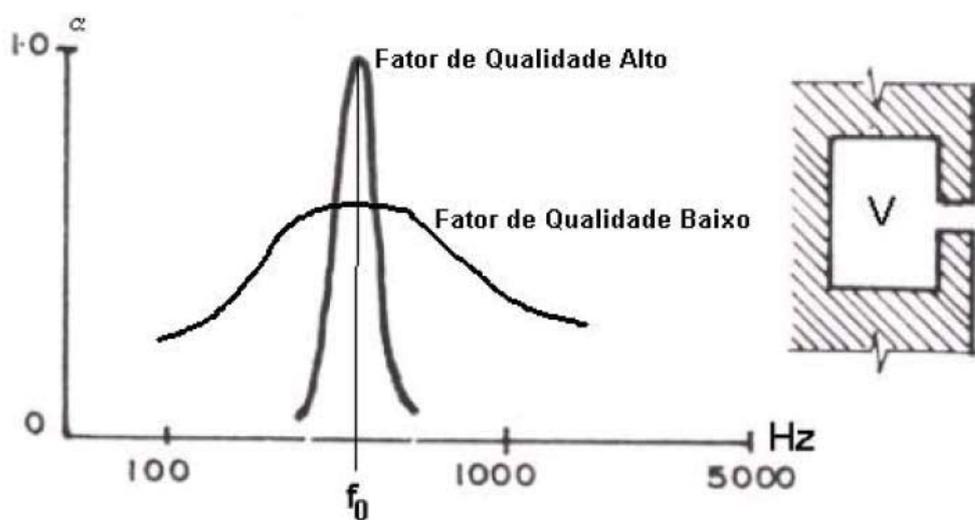


Figura 26. Curva de absorção sonora versus freqüência do ressonador de Helmholtz com alto e baixo fator de qualidade

Ressonadores de cavidade em bloco de concreto, são disponíveis comercialmente nos Estados Unidos (conhecidos como SoundBlox® e SoundCell®) (Figura 27), inclusive estão disponíveis com material absorvente no interior da cavidade para redução do fator de qualidade do ressonador (ver Figura 26).

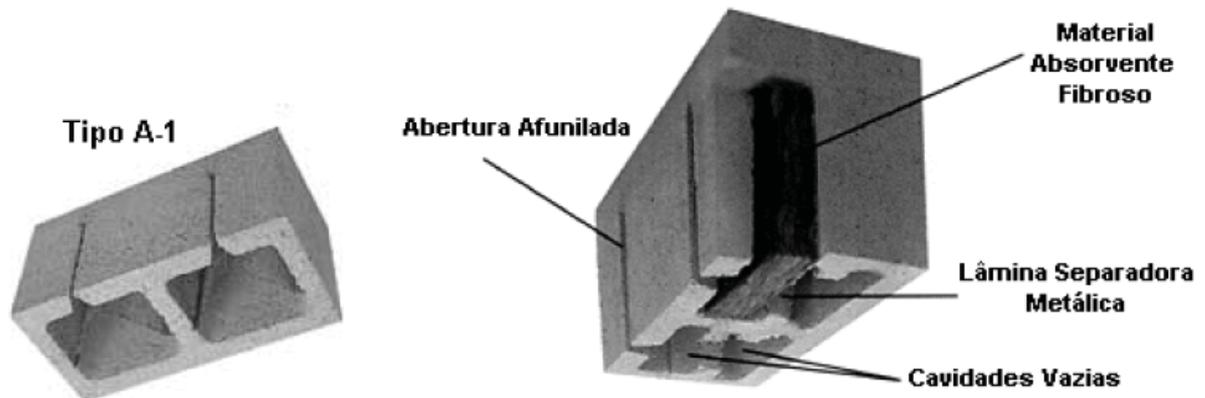


Figura 27. Ressonador de cavidade ou de Helmholtz comercializado como *SoundBlox®* nos EUA

A experiência anterior com estudos de elementos vazados, assim como a aparência geométrica do ressonador, foram utilizados como bases para o escopo geométrico preliminar (virtual) proposto na presente pesquisa. A utilização dos princípios acústicos envolvidos no ressonador, no caso a relação da absorção pela frequência de ressonância, fica prejudicada na análise do bloco aberto, tendo em vista a adaptação da fórmula para a característica vazado (no caso o pescoço).

As primeiras relações levantadas para desenvolvimento do bloco foram: os materiais comumente utilizados em blocos de alvenaria e em elementos vazados comercializados na região (cimento e areia, na razão de 1:3), a fôrma em uma forma simples (que pode ser confeccionada de madeira ou material metálico) e a proteção de chuvas, além da facilidade de empilhamento.

Percebeu-se que a geometria do bloco do ressonador de Helmholtz atendia a esses componentes (com exceção da característica “vazada”) e, desta forma, foi realizada uma adaptação para transformar a geometria do ressonador em um elemento vazado, procurando criar um bloco que possuísse uma fenda não somente para a entrada da onda sonora e de ar, mas como saída de ventilação. Desta forma, foi pensada uma geometria em que o bloco possuísse uma cavidade e o mesmo fosse implantado de frente para outro, com um espaço entre eles, de maneira que as cavidades dos blocos ficassem coincidentes, representando assim o volume V do ressonador e o espaço entre eles a fenda (Figura 28).

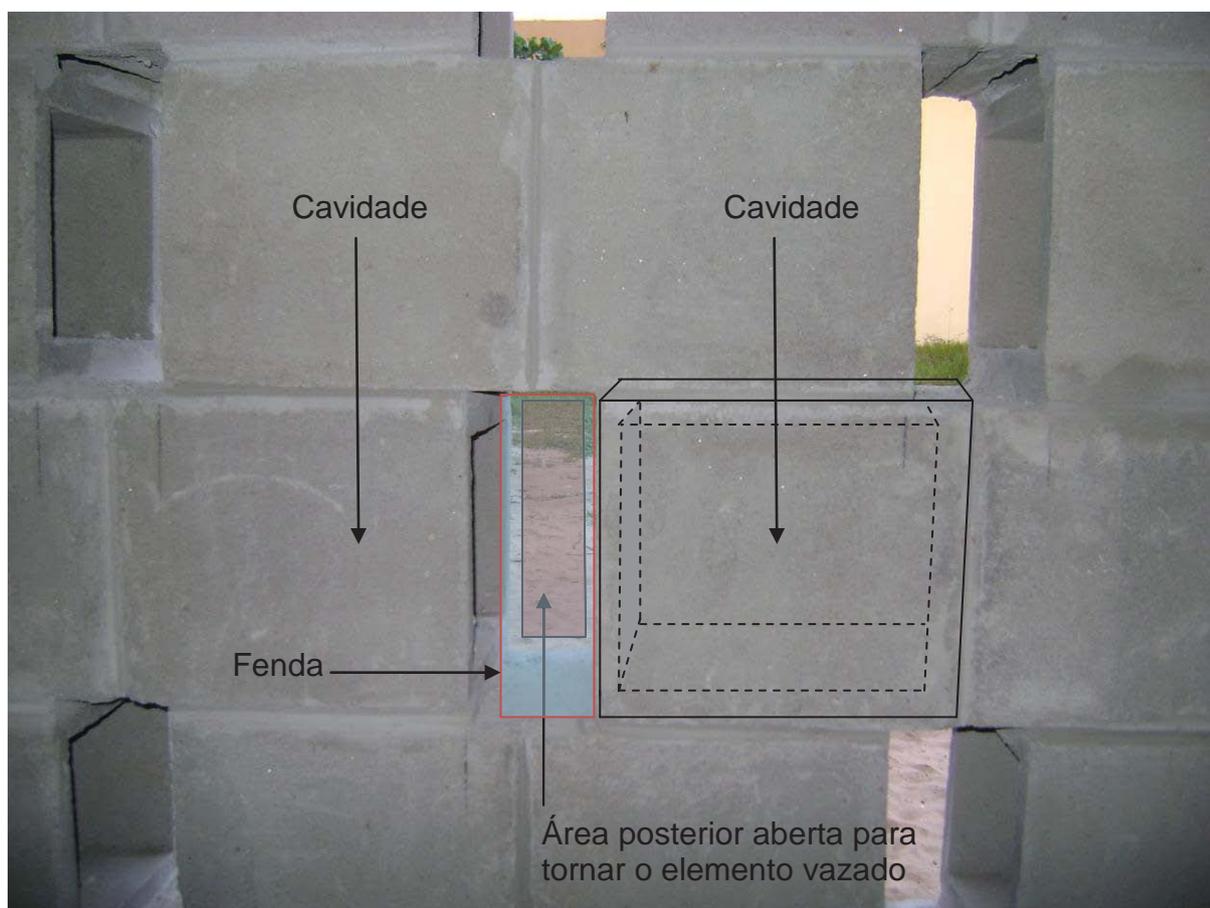


Figura 28. Montagem dos blocos com cavidades formando as fendas do ressonador, permitindo a passagem da ventilação

Tendo em vista o fator também preponderante desta pesquisa – desenvolver um bloco que mantivesse sua conotação de baixo custo, para ser utilizado em

moradias populares, inclusive porque os componentes comercialmente disponíveis que permitem a passagem da ventilação e isolam parte do ruído, como os atenuadores pré-fabricados e as venezianas acústicas, possuem preços muito elevados – procurou-se utilizar fôrmas já existentes que pudessem ser adaptadas para o objetivo do bloco a ser estudado.

Foram identificadas duas dimensões de blocos para adaptação. A primeira menor (elemento vazado tipo 1 pequeno - P) foi adaptada de um bloco de cimento utilizado para montagem de alvenaria comum de vedação. O maior (elemento vazado tipo 2 grande - G) foi adaptado de um bloco de cimento utilizado como caixa de gordura, sendo esta seccionada para se adaptar a geometria desejada (Figuras 29, 30, 31, 32, 33 e 34). A confecção é realizada de uma forma bem artesanal, compatível com a conotação de construção de baixo custo.



Figura 29. Foto dos elementos tipo 1 (menor, P) e 2 (maior, G)



Figura 30. Foto da fôrma de madeira do elemento menor



Figura 31. Foto da fôrma do elemento maior



Figura 32. Foto da cura do elemento menor



Figura 33. Foto da cura do elemento maior



Figura 34. Foto da forma de empilhamento

No elemento vazado tipo 1 (menor, P) foram consideradas as dimensões: h (altura) = 0,14 m; c (comprimento) = 0,10 m; p (profundidade) = 0,19 m; e (espessura) = 0,02 m (Figura 35).

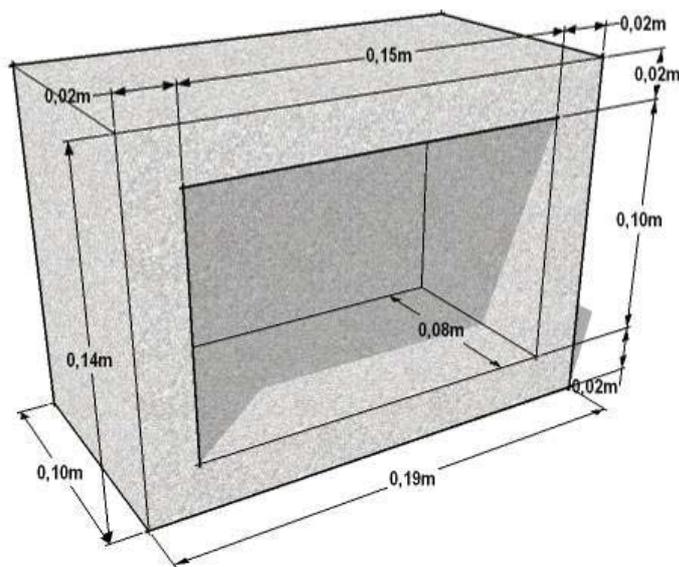


Figura 35. Croqui esquemático das dimensões do bloco pequeno (P)

No elemento vazado tipo 2 (maior, G) foram consideradas as dimensões: h (altura) = 0,25 m; c (comprimento) = 0,29 m; p (profundidade) = 0,25 m; e (espessura) = 0,03 m (Figura 36).

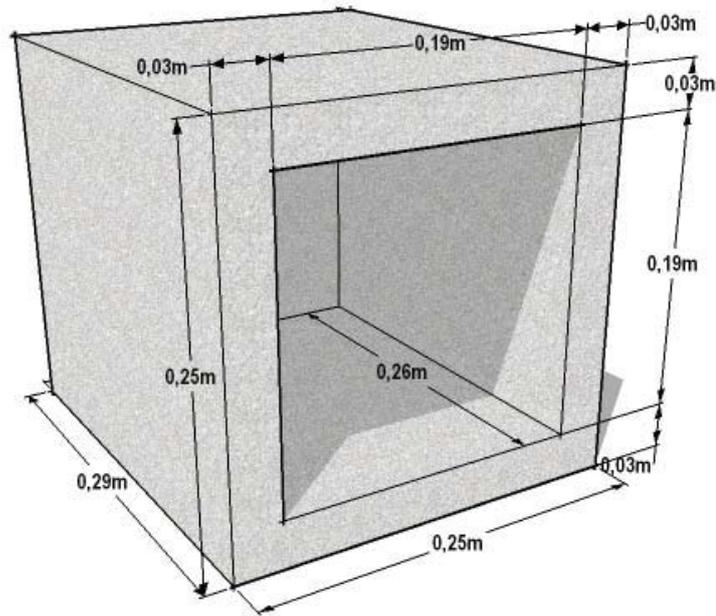


Figura 36. Croqui esquemático das dimensões do bloco grande (G)

Após a definição dos elementos preliminares, foi desenvolvida outra geometria que utiliza o modelo geométrico comercializado do ressonador de Helmholtz, na presente pesquisa denominado elemento tipo 3 - caixa (C). As dimensões são h (altura) = 0,20 m; c (comprimento) = 0,20 m; p (profundidade) = 0,20 m; (espessura) = 0,03 m; e fenda de 0,05 m de largura (Figura 37). Este mesmo bloco foi confeccionado em dimensões maiores: h (altura) = 0,30 m; c (comprimento) = 0,30 m; p (profundidade) = 0,20 m; (espessura) = 0,03 m; e fenda de 0,05 m de largura (Figura 38), o qual é denominado bloco tipo 4 - caixa grande (CG).

Para transformar o elemento em vazado, com a geometria exata do ressonador, partiu-se da instalação do mesmo com a fenda em lados opostos e com a cavidade coincidente. Desta forma, a passagem de ar acontece em direções diferentes de entrada e saída (Figura 39).

Após o desenvolvimento dos modelos geométricos dos blocos, eles foram submetidos a medições com variações inserindo material absorvente nas cavidades. A inserção desse material absorvente foi realizada para identificar a contribuição da absorção em detrimento do isolamento acústico¹. O material absorvente utilizado foi a lã de vidro de 50mm, cortada no tamanho da cavidade (15 x 15cm), e aplicada naturalmente na parede do bloco no sentido vertical (Figura 40).

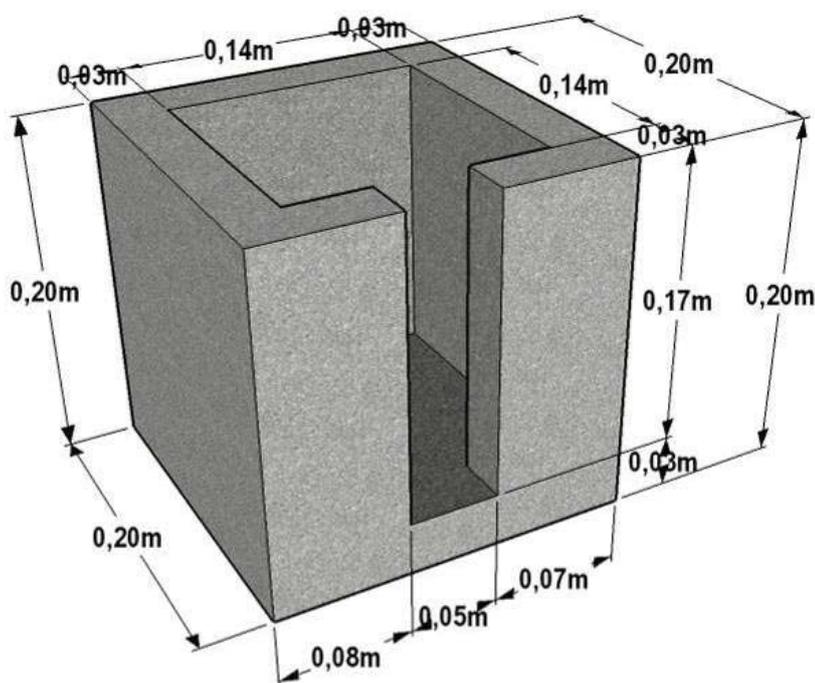


Figura 37. Croqui esquemático das dimensões do bloco tipo caixa (C)

¹ O bloco tipo caixa grande foi ensaiado após a análise estatística. Estatisticamente a inserção de lã de vidro não foi significativa para o desempenho do isolamento acústico do bloco. Desta forma, por questão de tempo, este último bloco apenas foi testado sem a lã de vidro.

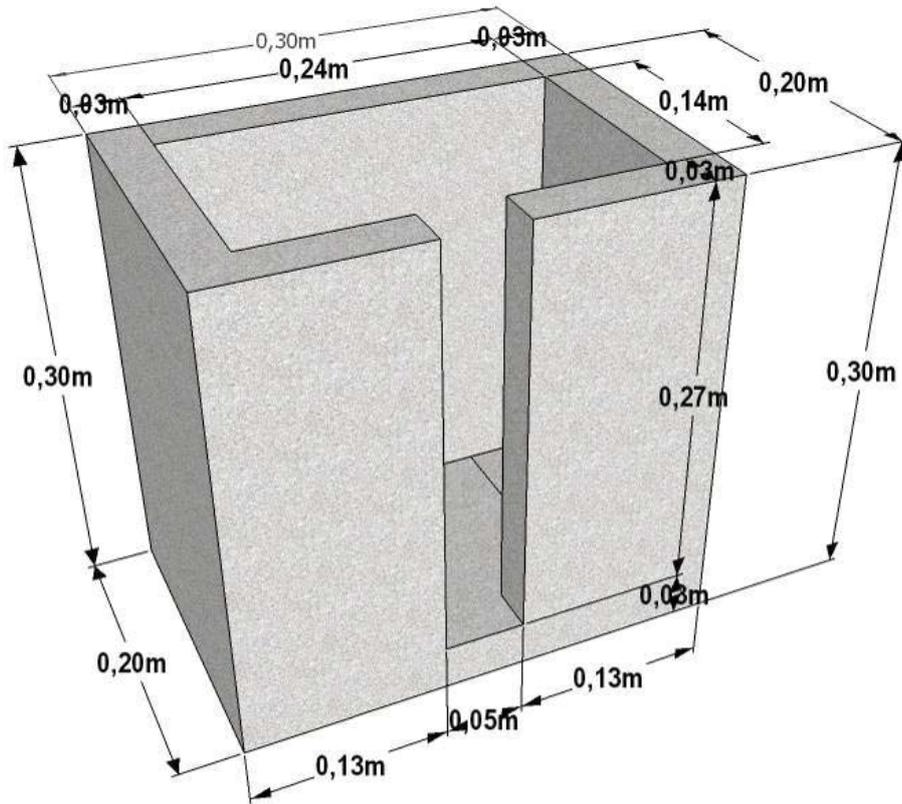


Figura 38. Croqui esquemático das dimensões do bloco tipo caixa grande (CG)

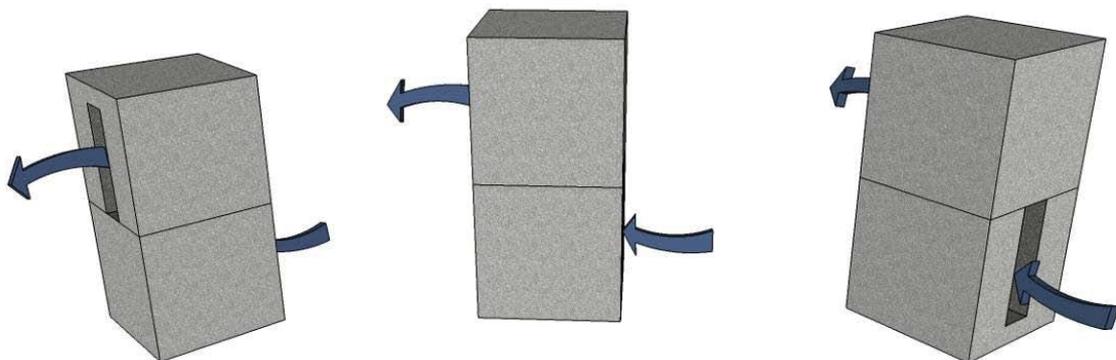


Figura 39. Croqui do elemento (ressonador) instalado como vazado

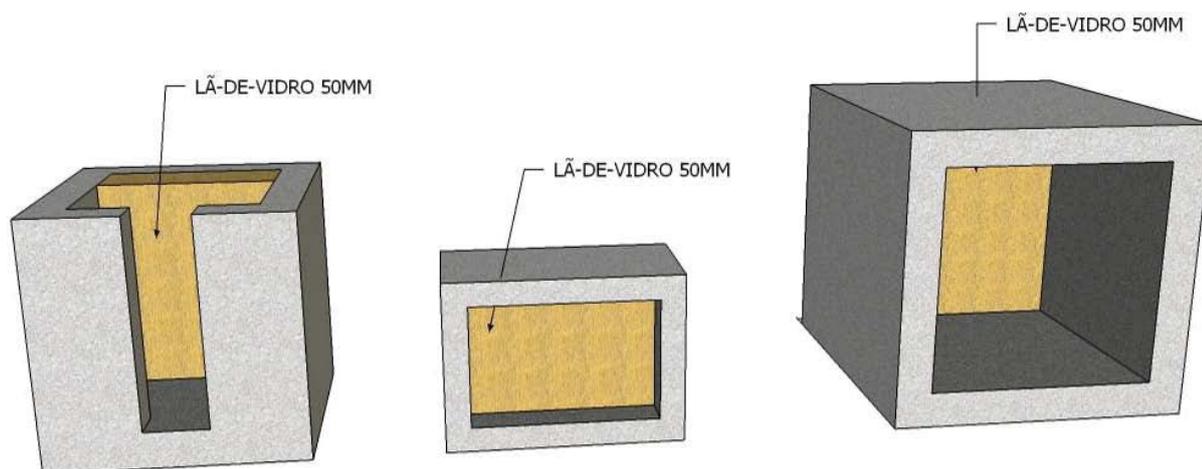


Figura 40. Croqui dos blocos com a lã de vidro

Os blocos foram testados com as cavidades fechadas, para poder haver uma comparação do desempenho de isolamento acústico dos mesmos em relação à abertura de ar.

Em relação às áreas abertas foram calculadas as relações de cheios e vazios (áreas abertas e fechadas) da composição testada. A maior relação (ou seja, a composição que apresentou mais área aberta foi o bloco tipo 1 (pequeno) com 19% de área aberta; seguido do bloco tipo 2 (grande) com 10cm de espaçamento, com 13% de área aberta; o bloco tipo 3 (caixa) com 12% de área aberta; o bloco tipo 4 (caixa grande) com 9%; e como menor relação de abertura o bloco tipo 2 (grande) com 5cm de espaçamento, com apenas 8%.

A área de abertura das composições testadas foi comparada com a relação existente na sala se essa possuísse uma abertura para ventilação e iluminação natural, como por exemplo, uma janela, de acordo com o que exige o Código de Obras e Edificações do Município de Natal: “a superfície da abertura voltada para o exterior, destinada à insolação, iluminação e ventilação, não pode ser inferior a um sexto (1/6) da área do compartimento, quando se tratar de ambientes de uso prolongado” (NATAL, 2004, p.48).

Para atender à relação acima descrita, a janela no ambiente estudado (15 m²) seria de 2,5 m², ou seja, para a fachada de 5m de comprimento por 3m de altura representa aproximadamente 16% de área aberta da fachada. As relações de áreas abertas dos elementos estudados variaram de 8 a 19% (Tabela 4). Cabe ressaltar que no Código de Obras a relação de aberturas não é necessariamente toda livre para ventilação (como no caso do elemento vazado); pode ser utilizada, por exemplo, uma janela de vidro que tenha uma folha fixa.

As composições dos blocos testados foram as seguintes (Tabela 4):

Tabela 4 – Composições dos blocos ensaiados na pesquisa

TIPO DE BLOCO	CONDIÇÃO	ABERTURA	SIGLA	% DE ÁREA ABERTA*
Existente	Sem lã de vidro	5 cm	Exist	49%
Tipo 1 Pequeno	Fechado	-	Pfechado	0%
	Com lã de vidro	5 cm	P5 c/Lã	19%
	Sem lã de vidro	5 cm	P5 s/Lã	19%
Tipo 2 Grande	Fechado	-	Gfechado	0%
	Com lã de vidro	5 cm	G5 c/Lã	8%
	Sem lã de vidro	5 cm	G5 s/Lã	8%
Tipo 2 Grande	Fechado	-	Gfechado	0%
	Com lã de vidro	10 cm	G10 c/Lã	13%
	Sem lã de vidro	10 cm	G10 s/Lã	13%
Tipo 3 Caixa	Fechado	-	Cfechado	0%
	Com lã de vidro	5 cm	C c/Lã	12%
	Sem lã de vidro	5 cm	C s/Lã	12%
Tipo 4 Caixa Grande	Sem lã de vidro	5 cm	CG	9%

* A porcentagem de área aberta se refere à relação da área total da composição de elemento vazado e sua área permeável à ventilação.

4.4 Avaliação do isolamento sonoro

Como procedimento para avaliação do isolamento sonoro foi utilizado o método de medição *in situ*, normalizado pela ISO 140 (1998), que tem sido a principal norma internacional para medições de isolamento sonoro (VIVEIROS, 1998).

A ISO 140 (*Acoustic – Measurement of sound insulation in buildings and of buildings elements*) é um conjunto de doze normas técnicas sobre isolamento acústico das edificações e seus componentes, o qual estabelece todas as condições e diretrizes para medições de ruídos aéreos e de impacto, tanto em laboratório como em campo.

A ISO 140 é uma norma composta de partes, desta forma a Parte 5 – que discorre sobre as medições *in situ* do isolamento sonoro a sons aéreos de fachadas e elementos de fachada – foi a norma básica adotada no estudo, além de outras referências normativas a serem observadas na aplicação da norma básica. A seguir são descritos os procedimentos da norma utilizada no escopo da presente pesquisa.

O método de medição do isolamento sonoro a sons aéreos dos elementos da fachada (método dos elementos) e de toda a fachada (método global) estima o Índice de Redução Sonora, ou Perda na Transmissão, com um alto falante como fonte sonora artificial, microfone em posições variadas e um medidor de nível de pressão sonora com filtro de 1/3 de bandas de oitava.

Para análise do desempenho dos elementos vazados em estudo, em relação ao isolamento sonoro, eles foram inseridos em uma fachada e, em seguida,

procedidas as medições normalizadas na câmara de teste, cuja fachada representa escala suficiente para aplicação do elemento vazado simulando em situações reais.

A sala considerada como câmara teste possui 15 m², com todas as aberturas devidamente vedadas, a porta confeccionada em madeira maciça e borrachas esponjosas para evitar frestas. O teto da sala foi isolado com sistema de gesso acartonado com lã de vidro, e as demais superfícies são em alvenaria rebocada e pintada e piso em placas de concreto (Figuras 41, 42 e 43). Na sala havia aberturas em cobogó comum (que foram devidamente isoladas, com exceção dos existentes na fachada de teste), além de prateleiras em alvenaria. A área para inserir o material a ser testado consta de 4,20 m² (1,40 m de altura por 3,00 m de largura).

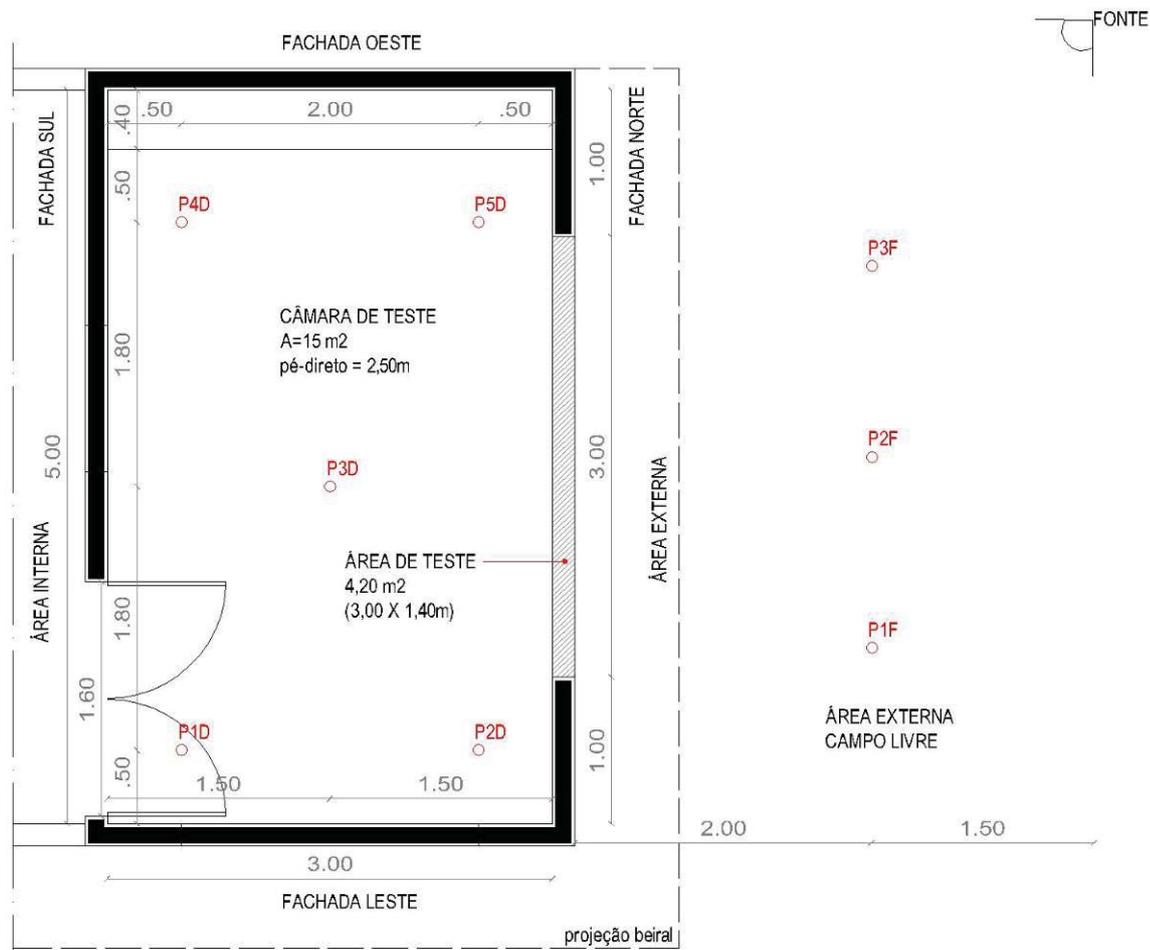


Figura 41. Planta da sala de teste com detalhe para a fachada onde foram aplicados os elementos vazados



Figura 42. Foto da sala de teste internamente



Figura 43. Foto externa da sala de teste

A Norma ISO 140-5 estabelece dois métodos de medição de isolamento sonoro aéreo de fachadas e elementos de fachada — o método global e o método de elementos, respectivamente.

O método global tem como objetivo estimar a diferença de nível de som externa/interna a uma fachada em real condição de tráfego. O método mais preciso usa o ruído de tráfego real como fonte de som. Além disso, um alto-falante pode ser usado como fonte sonora artificial. O método global, conforme a norma, não pode ser comparado com dados obtidos em laboratório.

O método dos elementos, por outro lado, tem como objetivo estimar o índice de redução de som de um elemento de fachada, por exemplo, uma janela. O método mais preciso utiliza um alto-falante como fonte sonora artificial. Outros, menos precisos, usam o ruído do tráfego e aéreo disponíveis. Este método, sob certas circunstâncias pode ser comparado com o índice de redução sonora medido em laboratório.

O método global – tendo como fonte sonora o alto-falante (e não o ruído natural *in situ*) – estabelece: o cálculo da Redução de Ruído ($D_{Is,2m}$) a dois metros da fachada (em três pontos, sendo a medição registrada de 1 minuto em cada ponto – dois nos limites laterais da amostra e no centro da mesma) e dentro da sala

receptora (em cinco pontos, sendo 1 minuto cada medição); da Redução de Ruído Padrão ($D_{ls,2m, nT}$); e Redução de Ruído Normalizado ($D_{ls,2m, n}$), os quais levam em consideração o tempo de reverberação e a área de absorção da sala receptora, respectivamente.

A Redução de Ruído é obtida por meio da seguinte expressão:

$$D_{ls, 2m} = L_{1,2m} - L_2 \quad (10)$$

Sendo $L_{1,2m}$ o nível de pressão sonora a 2 m em frente da fachada, e L_2 o nível de pressão sonora na sala receptora. A Redução de Ruído Padrão ($D_{ls,2m, nt}$); e a Redução de Ruído Normalizada ($D_{ls,2m, n}$) são obtidas, conforme a norma, pelas seguintes expressões:

$$D_{ls,2m,nT} = D_{2m} + 10 \log (T/T_0) \text{ dB} \quad (11)$$

$$D_{ls,2m,n} = D_{2m} - 10 \log (A/A_0) \text{ dB} \quad (12)$$

Em que, T é o tempo de reverberação na sala receptora, com $T_0 = 0,5s$, e A a absorção da sala receptora, com $A_0 = 10 \text{ m}^2$.

Para medição do tempo de reverberação da sala de recepção utilizou-se o sinal *Maximum Length Sequence Múltiplo (Multi MLS Signal)*, emitido no alto-falante, o qual foi gerado e processado pelo programa *Adobe Audition* (versão 1.5).

O sinal utilizado para geração do campo acústico externo foi o ruído branco também gerado pelo programa *Adobe Audition* (versão 1.5)².

Como o objetivo da pesquisa estima o isolamento sonoro de um elemento na fachada, foi também utilizado o método dos elementos estabelecido na ISO 140-5.

No método dos elementos, é estimado o Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45°), dado pela seguinte equação:

$$R'_{45^\circ} = L_{1,s} - L_2 + 10 \log (S/A) - 1,5 \text{ dB} \quad (13)$$

Em que $L_{1,s}$ é a média do nível de pressão sonora na superfície de teste, L_2 é a média do nível de pressão sonora na sala receptora, S é a área do material testado, e A a absorção da sala receptora.

Os equipamentos utilizados foram: um medidor de nível sonoro com filtro de bandas de 1/3 de oitava, com microfone acoplado com diâmetro menor que 13 mm; um alto-falante; e um computador portátil com microfone e com ligação com a caixa acústica (alto-falante) amplificada, para medir o tempo de reverberação da sala receptora.

O alto-falante foi posicionado no solo, e distou 3,5 m da fachada com 45° o ângulo de incidência. Na sala receptora foram utilizadas as distâncias mínimas estabelecidas pela norma de 0,70m entre as posições dos pontos medidos, 0,50 m entre cada posição do microfone e os limites da sala, e 1,00 m entre o microfone e a fonte sonora (Figura 18). O microfone foi posicionado por meio de um tripé em cada

² Cabe destacar que a primeira medição do Tempo de Reverberação dos blocos foi realizada com um microfone simples de computador (medições paralelas aos assentamentos dos blocos). Os dados apresentaram-se muito baixos, e portanto, foi adquirido outro microfone (figura 21). Para as novas medições não se tinha mais o assentamento de todos os blocos, somente do bloco tipo caixa grande (CG) que ainda iria ser realizada. Desta forma, foram utilizados os dados do Tempo de Reverberação para todos os blocos com a referência do TR do bloco CG vazado e fechado. Estes dados foram ainda comprovados com a medição do TR com o medidor de nível sonoro utilizado na pesquisa (tendo sido adquirido posteriormente o módulo do T60) e com simulação no programa Reverb (dados no Apêndice), os quais mostraram-se mais coerentes com as novas medições (que apresentaram TRs mais altos), e com a impressão subjetiva da reverberação da sala pela autora.

ponto de medição. O ruído de fundo esteve sempre 10 dB abaixo do nível sonoro gerado pelo alto-falante (caixa acústica).

O princípio da medição do tempo de reverberação realizado foi a partir da Resposta Impulsiva (RI), que é viabilizada com o uso do *software Aurora*³. A obtenção da Resposta Impulsiva (RI) foi realizada a partir de um sinal de 1 minuto, o *Multi MLS Signal (sinal MLS - Maximum Length Sequence)* emitido pelo próprio programa de medição. A fonte sonora foi posicionada no centro da sala e a captação do sinal foi feita no centro da sala.

Para a realização de qualquer estudo sobre isolamento acústico, é necessário verificar a perda na transmissão do fechamento em faixas de freqüências do som incidente, cobrindo o espectro de freqüências audíveis. Na prática, no entanto, é importante a avaliação e a expressão da perda na transmissão por meio de um número único (figura de mérito), representativo da capacidade global de isolamento de um fechamento.

A determinação deste número único tem o objetivo de facilitar a comparação inicial do desempenho e restringir a escolha dos componentes entre uma quantidade menor de possibilidades (SCHERER, 2005). Mas tem de ser levado em conta que este procedimento é uma simplificação do problema, uma vez que a performance final de isolamento depende de todo o espectro de freqüências.

A Norma Internacional ISO 717 (*Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation*) indica um método para quantificar, mediante um valor único, o isolamento a ruído aéreo de edificações e dos elementos construtivos.

³ Desenvolvido pelo prof. Angelo Farina, Universidade de Parma, Itália.

O método consiste em comparar os níveis de isolamento acústica oferecidos por um elemento, medidos em bandas de 1/3 de oitava, com uma curva de referência (ISO 717, 1996). Os termos e símbolos utilizados dependem do tipo de medição (conforme relação estabelecida em tabela na referida norma), portanto na pesquisa foi utilizada a diferença de nível padrão ($D_{ls,2m,nt}$).

Os valores medidos, obtidos de acordo com a norma ISO 140-5, foram comparados com os valores de referência tabelados, na frequência de medição, no intervalo de 100 Hz a 3.150 Hz para bandas de 1/3 de oitava. Para realizar tal comparação, deve-se plotar a curva de referência, variando de 1 em 1 dB em direção à curva medida, até que a soma dos desvios desfavoráveis seja a maior possível, mas não excedendo a 32 dB, para bandas de 1/3 de oitava. O desvio desfavorável, em uma dada frequência, ocorre quando o resultado da medição é menor que o valor de referência. Somente tais desvios desfavoráveis foram levados em conta.

O número único para o índice de redução sonora (R_w)⁴ é o valor, em dB, da curva de referência a 500 Hz, após a plotagem acima ser realizada. Para a determinação do R_w de cada ensaio realizado, e cada método (global e dos elementos), foi desenvolvida uma planilha de cálculo utilizando o programa Excel, de acordo com os procedimentos descritos na norma.

⁴ Termos e símbolos para a quantidade de número único utilizados dependem do tipo de medida. Eles são listados (na norma ISO 717) na Tabela 1 para o ar propriedades de isolamento de som elementos de construção, e na tabela 2 para o isolamento ao ruído aéreo em edifícios.

4.5 Análise estatística

Para o tratamento e análise dos dados levantados no trabalho de campo, foi estabelecido um planejamento que consta de quatro etapas: montagem do banco de dados; delimitação dos objetivos; a análise estatística, através da caracterização dos elementos de estudo e da comparação entre eles; e discussão dos resultados.

A formatação do banco de dados é elaborada no aplicativo EXCEL e, em seguida, transportado para o aplicativo *Statística*, onde são realizados os cálculos para subsidiar as análises estatísticas. Toda a análise estatística foi elaborada com a consultoria de professores do Departamento de Estatística da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

O período de medição foi diurno, e o controle do experimento, um baixo ruído de fundo, sendo as condições do local estabelecidas para evitar situações adversas das variáveis ambientais (temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade dos ventos, além da presença de chuvas).

O local do experimento foi o Campus Universitário da UFRN, em uma sala no Laboratório de Construção do Departamento de Arquitetura, o qual possui um entorno com baixa densidade construída (edificações térreas) e baixo ruído de tráfego, com ruído de fundo variando de 35 dB a 50 dB, com média geral de 42 dB.

O objetivo da análise estatística foi avaliar comparativamente o desempenho acústico de blocos de elementos vazados (cobogós ou combogós).

Com este objetivo, foi estabelecida uma hipótese estatística:

H_0 = desempenho igual

H_A = desempenho diferente

A análise estatística foi estabelecida com a caracterização dos desempenhos dos blocos desenvolvidos, de acordo com o *modelo de planejamento tipo fatorial* e o teste de hipóteses *F-Fisher/Snedeco*.

Os dados obtidos nas medições foram analisados estatisticamente segundo o modelo de planejamento do tipo fatorial. De acordo com os objetivos, testa-se o efeito do fator, no caso específico, os elementos vazados (Blocos), sobre o comportamento da variação da variável acústica, a saber, isolamento sonoro a sons aéreos, segundo os seguintes fatores estabelecidos:

- **F₁ – Fator Tipo de Bloco**
- **F₂ – Fator Local**
- **F₃ – Fator Condição**
- **F₄ – Fator Frequência**

A comparação dos desempenhos dos blocos tem como objetivo identificar o efeito das interações nas respostas da variável de estudo. Os objetivos são atingidos quando da aplicação da estatística inferencial através da técnica de teste de hipóteses (para uma significância $p < 0,05$ ou = 5%, onde $p = \text{erro}$).

Os objetivos descritos foram transformados em hipóteses científicas e estatísticas e testados com base na amostra pesquisada:

- Testou-se a hipótese de que não existe diferença dos níveis de pressão sonora dos 3 pontos medidos internamente; assim como dos 5 pontos externamente;
- Inicialmente testa-se a hipótese de que existe diferença das médias dos níveis de pressão sonora dos blocos fechado, com e sem lã de vidro;

- Outra hipótese testada foi a de que existe diferença entre os valores da Redução de Ruído Padrão (Dnt) dos tipos de blocos em cada frequência;

4.6 Simulação de ventilação natural

Com a constante evolução da informática e a necessidade de classificação do desempenho das edificações, que já sinaliza sua implantação no Brasil, crescem as expectativas que as ferramentas de análise também se popularizem nos escritórios de arquitetura, como ocorreu, por exemplo, com os programas de cálculo estrutural em escritórios de engenharia e os programas CAD nos escritórios de arquitetura. Entre os programas de simulação voltados para a arquitetura, destacam-se os de simulação térmica e energética, bem como os de previsão da ventilação em ambientes externos e internos, baseados na dinâmica dos fluidos computacional ou CFD (*Computational Fluid Dynamics*).

De acordo com Lobo e Bittencourt (2003), o programa computacional *PHOENICS* 3.2, baseia-se em quatro módulos básicos. O primeiro trata da configuração das condições de contorno e da modelagem geométrica do objeto de estudo. As condições de contorno tratam das propriedades físicas do fluido, que no caso da ventilação consiste em determinar os valores de densidade, velocidade, temperatura e pressão do ar. A modelagem refere-se à construção tridimensional da edificação ou da fração urbana. No caso da simulação da ventilação interna deve ser

determinada a forma e a orientação da edificação, a posição e as dimensões das aberturas, a locação dos obstáculos significativos, entre outras variáveis.

No segundo módulo foram realizados os cálculos relativos ao escoamento do fluido e transferência de calor. O terceiro e quarto módulos correspondem a interfaces para apresentar graficamente resultados do processo de cálculo, através de vetores, zonas de pressão ou linhas de fluxo, que possibilitam a visualização da direção, da intensidade e da velocidade do fluxo de ar nos modelos estudados.

Segundo os autores acima mencionados, as diversas possibilidades de visualização dos resultados é uma das grandes virtudes dos *softwares* de CFD frente aos métodos tradicionais que utilizam o túnel de vento como instrumento de investigação.

Esta etapa do trabalho foi desenvolvida com o apoio do Laboratório de Conforto Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, o qual possui esse programa.

As medições “*in loco*” referentes aos aspectos de ventilação natural, a princípio não estão propostas na pesquisa, pois partiu-se da premissa que o componente “ventilação” é uma característica inerente aos elementos vazados e, portanto, esse problema foi estudado através de simulações computacionais para avaliar o desempenho dos elementos vazados estudados. Além disso, conforme metodologia utilizada para a medição do isolamento sonoro, a sala de recepção deve ser vedada, para que seja avaliado o desempenho do elemento estudo, o que impede de proporcionar a ventilação cruzada dentro do ambiente.

As simulações computacionais foram realizadas no software *Phoenics*, versão 3.5. O software trabalha com três módulos básicos, que são: o *Pre processor*, *Solver* e *Post processor*. No módulo *Pre processor* são inseridos o modelo a ser simulado,

são determinadas as dimensões do domínio, que pode ser entendido como um túnel de vento virtual, as definições de malha e os parâmetros das equações a serem utilizadas. O módulo *Solver* trata da solução numérica do modelo e o módulo *Post processor* permite visualizar os resultados da simulação.

Para as primeiras simulações foram estudados os elementos vazados (tipo 1 pequeno, e tipo 2 grande) colocados com a face voltada uns para os outros e espaçados 0,05 m, e o tipo 3 (caixa). A velocidade média de entrada de ar para todas as situações foi de 2,5 m/s, que consiste na correção da velocidade média anual de Natal/RN considerando a implantação do elemento vazado em uma edificação térrea.

4.7 Incertezas Experimentais

Por fim, faz-se necessário colocar as limitações dos métodos aplicados e, principalmente dos resultados gerados por este estudo que, apesar de ter sido baseado em método normalizado, devem ser aplicados para regiões de clima semelhante e sob as mesmas condições experimentais. Além disso, vale salientar que a coleta dos dados, mesmo criteriosamente acompanhada, não invalida a possibilidade de erro humano.

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados apresentados referem-se à descrição do desempenho acústico dos elementos estudados, seguida da análise estatística dos dados, através dos procedimentos metodológicos descritos no capítulo 4; assim como o desempenho em relação à ventilação natural avaliada por meio de simulação computacional.

Na análise do desempenho acústico, são apresentados os resultados de cada bloco, e em seguida é comparado o desempenho dos mesmos em relação às condições que foram testados (fechado, com material absorvente e sem material absorvente na cavidade). Apenas o bloco existente na fachada da câmara teste antes da pesquisa de campo, assim como o último bloco testado (tipo 4 – caixa grande, CG) não seguiram as mesmas condições, pois foram mensurados apenas abertos.

Os resultados são apresentados em forma de gráficos e tabelas, assim como imagens no caso do desempenho em relação à ventilação natural.

5.1 Desempenho acústico dos elementos vazados

As medições referentes ao desempenho quanto ao isolamento acústico dos Elementos Vazados confeccionados para a presente pesquisa – tipo 1 (pequeno - P), tipo 2 (grande - G), tipo 3 (caixa - C) e tipo 4 (caixa grande - CG) – foram realizadas para as seguintes condições: os blocos assentados juntos (fechado) e os

blocos assentados separados, sendo 5 cm de espaço aberto para os dois blocos, 10 cm de espaço aberto com o bloco maior (G)¹, e 5 cm para os blocos tipo caixa e tipo caixa grande, que é o espaço da fenda (ver Figura 28, capítulo 4).

O bloco tipo caixa (C) e tipo caixa grande (CG) foram aplicados na fachada com todas as fendas voltadas para a fachada exterior (fechado) e com as fendas alternadas, voltadas para dentro e fora, conforme descrito anteriormente, tornando-o um elemento vazado (ver Figura 39, capítulo 4).

Conforme explanado no capítulo 4 “Procedimentos Metodológicos” (p.75), os Tempos de Reverberação da sala foram medidos com a parede de teste montada com o bloco tipo caixa nas condições vazado e fechado. Esses resultados foram utilizados nos cálculos da isolamento sonora de todas as demais tipologias. As Figuras 44 e 45 apresentam os Tempos de Reverberação que foram medidos.



Figura 44. Tempos de Reverberação da sala em bandas de 1/3-oitava com a parede de teste montada com blocos com aberturas

¹ O bloco pequeno, devido a suas dimensões, inviabilizou a instalação com o espaçamento entre eles de 10 cm.

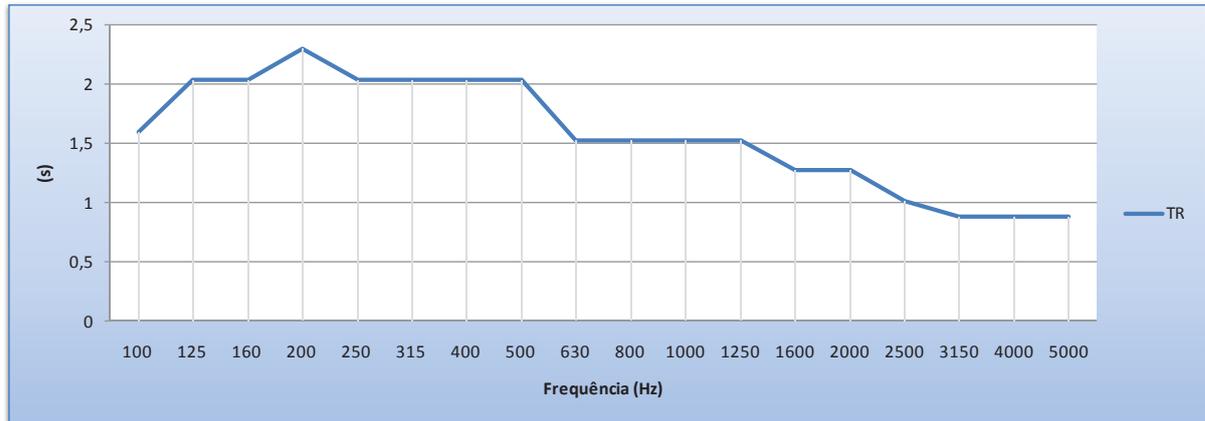


Figura 45. Tempos de Reverberação da sala em bandas de 1/3-oitava com a parede de teste montada com blocos sem aberturas

Em todas as medições, o ruído de fundo esteve sempre 10 dB abaixo do nível sonoro gerado pelo alto-falante (caixa acústica). A seguir são descritas as tipologias testadas com os resultados obtidos apresentados graficamente.

- ELEMENTO PEQUENO FECHADO

O elemento tipo 1 (pequeno - P) fora testado primeiramente fechado, sem abertura para o exterior, a fim de comparar seu desempenho de isolamento (Figuras 46 e 47).



Figura 46. Foto da sala internamente com a parede de testes montada com o bloco tipo 1 (Pfechado)



Figura 47. Foto externa da parede de teste montada com o bloco tipo 1 com indicação da área radiante interna da parede

De acordo com a média aritmética, no ponto externo foram registrados Leq de 61 dB em 100 Hz, a 68 dB em 200 Hz e 1000 Hz; e no ponto interno dados de Leq de 29 dB em 2000 Hz, até 43 dB em 125 Hz.

A Figura 48 apresenta os resultados da Redução de Ruído (D). Percebe-se que o nível de pressão sonora externo encontrava-se sempre acima de 60 dB, e internamente entre 30 e 40 dB, o que representa uma Redução de Ruído (D) entre 20 e 30 dB nas baixas e médias frequências, e entre 30 e 35 dB nas altas. A Redução de Ruído (D) média foi de 28,5 dB entre o ambiente externo e o interno; e a maior Redução de Ruído calculada foi de 35 dB em 2000 Hz.

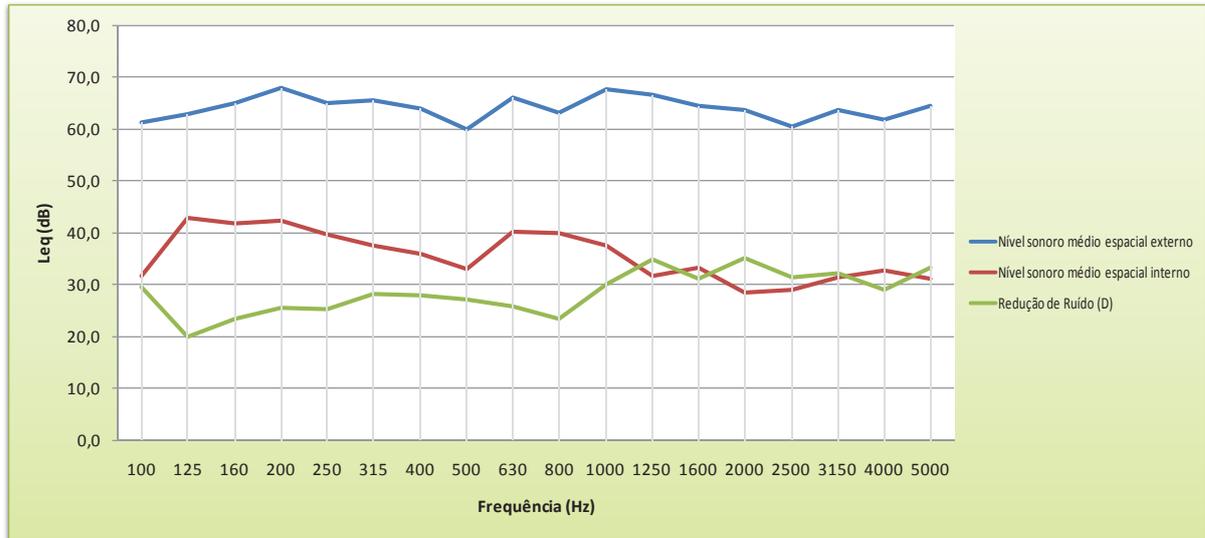


Figura 48. Espectros em bandas de 1/3-oitava do nível sonoro médio espacial interno e externo e a Redução de Ruído (D) obtidos com a parede de teste montada com o bloco pequeno fechado (Pfechado)

A Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) média calculada foi de 33 dB. A maior Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) foi de 40 dB em 1250 Hz e a menor foi de 26 dB em 125 Hz. O melhor desempenho do bloco quanto ao isolamento acústico foi em alta frequência, tendo-se mantido abaixo de 30 dB nas frequências abaixo de 1000 Hz, e entre 35 dB e 40 dB acima desta (Figura 49).

O Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45}), que leva em consideração o tempo de reverberação da sala receptora, é de 25 a 30 dB nas baixas e médias frequências, e 25 a 35 dB nas altas. O Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45}) médio foi de 27 dB (Figura 49).

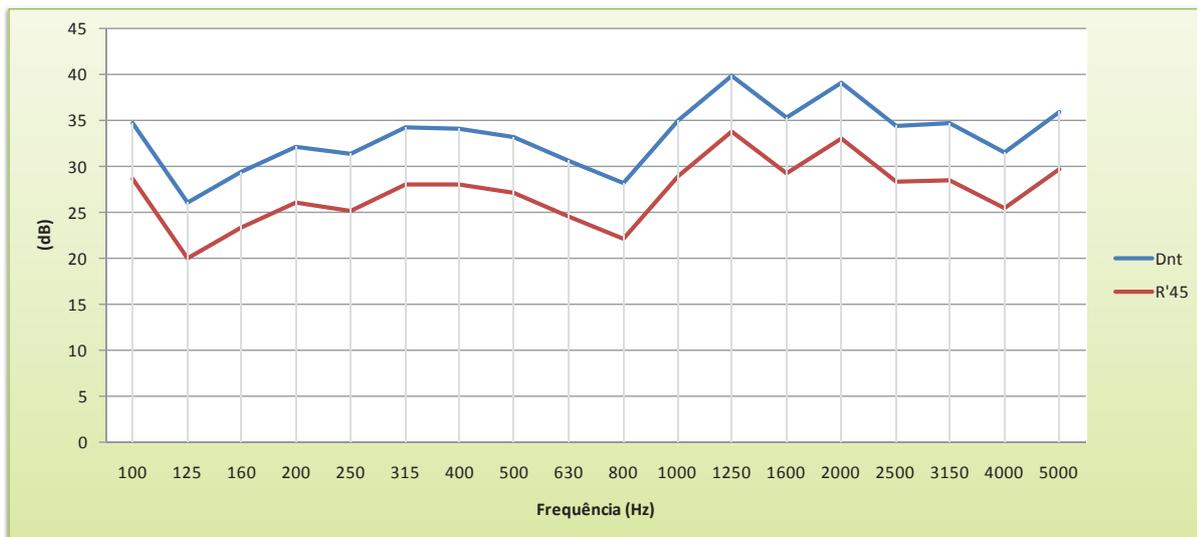


Figura 49. Espectros em bandas de 1/3-oitava da Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) e do Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45}) com a parede de teste montada com o bloco fechado (Pfechado)

- ELEMENTO PEQUENO ABERTO 5 cm SEM LÃ DE VIDRO

O elemento tipo 1 (pequeno) fora testado em um segundo momento aberto com 5 cm de espaçamento entre eles, sem lã de vidro (Figura 50).



Figura 50. Foto da parede de teste montada com o bloco tipo 1 pequeno (P) espaçados de 5cm e sem lã de vidro (P5s/lã), com indicação da área radiante interna da parede

De acordo com a média aritmética, no ponto externo foram registrados L_{eq} de 61 dB em 5000 Hz, a 82 dB em 1000 Hz; e no ponto interno dados de L_{eq} de 45 dB em 5000 Hz, até 76 dB em 200 Hz.

A Figura 51 apresenta os resultados da Redução de Ruído (D). Percebe-se que o nível de pressão sonora externo encontrava-se sempre acima de 70 dB, e internamente entre 60 e 75 dB, o que representa uma Redução de Ruído (D) entre 05 e 10 dB nas baixas e médias frequências, e entre 10 e 20 dB nas altas. A Redução de Ruído (D) média foi de 10,8 dB entre o ambiente externo e o interno; e a maior Redução de Ruído calculada foi de 19 dB em 1000 Hz.

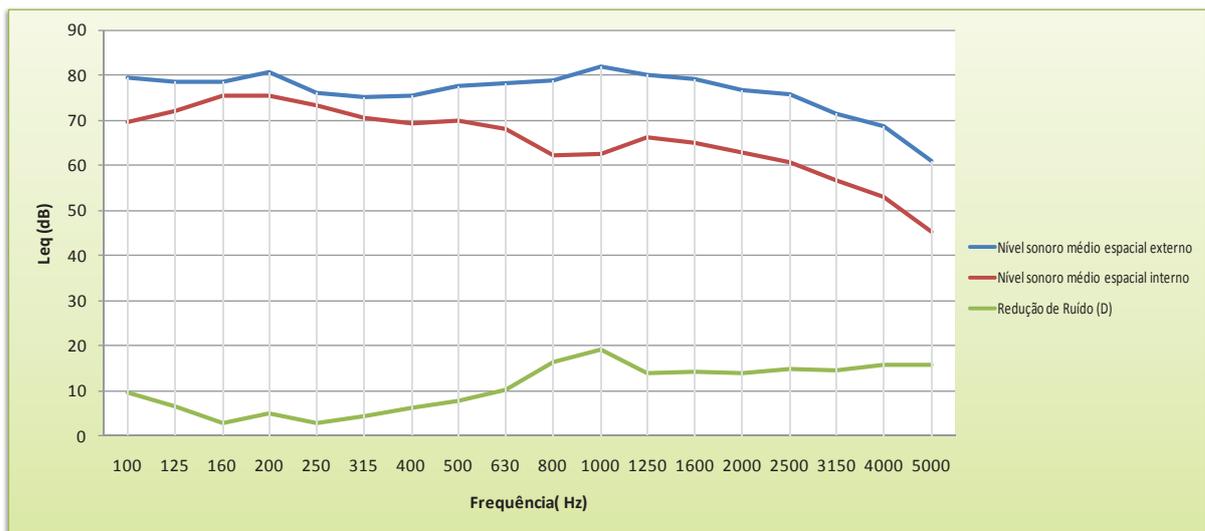


Figura 51. Espectros em bandas de 1/3-oitava do nível sonoro médio espacial interno e externo e a Redução de Ruído (D) obtidos com a parede de teste montada com o bloco pequeno aberto 5 cm sem lã (P5s/lã)

A Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) média calculada foi de 16 dB. A maior Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) foi de 25 dB em 1000 Hz e a menor foi de 7 dB em 160 Hz. O melhor desempenho do bloco quanto ao isolamento acústico foi em média frequência, tendo-se mantido abaixo de 15 dB nas frequências abaixo de 630 Hz, e entre 15 dB e 25 dB acima desta (Figura 52).

O índice de redução sonora aparente (R'_{45}), que leva em consideração o tempo de reverberação da sala receptora, é de 3 a 10 dB nas baixas e médias freqüências, e 10 a 20 dB nas altas. O Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45}) médio foi de 9 dB (Figura 52)

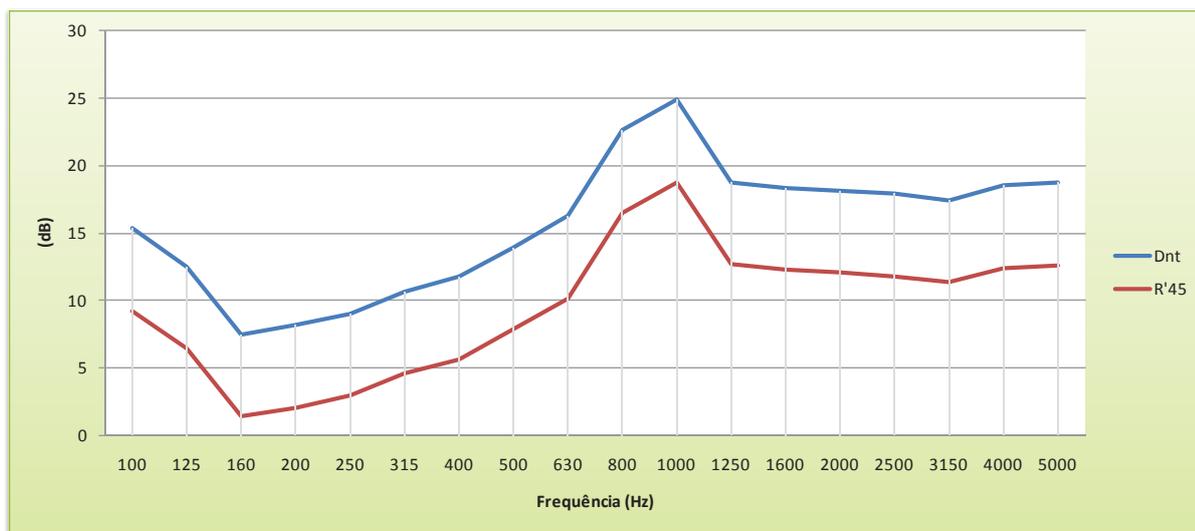


Figura 52. Espectros em bandas de 1/3-oitava da Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) e do Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45}) com a parede de teste montada com o bloco pequeno aberto 5 cm sem lã (P5s/lã)

- ELEMENTO PEQUENO ABERTO 5 cm COM LÃ DE VIDRO

O elemento tipo 1 (pequeno) fora testado em um segundo momento aberto com 5 cm de espaçamento entre eles, com lã de vidro nas cavidades (Figura 53).



Figura 53. Foto da parede de teste montada com o bloco tipo 1 pequeno (P) espaçados de 5cm e com lã de vidro nas cavidades (P5c/lã)

De acordo com a média aritmética, no ponto externo foram registrados Leq de 61 dB em 5000 Hz, a 81 dB em 200 Hz e 1000 Hz; e no ponto interno dados de Leq de 45 dB em 5000 Hz, até 75 dB em 200 Hz.

A Figura 54 apresenta os resultados da Redução de Ruído (D). Percebe-se que o nível de pressão sonora externo encontrava-se sempre acima de 70 dB, e internamente entre 60 e 75 dB, o que representa uma Redução de Ruído (D) entre 05 e 15 dB nas baixas e médias frequências, e entre 15 e 20 dB nas altas. A Redução de Ruído (D) média foi de 13 dB entre o ambiente externo e o interno; e a maior Redução de Ruído calculada foi de 21 dB em 1000 Hz, o que demonstra um isolamento acústico baixo (Figura 54).

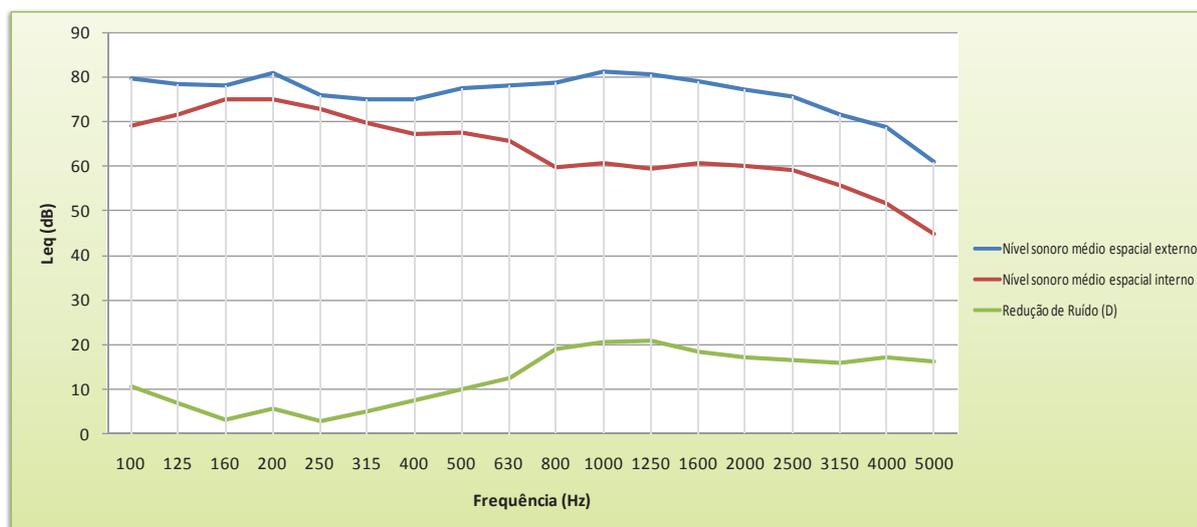


Figura 54. Espectros em bandas de 1/3-oitava do nível sonoro médio espacial interno e externo e a Redução de Ruído (D) obtidos com a parede de teste montada com o bloco pequeno aberto 5 cm com lã (P5c/lã)

A Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) média calculada foi de 17 dB. A maior Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) foi de 26 dB em 1000 Hz e a menor foi de 8 dB em 160 Hz. O melhor desempenho do bloco quanto ao isolamento acústico foi em média e alta frequência, tendo-se mantido abaixo de 15 dB nas frequências abaixo de 500 Hz, e entre 15 dB e 25 dB acima desta (Figura 55).

Pelo método dos elementos, de acordo com a norma ISO 140-5, o índice de redução sonora aparente (R'_{45}), que leva em consideração o tempo de reverberação da sala receptora, é de 3 a 10 dB nas baixas frequências, e 10 a 20 dB nas médias e altas. O Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45}) médio foi de 11 dB (Figura 55).

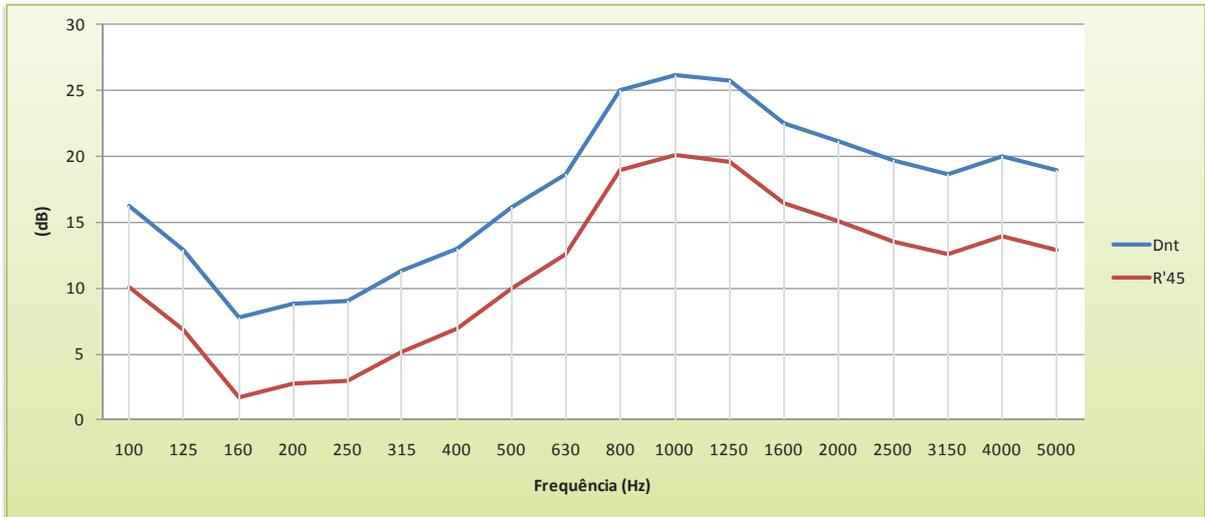


Figura 55. Espectros em banda de 1/3-oitava da Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) e do Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45}) com a parede de teste montada com o bloco pequeno aberto 5 cm com lã (P5c/lã)

Como forma de comparar o desempenho do elemento tipo 1 (pequeno) com as variações de configurações, foram calculados os parâmetros da ISO 140-5, quais sejam, a Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) (Figura 56); e o Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45}) (Figura 57).

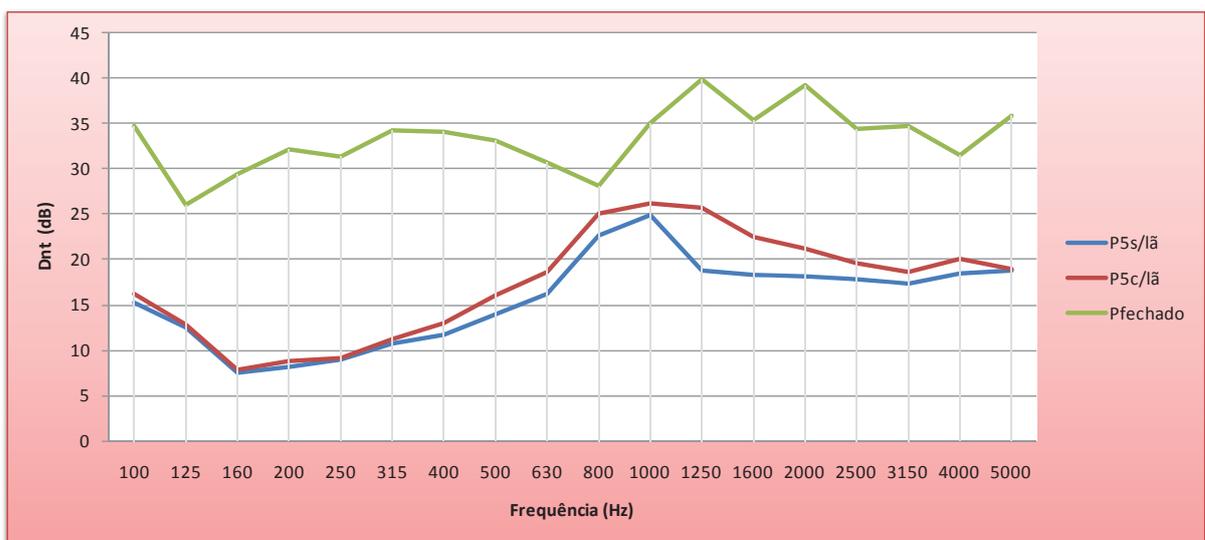


Figura 56. Espectros em bandas de 1/3-oitava da Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) com a parede de teste montada com as variantes do bloco pequeno (P)

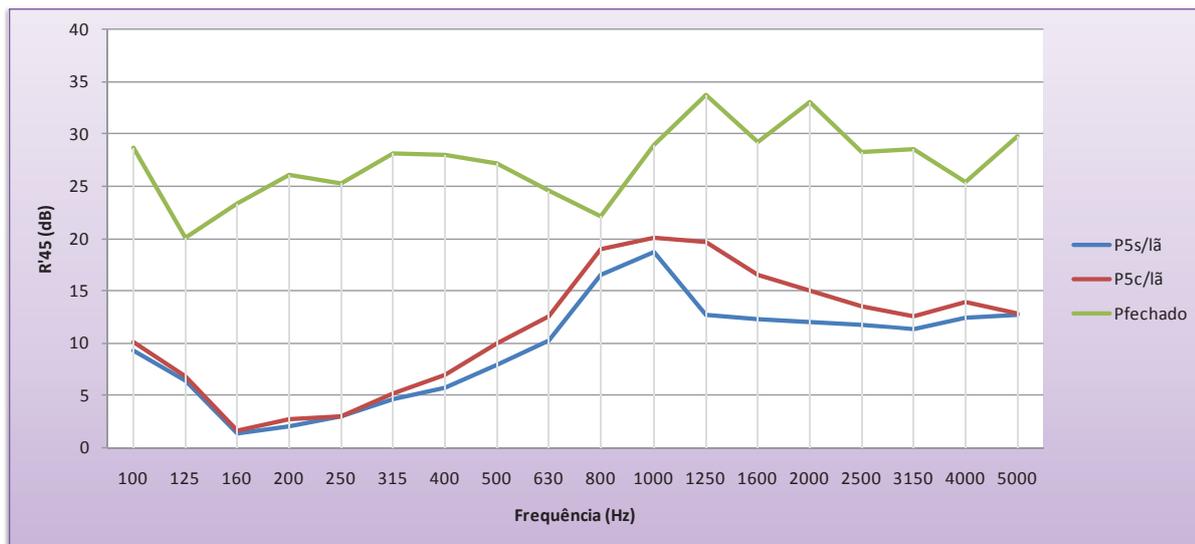


Figura 57. Espectros em bandas de 1/3-oitava do Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45}) com a parede de teste montada com as variantes do bloco pequeno (P)

Observa-se que o bloco assentado fechado é o que apresenta maior isolamento sonoro, enquanto que a inserção da lã de vidro não altera significativamente o desempenho do elemento, apenas 5 dB a mais na frequência aproximada de 1250 Hz. Foi identificado, em geral, um desempenho acústico baixo por apresentar uma Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) máxima de 20 a 27 dB entre 800 e 1600 Hz, tendo em vista que uma parede de tijolo simples possui uma perda na transmissão de 30 dB em 125 Hz, e 37 dB de 250 a 2000 Hz, e 43 dB em 4.000 Hz (BISTAFA, 2006), e que se trata de um elemento vazado.

- ELEMENTO GRANDE FECHADO

O elemento tipo 2 (grande - G) fora testado primeiramente fechado, sem abertura para o exterior, a fim de comparar seu desempenho de isolamento (Figuras 58 e 59).



Figura 58. Tomada fotográfica da parede de testes montada, sem aberturas, com o bloco tipo 2_(Gfechado)



Figura 59. Outra tomada fotográfica da parede de teste montada, sem aberturas, com o bloco tipo 2 (Gfechado)

De acordo com a média aritmética, no ponto externo foram registrados Leq de 57 dB em 5000 Hz, a 76 dB em 200 Hz; e no ponto interno dados de Leq de 19 dB em 5000 Hz, até 45 dB em 200 Hz e 630 Hz.

A Figura 60 apresenta os resultados da Redução de Ruído (D). Percebe-se que o nível de pressão sonora externo encontrava-se sempre acima de 70 dB, e internamente entre 35 e 45 dB, o que representa uma Redução de Ruído (D) de 30 nas baixas e médias frequências, e entre 35 dB nas altas. A Redução de Ruído (D) média foi de 32 dB entre o ambiente externo e o interno; e a maior Redução de Ruído calculada foi de 38 dB em 1600 Hz, 4000 Hz e 5000 Hz.

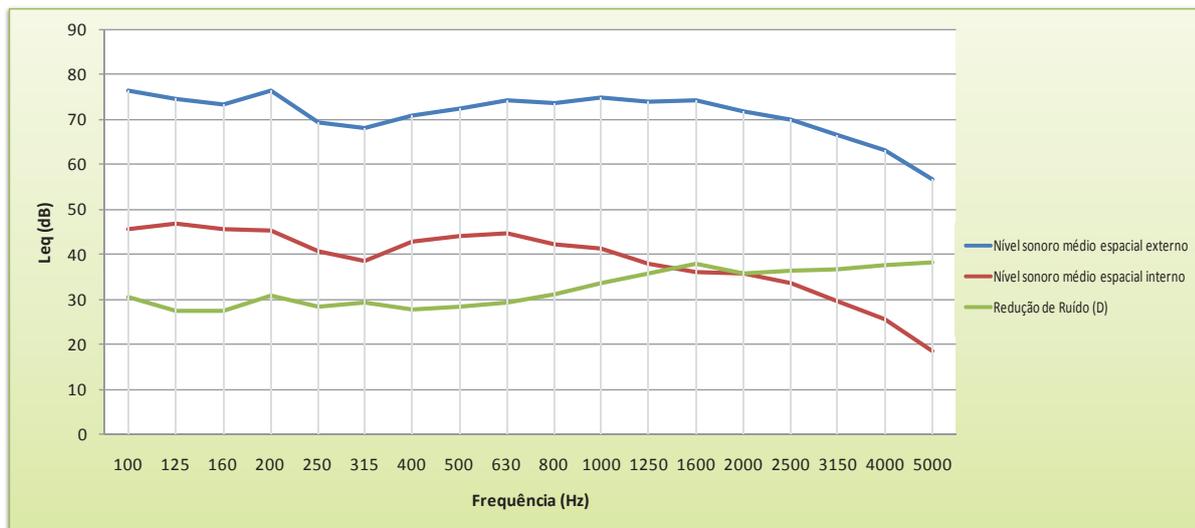


Figura 60. Espectros em bandas de 1/3-oitava do nível sonoro médio espacial interno e externo e a Redução de Ruído (D) obtidos com a parede de teste montada com o bloco grande fechado (Gfechado)

A Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) média calculada foi de 36 dB. A maior Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) foi de 41 dB em 1600 Hz e 5000 Hz, e a menor foi de 32 dB nas baixas frequências. O melhor desempenho do bloco quanto ao isolamento acústico foi em alta frequência, tendo-se mantido abaixo de 35 dB nas frequências abaixo de 800 Hz, e entre 35 dB e 40 dB acima desta (Figura 61).

Pelo método dos elementos, de acordo com a norma ISO 140-5, o índice de redução sonora aparente (R'_{45}), que leva em consideração o tempo de reverberação da sala receptora, é de 30 dB nas baixas e médias frequências, e entre 30 dB e 35 dB nas altas (>800 Hz). O Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45}) médio foi de 31 dB (Figura 61).

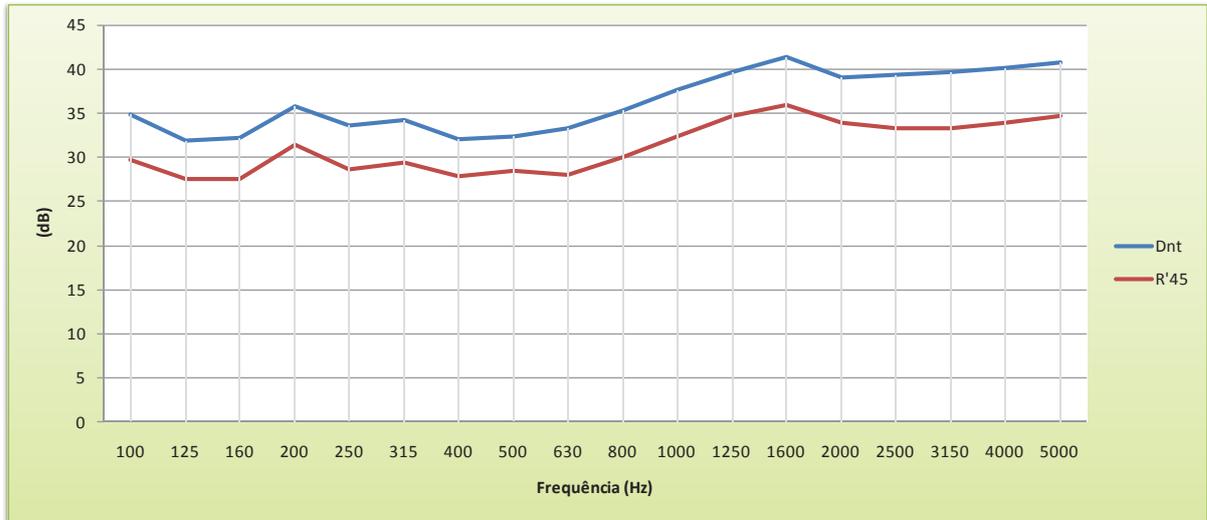


Figura 61. Espectros em bandas de 1/3-oitava da Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) e do Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45}) com a parede de teste montada com o bloco grande fechado (Gfechado)

- ELEMENTO GRANDE ABERTO 5cm SEM LÃ DE VIDRO

O elemento tipo 2 (grande) fora testado aberto com 5 cm de espaçamento entre eles, sem lã de vidro (Figuras 62 e 63).



Figura 62. Foto da parede de testes montada, com aberturas de 5 cm, com o bloco tipo 2, sem lã de vidro (G5s/lã)



Figura 63. Foto do detalhe da separação de 5 cm da montagem mostrada na Figura 62

De acordo com a média aritmética, no ponto externo foram registrados Leq de 59 dB em 5000 Hz, a 76 dB em 1000 Hz; e no ponto interno dados de Leq de 39 dB em 5000 Hz, até 69 dB em 160 Hz.

A Figura 64 apresenta os resultados da Redução de Ruído (D). Percebe-se que o nível de pressão sonora externo encontrava-se sempre acima de 70 dB, e internamente variando bastante, de 70 dB apresentando uma queda para 45 dB em 500Hz e mantendo aproximadamente 55 dB nas altas. A Redução de Ruído (D) está entre 05 e 25 dB nas baixas, 27 dB nas médias freqüências, e 20 dB nas altas frequências. A Redução de Ruído (D) média foi de 18 dB entre o ambiente externo e o interno; e a maior Redução de Ruído calculada foi de 27 dB em 400 Hz.



Figura 64. Espectros em bandas de 1/3-oitava do nível sonoro médio espacial interno e externo e a Redução de Ruído (D) obtidos com a parede de teste montada com o bloco grande aberto 5cm sem lã de vidro (G5s/lã)

A Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) média calculada foi de 23 dB. A maior Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) foi de 33 dB em 400 Hz e 500 Hz, e a menor foi de 8 dB em 160 Hz. O melhor desempenho do bloco quanto ao isolamento acústico foi

em média freqüência, tendo-se mantido abaixo de 25 dB nas freqüências abaixo de 315 Hz, e entre 25 dB e 35 dB acima desta (Figura 65).

Pelo método dos elementos, de acordo com a norma ISO 140-5, o índice de redução sonora aparente (R'_{45}), que leva em consideração o tempo de reverberação da sala receptora, é de 5 a 20 dB nas baixas e médias freqüências, e de 20 a 25 dB nas altas. O Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45}) médio foi de 17 dB (Figura 65).

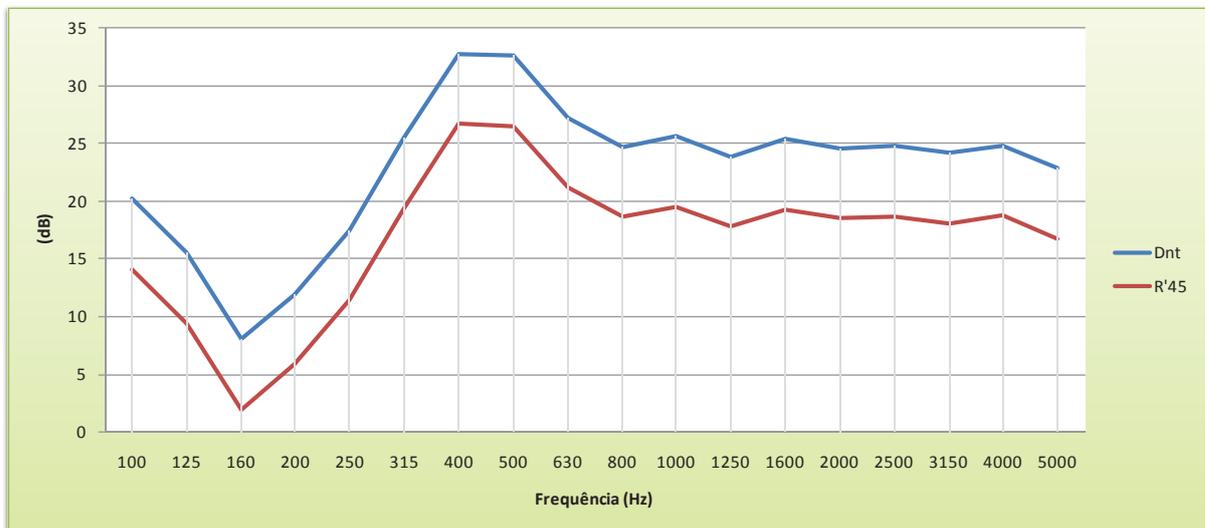


Figura 65. Espectros em bandas de 1/3-oitava da Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) e do Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45}) com a parede de teste montada com o bloco grande aberto 5cm sem lã de vidro (G5s/lã)

- ELEMENTO GRANDE ABERTO 5cm COM LÃ DE VIDRO

O elemento tipo 2 (grande) fora testado aberto com 5 cm de espaçamento entre eles, com lã de vidro (Figura 66).



Figura 66. Foto da parede de teste montada com o bloco tipo 2, espaçado de 5cm e com lã de vidro nas cavidades (G5c/lã)

De acordo com a média aritmética, no ponto externo foram registrados Leq de 57 dB em 5000 Hz, a 75 dB em 1000 Hz; e no ponto interno dados de Leq de 38 dB em 5000 Hz, até 67 dB em 160 Hz.

A Figura 67 apresenta os resultados da Redução de Ruído (D). Percebe-se que o nível de pressão sonora externo encontrava-se sempre acima de 70 dB, e internamente variando bastante, de 70 dB apresentando uma queda para 45 dB em 315 a 500Hz e mantendo aproximadamente 50 dB nas altas. A Redução de Ruído (D) está entre 05 e 25 dB nas baixas, 25 dB nas médias freqüências, e 20 dB nas altas. A Redução de Ruído (D) média foi de 18 dB entre o ambiente externo e o interno; e a maior Redução de Ruído calculada foi de 24 dB em 400 Hz e 500 Hz.

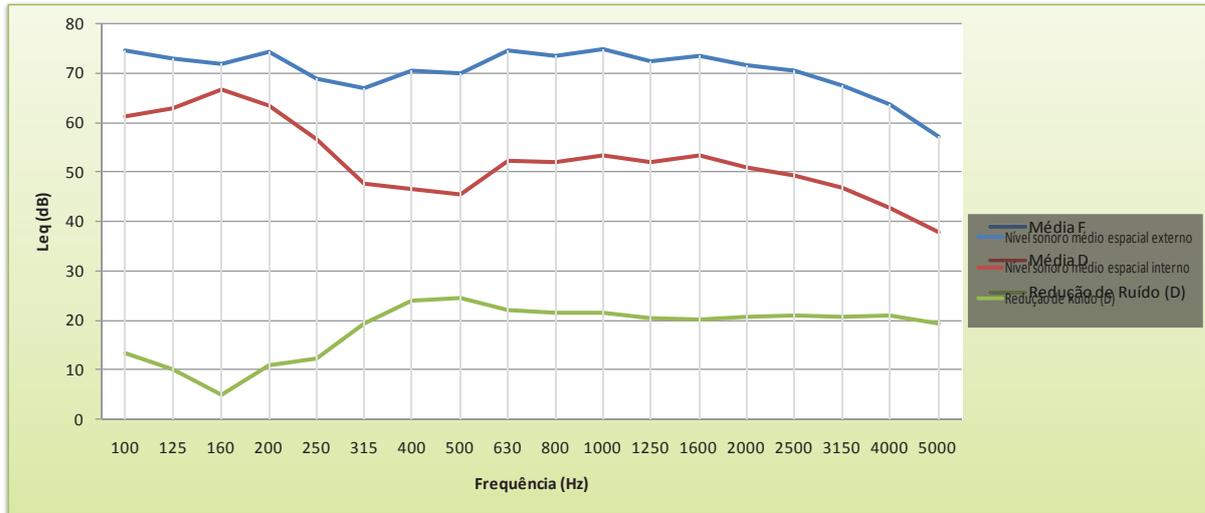


Figura 67. Espectros em bandas de 1/3-oitava do nível sonoro médio espacial interno e externo e a Redução de Ruído (D) obtidos com a parede de teste montada com o bloco grande aberto 5cm com lã de vidro (G5c/lã)

A Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) média calculada foi de 23 dB. A maior Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) foi de 31 dB em 500 Hz, e a menor foi de 10 dB em 160 Hz. O melhor desempenho do bloco quanto ao isolamento acústico foi em média frequência, tendo-se mantido abaixo de 25 dB nas frequências abaixo de 315 Hz, e entre 25 dB e 30 dB acima desta (Figura 68).

Pelo método dos elementos, de acordo com a norma ISO 140-5, o índice de redução sonora aparente (R'_{45}), que leva em consideração o tempo de reverberação da sala receptora, é de 5 a 25 dB nas baixas e médias frequências, e de 20 dB nas altas (Figura 68).

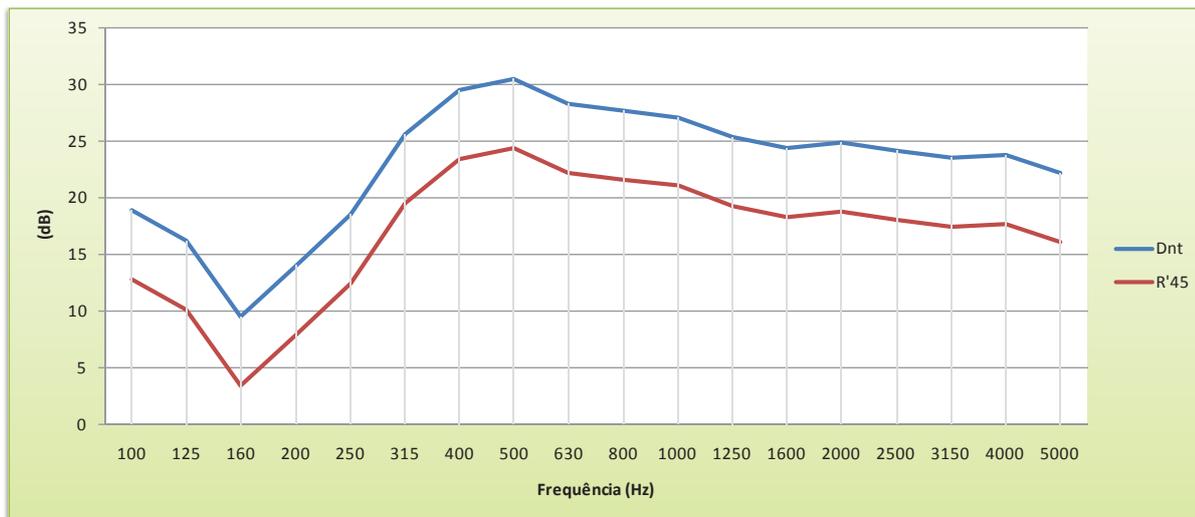


Figura 68. Espectros em bandas de 1/3-oitava da Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) e do Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45}) com a parede de teste montada com o bloco grande aberto 5cm com lã de vidro (G5c/lã)

- ELEMENTO GRANDE ABERTO 10cm COM LÃ DE VIDRO

O elemento tipo 2 (grande) fora testado aberto com 10 cm de espaçamento entre eles, com lã de vidro (Figuras 69 e 70).



Figura 69. Tomada fotográfica da parede de teste montada com o bloco tipo 2 espaçado 10cm e com lã de vidro nas cavidades (G10c/lã)



Figura 70. Foto do detalhe da separação de 10 cm da montagem mostrada na Figura 69

De acordo com a média aritmética, no ponto externo foram registrados Leq de 60 dB em 5000 Hz, a 79 dB em 200 Hz e 1000 Hz; e no ponto interno dados de Leq de 45 dB em 5000 Hz, até 71 dB em 160 Hz.

A Figura 71 apresenta os resultados da Redução de Ruído (D). Percebe-se que o nível de pressão sonora externo encontrava-se sempre acima de 70 dB, e internamente variando bastante, de 60 dB apresentando uma queda para 50 dB em 400Hz e mantendo aproximadamente 60 dB nas altas. A Redução de Ruído (D) está entre 10 e 20 dB nas baixas e médias freqüências, e 18 dB nas altas. A Redução de Ruído (D) média foi de 18 dB entre o ambiente externo e o interno; e a maior Redução de Ruído calculada foi de 20 dB em 500 Hz.

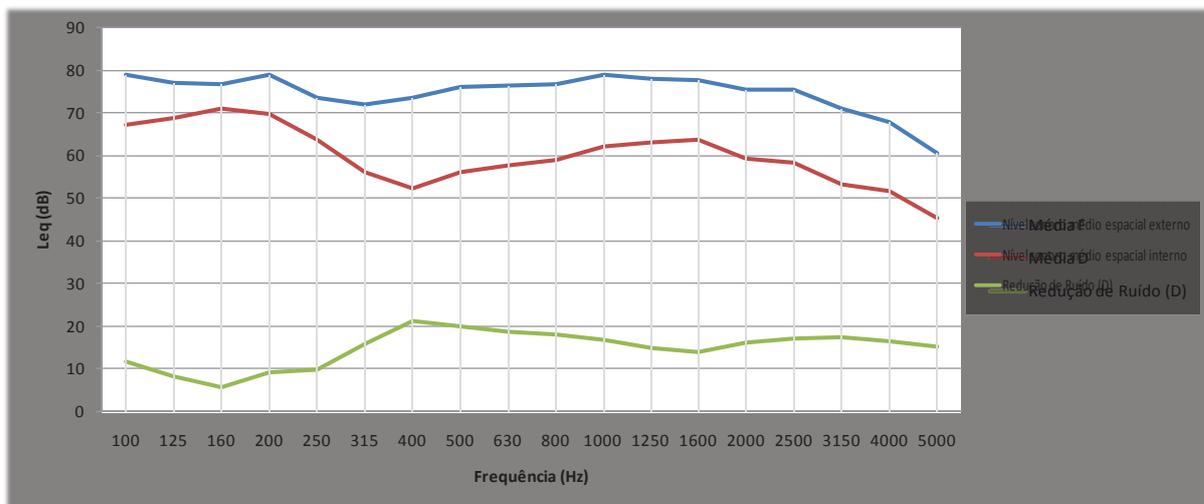


Figura 71. Espectros em bandas de 1/3-oitava do nível sonoro médio espacial interno e externo e a Redução de Ruído (D) obtidos com a parede de teste montada com o bloco grande aberto 10cm com lâ de vidro (G10c/lã)

A Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) média calculada foi de 20 dB. A maior Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) foi de 27 dB em 400 Hz, e a menor foi de 10 dB em 160 Hz. O melhor desempenho do bloco quanto ao isolamento acústico foi em média freqüência, tendo-se mantido abaixo de 20 dB nas freqüências abaixo de 315 Hz, e entre 20 dB e 25 dB acima desta (Figura 72).

Pelo método dos elementos, de acordo com a norma ISO 140-5, o índice de redução sonora aparente (R'_{45}), que leva em consideração o tempo de reverberação da sala receptora, é de 5 a 20 dB nas baixas e médias frequências, e de 20 dB nas altas. O Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45}) médio foi de 13 dB (Figura 72).

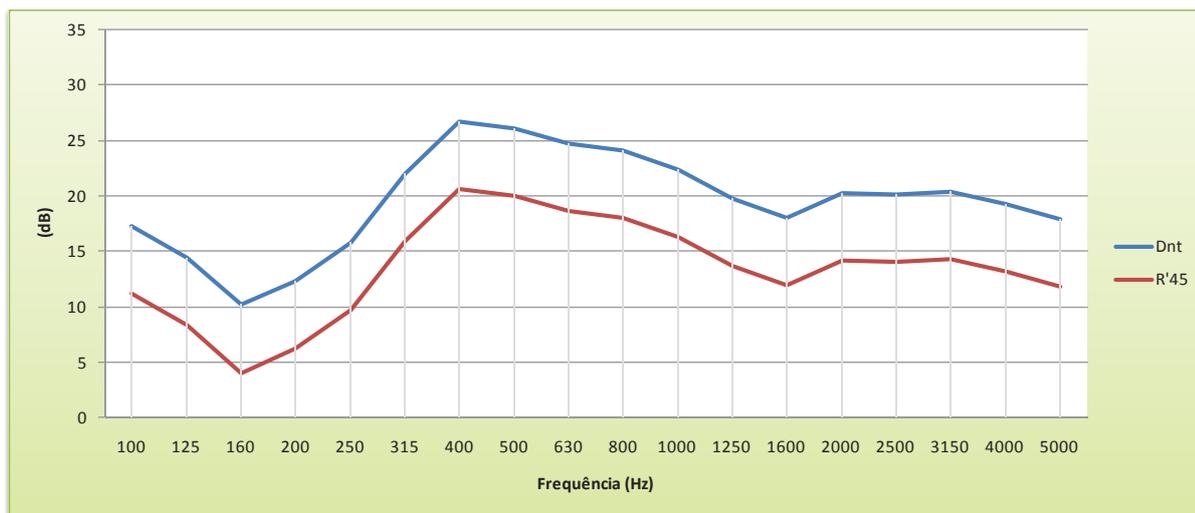


Figura 72. Espectros em bandas de 1/3-oitava da Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) e do Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45}) com a parede de teste montada com o bloco grande aberto 10cm com lã de vidro ($G10c/lã$)

- ELEMENTO TIPO 2 (GRANDE) ABERTO 10cm SEM LÃ DE VIDRO

O elemento tipo 2 (grande) fora testado aberto com 10 cm de espaçamento entre eles, sem lã de vidro (Figuras 73 e 74).



Figura 73. Foto da parede de teste montada com o bloco tipo espaçado 10 cm e sem lã de vidro ($G10s/lã$)



Figura 74. Foto do detalhe da separação de 10 cm da montagem mostrada na Figura 73

De acordo com a média aritmética, no ponto externo foram registrados Leq de 63 dB em 5000 Hz, a 81 dB em 1000 Hz; e no ponto interno dados de Leq de 45 dB em 5000 Hz, até 72 dB em 160 Hz.

A Figura 75 apresenta os resultados da Redução de Ruído (D). Percebe-se que o nível de pressão sonora externo encontrava-se sempre acima de 70 dB, e internamente variando bastante, de 70 dB apresentando uma queda para 50 dB em 400Hz, e mantendo aproximadamente 60 dB nas altas. A Redução de Ruído (D) está entre 05 e 25 dB nas baixas, 20 dB nas médias freqüências e altas. A Redução de Ruído (D) média foi de 15 dB entre o ambiente externo e o interno; e a maior Redução de Ruído calculada foi de 26 dB em 400 Hz.

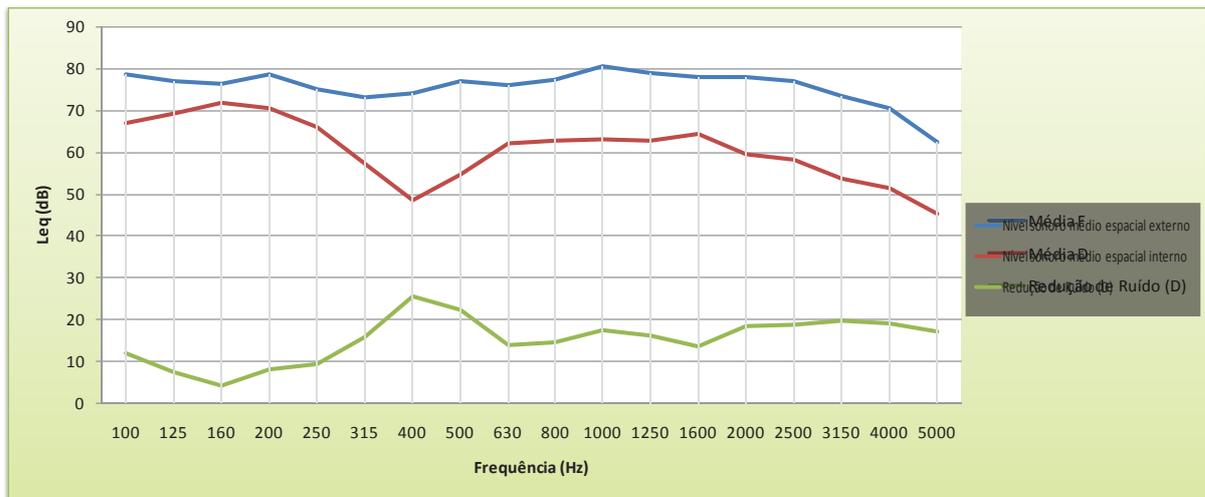


Figura 75. Espectros em bandas de 1/3-oitava do nível sonoro médio espacial interno e externo e a Redução de Ruído (D) obtidos com a parede de teste montada com o bloco grande aberto 10cm sem lã de vidro (G10s/lã)

A Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) média calculada foi de 20 dB. A maior Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) foi de 31 dB em 400 Hz, e a menor foi de 9 dB em 160 Hz. O melhor desempenho do bloco quanto ao isolamento acústico foi em média freqüência, tendo-se mantido abaixo de 20 dB nas freqüências abaixo de 315 Hz, e entre 20 dB e 30 dB acima desta (Figura 76).

Pelo método dos elementos, de acordo com a norma ISO 140-5, o índice de redução sonora aparente (R'_{45}), que leva em consideração o tempo de reverberação da sala receptora, é de 5 a 25 dB nas baixas e médias freqüências, e de 15 dB nas altas. O Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45}) médio foi de 14 dB (Figura 76).

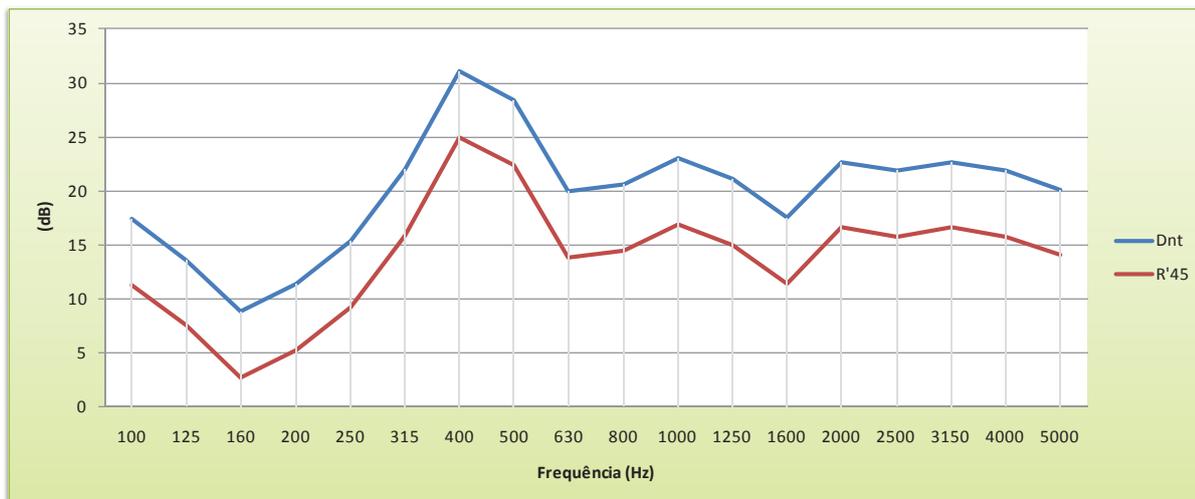


Figura 76. Espectros em bandas de 1/3-oitava da Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) e do Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45}) com a parede de teste montada com o bloco grande aberto 10cm sem lã de vidro (G10sc/lã)

Como forma de comparar o desempenho do elemento tipo 2 (grande) com as variações de configurações, foram calculados os parâmetros da ISO 140-5, quais sejam, a Redução de Ruído Padrão (D_{nt}); e o Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45}).

Em relação ao bloco grande aberto 5 cm foi identificado, em geral, um desempenho acústico alto nas médias freqüências, pois apresenta Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) máxima de 34 dB entre 400 e 500 Hz, tendo em vista que uma parede de tijolo simples possui uma perda na transmissão de 30 dB em 125 Hz, 37 dB em 2000 Hz e 43 dB em 4000 Hz (BISTAFA, 2006), e que se trata de um elemento vazado. O desempenho de isolamento sonoro do bloco nas freqüências de 400 Hz e 500 Hz é o mesmo do bloco na condição fechada (Figura 77).

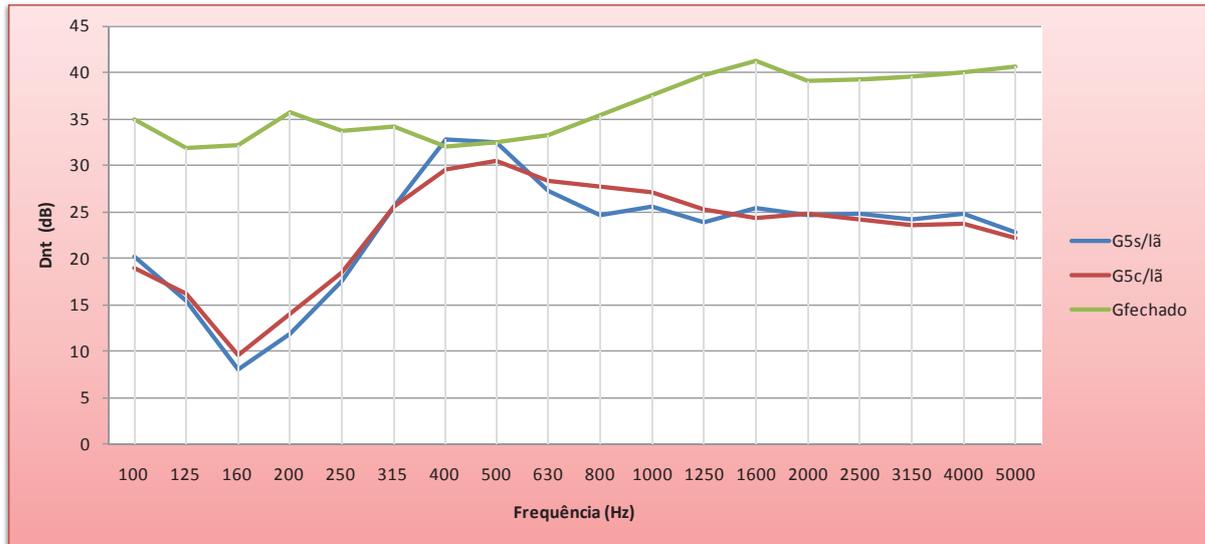


Figura 77. Espectros em bandas de 1/3-oitava da Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) com a parede de teste montada com as variantes do bloco grande espaçado de 5cm (G5)

De uma maneira geral, observa-se que o bloco assentado fechado é o que apresenta maior isolamento sonoro, enquanto que a inserção da lã de vidro não altera significativamente o desempenho do elemento, apenas 5 dB a mais na frequência aproximada de 400 Hz e 5dB a menos na frequência de 630 Hz (Figura 77).

Em relação ao bloco grande aberto 10 cm, a Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) é 31 dB em 400 Hz, sendo o desempenho de isolamento sonoro no bloco nesta frequência semelhante ao bloco fechado (Figura 78).

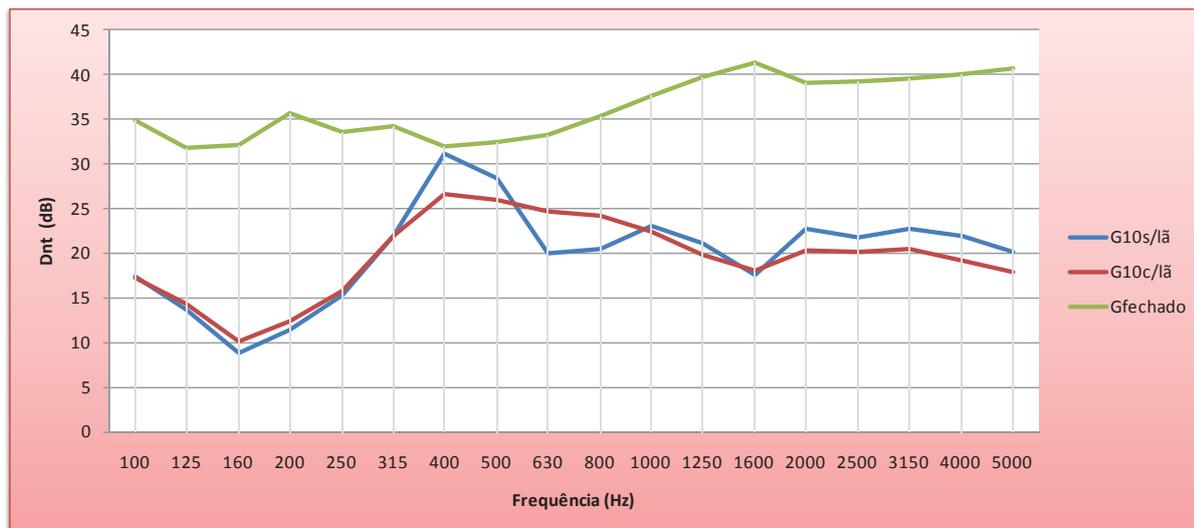


Figura 78. Espectros em bandas de 1/3-oitava da Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) com a parede de teste montada com as variantes do bloco grande espaçado de 10cm (G10)

O Índice de Redução Sonora Aparente revela comportamento semelhante, porém com níveis sonoros menores. O bloco grande espaçado 5 cm possui o melhor desempenho de isolamento sonoro de 26 dB nas médias frequências (400 Hz e 500 Hz), sendo 1 dB a menos da condição fechado (Figura 79). Nas frequências baixas o isolamento sonoro é baixo, e nas frequências altas é uniforme, aproximadamente 19 dB. O bloco espaçado 10 cm possui praticamente o mesmo comportamento, porém com um isolamento sonoro mais uniforme nas altas frequências, com a inserção da lã de vidro (Figura 80).

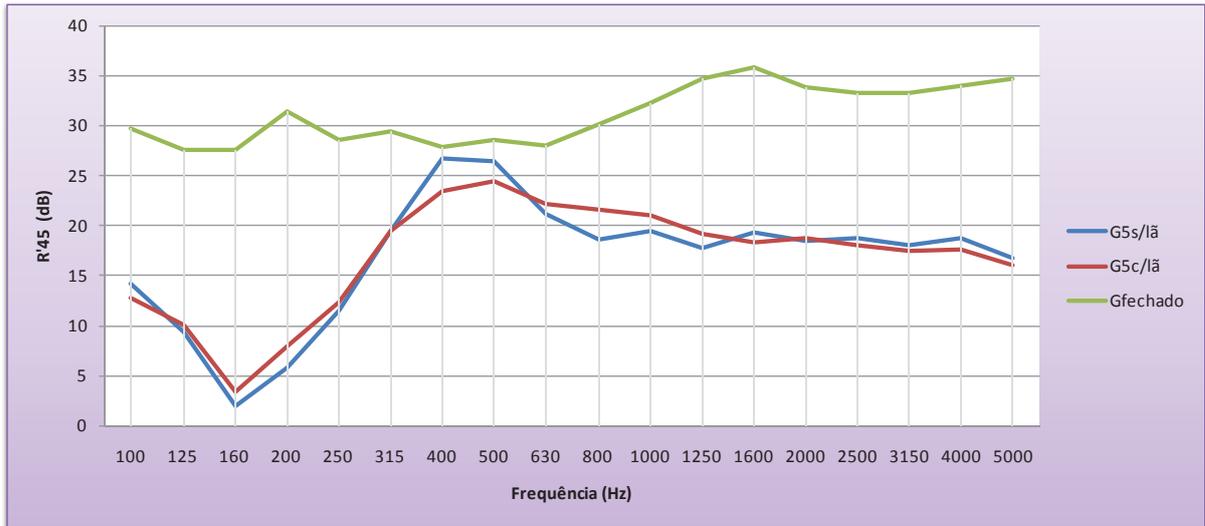


Figura 79. Espectros em bandas de 1/3-oitava do Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45}) com a parede de teste montada com as variantes do bloco grande espaçado de 5cm (G5)

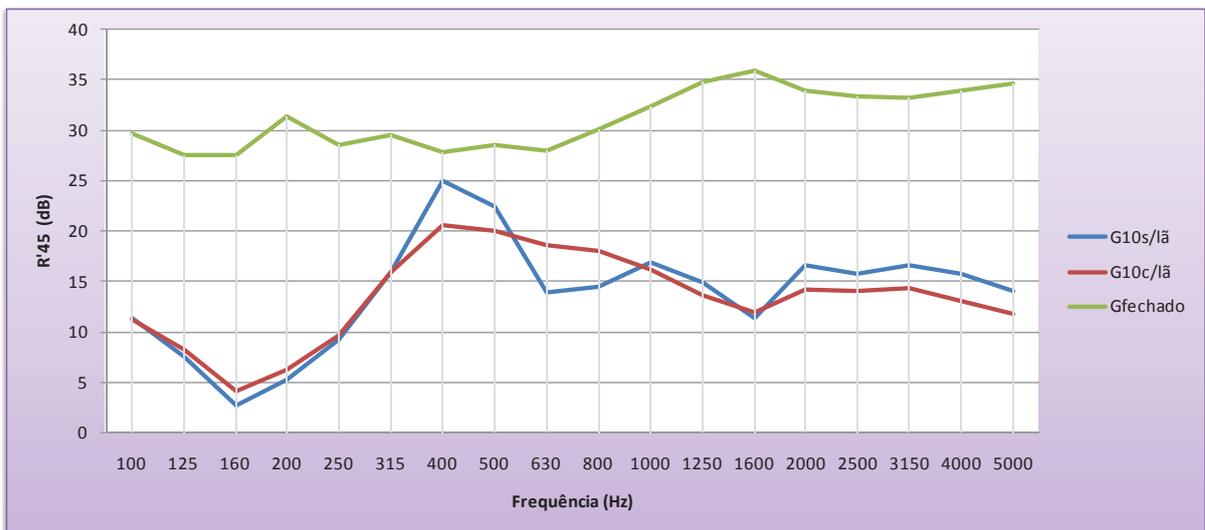


Figura 80. Espectros em bandas de 1/3-oitava do Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45}) com a parede de teste montada com as variantes do bloco grande aberto 10cm (G10)

- ELEMENTO TIPO CAIXA COM LÃ DE VIDRO

O elemento tipo 3 (caixa) fora testado com lã de vidro (Figuras 81 e 82), a fim de comparar seu desempenho de isolamento.



Figura 81. Foto da parede de teste montada com bloco tipo 3 com lã de vidro (Cc/lã)



Figura 82. Outra tomada fotográfica da parede de teste montada com bloco tipo 3 com lã de vidro (Cc/lã)

De acordo com a média aritmética, no ponto externo foram registrados Leq de 57 dB em 5000 Hz, a 77 dB em 1000 Hz; e no ponto interno dados de Leq de 31 dB em 5000 Hz, até 69 dB em 160 Hz e 200 Hz.

A Figura 83 apresenta os resultados da Redução de Ruído (D). Percebe-se que o nível de pressão sonora externo encontrava-se sempre acima de 70 dB, e internamente variando bastante, de 70 dB nas baixas frequências, apresentando uma queda para 45 dB em 800 Hz, voltando para 50 dB em 1250 e 1600 Hz, e mantendo aproximadamente 40 dB nas altas frequências. A Redução de Ruído (D) está entre 05 e 30 dB nas baixas e médias frequências e 30 nas altas. A Redução de Ruído (D) média foi de 20 dB entre o ambiente externo e o interno; e a maior Redução de Ruído calculada foi de 31 dB em 800 Hz e 2000 Hz.

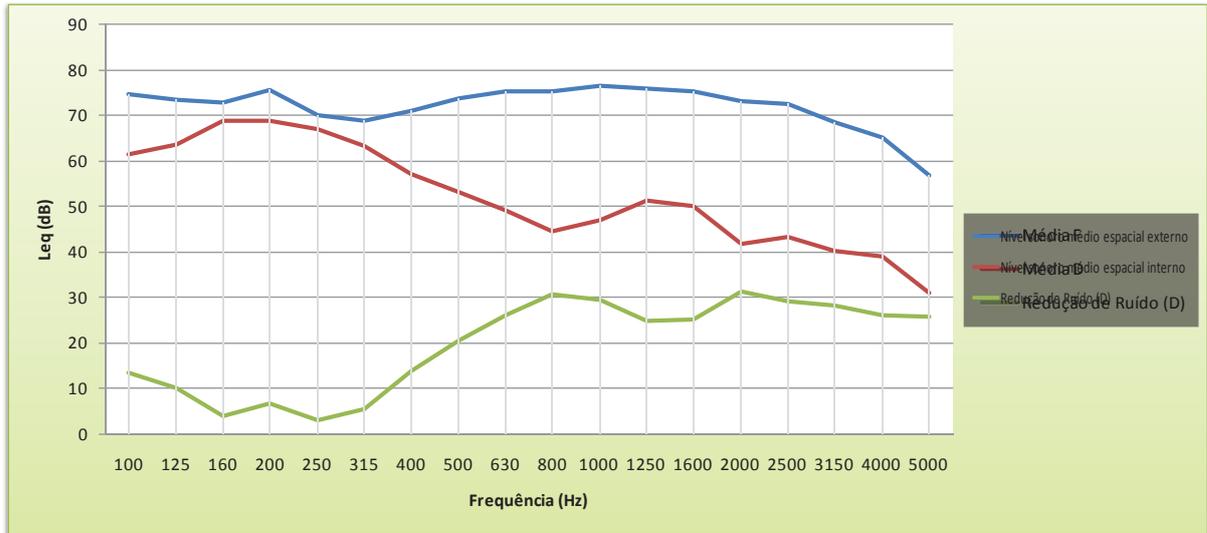


Figura 83. Espectros em bandas de 1/3-oitava do nível sonoro médio espacial interno e externo e a Redução de Ruído (D) obtidos com a parede de teste montada com o bloco caixa com lã de vidro (Cc/lã)

A Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) média calculada foi de 24 dB. A maior Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) foi de 37 dB em 800 Hz, e a menor foi de 8 dB em 160 Hz. O melhor desempenho do bloco quanto ao isolamento acústico foi em média frequência, tendo-se mantido abaixo de 30 dB nas frequências abaixo de 630 Hz, e entre 30 dB e 38 dB acima desta (Figura 84).

Pelo método dos elementos, de acordo com a norma ISO 140-5, o índice de redução sonora aparente (R'_{45}), que leva em consideração o tempo de reverberação da sala receptora, é de 5 a 25 dB nas baixas e médias frequências, e de 25 dB a 30 dB nas altas. O Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45}) médio foi de 18 dB (Figura 84).

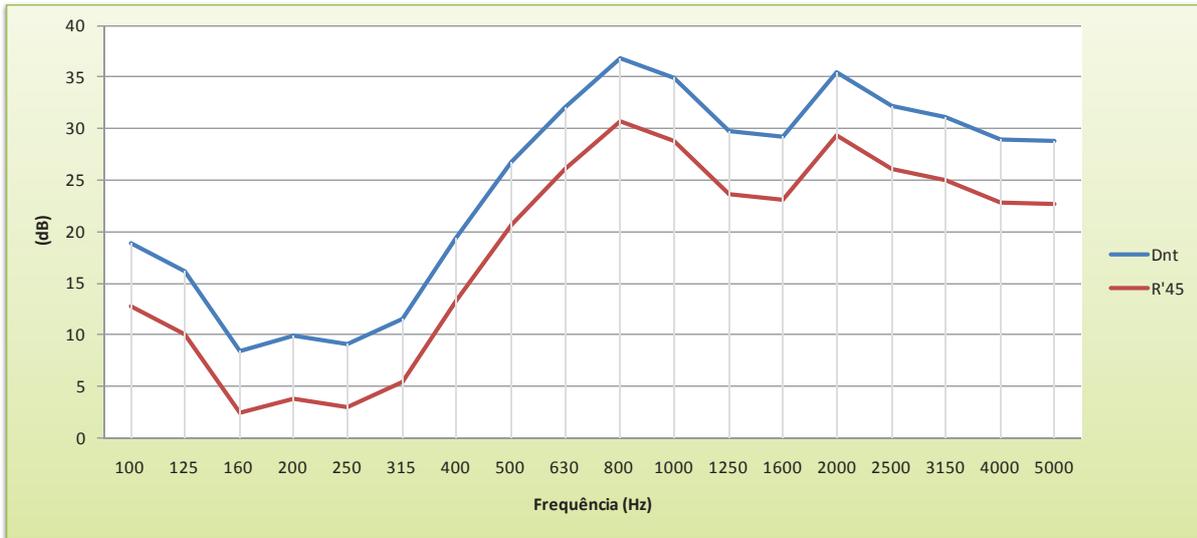


Figura 84. Espectros em bandas de 1/3-oitava da Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) e do Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45}) com a parede de teste montada com o bloco caixa com lã de vidro (Cc/lã)

- ELEMENTO TIPO CAIXA SEM LÃ DE VIDRO

O elemento tipo 3 (caixa) fora testado sem lã de vidro (Figuras 85 e 86), a fim de comparar seu desempenho de isolamento.

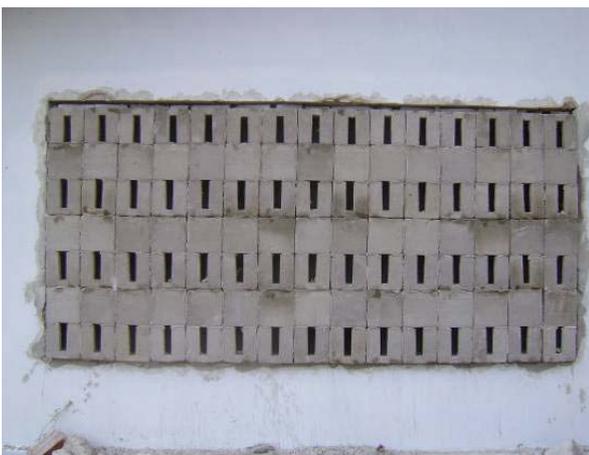


Figura 85. Foto da parede de teste montada com bloco tipo 3 sem lã de vidro (Cs/lã)



Figura 86. Foto da parede de teste montada com bloco tipo 3 sem lã de vidro (Cs/lã)

De acordo com a média aritmética, no ponto externo foram registrados L_{eq} de 58 dB em 5000 Hz, a 77 dB em 1000 Hz; e no ponto interno dados de L_{eq} de 34 dB em 5000 Hz, até 70 dB em 160 Hz e 200 Hz.

A Figura 87 apresenta os resultados da Redução de Ruído (D). Percebe-se que o nível de pressão sonora externo encontrava-se sempre acima de 70 dB, e internamente variando bastante, de 70 dB nas baixas freqüências, apresentando uma queda para 45 dB em 800Hz, voltando para 55 dB em 1250, e mantendo aproximadamente 45 dB nas altas. A Redução de Ruído (D) está entre 05 e 30 dB nas baixas e médias freqüências e 30 nas altas. A Redução de Ruído (D) média foi de 18 dB entre o ambiente externo e o interno; e a maior Redução de Ruído calculada foi de 31 dB em 800 Hz e 1000 Hz.

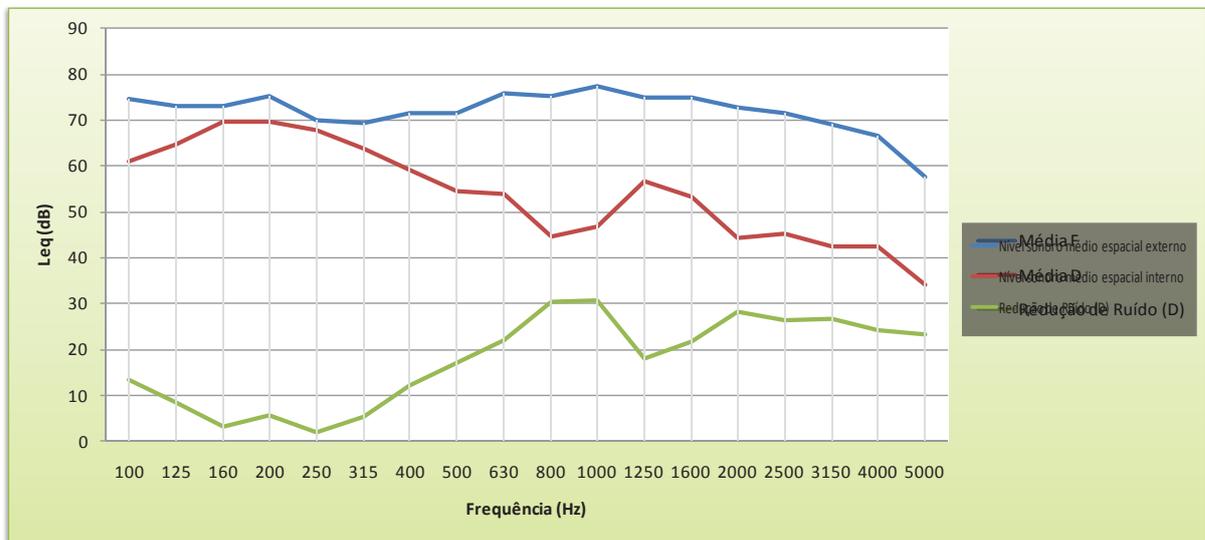


Figura 87. Espectros em bandas de 1/3-oitava do nível sonoro médio espacial interno e externo e a Redução de Ruído (D) obtidos com a parede de teste montada com o bloco caixa sem lã de vidro (Cs/lã)

A Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) média calculada foi de 23 dB. A maior Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) foi de 37 dB em 800 Hz, e a menor foi de 8 dB em 160 Hz. O melhor desempenho do bloco quanto ao isolamento acústico foi em média

freqüência, tendo-se mantido abaixo de 25 dB nas freqüências abaixo de 500 Hz, e entre 30 dB e 38 dB acima desta (Figura 88).

Pelo método dos elementos, de acordo com a norma ISO 140-5, o índice de redução sonora aparente (R'_{45}), que leva em consideração o tempo de reverberação da sala receptora, é de 5 a 30 dB nas baixas e médias freqüências (800 Hz), e de 30 dB nas altas (2000 Hz). O Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45}) médio foi de 16 dB (Figura 88).

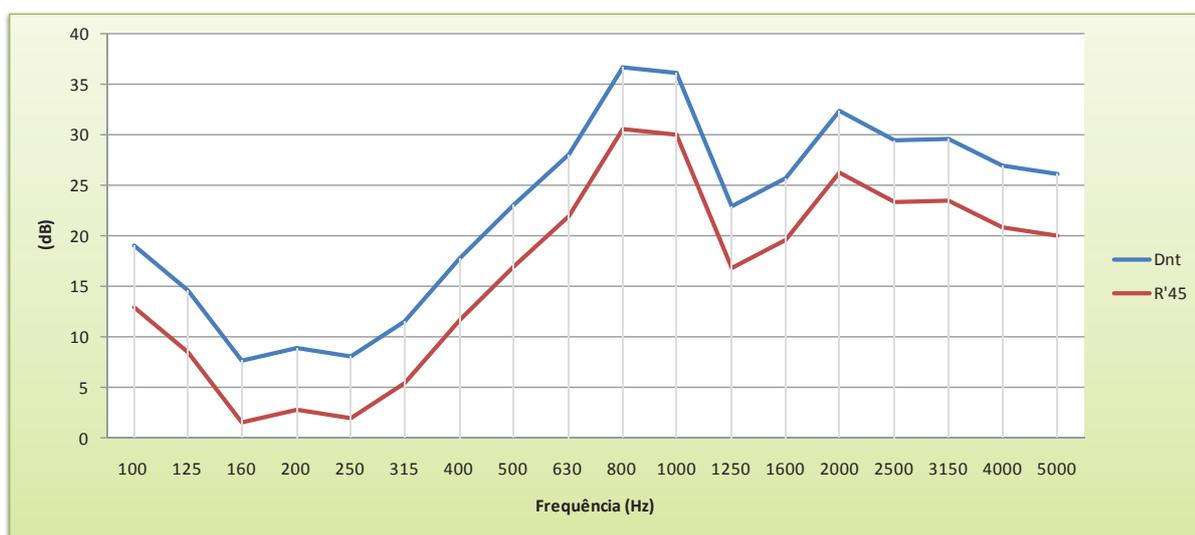


Figura 88. Espectros em bandas de 1/3-oitava da Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) e do Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45}) com a parede de teste montada com o bloco caixa sem lâ de vidro (Cs/lã)

- ELEMENTO TIPO CAIXA FECHADO

O elemento tipo 3 (caixa) foi testado fechado (com as fendas voltadas para o exterior), a fim de comparar seu desempenho de isolamento.

De acordo com a média aritmética, no ponto externo foram registrados Leq de 57 dB em 5000 Hz, a 77 dB em 1000 Hz e 1600 Hz; e no ponto interno dados de Leq de 21 dB em 5000 Hz, até 52 dB em 160 Hz.

A Figura 89 apresenta os resultados da Redução de Ruído (D). Percebe-se que o nível de pressão sonora externo encontrava-se sempre acima de 70 dB, e internamente entre 30 e 50 dB. A Redução de Ruído (D) está entre 20 dB nas baixas e 40 dB nas médias e altas freqüências. A Redução de Ruído (D) média foi de 31 dB entre o ambiente externo e o interno; e a maior Redução de Ruído calculada foi de 41 dB em 1600 Hz.

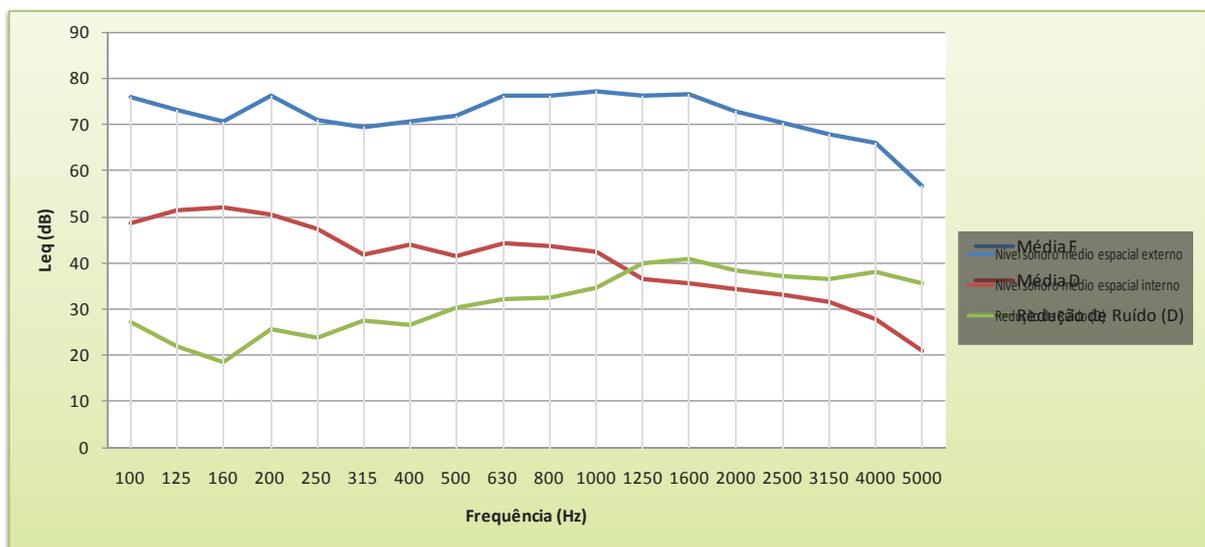


Figura 89. Espectros em bandas de 1/3-oitava do nível sonoro médio espacial interno e externo e a Redução de Ruído (D) obtidos com a parede de teste montada com o bloco caixa fechada (Cfechado)

A Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) média calculada foi de 36 dB. A maior Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) foi de 45 dB em 1250 Hz e 1600 Hz, e a menor foi de 25 dB em 160 Hz. O melhor desempenho do bloco quanto ao isolamento acústico foi em média freqüência, tendo-se mantido abaixo de 35 dB nas freqüências abaixo de 500 Hz, e entre 35 dB e 45 dB acima desta (Figura 90).

Pelo método dos elementos, de acordo com a norma ISO 140-5, o índice de redução sonora aparente (R'_{45}), que leva em consideração o tempo de reverberação da sala receptora, é de 20 (160 Hz) a 40 dB (1250 e 1600 Hz). O Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45}) médio foi de 30 dB (Figura 90).

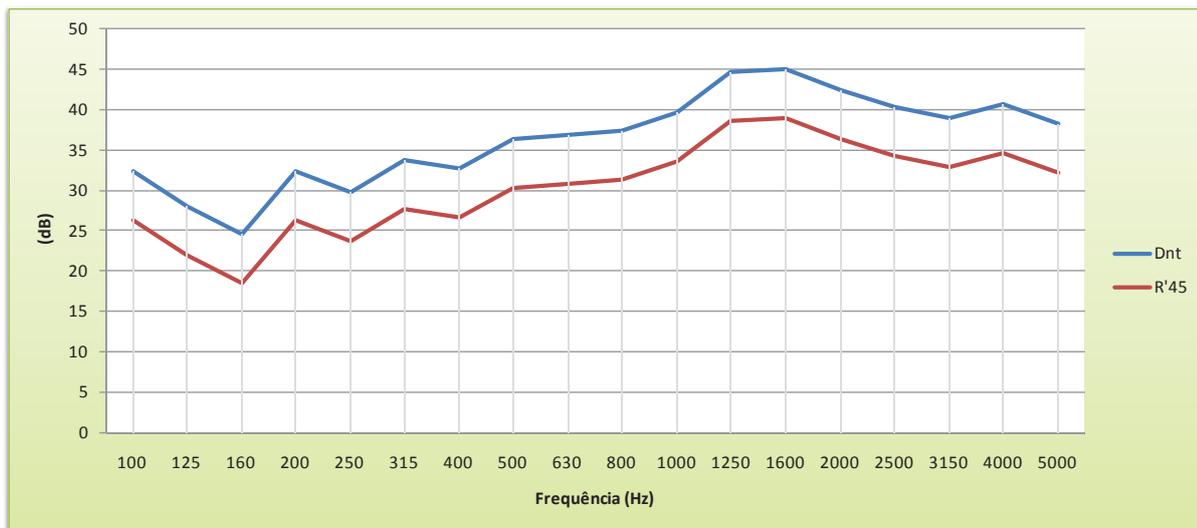


Figura 90. Espectros em bandas de 1/3-oitava da Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) e do Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45}) com a parede de teste montada com o bloco caixa fechado (Cfechado)

- ELEMENTO TIPO CAIXA GRANDE

O elemento tipo 4 (caixa grande, CG) foi testado na sua condição de elemento vazado sem lã de vidro na cavidade (Figuras 91 e 92).



Figura 91. Foto da parede de teste montada com o bloco tipo 4 aberto sem lã de vidro (CG)



Figura 92. Outra tomada fotográfica interna da parede de teste montada com o bloco tipo 4 aberto sem lã de vidro (CG)

De acordo com a média aritmética, no ponto externo foram registrados Leq de 65 dB em 5000 Hz, a 86 dB em 100 Hz; e no ponto interno dados de Leq de 40 dB em 5000 Hz, até 81 dB em 160 Hz.

A Figura 93 apresenta os resultados da Redução de Ruído (D). Percebe-se que o nível de pressão sonora externo encontrava-se sempre acima de 75 dB, e internamente entre 30 e 80 dB. A Redução de Ruído (D) está até 20 dB nas baixas frequências, e de 20 dB a 30 dB nas médias e altas frequências. A Redução de Ruído (D) média foi de 19 dB entre o ambiente externo e o interno; e a maior Redução de Ruído calculada foi de 30 dB em 800 Hz.

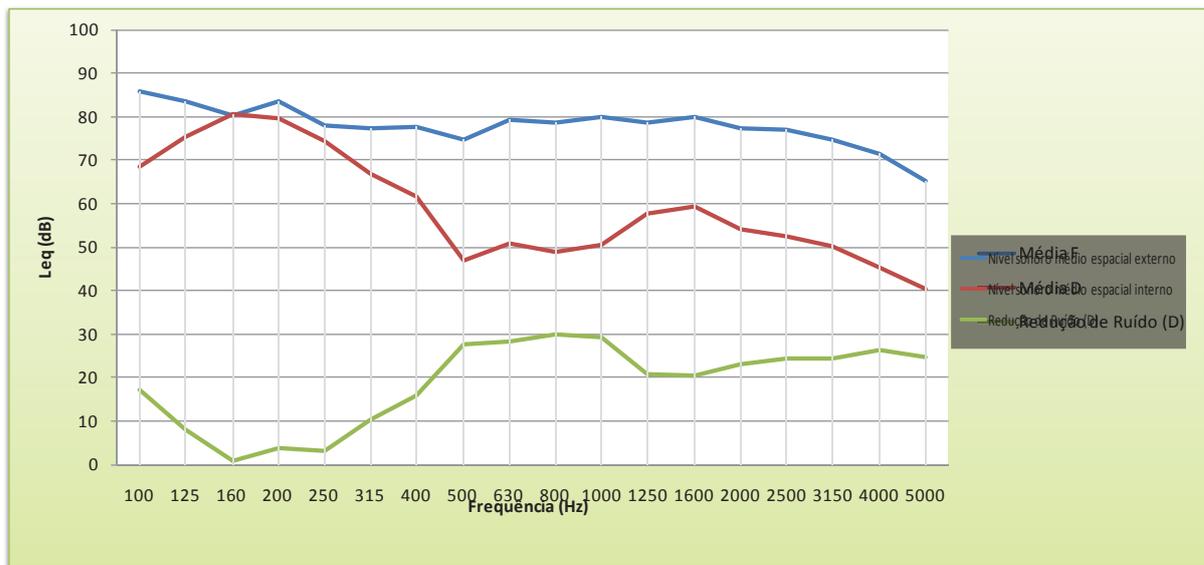


Figura 93. Espectros em bandas de 1/3-oitava do nível sonoro médio espacial interno e externo e a Redução de Ruído (D) obtidos com a parede de teste montada com o bloco caixa grande (CG)

A Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) média calculada foi de 24 dB. A maior Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) foi de 36 dB em 800 Hz, e a menor foi de 4 dB em 160 Hz. O melhor desempenho do bloco quanto ao isolamento acústico foi em média frequência, tendo-se mantido abaixo de 25 dB nas frequências abaixo de 400 Hz, e entre 25 dB e 35 dB acima desta (Figura 94).

Pelo método dos elementos, de acordo com a norma ISO 140-5, o índice de redução sonora aparente (R'_{45}), que leva em consideração o tempo de reverberação da sala receptora, é de 0 dB (160 Hz) a 36 dB (500 e 1000 Hz). O Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45}) médio foi de 17 dB (Figura 94).

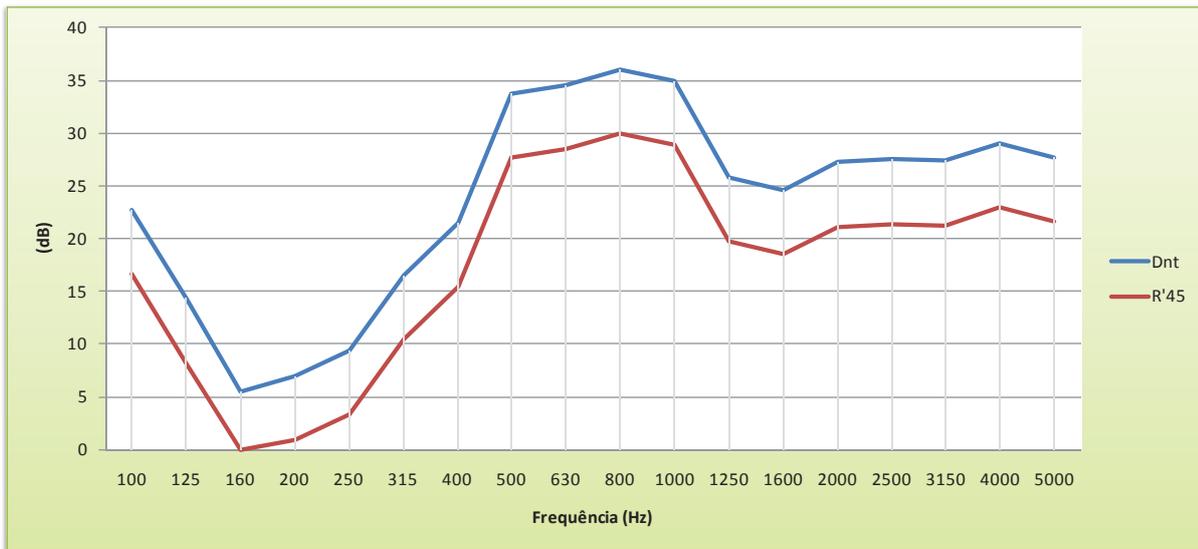


Figura 94. Espectros em bandas de 1/3-oitava da Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) e do Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45}) com a parede de teste montada com o bloco caixa grande (CG)

Como forma de comparar o desempenho do elemento tipos 3 e 4 (caixa e caixa grande) com as variações de configurações, foram calculados os parâmetros da ISO 140-5, quais sejam, a Redução de Ruído Padrão (D_{nt}); e o Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45}).

Observa-se que o bloco assentado fechado é o que apresenta maior isolamento sonoro, enquanto que a inserção da lã de vidro não altera significativamente o desempenho do elemento, apenas 5 dB a mais na frequência aproximada de 1250 Hz. Foi identificado, em geral, um desempenho acústico alto nas médias frequências, pois apresenta Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) máxima de 37 dB em 800 Hz para os blocos C e CG, tendo em vista que uma parede de tijolo simples possui uma perda na transmissão de 30 dB em 125 Hz, 37 dB em 2000 Hz e

43 dB em 4000 Hz (BISTAFA, 2006), e que se trata de um elemento vazado. O desempenho de isolamento sonoro do bloco nas frequências de 500 Hz e 1000 Hz é praticamente o mesmo do bloco na condição fechada (Figura 95).

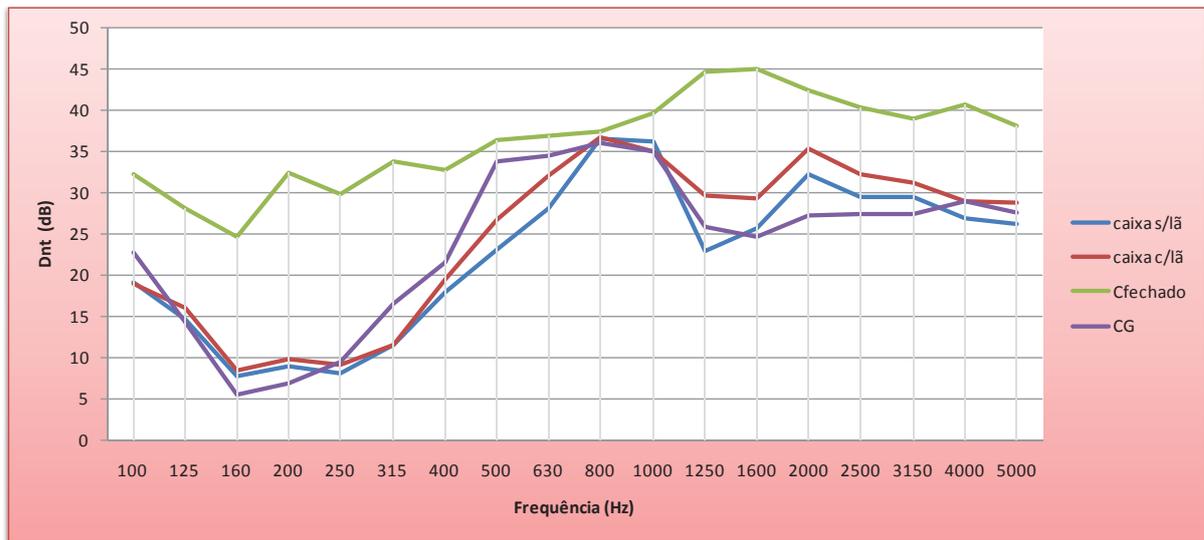


Figura 95. Espectros em bandas de 1/3-oitava da Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) com a parede de teste montada com as variantes do bloco caixa (C), e caixa grande (CG)

O Índice de Redução Sonora Aparente revela comportamento semelhante, porém com níveis sonoros menores. O bloco CG possui o melhor desempenho de isolamento sonoro de 30 dB nas médias frequências (500 Hz e 1000 Hz), sendo 1 dB a menos da condição fechada. Nas frequências baixas o isolamento sonoro é baixo, e nas frequências altas é uniforme, sendo identificado o bloco caixa com lã o que possui melhor desempenho de isolamento acústico nas altas frequências (Figura 96).

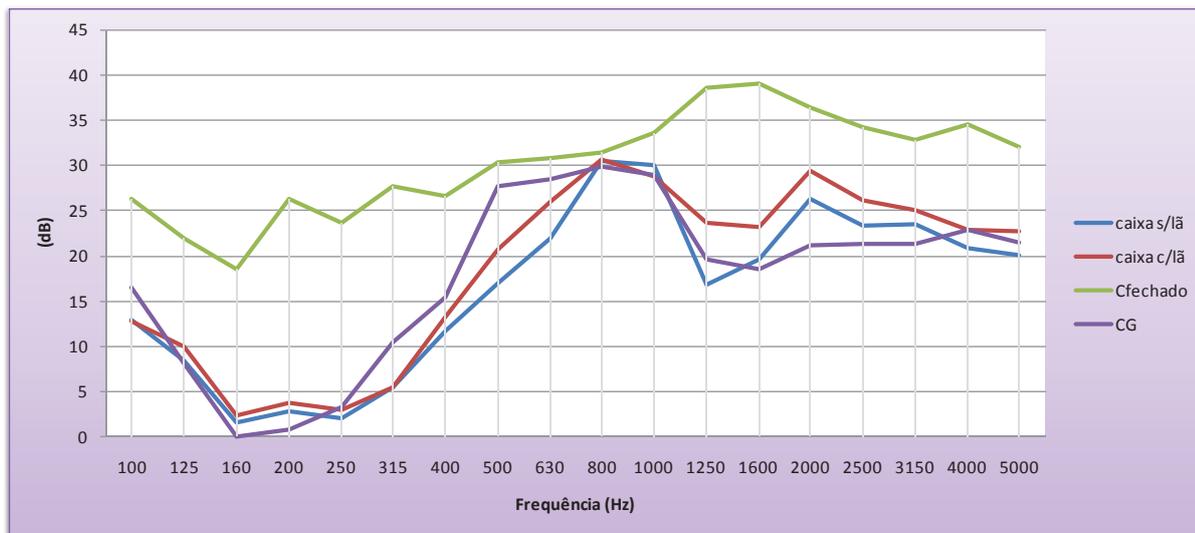


Figura 96. Espectros em bandas de 1/3-oitava do Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45}) com a parede de teste montada com as variantes do bloco caixa (C), e do bloco caixa grande (CG)

5.1.1 Desempenho global de isolamento sonoro

A fim de comparar o desempenho global de isolamento sonoro dos blocos desenvolvidos foram calculados o um número único (figura de mérito), de acordo com método apresentado no capítulo 4 – “Procedimentos Metodológicos”, da norma ISO 717, foram calculados os respectivos dados do Índice de Redução de Ruído Padrão Global (D_{ntw}) e Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45w}) (Tabela 5).

Conforme anteriormente destacado, cabe ressaltar que a determinação deste número único tem o objetivo de facilitar a comparação inicial do desempenho e restringir a escolha dos componentes entre uma quantidade menor de possibilidades.

Deve-se levar em conta, conforme já constatado, que este procedimento é uma simplificação do problema, já que o desempenho final de isolamento depende de todo o espectro de frequências.

Tabela 5 – Resumo das características dos blocos desenvolvidos e avaliados, com respectivo o desempenho global de isolamento sonoro

TIPO DE BLOCO	CONDIÇÃO	ABERTURA	SIGLA	% DE ÁREA ABERTA*	Dnt W (dB)	R'45 W (dB)
Tipo 1 Pequeno	Fechado	-	Pfechado	0%	35	29
	Com lã de vidro	5 cm	P5 c/Lã	19%	21	15
	Sem lã de vidro	5 cm	P5 s/Lã	19%	21	15
Tipo 2 Grande	Fechado	-	Gfechado	0%	40	36
	Com lã de vidro	5 cm	G5 c/Lã	8%	25	19
	Sem lã de vidro	5 cm	G5 s/Lã	8%	26	20
Tipo 2 Grande	Fechado	-	Gfechado	0%	40	36
	Com lã de vidro	10 cm	G10 c/Lã	13%	23	17
	Sem lã de vidro	10 cm	G10 s/Lã	13%	25	19
Tipo 3 Caixa	Fechado	-	Cfechado	0%	37	30
	Com lã de vidro	5 cm	C c/Lã	12%	27	21
	Sem lã de vidro	5 cm	C s/Lã	12%	27	21
Tipo 4 Caixa Grande	Sem lã de vidro	5 cm	CG	9%	27	21

Através deste método, foi constatado que os blocos fechados realmente apresentam maior isolamento sonoro global (variando de 9 a 17 dB a mais do que os blocos com abertura). Dentre os blocos, o bloco grande fechado apresenta o maior isolamento, seguido do bloco tipo caixa; e o menor isolamento sonoro é no bloco pequeno. A cavidade de ar é determinante no desempenho do bloco fechado, pois o volume interno do bloco pequeno é $1,2 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ e do bloco grande é $9 \times 10^{-3} \text{ m}^3$.

Quantitativamente, comparando estatisticamente blocos, o bloco grande aberto 10 cm com lã possui 57,5% de isolamento em relação ao bloco montado fechado. O bloco pequeno (aberto com lã e sem lã) possui 60% de isolamento sonoro em relação à instalação fechada. O bloco grande aberto 5 cm com lã e o bloco aberto 10 cm sem lã representam 62,5% de isolamento; enquanto o bloco grande 5 cm sem lã isola 65%. O bloco que possui quantitativamente o melhor

desempenho de isolamento sonoro são os bloco caixa (aberto com e sem lã) e caixa grande com 73%.

A maior massa da parede determinada pela cavidade de ar que passa a existir quando o bloco é assentado fechado (blocos juntos) é significativa, quando se percebe que do bloco pequeno para o bloco grande se eleva o Índice de Redução de Ruído Padrão Global em 5 dB (35 dB bloco pequeno e 40 dB bloco grande).

A cavidade ressonadora do bloco tipo caixa, voltada para a fonte, faz absorver a onda sonora, com um Índice de Redução de Ruído Padrão Global (D_{ntw}) de 37 dB.

Os dados apresentados são coerentes com os resultados existentes na literatura sobre isolamento sonoro de paredes simples de alvenaria, devido à cavidade de ar interna e externa dos blocos pequeno/grande e caixa, respectivamente. De acordo com Bistafa (2006), o *Sound Transmission Class*² (STC) de uma parede de alvenaria comum é 41 dB.

Interessante destacar que a profundidade do bloco grande é de 25 cm, do bloco caixa é de 20 cm, e do bloco pequeno é de 19 cm. Uma parede de alvenaria comum (com tijolo furado) possui largura (aqui fazendo analogia à profundidade dos blocos desenvolvidos) de 15 cm acabada. A utilização do bloco grande passa bastante do padrão utilizado em paredes, sendo a mesma profundidade do bloco pequeno utilizada no bloco caixa, e o isolamento sonoro global um pouco maior (D_{ntw} pequeno fechado = 35 dB; D_{ntw} caixa fechado = 37 dB).

Comparando os blocos com aberturas (vazados) desenvolvidos na pesquisa, foi observado que o bloco pequeno é o que possui menor isolamento sonoro, seguido do bloco grande, e o que possui maior isolamento é o bloco tipo caixa. O

² Também conhecido como Número Único global conforme a norma ISO 717, adotada nesta pesquisa. De acordo com Bistafa (2006), o STC é um método de geração de um número único normalizado pela ASTM E413-04, o qual caracteriza a perda na transmissão de uma partição por meio de um número único, a fim de comparar seu desempenho. A denominação indica a perda na transmissão em 500 Hz.

bloco caixa grande (tipo 4) possui o mesmo desempenho global do bloco caixa (tipo 3).

A condição da aplicação da lã de vidro (material absorvente) nas cavidades não apresentou aumento no desempenho de isolamento acústico dos blocos, tendo inclusive diminuído 1 dB e 2 dB no bloco grande espaçado 5 e 10 cm, respectivamente. O mesmo comportamento foi observado nos blocos pequeno e caixa, com e sem lã de vidro (Tabela 5).

Apesar da utilização do material absorvente não ser significativa para determinar o isolamento sonoro (tanto na análise estatística como na determinação do número único, $\text{global-R}'_{45W}$ e D_{ntW}), o espectro de frequências revela que, apesar de pequena, há uma melhora no isolamento de algumas frequências, principalmente as altas.

Em relação ao melhor desempenho dos blocos, confrontando os resultados entre si, observa-se que o bloco que mais aproxima o seu comportamento da condição “fechado” são o bloco caixa e caixa grande, pois apresenta uma diferença de 9 dB, enquanto os demais blocos são de 15 a 17 dB.

As Figuras 97 e 98 ilustram os Espectros em banda de 1/3-oitava da Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) e do Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45}) de todos os blocos estudados, com respectivos Índice de Redução de Ruído Padrão Global (D_{ntW}) e Índice de Redução Sonora Aparente Global (R'_{45W}).

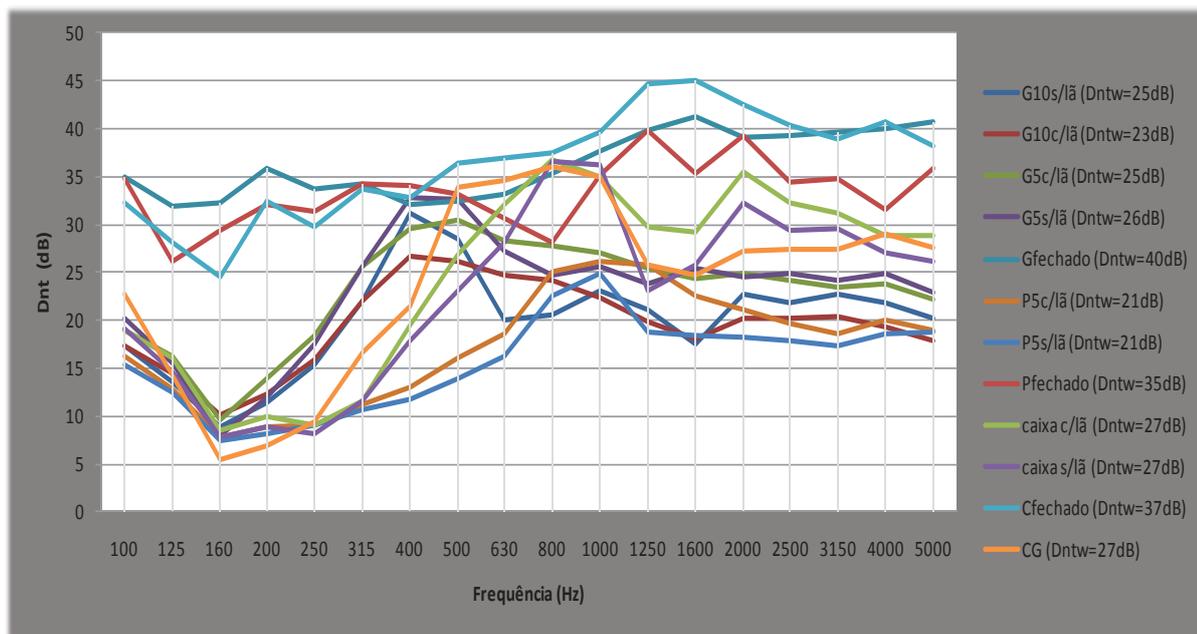


Figura 97. Espectros em bandas de 1/3-oitava da Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) de todos os blocos estudados, com respectivo Índice de Redução de Ruído Padrão Global (D_{ntw})

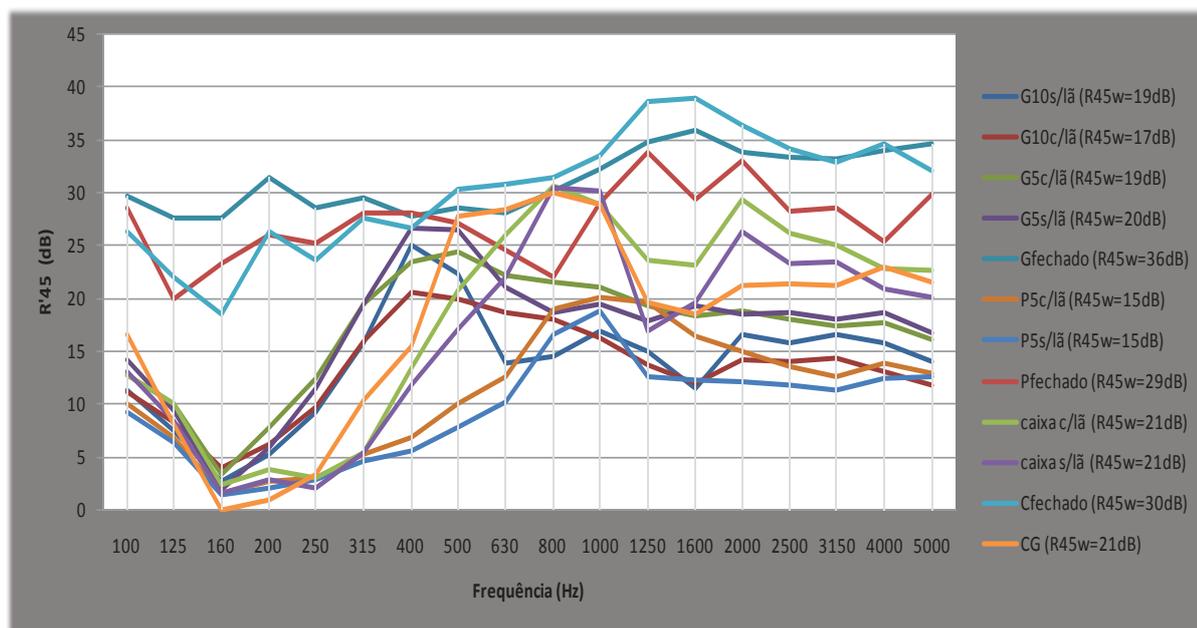


Figura 98. Espectros em bandas de 1/3-oitava do Índice de Redução Sonora Aparente (R_{45}) das variações do bloco caixa (C) do bloco caixa grande (CG)

O desempenho do bloco tipo caixa com lã se destaca dos demais nas altas frequências, atingindo o maior isolamento sonoro em 800 e 1000 Hz, porém caindo consideravelmente abaixo de 800 Hz. O bloco tipo caixa grande apresenta um comportamento interessante, quando observa-se que ele mantém o desempenho

uniforme (bem próximo ao bloco caixa) em uma faixa maior de frequências (de 500 Hz a 1000 Hz), mas com isolamento nas altas frequências abaixo aproximadamente 5 dB do bloco caixa. Ambos blocos apresentam o mesmo Índice de Isolamento Sonoro Global (w), que são os maiores dentre todos os blocos estudados. Uma parede montada com ambos blocos pode manter a curva do isolamento sonoro em uma faixa ampla de frequências.

Foi observado pouco isolamento sonoro nas baixas frequências de todos os blocos, principalmente abaixo de 350 Hz com Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45}) abaixo de 20 dB e Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) abaixo de 25 dB.

É pertinente verificar ainda, que o bloco grande (G5s/lã) possui um comportamento bem próximo ao do bloco caixa (diferença de 1 e 2 dB, nas condições “sem e com lã de vidro”, respectivamente), porém a porcentagem de área aberta do bloco caixa é de 12 %, enquanto o bloco grande (espaçado 5 cm) é de 8%. O bloco caixa grande apresenta o mesmo isolamento sonoro global do bloco caixa, porém este possui uma relação de abertura de 9%.

A relação de abertura é fator preponderante para a promoção de ventilação natural através dos elementos sendo, de uma maneira generalista, quanto maior a abertura, maior a capacidade de permeabilidade dos ventos dentro de um ambiente. Esta capacidade, porém, está relacionada com uma série de fatores para estabelecer a ventilação cruzada, como dimensão das aberturas, formas, localização, obstruções, dentre outros fatores.

Remetendo aos elementos apresentados no capítulo 3 (Isolamento Acústico e Aberturas: Revisão Bibliográfica), e comparando o isolamento sonoro global, a partir do parâmetro Índice de Redução de Ruído Padrão Global ($D_{nt,w}$) (Figura 99), o bloco tipo caixa é o que apresenta maior desempenho (27 dB), seguido do *Silenceair* (25

dB), do peitoril ventilado (com elemento absorvente e peitoril longo) (23 dB), e com menor isolamento sonoro global o *louvre* (venezianas acústicas)³ (16 dB).

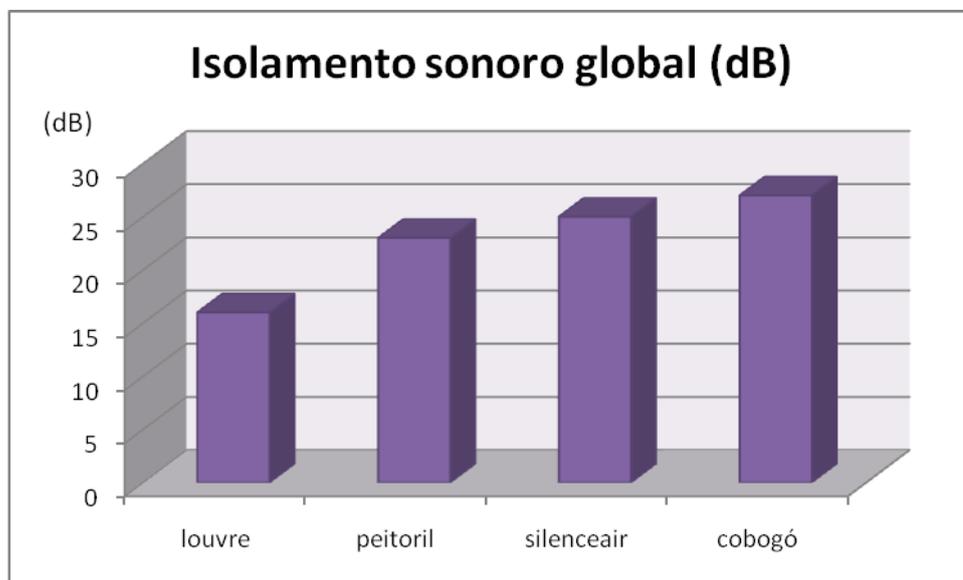


Figura 99. Gráfico comparativo dos dados do isolamento sonoro global dos elementos com aberturas e comparação com o desempenho do elemento vazado desenvolvido na pesquisa (caixa com lã de vidro – Cc/lã)

5.2 Análise estatística

Para o tratamento e análise dos dados levantados no trabalho de campo, foi estabelecido um planejamento que consta de quatro etapas, conforme descrito no capítulo 4: entendimento dos objetivos; montagem do banco de dados; a análise estatística, através da caracterização dos elementos de estudo e da comparação entre eles; e a discussão dos resultados.

³ O isolamento sonoro global do Louvre foi calculado pelo mesmo método dos blocos desenvolvidos, a partir dos dados de perda na transmissão apresentados por Silva (1998). Os demais dados dos outros elementos foram disponibilizados pelos respectivos autores.

Na análise estatística foram estabelecidas duas etapas: a caracterização dos desempenhos, de acordo com o *modelo de planejamento tipo fatorial*, e o teste de hipótese do tipo *F-Fisher/Snedeco*.

Tem-se como objetivo geral avaliar o desempenho acústico dos blocos de elementos vazados (cobogós ou combogós) desenvolvidos na pesquisa, através da comparação destes desempenhos sendo, portanto, estabelecida uma hipótese científica:

H_0 (verdadeira) = desempenho igual

H_A (alternativa) = desempenho diferente

A hipótese científica foi transformada em hipótese estatística que tem uma descrição que será apresentada na forma técnica estatística para cada objetivo estabelecido.

Para testar as hipóteses estatísticas, foi utilizada a técnica de análise de variância para experimentos fatoriais (locais, pontos, tipos de blocos, condição, frequências), visando calcular as estatísticas *F* e o erro (*p*-valor) para a rejeição das hipóteses.

Os dados obtidos nas medições são analisados estatisticamente segundo o modelo de planejamento do tipo fatorial. De acordo com os objetivos, testa-se o efeito de cada fator, sobre o comportamento médio da variável acústica, a saber, isolamento sonoro a sons aéreos, segundo os seguintes **FATORES (F)** estabelecidos:

F₁ – Fator Tipo de Bloco (T): representado por quatro níveis, um o elemento vazado tipo 1, caracterizando o bloco pequeno com espaçamento de 5 cm (T₁); o elemento vazado tipo 2, caracterizando o bloco grande com 5 cm (T₂); o bloco grande com 10 cm de espaçamento (T₃); o elemento vazado tipo 3, caracterizando o bloco tipo caixa (T₄); e o elemento vazado tipo 4, caracterizando o bloco tipo caixa grande (T₅).

F₂ – Fator Local (L): representado por dois níveis que são: fora da câmara teste (L₁); e dentro da câmara teste (L₂).

F₃ – Fator Condição (C): representado por três níveis que são: bloco sem abertura (funcionando como alvenaria de vedação), fechado (C₁); e bloco com lã de vidro (C₂); e bloco sem lã de vidro (C₃).

F₄ – Fator Frequência (f): representado por dezoito níveis que são as frequências e, bandas de 1/3 de oitava de 100 Hz a 5000 Hz (f_i), sendo i = valor da frequência.

Os objetivos das análises estatísticas, e de acordo com o objetivo geral foram identificar se existe:

- Efeito da interação do local e pontos sobre o isolamento sonoro (F₂) sobre o isolamento sonoro;
- Efeito da condição (F₃) sobre o isolamento sonoro;
- Efeito da frequência (F₄) sobre o isolamento sonoro;

Os objetivos são atingidos quando da aplicação da estatística inferencial através da técnica de teste de hipóteses (para uma significância $p < 0,05$ ou $= 5\%$, onde $p = \text{erro}$). Compara-se o valor da estatística calculada com um valor da estatística F tabelada para o nível de significância “p” calculado. Para testar H_0

acima, a regra é a seguinte: se F calculado é maior que F tabelado, então rejeita-se H_0 e passa-se a aceitar H_A .

Para retratar os objetivos descritos, as hipóteses testadas foram:

a) Efeito de interação do local (F_2) e pontos de medição sobre o isolamento sonoro

A análise estatística foi realizada para atingir o objetivo comparar o desempenho acústico de blocos, com base nos dados das medições dos níveis de pressão sonora fora (L_1) e dentro (L_2) do ambiente experimental, a partir dos pontos de medição (P1, P2 e P3 fora, e P1, P2 e P3 dentro).

Para tanto, foi elaborada uma hipótese científica:

H_0 (verdadeira): o desempenho médio do Nível de Pressão Sonora é igual nos dois locais de medição considerando os 3 pontos (dentro e fora)

H_A (alternativa): caso contrário

Hipótese estatística:

H_0 (verdadeira): $\mu_{L1} = \mu_{L2}$, considerando os pontos

H_A (alternativa): $\mu_{L1} \neq \mu_{L2}$, considerando os pontos

Onde:

μ_{L1} = média aritmética dos níveis de pressão sonora fora da câmara teste nos 3 pontos (P1, P2 e P3)

μ_{L2} = média aritmética dos níveis de pressão sonora dentro da câmara teste de 3 pontos (P1, P2 e P3)

Neste caso, como necessitava-se da comparação direta com o mesmo número de fatores, optou-se por adotar os 3 pontos (de 5) medidos dentro da câmara teste na diagonal.

Os gráficos a seguir (Figuras 100 a 103) mostram que, para todos os blocos e condições, o efeito do local de medição é altamente significativo sobre o isolamento sonoro, porém para os pontos não, ou seja, estatisticamente a diferença dos níveis de pressão sonora dentro e fora da câmara teste é significativa, porém o ponto de medição (comparando no mesmo local) não faz diferença no nível de pressão sonora, portanto no isolamento de ruídos.

Como todos os blocos apresentaram a mesma resposta, serão mostrados os resultados para uma condição de cada tipo de bloco. Para todos eles, o erro (p-valor) foi menor do que 0,05 para o efeito do local, porém maior do 0,05 para o efeito do ponto sobre a resposta.

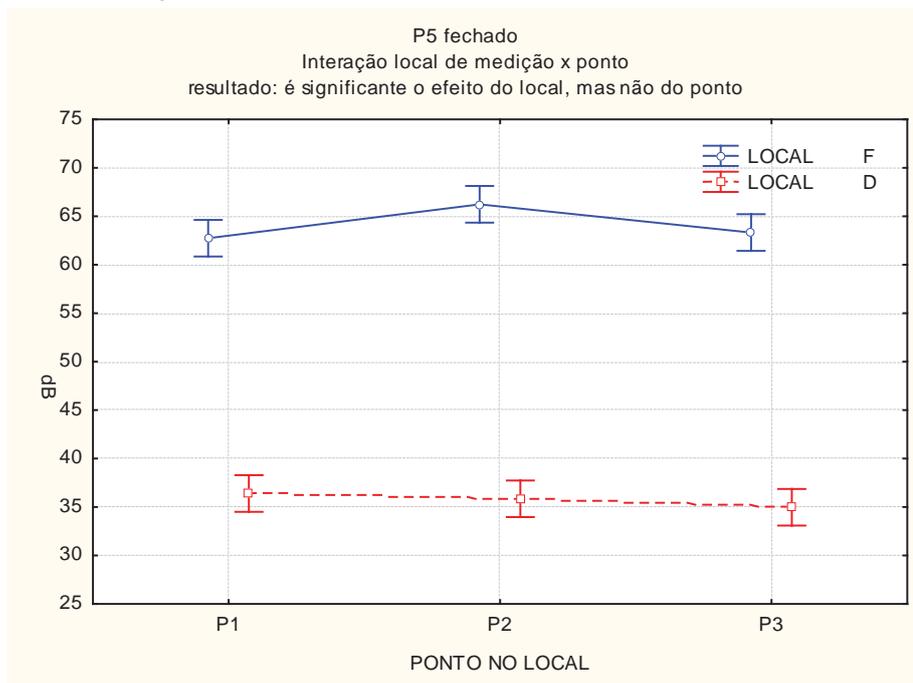


Figura 100. Interação do local e ponto de medição para o bloco tipo 1 (pequeno, T_1) na condição fechado (C_1)

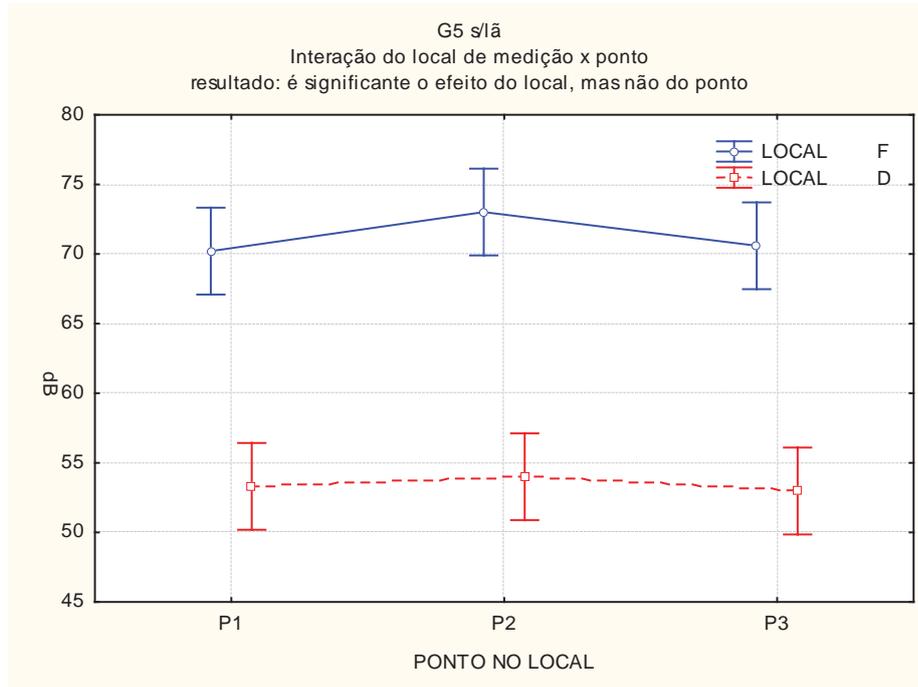


Figura 101. Interação do local e ponto de medição para o bloco tipo 2 (grande com 5cm de espaçamento, T_2) na condição sem lã de vidro (C_3)

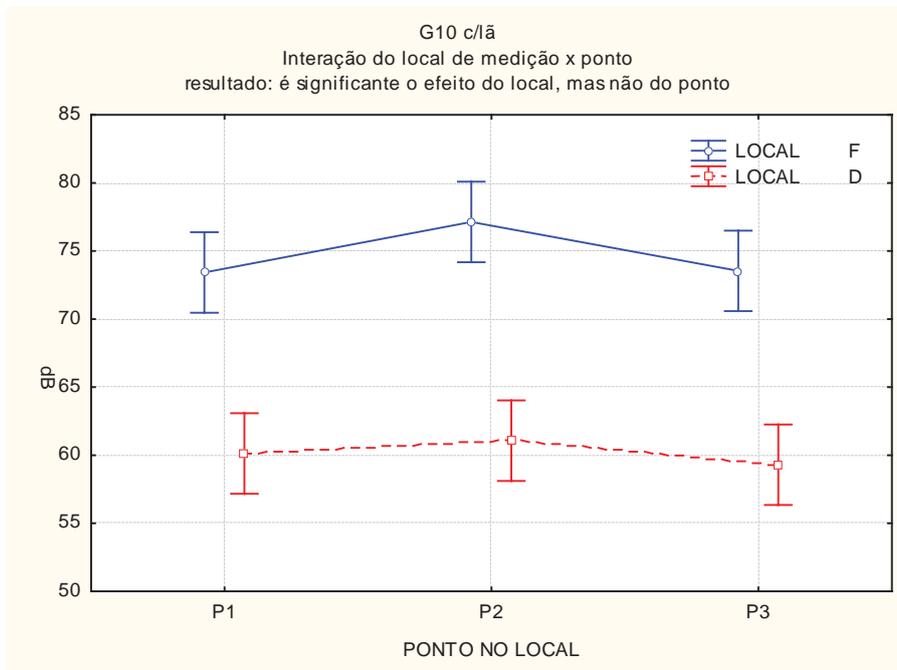


Figura 102. Interação do local e ponto de medição para o bloco tipo 3 (grande com 10cm de espaçamento, T_3) na condição com lã de vidro (C_2)

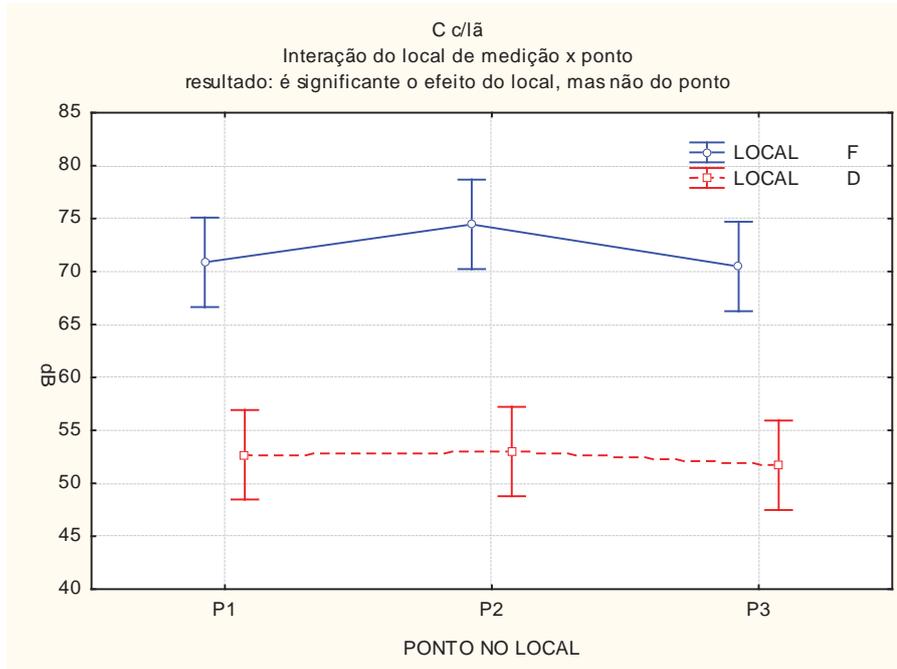


Figura 103. Interação do local e ponto de medição para o bloco tipo 4 (caixa, T_4) na condição com lã de vidro (C_2)

b) Efeito do fator condições de montagem dos blocos (F_3) sobre o isolamento sonoro

A análise estatística foi realizada para atingir o objetivo comparar o desempenho acústico dos tipos de blocos, com base nos dados calculados de Redução de Ruído Padrão (Dnt), a partir das condições dos mesmos: fechado (C_1), aberto com lã (C_2), e aberto sem lã (C_3).

Para tanto, foi elaborada uma hipótese científica:

H_0 (verdadeira): o desempenho médio da Redução de Ruído Padrão é igual para as 3 condições dos blocos (fechado, com lã e sem lã)

H_A (alternativa): caso contrário

Hipótese estatística:

H_0 (verdadeira): $\mu_{c1} = \mu_{c2} = \mu_{c3}$

H_A (alternativa): pelo menos um par é diferente

Onde:

μ_{c1} = média da Redução de Ruído Padrão (Dnt) para a condição fechado

μ_{c2} = média da Redução de Ruído Padrão (Dnt) para a condição aberto com lã

μ_{c3} = média da Redução de Ruído Padrão (Dnt) para a condição aberto sem lã

Como em toda análise estatística, quanto mais dados forem utilizados, melhor será a inferência a ser realizada, portanto, foram utilizadas as médias aritméticas da Redução de Ruído Padrão (Dnt) de cada bloco em todas as frequências. Essa postura fora tomada com base na comparação dessas médias aritméticas com os dados do Índice de Redução de Ruído Padrão Global (Dntw) para avaliar a coerência dos dados.

Observou-se que as variâncias dos dados de cada tipo de bloco foram iguais. Percebe-se que ocorreu uma diferença de cerca de 1 a 2 dB, quando se compara os valores da média aritmética com os valores do Índice de Redução de Ruído Padrão Global (Tabela 6).

Tabela 6 – Comparação dos dados de Redução de Ruído Padrão Global (D_{ntW}) e da média aritmética da Redução de Ruído Padrão (D_{nt})

BLOCO	D_{ntW} (dB)	MEDIA ARITMETICA (dB)
G10s/lã	21,0	20,0
G10c/lã	21,0	20,0
G5c/lã	25,0	23,0
G5s/lã	24,0	23,0
Gfechado	37,0	36,0
P5c/lã	19,0	17,0
P5s/lã	17,0	16,0
Pfechado	35,0	33,0
caixa c/lã	25,0	24,0
caixa s/lã	23,0	23,0
Cfechado	39,0	36,0
CG	23,0	24,0

O gráfico a seguir (Figura 104) mostra que o efeito da condição é altamente significativo sobre o isolamento sonoro comparando todos os blocos ($p=0,00$), isto é, a hipótese H_0 , referente ao teste do fator F_3 foi rejeitada. Observa-se a variância constante em todos os blocos.

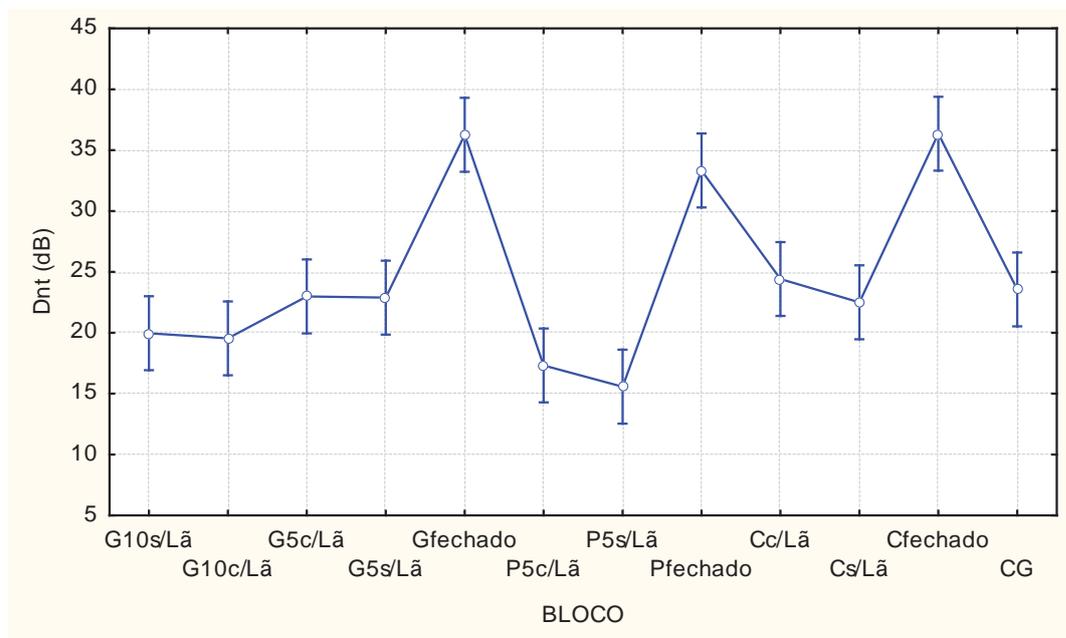


Figura 104. Gráfico comparativo do efeito da condição sobre o isolamento sonoro ($p=0,00$)

As comparações das condições dos blocos aberto com lã (C_2) e sem lã (C_3) não foi significativo para nenhum dos tipos de bloco. O que apresenta maior diferença é o bloco tipo caixa de acordo com figura 127, desta forma, foi ilustrado o comportamento desta hipótese estatística com o efeito das condições C_2 e C_3 no isolamento sonoro do bloco (T_4), sendo o erro maior que 50% ($p=0,55$), isto é a hipótese H_0 , referente ao teste do fator F_3 foi aceita; confirma-se que para os demais blocos o erro é maior (Figura 105).

Comparando os blocos nas 3 condições, primeiramente tem-se que estatisticamente não é significativa a diferença do isolamento sonoro dos blocos grande, pequeno e caixa na condição fechado (Figura 106).

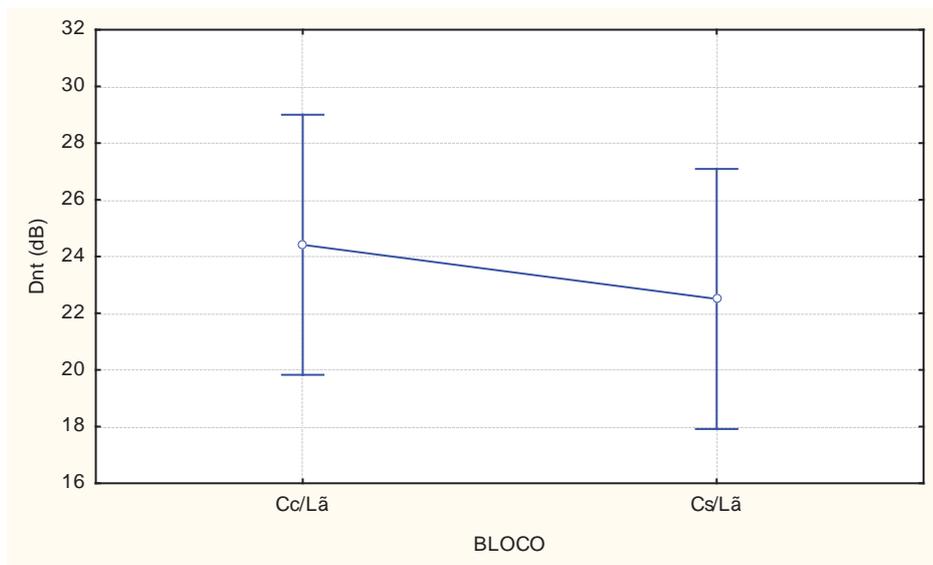


Figura 105. Gráfico comparativo do efeito da condição (C_2 e C_3) do bloco tipo 4 (T_4), $p=0,55$

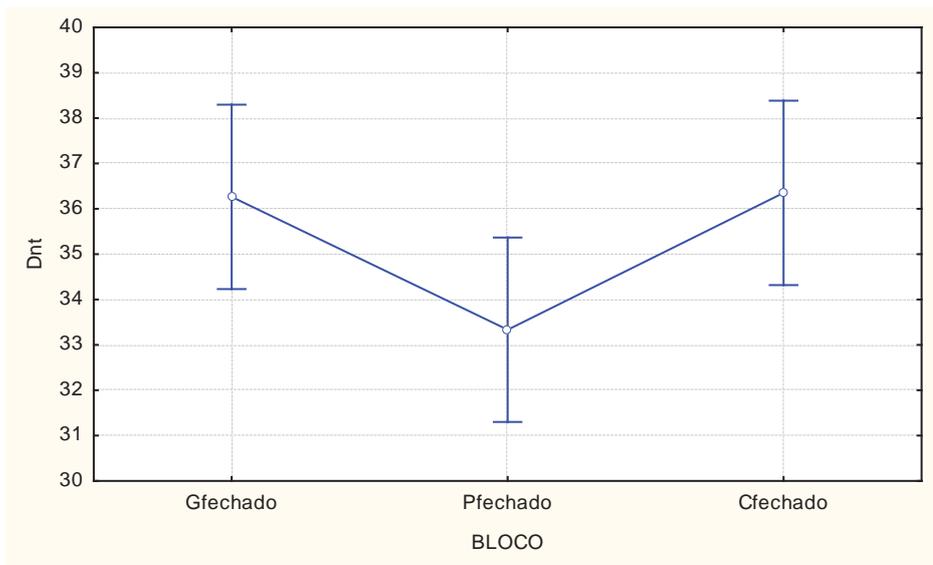


Figura 106. Gráfico comparativo do efeito da condição (C_1) dos blocos grande, pequeno e caixa, $p=0,065$

Em seguida, tem-se que estatisticamente é significativa a diferença do isolamento sonoro dos blocos nas condições aberto com lã e sem lã, isto é a hipótese H_0 , referente ao teste do fator F_3 foi rejeitada (Figuras 107 e 108). Observa-se que o bloco tipo caixa apresenta maior Índice de Redução de Ruído Padrão (Dnt) nas duas condições, sendo o bloco caixa grande (Tipo T_5) o que apresenta melhor desempenho de isolamento sonoro aberto sem lã de vidro na cavidade (Figura 108).

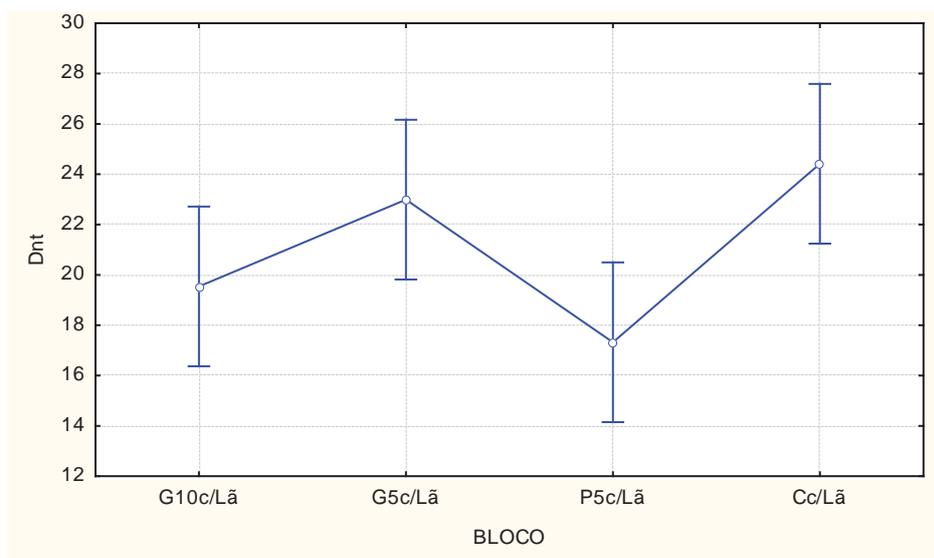


Figura 107. Gráfico comparativo do efeito da condição (C_2) dos blocos grande, pequeno e caixa, $p=0,009$

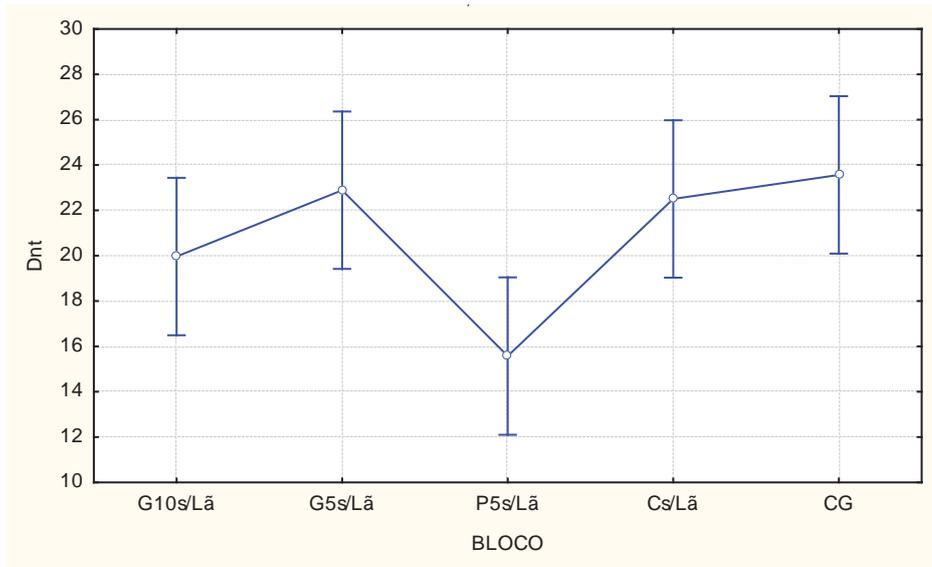


Figura 108. Gráfico comparativo do efeito da condição (C_3) dos blocos grande, pequeno, caixa e caixa grande, $p=0,01$

c) Efeito do fator frequência (F_4) sobre o isolamento sonoro

A análise estatística foi realizada para atingir o objetivo comparar o desempenho acústico dos tipos de blocos, com base nos dados calculados de Índice de Redução de Ruído Padrão (Dnt) em cada frequência, a partir das condições dos blocos: aberto com lã (C_2), e aberto sem lã (C_3).

Para tanto, foi elaborada uma hipótese científica:

H_0 (verdadeira): o desempenho médio do Índice de Redução de Ruído Padrão dos blocos é igual em todas as frequências nas 2 condições (fechado, com lã e sem lã)

H_A (alternativa): caso contrário

Hipótese estatística:

H_0 (verdadeira): $\mu_{C_2/f_i} = \mu_{C_3/f_i}$, considerando as condições C_2 e C_3

H_A (alternativa): pelo menos um par é diferente, considerando as condições C_2 e C_3

Onde:

μ_{C_2/f_i} = média do Índice de Redução de Ruído Padrão (Dnt) para a condição aberto com lã de vidro na freqüência i

μ_{C_3/f_i} = média do Índice de Redução de Ruído Padrão (Dnt) para a condição aberto sem lã de vidro na freqüência i

Na análise, pode-se observar que a hipótese H_0 , referente ao teste do fator F_4 foi rejeitada, ou seja existe efeito do fator freqüência no isolamento sonoro. Os gráficos das Figuras 109 a 114 revelam o desempenho dos blocos em cada freqüência (cada gráfico representa uma banda de oitava), sendo destacado o bloco (com sua condição) que apresenta maior Índice de Redução de Ruído Padrão (Dnt).

Nas baixas e médias freqüências, o bloco que possui melhor desempenho de isolamento sonoro é o tipo 2 (T_2), grande com 5 cm, predominando a condição aberto com lã (C_2) na freqüência de 125 Hz e em toda a banda de oitava de 250 Hz, e a condição aberto sem lã (C_3) na banda de oitava de 500 Hz. Na freqüência de 100 Hz, o bloco caixa grande foi o que apresentou maior Índice de Redução de Ruído Padrão; na freqüência de 160 foi o bloco grande com 10 cm e com lã (Figuras 109, 110 e 111).

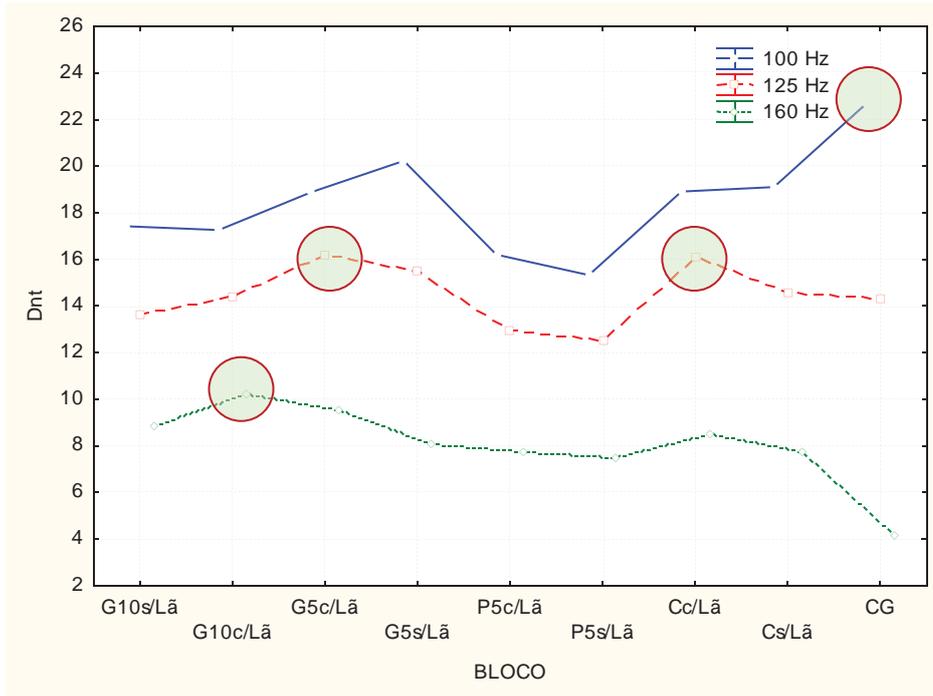


Figura 109. Gráfico comparativo do efeito do fator frequência (F₄) dos blocos nas condições C₂ e C₃

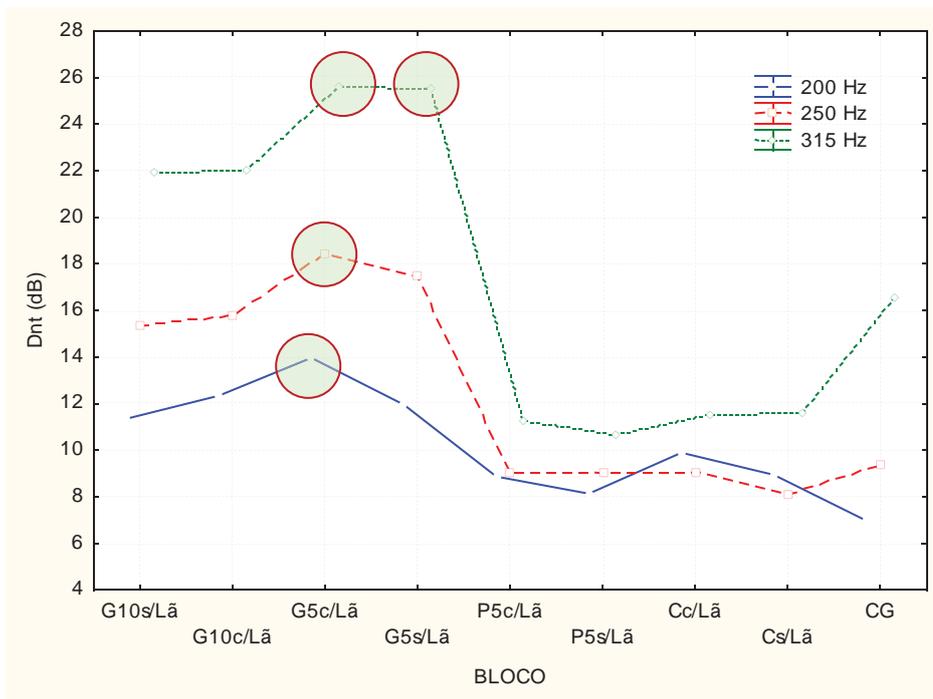


Figura 110. Gráfico comparativo do efeito do fator frequência (F₄) dos blocos nas condições C₂ e C₃

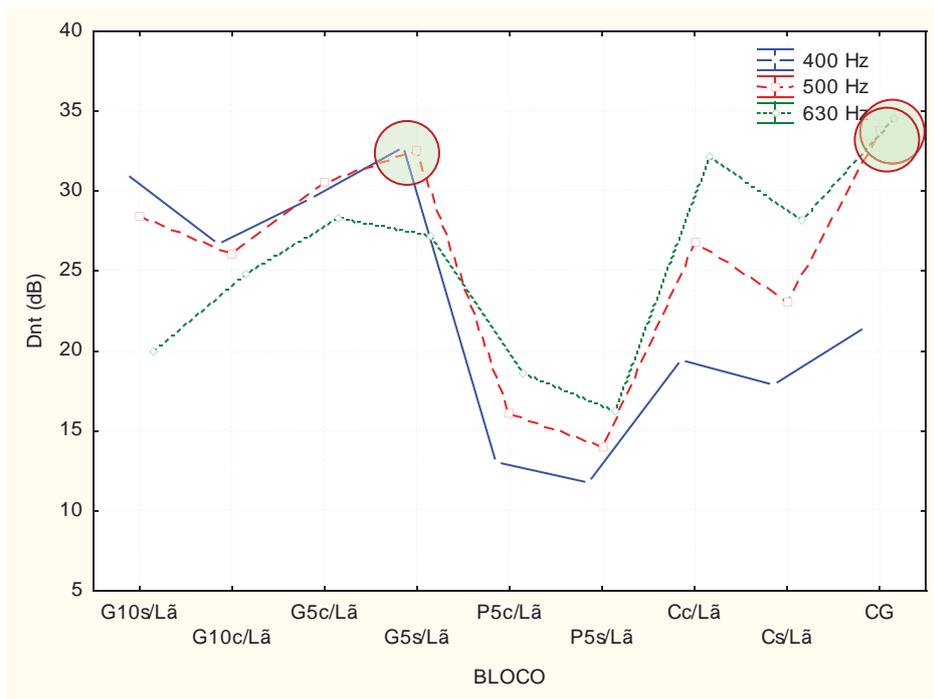


Figura 111. Gráfico comparativo do efeito do fator frequência (F_4) dos blocos nas condições C_2 e C_3

Nas médias e altas frequências, o bloco que possui melhor desempenho de isolamento sonoro é o tipo 4 (T_4), caixa, predominando a condição aberto com lã (C_2) nas bandas de oitava de 1000 Hz, 2000 Hz e 4000 Hz (Figuras 112, 113 e 114).

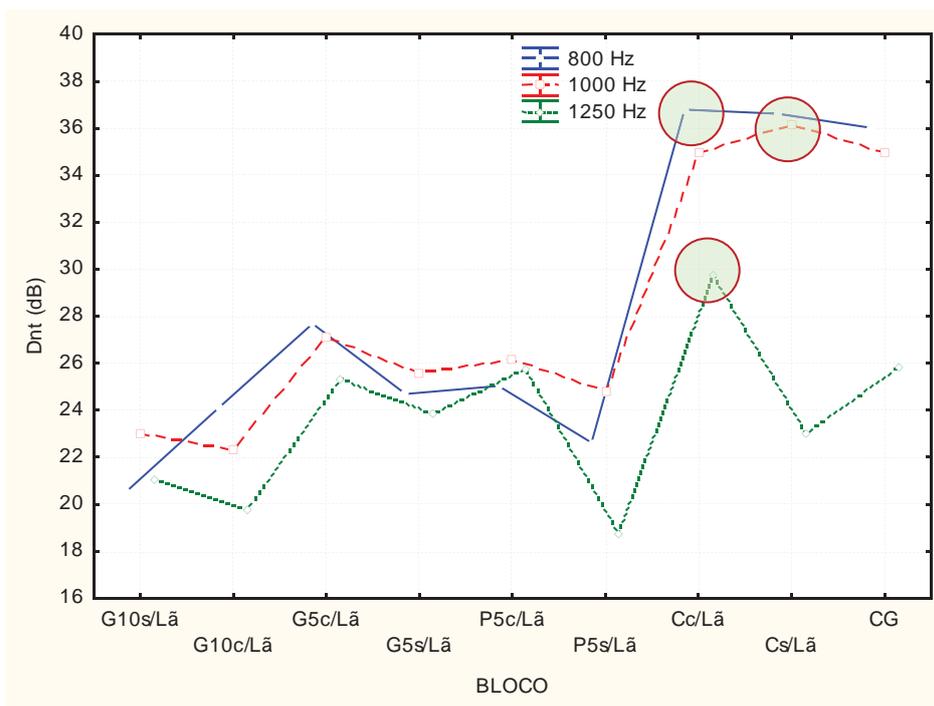


Figura 112. Gráfico comparativo do efeito do fator frequência (F_4) dos blocos nas condições C_2 e C_3

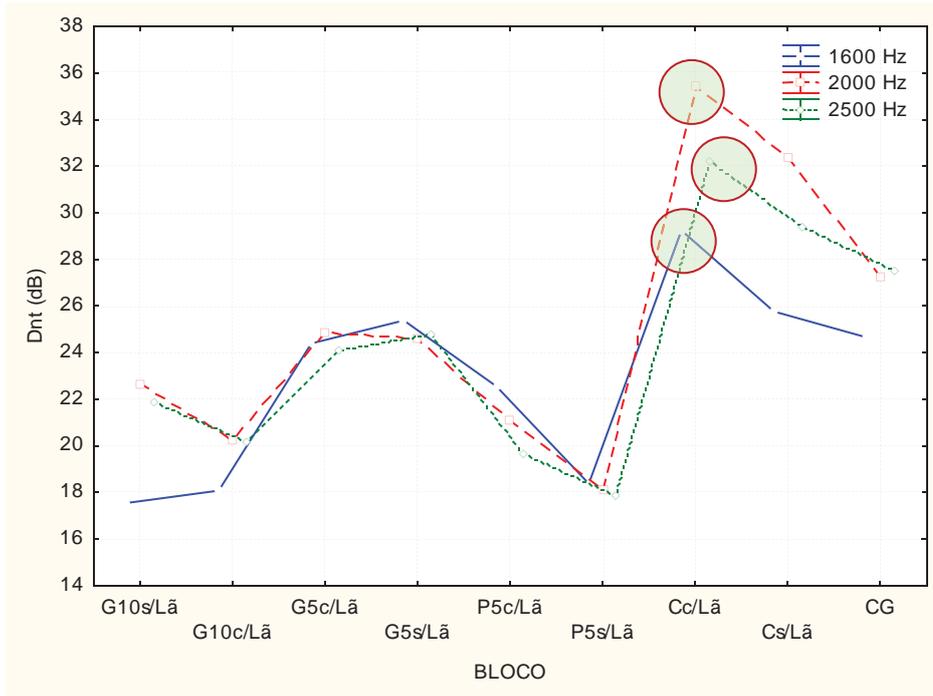


Figura 113. Gráfico comparativo do efeito do fator frequência (F_4) dos blocos nas condições C_2 e C_3

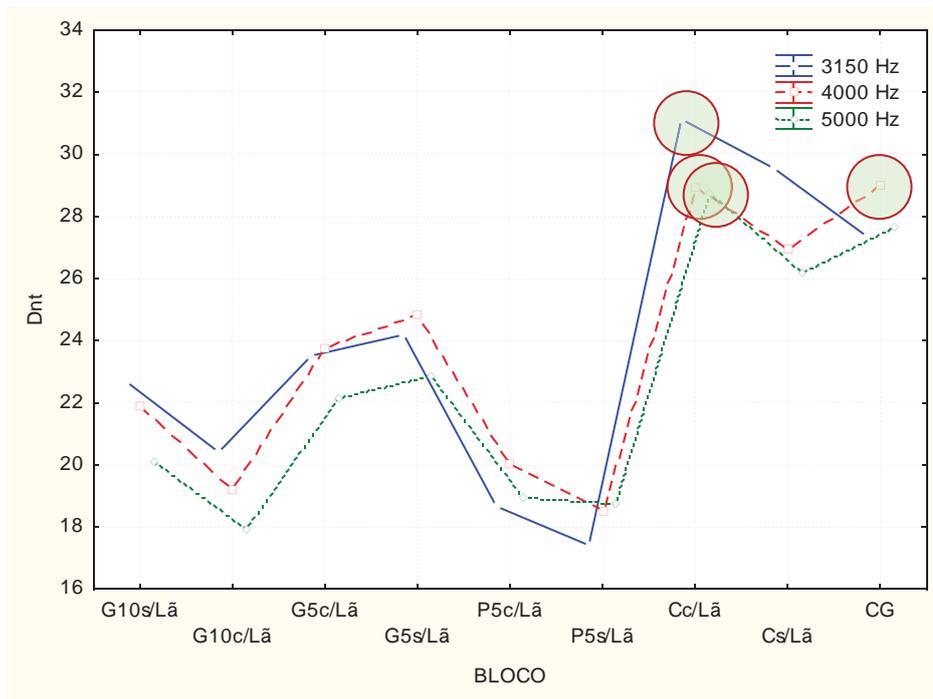


Figura 114. Gráfico comparativo do efeito do fator frequência (F_4) dos blocos nas condições C_2 e C_3

5.3 Desempenho de ventilação natural dos elementos

A importância de se produzir uma arquitetura adequada ao clima tem sido discutida desde meados do século XX e cresceu nas últimas décadas, sobretudo devido às questões relacionadas ao abastecimento de energia, à sustentabilidade dos recursos naturais e à qualidade de vida no planeta. Com isso, a aplicação dos recursos bioclimáticos na arquitetura também passou a ser valorizada. Dentre esses recursos se destaca a ventilação natural, reconhecida como o principal meio para a obtenção de conforto térmico em regiões de clima quente e úmido.

Segundo Givoni (1998), a ventilação interna possui três funções que requerem diferentes níveis de fluxo de ar através da edificação:

- ✓ Manutenção da qualidade do ar através de sua renovação constante. Essa função da ventilação serve a todos os climas, mas é essencial em climas frios.
- ✓ Resfriamento da massa construída durante a noite e utilização desse resfriamento para a manutenção da temperatura interna diurna abaixo da externa. Essa função é conhecida como “resfriamento noturno” e é mais adequada para climas áridos que têm grandes amplitudes térmicas diárias.
- ✓ Proporcionar o conforto térmico em climas quentes, por meio do aumento da perda de calor corporal por convecção através do aumento da velocidade do ar. Essa função, conhecida como “ventilação de conforto”, é a mais utilizada em climas quentes e úmidos como forma de garantir o conforto térmico.

A ventilação interna ocorre quando há aberturas expostas a diferentes valores de pressão, induzindo a entrada e de a saída do ar. Essas pressões são geradas por dois fenômenos que podem agir isoladamente ou em conjunto (OLGYAY, 1963):

- Ventilação por diferença de densidade térmica ou efeito chaminé;
- Ventilação por ação direta dos ventos.

A ventilação natural consiste na movimentação (passagem) de ar através de ambiente, sem que haja fornecimento de energia ao escoamento por fontes mecânicas. O ar entra por determinadas aberturas e sai por outras. O fluxo do ar que entra ou sai de um edifício, por ventilação natural, depende da diferença de pressão entre as partes interna e externa e da resistência oferecida ao fluxo pelas aberturas.

A movimentação do ar pode ser gerada através do denominado efeito chaminé (convecção natural) e pelo efeito dos ventos, podendo também ocorrer os dois mecanismos simultaneamente.

A ventilação natural por diferença de temperatura baseia-se na diferença entre as temperaturas do ar interior e exterior provocando um deslocamento da massa de ar da zona de maior para a de menor pressão. Quando, nestas condições, existem duas aberturas em diferentes alturas, se estabelece uma circulação de ar da abertura inferior para a superior, denominada efeito chaminé (LAMBERTS, 2009).

O efeito chaminé tem sua origem na diferença de temperatura e, por conseguinte, de densidade, entre o ar externo e o ar interno do edifício. A ventilação natural por efeito chaminé, nada mais é que o processo da convecção natural ou efeito de tiragem natural. Para qualquer pequeno diferencial de temperatura, que provoca um diferencial de pressão, o efeito chaminé se torna perceptível (TOLEDO, 1999).

De acordo com Szokolay (2004), o efeito chaminé para climas quentes pode ser insuficiente para produzir o fluxo de ar necessário devido à pequena diferença entre as temperaturas do ar externo e interno. Nesse caso, a adoção de “chaminés

solares”, com o aquecimento das superfícies usadas para a saída do ar, pode incrementar o efeito para regiões quentes.

No entanto, a ventilação por pressão do vento sobre a envoltória possui maior potencial de uso, especialmente nos climas quentes e úmidos. Ela ocorre quando o vento, ao se chocar com a edificação, cria zonas de pressões positivas nas faces a barlavento, e o ar que é defletido cria zonas de sucção com pressões negativas nas fachadas a sotavento. A diferença de pressão faz com que o ar circule no interior do edifício se forem dispostas aberturas em ambas as zonas. Na ventilação cruzada, a velocidade do fluxo de ar dentro do edifício é proporcional à velocidade do vento exterior que tende a imprimir maior pressão sobre a abertura de entrada. Todavia, as próprias janelas, assim como as obstruções internas, oferecem resistência à ventilação interna.

A ventilação cruzada ocorre, essencialmente, devido à existência de zonas com diferentes pressões, ou seja, na face de incidência do vento existe uma zona de alta pressão e na face oposta, uma zona de baixa pressão (LAMBERTS, 2009).

Apesar do grande potencial de uso na arquitetura, existem algumas barreiras à utilização da ventilação natural pelos arquitetos. Comparada aos sistemas artificiais de climatização, que permitem manter constantes as condições ambientais internas, o condicionamento passivo depende das variáveis climáticas para proporcionar o conforto térmico satisfatório. Muitas vezes o conhecimento dos fundamentos que proporcionam a ventilação natural não é suficiente para a sua utilização adequada na arquitetura. O sucesso do seu uso depende da combinação de fatores como: implantação, forma e dimensões da edificação e de suas aberturas, além do uso de materiais apropriados e a disposição interna dos ambientes (MANSOURI; ALLARD; MUSY, 2003).

Dentre as técnicas para prever o comportamento da ventilação no edifício, durante a fase de projeto, destaca-se os estudos experimentais em túneis de vento com modelos em escala reduzida e a simulação computacional. Surgida nos anos 1970, a simulação computacional tem se tornado uma alternativa cada vez mais viável em relação ao túnel de vento, sendo mais acessível para grupos de pesquisa de pequeno e médio porte.

5.3.1 Resultados da simulações de ventilação natural

Os resultados das simulações apresentaram dados confiáveis, pois os resíduos foram pequenos em ambos os casos, o que significa que a convergência dos dados foi satisfatória. Baseado nos resultados das simulações é possível afirmar que o comportamento da ventilação ocorreu conforme o esperado para os elementos vazados.

Em todos os casos houve separação do escoamento nas imediações posteriores do modelo e aceleração do ar dentro dos elementos vazados, em decorrência do estrangulamento imposto pelas paredes dos cobogós. Percebe-se que a velocidade do escoamento cai após atravessar o modelo, de modo que a velocidade média interna torna-se inferior à velocidade do ar externo. Este efeito, denominado “perda e carga” acontece em função da dissipação da energia cinética ao contornar qualquer obstrução imposta ao fluxo livre.

A velocidade média interna para o bloco 1 (pequeno) foi de 3,2 m/s (Figuras 115 e 116), para o bloco 2 (grande) de 4,7 m/s (Figuras 117 e 118), bloco 3 (caixa) de 7,9 m/s (Figura 119 a 122).

Os resultados das simulações são visualizados por meio de imagens em planta, corte transversal e em 3 dimensões, com as cores representando a velocidade média do vento.

A maior velocidade média interna simulada foi observada no bloco 3, onde verifica-se que o direcionamento do escoamento do vento pode ser para cima ou para baixo, dependendo da localização da abertura de entrada de ar. A entrada de na abertura inferior provoca a circulação de ar desta para a abertura superior devido ao efeito chaminé.

O efeito do vento também é o fenômeno físico que se observa internamente no bloco, pois o vento ao se chocar com o mesmo cria zonas de pressões positivas e negativas, onde a diferença de pressão faz com que o ar circule no interior do bloco, pois são dispostas aberturas em ambas as zonas.

Os resultados da simulação revelam que a permeabilidade ao vento é compatível com os elementos vazados deste porte e geometria, e que além da aceleração no interior do bloco, o escoamento se uniformiza após atravessar-los.

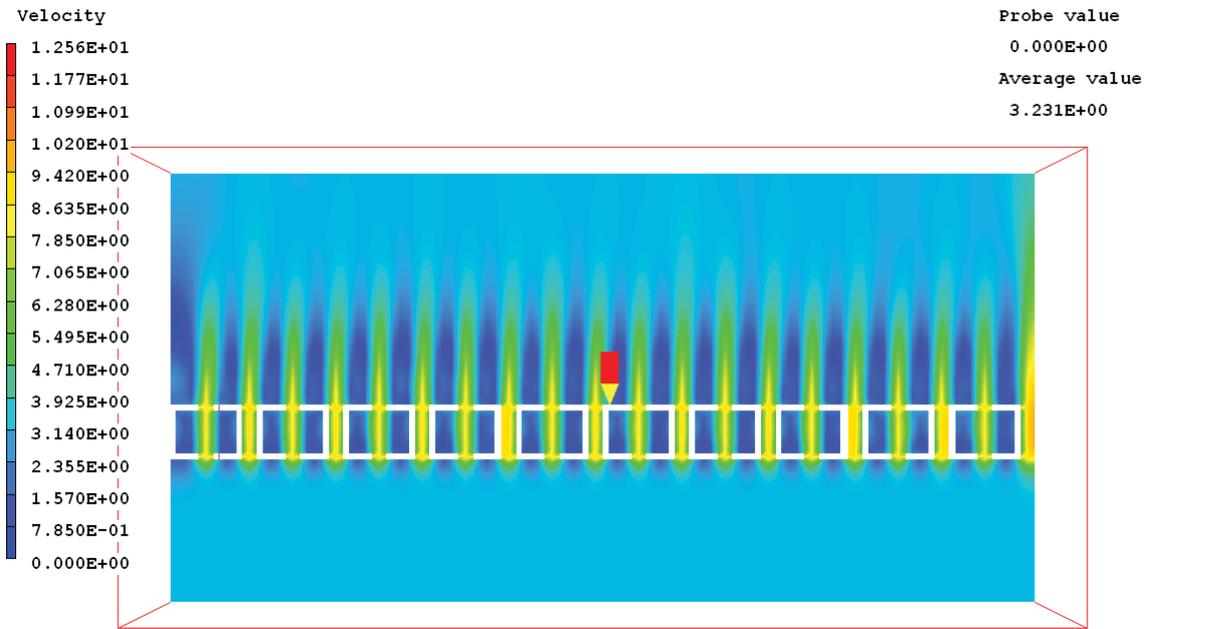


Figura 115. Visualização em planta da simulação de ventilação natural do bloco pequeno (P)

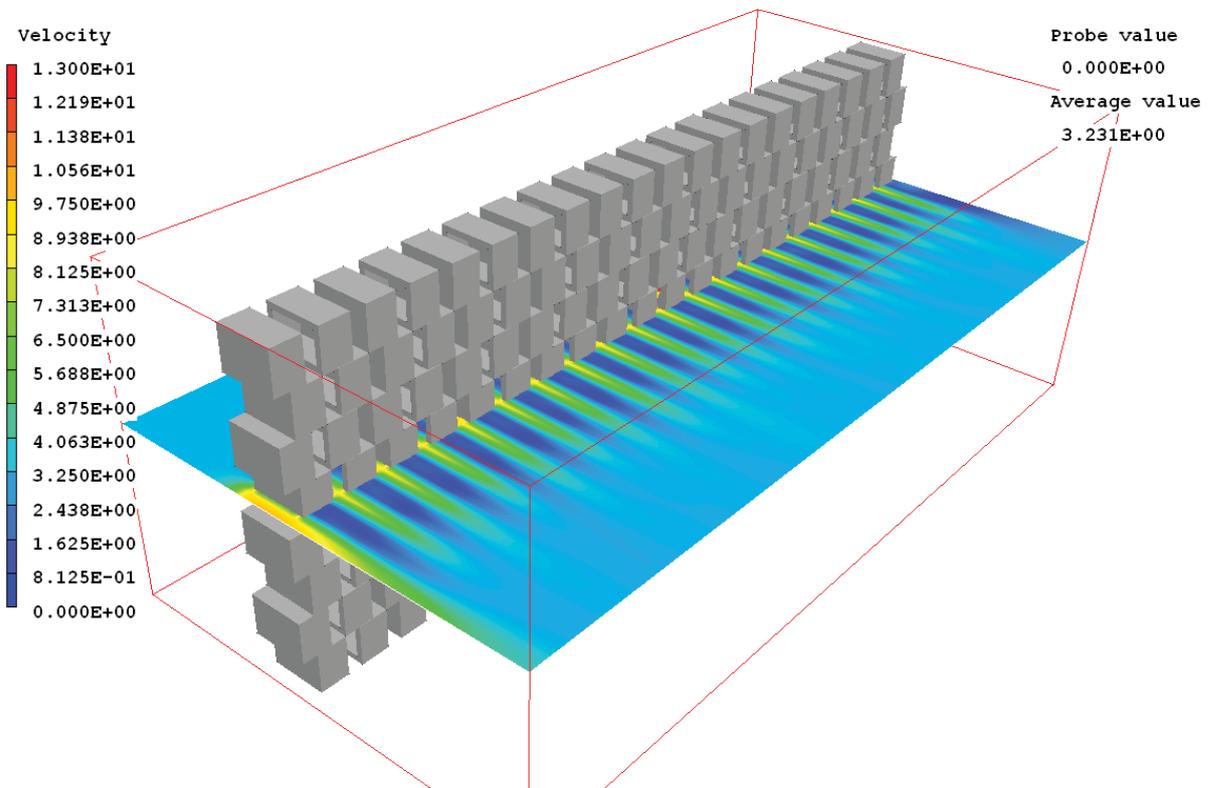


Figura 116. Visualização em 3 dimensões da simulação de ventilação natural do bloco pequeno (P)

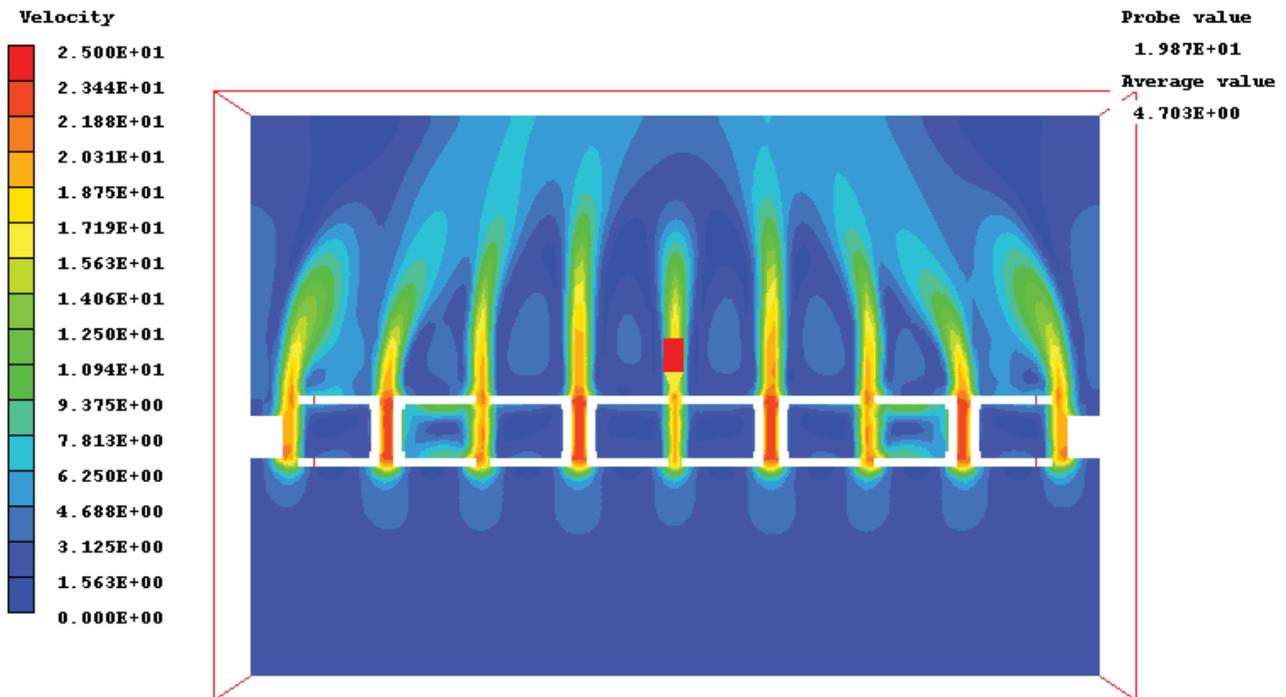


Figura 117. Visualização em planta da simulação de ventilação natural do bloco grande (G)

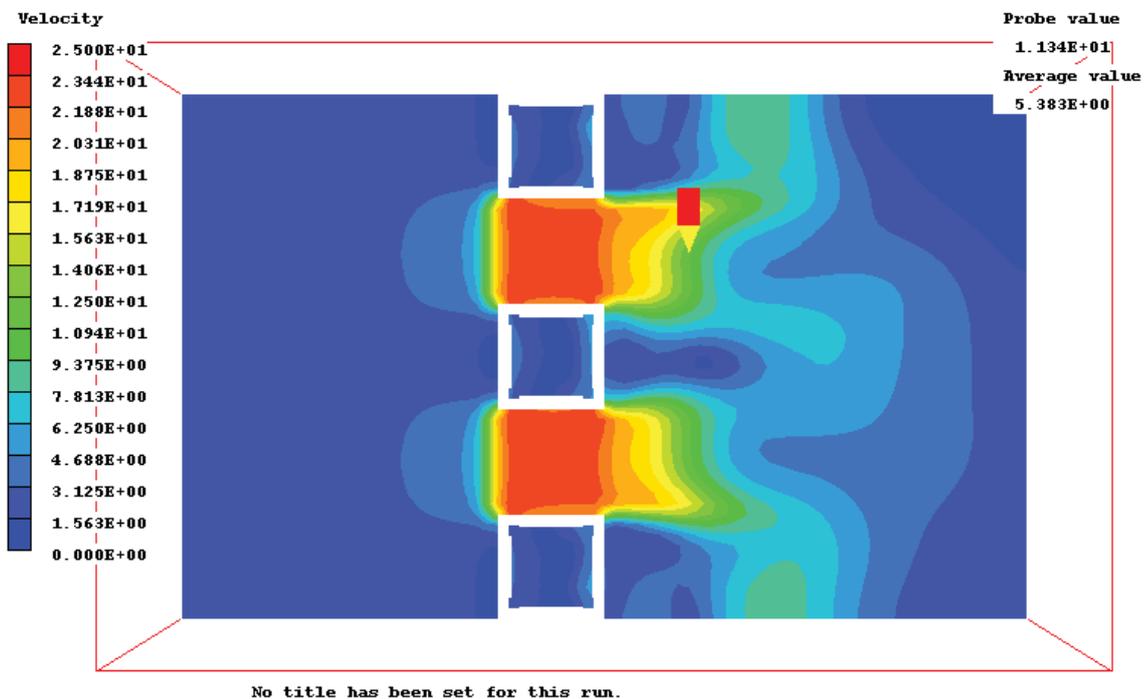


Figura 118. Visualização em corte transversal da simulação de ventilação natural do bloco grande (G)

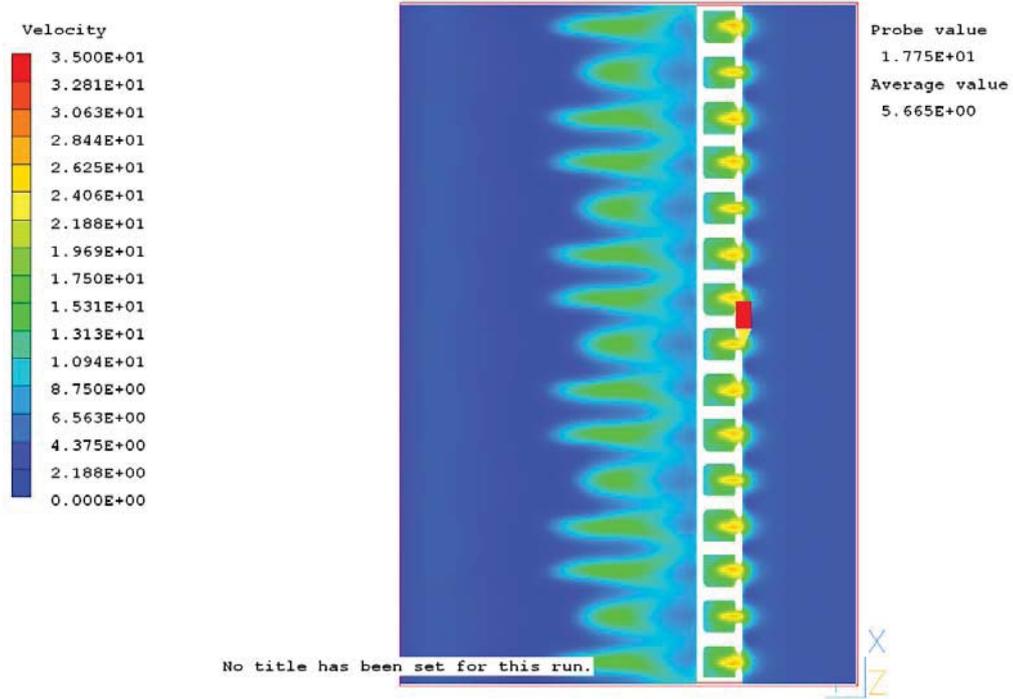


Figura 119. Visualização em planta da simulação de ventilação natural do bloco caixa (C)

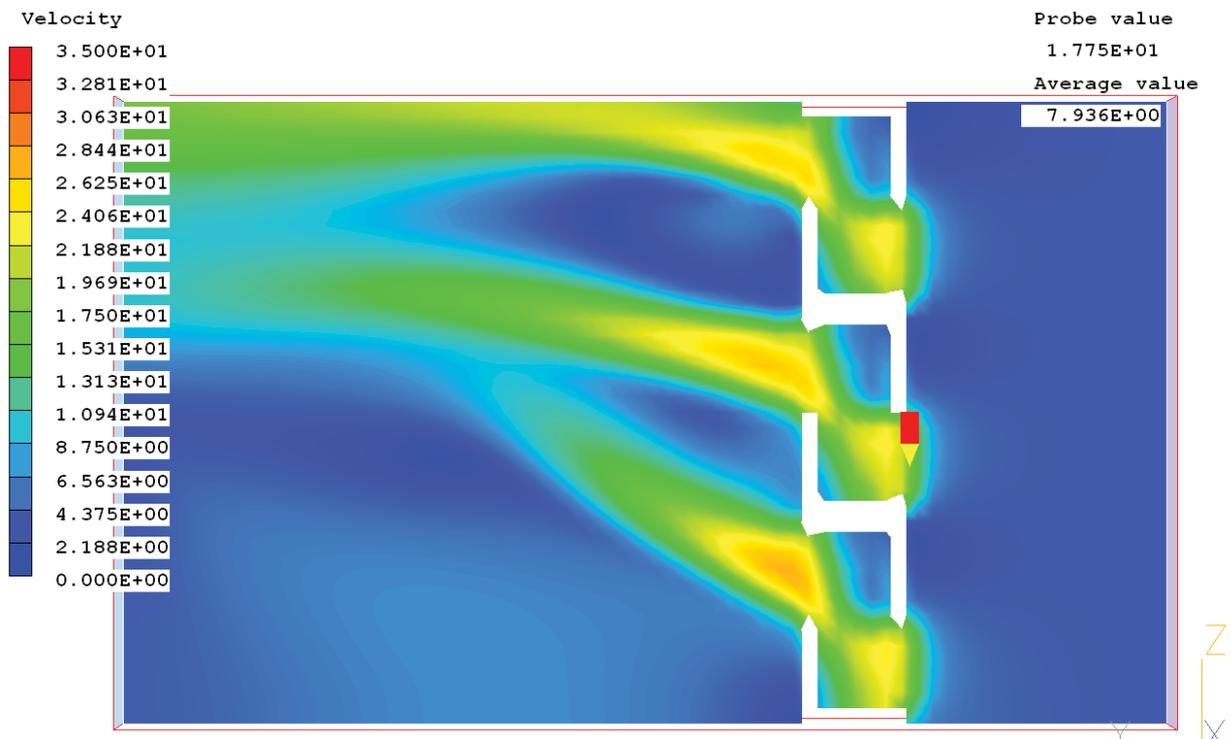


Figura 120. Visualização em corte transversal da simulação de ventilação natural do bloco caixa (C)

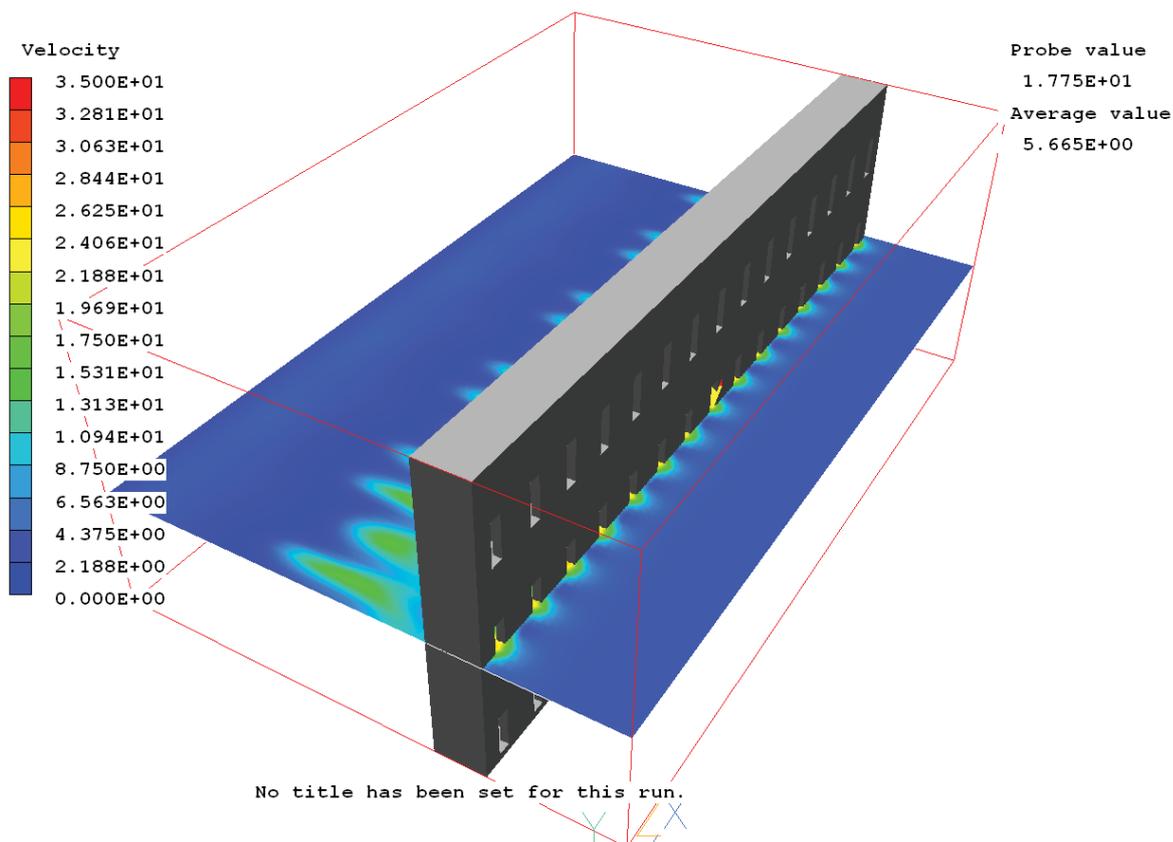


Figura 121. Visualização em 3 dimensões da simulação de ventilação natural do bloco caixa (C)

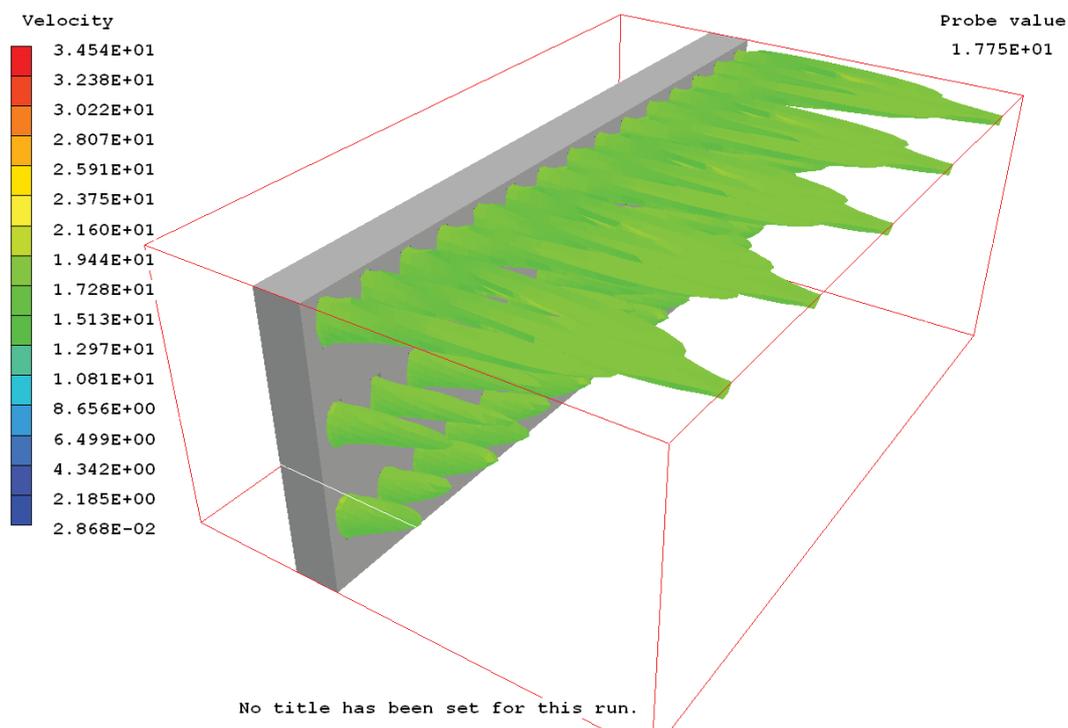


Figura 122. Visualização em 3 dimensões da simulação de ventilação natural do bloco caixa (C)

5.4 Considerações finais

Dois tipos de geometria de blocos foram testadas: bloco com cavidades voltadas uma para outra e com espaço (abertura) no meio proporcionada pela distância entre eles; e bloco caixa com fenda no próprio bloco, cuja abertura é proporcionada pela montagem do bloco com as cavidades coincidentes e com a fenda em lados opostos formando a abertura para passagem de ventilação. Estas geometrias foram desenvolvidas em dimensões diferentes e com a instalação de material dentro da cavidade.

A partir da discussão dos dados apresentados, observa-se que dentre os blocos desenvolvidos e avaliados, o que apresenta melhor desempenho de isolamento acústico é o bloco tipo 3 (caixa), pois apresenta:

- maior Índice de Redução de Ruído Global (D_{ntW}) e Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45W}) dos blocos com aberturas;
- é o bloco cujo desempenho mais se aproxima do desempenho da condição fechado (na frequência de 800 Hz a Redução de Ruído Padrão do bloco fechado é a mesma dele aberto com lã de vidro – 37 dB);
- geometria condizente com os padrões de blocos utilizados no mercado brasileiro para paredes de vedação;
- relação de abertura satisfatória;

- dentre outros elementos pesquisados no mercado que se propõem a promover isolamento acústico e permitir ventilação natural é o que possui maior isolamento sonoro global (D_{ntW}).

O bloco tipo caixa (aberto com e sem material absorvente na cavidade) revelou um desempenho de isolamento sonoro de 73% em relação à condição do bloco fechado, considerando o Índice de Redução de Ruído Padrão Global (D_{ntW}) que foi de 27 dB (aberto) e 37 dB (fechado).

Analisando por frequência, foi verificado que das 18 bandas de 1/3 de oitava estudadas, a geometria do bloco tipo caixa (e caixa grande) apresentou o maior isolamento sonoro em 13 bandas de 1/3 de oitava (principalmente as médias e altas frequências), chegando a um Índice de Redução de Ruído Padrão de 37 dB em 800 Hz (bloco tipo caixa com lã), 36 dB em 1000 Hz (sem lã) e 35 dB em 2000 Hz (com lã).

O bloco tipo caixa apresentou também o melhor desempenho quanto à ventilação natural, pois apresentou maior aceleração da ventilação no bloco, sendo devido aos efeitos de diferença de temperatura e de pressão, causada pela geometria com a entrada e saída de ar em alturas diferentes.

Diante dos resultados apresentados neste capítulo foi observado que a geometria tipo caixa possui melhor desempenho em relação ao isolamento acústico e de ventilação natural.

Uma análise do nível de ruído ambiental na cidade de Natal, local de clima quente e úmido (mesmo local onde foi realizado a pesquisa de campo desta tese), foi realizado por Araújo et al (2008) a partir da medição de Nível de Pressão Sonora Equivalente (L_{eq}), em locais da cidade mais expostos ao ruído ambiental.

A fonte sonora predominante observada foi o ruído de tráfego, sendo medidos 5 pontos próximo às fachadas das edificações nas principais vias da cidade (procurando englobar a caracterização de toda a cidade), as quais possuíam as mesmas características consideradas: canteiro central, pista plana em revestimento com asfalto, região com uso do solo misto, além do fluxo contínuo, cujos automóveis atingem a velocidade média de pelo menos 50 km/h. As medições foram realizadas ao longo de um dia típico em bandas de oitava.

Pode-se observar que em todos os pontos medidos a maior contribuição apresentada do nível de pressão sonora do ruído ambiental encontra-se na frequência de 1000 Hz, sendo caracterizada por uma média do todos os pontos de 71,3 dB nesta frequência considerada (Figuras 123), e uma média de 75,7 dB do ruído em todos os pontos. As frequências de 500 e 2000 Hz também apresentam uma contribuição significativa para caracterizar o ruído ambiental na cidade de Natal/RN.

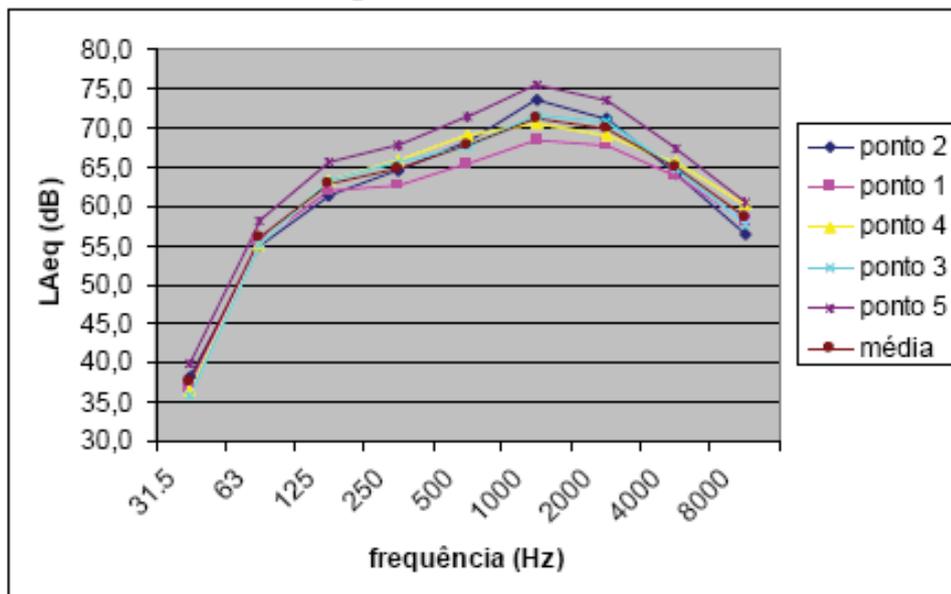


Figura 123. Gráfico dos dados médios de Leq (dBA) por frequência e por ponto

A partir desta análise é verificado que as frequências nas quais a geometria do bloco tipo caixa possui melhor desempenho de isolamento sonoro, são coincidentes com as frequências da caracterização do ruído ambiental apresentada, sendo portanto, um elemento cuja aplicação é justificada, com desempenho de até 48% nestas frequências (considerando a média do ruído ambiental de 76 dB e o isolamento sonoro de 37 dB).

Considerando uma edificação com fachada voltada para uma dessas avenidas, onde internamente encontra-se um cômodo com o uso do elemento vazado em toda a parede externa, pode-se avaliar o ruído internamente, a partir do método da utilização das curvas de avaliação de ruído (NC), as quais limitam os níveis de ruído em ambientes de ocupação humana, conforme a NBR 101152 (ABNT, 1999).

Considerando o ruído externo ao cômodo o espectro da média do nível de ruído ambiental medido na cidade de Natal, e o isolamento sonoro⁴ de três blocos desenvolvidos⁵ (bloco caixa com lã, bloco grande aberto 5cm com lã, e bloco caixa grande), têm-se os níveis de ruído no ambiente nas bandas de oitava.

Os espectros de todos os blocos são classificados como NC 45, porém o bloco caixa com lã apresenta um pico na frequência de 125 Hz, responsável por determinar a curva NC atendida pelo ruído (Figura 124). Se apenas essa frequência for corrigida, o espectro passa para a curva de avaliação NC 40. Para os outros dois blocos (G5c/lã e CG) teriam que corrigir mais de uma frequência.

De acordo com a NBR 10152 (ABNT, 1999), os locais das residências, como dormitórios e salas de estar devem ser classificados como NC 30-40 e NC 35-45, respectivamente. Desta forma, os elementos desenvolvidos na pesquisa

⁴ A análise foi realizada com o Índice de Redução de Ruído Padrão (D_{nt})

⁵ Os que apresentaram melhor desempenho quanto ao isolamento sonoro

(notadamente o elemento tipo caixa) podem ser justificados para o uso em fachadas na cidade de Natal, pois considerando o ruído externo de tráfego, proporcionaram isolamento sonoro suficiente para promover conforto acústico para os usuários.

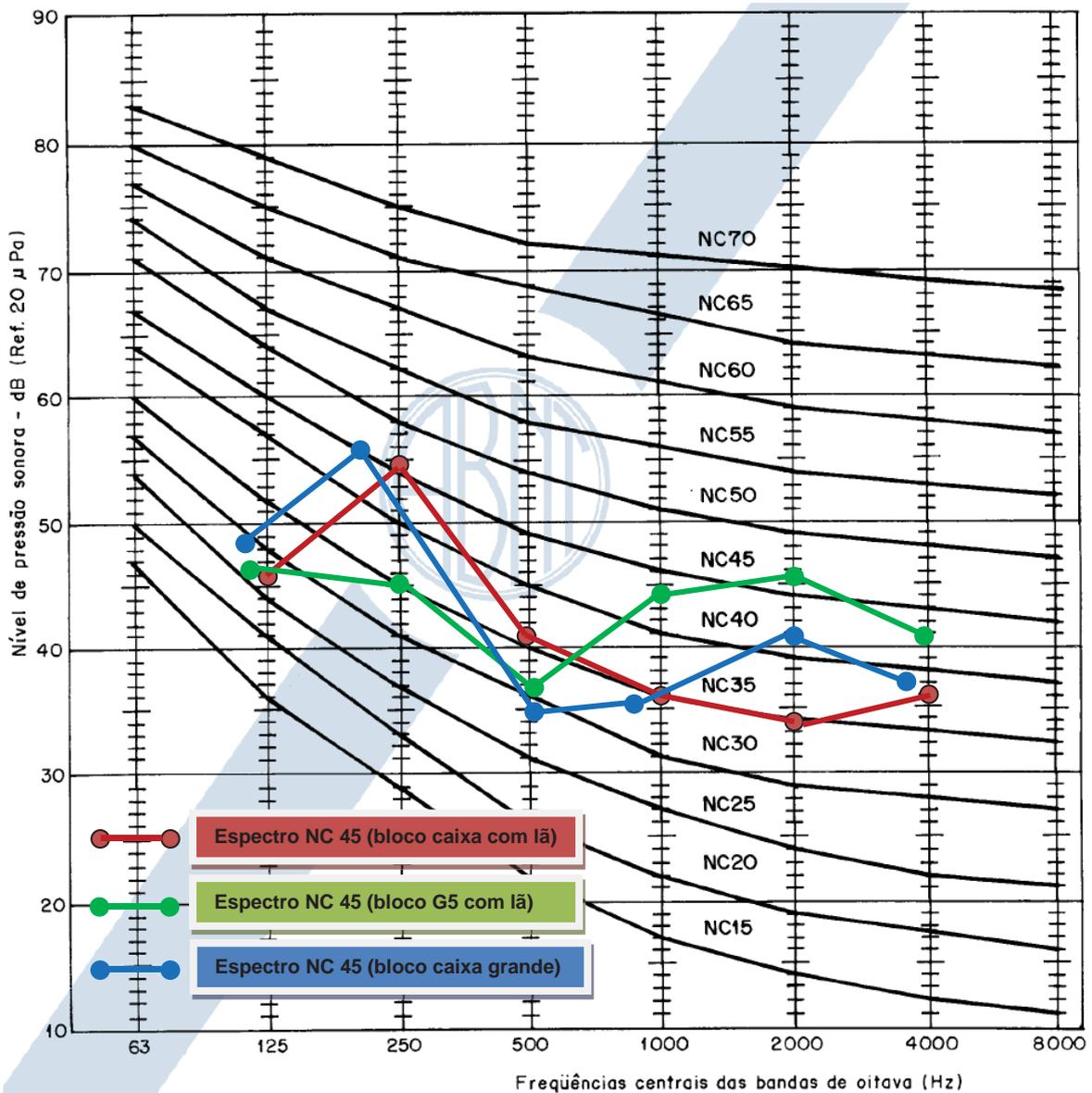


Figura 124. Espectros de ruído classificado como NC 45

6. CONCLUSÕES

6.1 Considerações iniciais

A utilização de alternativas passivas nos edifícios para controle do consumo energético e promoção de conforto térmico para os usuários deve ser relacionada à bioclimatologia, ou seja, a arquitetura adaptada ao clima. A cidade de Natal, onde foi desenvolvido o experimento desta tese, possui clima quente e úmido, com pequenas variações diárias e anuais de temperaturas e com ventilação constante.

A ventilação natural é uma das diretrizes de planejamento urbano em locais com características do clima como o da área de estudo a qual é, inclusive, uma das estratégias passivas de projeto, para melhorar as condições de desconforto térmico e reduzir o consumo de energia elétrica.

Os cobogós ou combogós, nacionalmente conhecidos como elementos vazados, foram amplamente utilizados na produção moderna brasileira como elemento arquitetônico, posteriormente foram denotados como elemento popular e, então caíram em desuso. São elementos que, em sua concepção, proporcionam ventilação natural permanente, proteção solar e iluminação natural.

Por sua vez, são as aberturas que mais influenciam na isolação sonora das partições. Neste sentido, o uso dos elementos vazados apresenta, naturalmente, baixos índices de isolação sonora. Desconhecem-se estudos que busquem soluções para minorar o problema da dicotomia entre os aspectos térmicos e acústicos desses elementos.

Neste sentido, esta tese teve como principal objetivo o desenvolvimento de um elemento vazado voltado tanto para o desempenho acústico quanto ao isolamento sonoro, de forma a melhorar sua característica de alternativa passiva de projeto, adicionando o aspecto de conforto acústico, além do térmico e luminoso já existentes em sua concepção.

O princípio que norteou o início do desenvolvimento dos blocos foi a relação geométrica e de materiais utilizados no ressonador de Helmholtz que estão comercialmente disponíveis no mercado americano, os quais apresentam certa semelhança com o cobogó – exceção feita à característica vazada. A fenda (abertura) existente na cavidade permite a entrada da onda sonora que, então, é absorvida. Para criar o elemento vazado, foi feita outra fenda na parte posterior do bloco para criar a saída de ar. Para esta geometria foram utilizadas duas dimensões (bloco grande e bloco pequeno).

Os protótipos físicos em escala real (1:1) foram confeccionados para as duas geometrias: blocos com cavidade montados um de frente para o outro (blocos pequeno, grande); e blocos montados criando a abertura a partir da montagem de dois blocos (um acima do outro) com as cavidades coincidentes e as fendas em lados opostos – criando a entrada e saída de ar em posições diferentes (bloco caixa e bloco caixa grande).

Os resultados das medições realizadas no trabalho de campo foram avaliados a partir de uma análise estatística, cujo método identifica a significância do efeito de fatores sobre o comportamento médio da resposta (isolamento sonoro). Este método é confirmado pelo teste de hipóteses estatísticas que são aceitas ou não em função do erro (p-valor). A partir desta análise foi possível validar o experimento e identificar o desempenho comparativos dos blocos estudados.

6.2 Conclusões

A partir dos resultados das medições *in situ* dos blocos desenvolvidos, realizadas de acordo com a norma ISO 140-5, pode-se concluir que a tipologia da geometria “caixa” foi a que revelou melhor desempenho quanto às variáveis avaliadas, por apresentar:

- uma das maiores relações de área aberta (12%);
- maior isolamento sonoro global ($D_{ntw} = 27$ dB e $R'_{45W} = 21$ dB);
- maior isolamento por frequência ($D_{nt} = 37$ dB em 800 Hz);
- isolamento sonoro da condição aberto mais aproximado da condição fechado, coincidente, na frequência de 800Hz, com o parâmetro D_{nt} (37 dB);
- melhor desempenho de isolamento sonoro confirmado na análise estatística em relação às frequências, apresentando maior Redução de Ruído Padrão médio (D_{nt}) em 13 das 18 bandas de 1/3-oitava analisadas;
- maior isolamento sonoro em relação à outros elementos com aberturas;
- maior aceleração da velocidade do vento simulada (maior do que 7m/s);
- melhor avaliação quanto ao conforto acústico, com base nas curvas NC-45.

Além dessas características, apresentou dimensões apropriadas para o uso em paredes, inclusive com facilidade de fabricação devida à simplificação da forma e facilidade de empilhamento e transporte.

Pode-se observar que o bloco caixa grande (CG) apresentou expressivo e uniforme desempenho quanto à isolação sonora, em uma faixa significativa de freqüências. Desta forma, poder-se-ia melhorar o desempenho da partição no sentido de cobrir uma faixa maior de freqüências quando esta for montada com os dois tipos de blocos (conjugados - caixa e caixa grande).

O isolamento sonoro em aberturas mostra-se muito suscetível, porém, na presente pesquisa, pode-se chegar a uma tendência de desempenho sonoro satisfatória para tratar áreas abertas. A mudança de direção do percurso da propagação da onda sonora, assim como o tamanho da cavidade (quanto maior melhor o desempenho de isolamento sonoro), foram os fatores observados no bloco cujo desempenho revelou ser satisfatório. Desta forma, a geometria e a utilização de material de absorção também são fatores considerados.

No caso da pesquisa, a utilização do material absorvente não se mostrou significativa para determinar o isolamento sonoro (tanto na análise estatística como na determinação do número único, $\text{global-R}'_{45W}$ e D_{ntW}). No entanto, no espectro de freqüências, pode-se observar que, apesar de pequena, houve melhora no isolamento de algumas freqüências, principalmente as altas.

O método para determinar o número único de acordo com a ISO 717, mostra-se importante para comparar desempenho de elementos, como no caso da pesquisa que comparou vários blocos (um total de 13); porém, ele pode mascarar determinados desempenhos significativos, como por exemplo, o bloco caixa grande (CG) que apresentou Índice de Redução de Ruído Padrão Global (D_{ntW}) de 27 dB e

nas freqüências de 500 Hz a 1000 Hz valores Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) de 34 dB a 36 Hz.

Foi observado pouco isolamento sonoro nas baixas freqüências de todos os blocos, principalmente abaixo de 350 Hz com Índice de Redução Sonora Aparente (R'_{45}) abaixo de 20 dB e Redução de Ruído Padrão (D_{nt}) abaixo de 25 dB, o que imprime ao bloco o uso limitado para quando for desejado isolamento sonoro nessas faixas de freqüências.

Os métodos de análise estatística utilizados e as simulações de ventilação natural se mostraram bastante consistentes e serviram para comparar os desempenhos dos blocos, assim como para revelar a eficiência quanto ao isolamento sonoro e promoção de ventilação natural.

De maneira geral, os objetivos da pesquisa foram atingidos, principalmente quando foi identificado que os elementos desenvolvidos na pesquisa (notadamente o elemento tipo caixa) podem ser justificados para o uso em fachadas na cidade de Natal (local onde foi realizado o experimento), pois, considerando o ruído externo típico medido, proporcionaram isolamento sonoro suficiente para promover conforto acústico para os usuários.

O desdobramento da pesquisa possibilita a sugestão de alguns trabalhos futuros:

- Avaliar o bloco caixa por outro método de medição de isolamento sonoro, como por Resposta Impulsiva, definido por Silva (1998), ou medição em laboratório;
- Desenvolver a mesma geometria do bloco caixa proposto com outros materiais naturais que possam imprimir ao mesmo o conceito de sustentabilidade, tanto materiais aglomerantes como aglomerado, fibra de coco, raspas de fibras de

cana de açúcar, adobe, cal etc.; que possam também acrescentar alguma absorção sonora para contribuir com o desempenho de isolamento do bloco;

- Medir o coeficiente de absorção do bloco caixa em câmara reverberante;
- Medir o isolamento sonoro com a utilização mista dos blocos caixa e caixa grande em uma mesma parede para identificar o desempenho da parede em pauta;
- Realizar medições *in situ* de ventilação natural a fim de confirmar seu desempenho, assim como as medições de isolamento sonoro com condições de ventilação cruzada na sala receptora;
- Aprimorar as dimensões da geometria do bloco caixa para isolar principalmente a banda de frequência de 125 Hz, visando adequá-lo à curva NC 40, para melhorar os níveis de conforto acústico dentro de determinado ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.152: Níveis de Ruído para Conforto Acústico. Rio de Janeiro, 1999.

ACOUSTICS AUSTRALIA. *Winner - Dr Chris Field for 'Silenceair'*. Disponível em: <http://www.acoustics.asn.au/journal/AA/December04.pdf#page=27>.pdf. Acesso em: 03 out. 2009.

ARAÚJO, E. H. S.; MARTINS, T. L. F.; ARAÚJO V.M.D. *Dias climáticos típicos para o projeto térmico de edificações em Natal/RN*. Natal, EDUFRN, 1998.

ARAÚJO, et al. Propostas de elementos vazados para condições bioclimáticas na cidade de Natal. In: Congresso de Iniciação científica da UFRN, 1999, Natal. *Livro de Resumos*, 1999.

ARAÚJO, Eduardo H. Silva de; ARAÚJO, Virgínia M. Dantas de; COSTA, Angelina D. L. *Análise bioclimática da forma urbana e definição de índices de conforto térmico urbano para Natal/RN*. Natal: [s. n.], 2000. (Apostila do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo), 2000.

ARAÚJO, B. C. D. de. *Aplicação de método de análise bioclimática como ferramenta para intervenções em centros históricos: estudo de caso no bairro da Ribeira em Natal/RN*. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo/Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP), São Carlos, 2004.

ARAÚJO, et al. *Caracterização do ruído de tráfego na cidade de Natal/RN, Brasil*. In: VI Congresso Iberoamericano de Acústica, 2008, Buenos Aires. Anais do VI Congresso Iberoamericano de Acústica, 2008.

BISTAFA, S. R. *Acústica aplicada ao controle de ruído*. São Paulo, Editora Edgard Blücher, 2006.

BITTENCOURT, L. *Ventilation as a cooling resource for warm-humid climates: An investigation on perforated block wall geometry for improve ventilation inside low-rise buildings*. Tese (Doutorado) - Architectural Association Graduate School, AA, Grã-Bretanha, 1993.

BITTENCOURT, L. Efeito da Forma dos Elementos Vazados na Resistência Oferecida à Passagem da Ventilação Natural. In: Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, III, 1995, Gramado. *Anais...* Gramado. CD-ROM, 1995, p. 378.

BITTENCOURT, L. S. *Uso das cartas solares: diretrizes para arquitetos*. 4. ed. rev. ampl. Maceió: EDUFAL, 2004. 109p.

BITTENCOURT, L. S.; SACRAMENTO, A.; LEAL, T. A.; CANDIDO, C. A influência do tipo de fechamento dos peitoris ventilados na velocidade e distribuição da ventilação natural em salas de aula. in: IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC 2007. Ouro Preto, Brasil. *Anais...* Ouro Preto, Brasil. 2007. 1 CD ROM.

CASTRO, A. P A. S. *Desempenho térmico de vidros utilizados na construção civil*. 2006. 223p. Tese (Doutorado) – UNICAMP, Campinas, 2006

COBOGÓ. Colecionador de palavras. Disponível em:
<http://www.blogspot.com/2009/08/cobogo.html>. Acesso em: 15 jul. 2009.

COSTA, A. D. L. *A influência da forma de ocupação do solo urbano no microclima: uma fração do bairro de Petrópolis em Natal-RN*. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.

FLORES, A. L. *Conforto ambiental e eficiência energética em edifícios residenciais: preservação da arquitetura nas superquadras do plano piloto – Brasília*. Relatório de pesquisa. Departamento de tecnologia, FAU, Brasília, 2004.

FRESH AIR Disponível em:
<http://www.technologyreview.com/articles/04/11/prototype31104.asp?p=1>.
2004. Acesso em: 03 ago. 2005.

GERGES, S. *Ruído: Fundamentos e Controle*. Florianópolis, NR Editora, 2000.

GIVONI, B. *Comfort climate analysis and Building Design Guidelines*. Energy and Buildings, 1992. (1). p.11-23.

GUTIERREZ, G. C. R. *Avaliação do desempenho térmico de três tipologias de brise-soleil fixo*. 2004. 190p. Dissertação (Mestrado). UNICAMP, Campinas, 2004.

International Organization for Standardization. ISO 140 (1998). *Acoustics – measurement of sound insulation in buildings and buildings elements: part 5: field measurement of airborne sound insulation of façades and façades building elements*. Geneva, 1998. 30p.

International Organization for Standardization, ISO 717-1 (1996). *Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and elements of building elements – Part 1: Airborne sound insulation*. Geneva, 1996. 17p.

KUTTRUFF, H. *Room Acoustics*. New York, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS LTD, 1991.

LAMBERTS, Roberto (2009). Desempenho térmico de edificações. 3-Proteções Solares. Florianópolis: UFSC (downloads). Disponível em: <http://www.laeee.ufsc.br/conforto/normas/index.htm> . Acesso em: 25 jun. 2007.

LAMBERTS, Roberto. Desempenho térmico de edificações. 4-Desempenho térmico de paredes e aberturas. Florianópolis: UFSC (downloads). Disponível em: <http://www.laeee.ufsc.br/conforto/normas/index.htm> . Acesso em: 25 jun. 2007.

LABCON. Laboratório de Conforto Ambiental. Disponível em: <http://www.labcon.ct.ufrn.br/equipamentos.htm>. Acesso em: 15 ago. 2006.

LÔBO, D., BITTENCOURT, L. *A influência dos captadores de vento na ventilação natural de habitações populares localizadas em climas quentes e úmidos*. Revista da ANTAC, Ambiente Construído. Porto Alegre, v. 3, n. 2, p. 57-67, abri./jun. 2003.

LOSSO, M., VIVEIROS, E. Acoustics versus natural ventilation in southern Brazilian educational buildings. In: PLEA - The 20th Conference on Passive and Low Energy Architecture, 2003, Santiago/CHILE. *Anais...* Santiago. CD-ROM. MANSOURI, Yasmine; ALLARD, Francis; MUSY, Marjorie. Conceptual implementation of natural ventilation strategy. In: BUILDING SIMULATION, 8., 2003, Eindhoven. *Anais...* Eindhoven, 2003.

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

MORAES, et al. Improving the Acoustical Quality of Facades near Airport in Humid Climates. In: Inter-noise environmental noise control, 2005, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro. CD-ROM.

MOTTA, A. G. *O clima de Natal*. Natal, FOCO, 2003.

NATAL. Código de Obras de Edificações de Natal. Prefeitura do Natal, 2004.

OITICICA, M. L. G. R., BERTOLLI, S. R. Melhoria do desempenho acústico em peitoril ventilado. In: Acústica 2008, Coimbra. *Anais...*Portugual. CD-ROM.

OLGYAY, Victor. *Design with climate*. Bioclimatic approach to architectural regionalism. Princenton, Princenton University Press, 1963.

PEDRINI, Aldomar. *Integration of low energy strategies to the early stages of design process of office buildings in warm climate*. Orientação Steven Szokolay. Austrália. University of Queensland, 2002. 259 p., il. Tese (Doutorado em Arquitetura) - Department of Architecture - The University of Queensland.

PHOENICS. Version 3.2.0., CHAM, 2004.

ROMERO, M. A. B. *Princípios Bioclimáticos para o desenho urbano*. São Paulo, PROJETO, 1988.

SANTAMOURIS, M. Energy and indoor climate in urban environments - Recent trends. In: Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, IV, 1997, Salvador. *Anais...* Salvador, p.15-24.

SCHERER, M. J. Estudo do isolamento sonoro de vidros de diferentes tipos e espessuras, em vitragem simples e dupla. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, 2005.

SEGAWA, H.. *Arquitetura no Brasil anos 80*. São Paulo, PROJETO, 1988.

SILENCEAIR. Disponível em: <http://www.silenceair.com/site/index.html>. Acesso em: 21 ago. 2009.

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

SZOKOLAY, *Steven V. Introduction to architectural science*. London, Elsevier, 2004.

SOMAX. *Venezianas acústicas*. Disponível em: <http://www.tcasomax.com.br/>. Acesso em: 10 jul. 2005.

TECNOLOGIA inova cobogós (2005). Disponível em: www.rei.br/outraEdicao/artigo_08.htm. Acesso em: 3 ago. 2005.

TOLEDO, E. *Ventilação natural das habitações*. Maceió, EDUFAL, 1999.

VIVEIROS, et al *Measurement of sound insulation of acoustic louvres by an impulse method*. Revista Science Direct. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/>. 2005. Acesso em: 10 ago. 2005.

VIVEIROS, E. GIBBS, B. *An image model for predicting the field performance of acoustic louvres from impulse measurements*. Revista Science Direct. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/>. 2003. Acesso em: 10 ago. 2005.

APÊNDICE

Simulação do Tempo de Reverberação no programa REVERB

Reverb

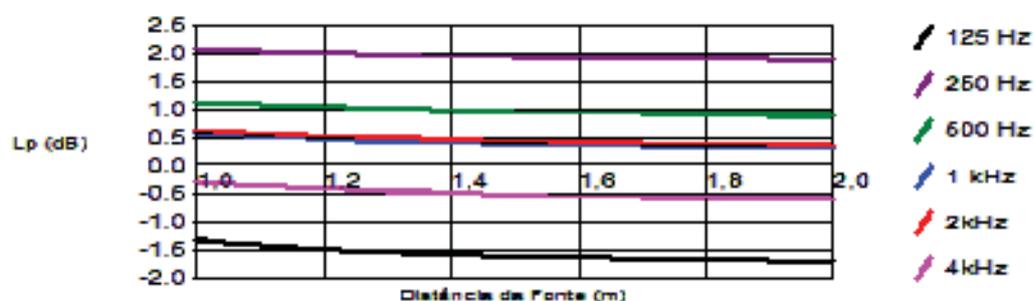
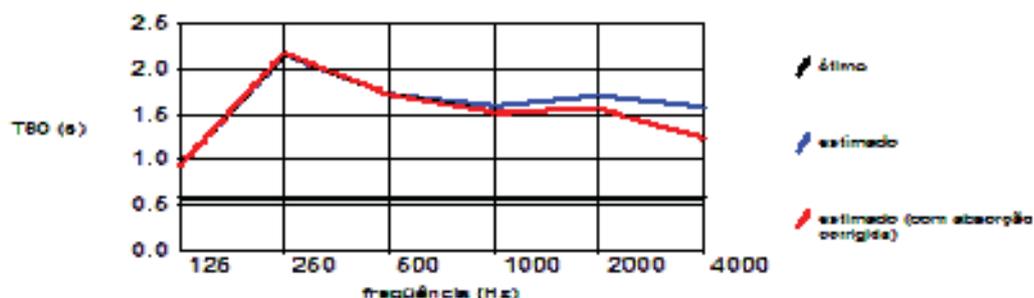
Nome da Sala: camara teste

Uso Acústico: Palavra Falada (De Marco)

Volume Interno: 37 m³

Fonte sonora: Centro da sala

Fórmula de cálculo do tempo de reverberação: Sabine-Franklin



Superfície	Material de acabamento	Área (m ²)
alvenaria comum	Alvenaria pintada ou não (De Marco)	88,3
pliso	Concreto liso, pintado ou vidrado (SBI)	15,0
tapumes madeira	Madeira (pinho em tábuas) 25 mm (De Marco)	2,0
teto	gesso acartonado 12,5 (carvalho)	15,0
porta madeira	Madeira (pinho em tábuas) 25 mm (De Marco)	4,0
Área Total		124,3

ANEXO

Trabalho publicado

Edinburgh, Scotland
EURONOISE 2009
October 26-28

Study of part of facade with natural ventilation and sound insulation

Bianca Carla Dantas de Araújo^a
FAUUSP, Brazil

Sylvio R. Bistafa^b
FAUUSP, Brazil

ABSTRACT

The environmental comfort requires the pursuit of alternative energy project with less impact on architecture. In place of hot and humid climates, natural ventilation is one of the strategies of project; inserted in this view, the elements cast act as architectural components that provide permanent natural ventilation, daylighting and solar protection, and ease of manufacture. Despite the use of secular elements cast, are rare searches in order to determine its environmental use. However, it has been aware of problems related that comes from the natural ventilation as a strategy for cooling, among them, are the acoustic problems. An alternative is the use of elements that permit the passage of ventilation, lighting and control the sunlight and that partially block the noise is to achieve a good result. This work deals with the analysis of the variables involved in the study of the development of the element hollow sound, and the geometric study and its justifications, trying to balance the varying acoustic materials - such as absorption and isolation - and the question of promoting ventilation and natural lighting. Initial results show how likely is the passage of noise in open areas, and the more closed higher acoustic insulation, however minor the ventilation and lighting.

1. INTRODUCTION

The environmental comfort currently requires the search of alternative energy project with less impact on architecture. In areas of hot and humid climates, natural ventilation is one of the strategies of project; included in this vision, the elements casting, also known as cobogós or combogós in Brazil, act as architectural components that provide: permanent natural ventilation, solar protection and natural light, than to make ease of manufacturing.

Despite the secular use of hollow elements, the polls are rare in order to determine its use environment. However, it has been aware of problems related to the stem as a strategy for natural ventilation cooling. Among them, there are acoustic problems, the impact of wind rain and the presence of insects. These problems can be addressed if found in the initial stages of the project. An alternative is the use in construction of elements that permit the passage of ventilation, and lighting control to sunlight and that partially block the noise is to achieve a good result.

The development of draft element hollow acoustic component ally for projects in hot and humid

^a Email address. dantasbianca@gmail.com

^b Email address. sbistafa@usp.br

climates is the objective of the proposal of this research, seeking to balance the variables of the acoustic characteristics of materials - such as absorption and isolation - and the issue of promoting ventilation and lighting natural.

2. METHODS

A. Characterization of the study area

In areas of hot and humid climates, in various regions of the Brazilian territory - characterized by high air temperatures and relative humidity, and low amplitude daily and seasonal - the natural ventilation is one of passive design strategies to improve the discomfort reduce the heat and electric power consumption with artificial air conditioning (GIVONI, 1992). To be able to control the environmental comfort in the local hot and humid climates, providing ventilation and natural and renewable resource, you should make use of alternatives to seize its potential and become, well, new technologies for passive solutions.

The ecosystem of the research object of this research is embedded in Natal, capital of Rio Grande do Norte, Brazil, located at the eastern coast of the state in low-latitude region. According to Araújo et al (1998), Natal is characterized by a hot and humid climate, and its coordinates (latitude 5 ° 45'54 "south and longitude 35 ° 12'05" West) intertropical define its position, very close the line of the equator. Given its geographical location in Natal is not marked four seasons, but features two annual periods with small variations, an April-September, and another from October to March.

The guidelines for urban planning, according to the requirements and characteristics of the hot humid climate of Natal, are mainly to prioritize ventilation, minimize the heat gain, and deployment of green areas. Embedded in this vision the elements casting, cobogós or combogós, function as architectural components that provide permanent natural ventilation, natural light and sun protection, because the filter intense light canopy of these regions also have ease of fabrication. "If you are into architectural components in common use as a kind of 'envazadura' low cost and good environmental performance" (BITTENCOURT, 1995, p. 378).

As redeemed and published in Technology (2005), the elements cast in Brazil, have been employed since 1930, when the architects Amadeu Coimbra, Ernest and Anthony Boekman Góis of users in a building in Olinda, Pernambuco, Brazil. Incidentally, the names and cobogós terms combogós are created from the first syllable of the names of its creators. With the use pioneer in Pernambuco, the use of hollow elements, the few, has been extended to become a constructive part in the common buildings throughout the national territory. Initially, built with mortar, cement and sand, were molded in forms of wood or clay, with cooking in ovens.

From the sixties onwards, the use of hollow elements began to come in decline due to the adoption by Brazilian architects, an international standard of construction, which predominated facades "clean" and glazed, highly inappropriate for our climate. Unfortunately, with the adoption of imported fashions, the cobogó started to be treated as prejudiced popular (TECHNOLOGY, 2005). Bittencourt (1995) evaluated the performance in relation to natural ventilation, four hollow elements, for identifying which buildings located in hot and humid regions, where natural ventilation strategy is of fundamental importance, the elements are cast in are of great architectural components potential functional and plastic.

In contrast, applications of these elements have been based on empiricism, not always with satisfactory results, which undermines the potential use of the elements identified in the cast. Despite the secular use of the same reality this is a consequence of the few studies to determine its use environment. "The literature on the subject are very scarce, despite the length and the potential that bioclimatic building block sets" (BITTENCOURT, 1995, p. 378).

You can check that from the heat, the cobogó is a potentially important for use of natural ventilation in places of hot and humid climate, as well as the filter of natural light and sunshine. However, despite the character of alternative passive element attached to the cast, have not yet

seem to be constituted as technology to be exploited, unless further research be undertaken in order to take advantage of new technology that the passive element can make the which has already been proven.

B. Methods used

For the development of research, first studied the development of virtual prototype that followed the geometric relationships of the Helmholtz resonator. The proportions of the existing wells and the material used for making the basis for the design of two types of elements that have cast the same geometry and material, but with different dimensions and proportions, to provide an initial comparison between them with the construction of physical prototypes.

The virtual prototype of the cast element was prepared from a primary contact with the thermal and acoustic relations, which were used as the basis for the preliminary geometric scope (virtual). As geometries defined, then, were prepared for testing physical prototypes of measurements of acoustic range from the size of the block, insertion of absorbent material, and the spacing of the areas castings (open).

The physical prototypes were manufactured in three types, two with the same geometry and material, but is differentiated by the size and proportions, and another with a different geometry. With a smaller size and weight are similar to blocks of masonry on the existing market (hollow element type 1 - small), with other dimensions and weight not common in the market for blocks and elements cast (cast element type 2 - large), and other with the geometry similar to the resonator (hollow element type 3 - box). The prototypes were settlers of the same ways to provide direct comparisons, as established by the statistical design of field research.

The evaluation of sound insulation, according to measurements in situ, was followed by the procedure laid down in ISO 140-5 - "Measurement of sound insulation in buildings and elements of buildings. Part 5 - Measurement of sound insulation in the field to loud air of facade elements and facades. "

It also developed an analysis of the noise of the city of Natal. This analysis was performed from the measurement of noise in bands 1/3 of the eighth, to identify as such contains sound frequencies in the spectrum, since it is the same as the reference for the study of cast elements. In the research, in addition to geometry and materials, the performance of elements from the simulation on the resistance offered to the passage of natural ventilation has been developed. For this simulation we used the software PHOENICS 3.2, based on Computational Fluid Mechanics (Computational Fluid Dynamics - CFD).

After the simulations and measurements of the performance of the element cast as acoustic insulation and acoustic factors of natural ventilation in order to find the balance is satisfactory these variables, the statistical analysis was performed from the interpretation of data collected. The format of the database application was developed in EXCEL and then transported to the application STATISTICA, where the calculations were prepared to support the analysis.

After completion of all steps proposed for the research, was developed to discuss the findings and conclusions of the study, with the purpose of preparing a hollow sound that is capable of establishing the promotion of natural ventilation, insulation and noise absorption as proposed new technologies for the production of passive control of environmental comfort.

C. Development of preliminary geometry

The first relations raised for the development of the block were the material commonly used in blocks of masonry and cast elements in the market (cement and sand in the ratio of 1:3), the form in a simple way (which may be made of wood or metal) and protection from rain, and ease of stacking. It was noticed that the geometry of the resonator block match these components, and so an adjustment was made to transform the resonator in a cast, trying to create a block that had a slit not only for the entry of the sound wave and air but the output. Thus was conceived in a geometry in which the block had a cavity and that was implanted in front of another, with a space between them, so that the cavities of the blocks were coincident, thus the volume of the "bottle" and the space the gap between the resonator.

In view also the predominant factor in this research to develop a block to keep its popular connotation, and therefore as cost-effective, especially since the only components on the market that allow the passage of ventilation and isolate the noise, such as attenuators and shutters noise, have very high prices, tried to use existing forms that could be adapted for the purpose of the block to be studied. They identified two dimensions of blocks to adapt. The first child (element hollow type 1 - small) was adapted from a block of cement used to mount joint masonry fence. The larger (hollow element type 2 - large) was adapted from a block of cement used as a box of fat, which is split to fit the desired geometry (Figures 1 to 4). The preparation is carried out in a craft well and is not necessary in a production plant.



Figure 1: Picture elements of type 1 and 2



Figure 2: Picture of the shape of the small element (type 1)



Figure 3: Photo of drying of the small element



Figure 4: Photo of the form of stacking

In the hollow element type 1 (small - P) were the dimensions: h (height) = 0.14 m, c (length) = 0.10 m, p (depth) = 0.19 m, and (thickness) = 0.02 m (Figure 5). Element cast in type 2 (large - G) were the dimensions: h (height) = 0.25 m, c (length) = 0.29 m, p (depth) = 0.25 m, and (thickness) = 0.03 m (Figure 6).

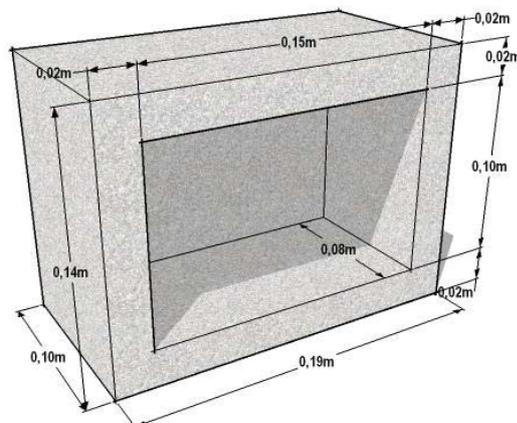


Figure 5: Schematic sketch of the small size of the block (P)

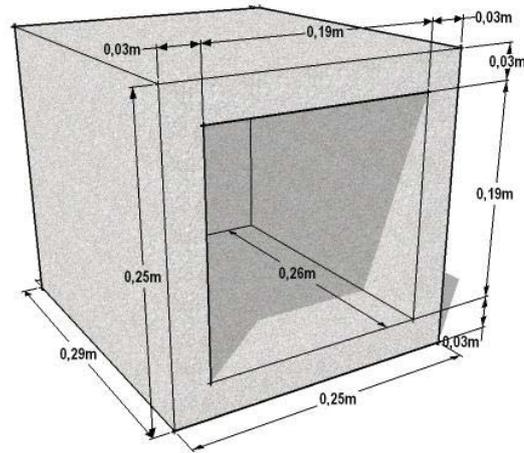


Figure 6: Schematic sketch of the large size of the block (G)

Based on this adjustment calculations were made from the equation of the principle of resonance frequency (f_0) to identify what these frequencies in blocks studied.

The resonance frequency (f_0) are calculated from the formula (Bistafa, 2006) - L is the length and S the area of cross section of the neck, respectively, and the volume V , L' is the effective length of the neck, and α is the radius of the cross section of the neck:

$$f_0 = c / 2 * \Pi \sqrt{(S / L' * V)} \quad (1)$$

$$L' = L \alpha 1.4 \quad (2)$$

In the case of the element developed, with the resonator as a two blocks settlers in front of the other (creating a cavity with a slit front and back) are the resonance frequencies of approximately 250 Hz for the composition with the element type cast 1 (P) and 100 Hz for the composition of the largest cast component (G).

After defining the preliminary elements, was developed further using the geometry of the model sold for Helmholtz resonator, in this search called the element type 3 (box - C). The dimensions are h (height) = 0.20 m, c (length) = 0.20 m, p (depth) = 0.20 m, (thickness) = 0.03 m and 0.05 m from the slit width (Figure 7). The frequency of resonance for this type of block is 500 Hz. The application of the block as resonator provides the installation of the slot into the environment, which creates a cavity that functions as a spring from filling the same with the mass of air. To transform the element, with the exact geometry of the resonator in cast broke up the installation of the same slot on opposite sides and with the same cavity. Thus, there is the passage of air in different directions of input and output (Figure 8).

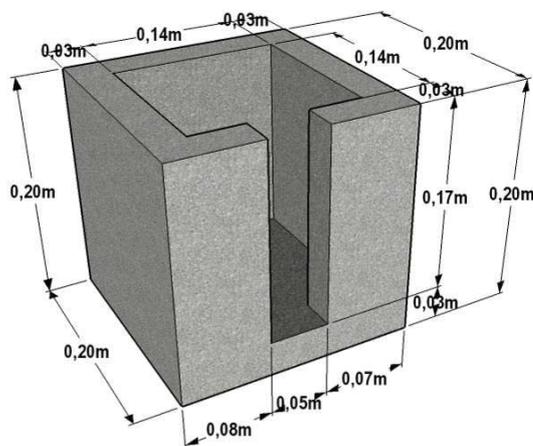


Figure 7: Schematic sketch of the dimensions of the block box (C)

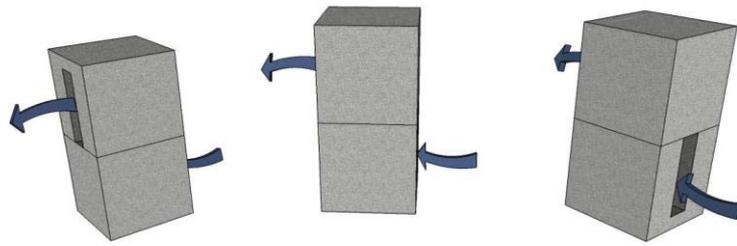


Figure 8: Sketch of the element (resonator) installed as cast

To evaluate the acoustic properties of the hollow element is used ISO - International Organization for Standardization. As a procedure for evaluating the sound insulation is proposed the method of in situ measurement, standardized by ISO 140 (1998), which has been the principal international standard for measurement of sound insulation (VIVEIROS, 1998). The ISO 140 is a standard composed of parts, so Part 5, which discusses in situ measurements of sound insulation to sounds of walls and air elements of façade, will be considered in the study, but not ignoring the references to the normative same.

The method of measurement of sound insulation to sounds of air elements of the facade (Method of elements) and the whole facade (global method), estimates the Sound Reduction Index, or loss in transmission, with high speaker sound as artificial, microphone in various positions and a meter of sound pressure level with filter 1/3-octave bands. To analyze the performance of the element in the hollow sound insulation, are inserted into a front, and then proceeded in standard measurements of test chamber, whose front is wide enough to cast simulated application of the element in real situations.

The room seen as test for the detection chamber has 15 m², with all openings properly closed, the door made in solid wood and foam rubber to prevent cracks. The ceiling of the room was insulated with plaster acartonado system with glass wool, and other masonry surfaces are towed in and painted and floor slabs of concrete (Figures 9 and 10). In the room there was the existence of openings in cobogó common (which were properly insulated, except in the front of the test), and shelves in masonry.

Overall method was used with speaker, which provides the calculation of the difference in sound pressure level (D2m) to two meters from the front (at three points and the measurement recorded for 1 minute at each point - two in the lateral limits the sample and the center of it) and in the receiving room (for five points, 1 minute each measurement), the standard level (D2m, nt) and standard (D2m, n), which take into account the time reverberation and absorption area of the receiving room, respectively. The noise in the speaker was white noise.

The equipment used was a sound level meter with filter strips, 1/3 of the eighth, with microphone coupled with a diameter smaller than 13 mm; a speaker in free field whose policy is such that the sound pressure level in each frequency band of interest is less than 5 dB, and a laptop computer with microphone and speaker connection with the (speaker) amplified to measure the reverberation time of the receiving room.

The position of the speaker was on the floor, and that 5 m of frontage with 45 ° angle of incidence. In the receiving room were set to distances of 0.7 m between the positions of measured points, 0.5 m between each position of the microphone and the limits of the room, and 1.0 m between the microphone and sound source. The background noise was more than 10 dB below the noise level of the signal.

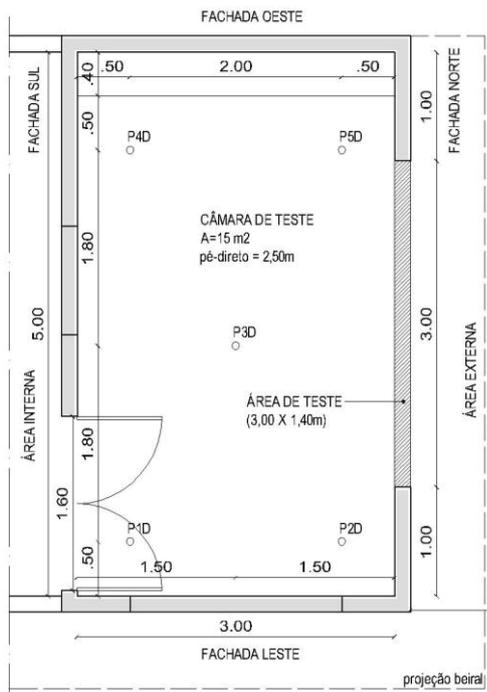


Figure 9: Plant room of the test in detail to the facade will be applied where the evidence casting



Figure 10: Pictures of room internally and externally

The principle of measurement of the reverberation time is achieved from the impulsive response (IR), which is possible with the use of the Aurora software, developed by prof. Angelo Farina (Italy). Obtaining the impulsive response (IR) was made from a signal of 1 minute, Multi MLS Signal issued by the program of measurement. The sound source was positioned in the center of the room and capture the signal was in the center of the room.

3. PRELIMINARY RESULTS

The measurements for the performance on the acoustic features of the cast up for this search - type 1 (P), type 2 (G), type 3 (C) - were made to the following conditions: the settlers blocks together (closed) settlers and the blocks separated (opened), with 5 cm of open space for the two blocks, 10 cm of open space with the largest block (G) and 5 cm for the block type box, which is the space of the slot. The block type box (C) was applied to the front surface hollow without test, that is, with all the cracks towards the front exterior (closed) and the alternate slits, facing inside and outside (open), as described above, making it a hollow (Figure 8). As a way of comparing the performance of elements with the changes in settings, the parameters were calculated from the ISO 140-5, which are the standard sound pressure level (D2m, nt), corresponding to the reference reverberation time of the receiving room; the sound pressure level standard (D2m, n), corresponding to the absorption area of the receiving room, from the data of measurements taken.

- Element type 1 (P)

The element type 1 (P) was tested primarily closed without opening to the outside in order to compare their performance in isolation (Figures 11 and 12), and in a second time with 5 cm of open space between them to compare their performance in isolation (Figures 11 and 12).



Figure 11: Photo of the block type 1 seated in front separated 5 cm



Figure 12: Photo of the block type 1 seated in front separated 5 cm

Observe that the block is seated close to the transmission loss has increased, while the insertion of glass wool does not significantly alter the performance of the element, only 5 dB at most in the approximate frequency of 1250 Hz the frequency of resonance of small block open (250 Hz) coincides with lower loss in transmission at low frequencies (dB 5), being identified, in general, an acoustic performance by presenting median transmission loss in the maximum 20 to 27 dB between 800 and 1600 Hz, in view of a brick wall has a single loss in the transmission of 30 dB at 125 Hz, and 37 dB from 250 to 2000 Hz (Bistafa, 2006), and it is a hollow (Figures 13 and 14).

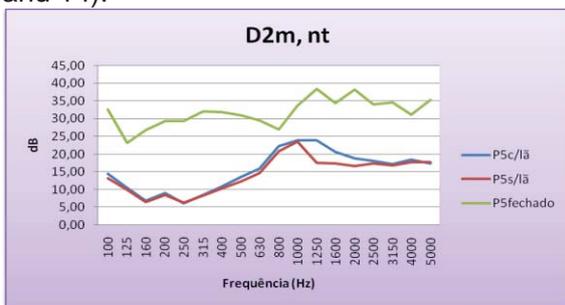


Figure 13: Graphs of the data of the difference in standard (DLS, 2m, nt) for the settings of the small block

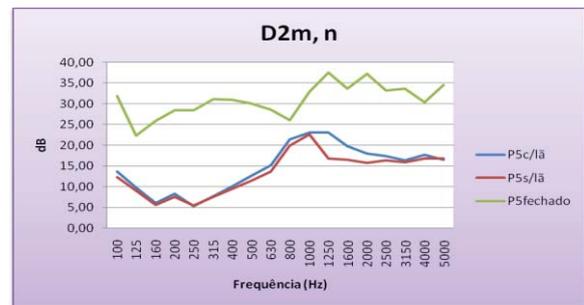


Figure 14: Graphs of the data of the difference in level standard (DLS, 2m, n) for small configurations of the block

• Element type 2 (large)

The element type 2 (large) was tested in a close form, to compare performance of insulation (Figures 15 and 16), and in a second time with 5 cm of open space between them (Figures 15 and 16).



Figure 15: Photo of the block type 2 seated in the front separated 5 cm



Figure 16: Photo of the block type 2 seated in the front separated 5 cm

Observe that the block is seated close to the transmission loss has increased, while the insertion of glass wool does not significantly alter the performance of the element, only 10 dB more at the approximate frequency of 1250 Hz the frequency of resonance of large open block (100 Hz) does not coincide with less loss in transmission at low frequencies (5 dB at 160 and

250 Hz) is identified, in general, an acoustic performance by presenting median transmission loss in the maximum 20 to 29 dB between 800 and 1600 Hz (Figures 17 and 18).

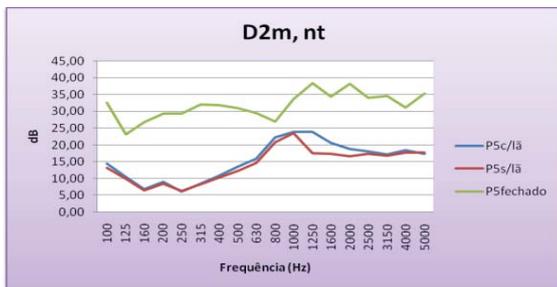


Figure 17: Graphs of the data of the difference in standard (DLS, 2m, nt) for the settings of the large block

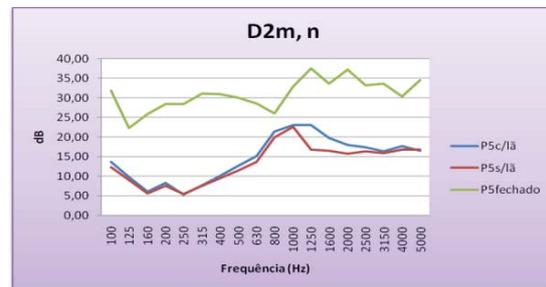


Figure 18: Graphs of the data of the difference in level standard (DLS, 2m, n) for large configurations of the block

- Element type 3 (box)

The element type outside box closed and open test to compare performance of insulation (Figures 19 and 20). The average speed of the wind outside was 1.8 m/s towards southeast.



Figure 19: Photo of the block type box (open - external view)

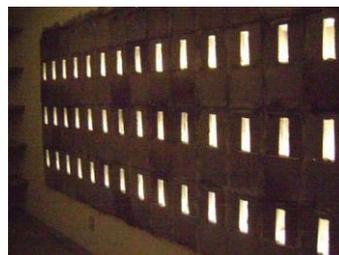


Figure 20: Photo of the block box open (internal view)

Observe that the block is seated close to the transmission loss has increased, while the insertion of glass wool does not significantly alter the performance of the element, only 10 dB more at the approximate frequency of 1250 Hz the frequency of resonance of large open block (500 Hz) does not coincide with less loss in transmission at low frequencies (7 dB at 160 and 250 Hz) is identified, in general, an acoustic performance by presenting median transmission loss in the maximum 30 to 35 dB between 800 and 1000 Hz (Figures 21 and 22).

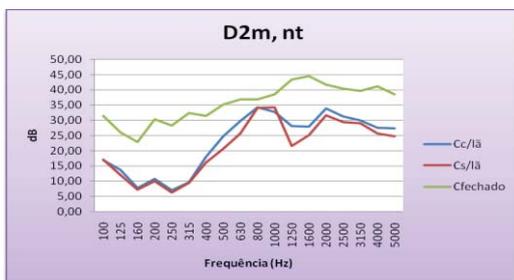


Figure 21: Graphs of the data of the difference in standard (DLS, 2m, nt) for the settings configurations of the block box

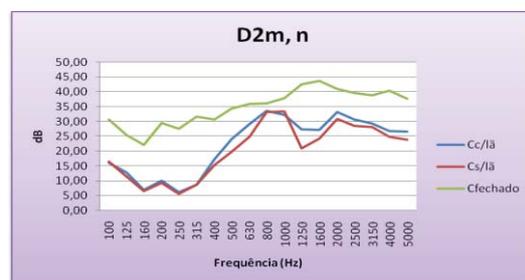


Figure 22: Graphs of the data of the difference in level standard (DLS, 2m, n) for the settings configurations of the block box

4. CONCLUSION

The block type box (C) showed very satisfactory performance in middle and high frequencies (noise reduction rate of over 30 dB between 1000 Hz and 2000 Hz - Figure 23), especially compared to the loss in transmission of approximately 40 common masonry to 45 dB (Bistafa,

2006). The further isolation was observed in the frequency of 1000 Hz, this being the most frequently identified in the noise of the city of Natal / RN (ARAÚJO et al, 2008) (Figure 23).

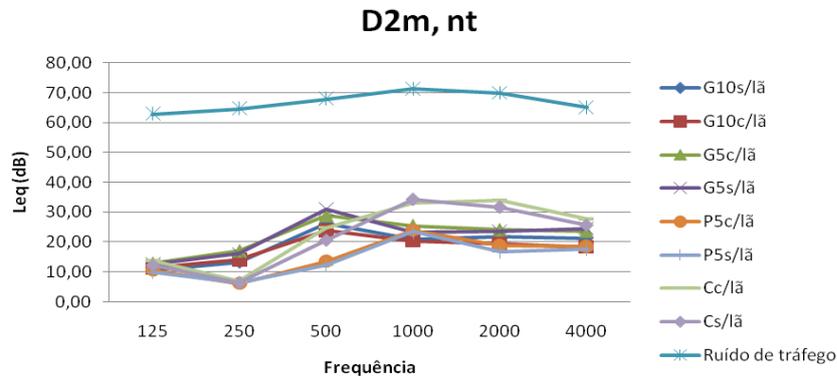


Figure 23: Graph comparing the performance of the blocks studied and the noise of the city of Natal, Brasil

It can be observed that the use of glass wool improves performance acoustic insulation of the block, but a small contribution in the block P and C, and no block in G. The performance of the blocks proved to be satisfactory in relation to natural ventilation, but not satisfactory in relation to natural light. The opening of the facade is compatible with the opening of a window compared to the works required by the Code of constructions in Natal (Brazil), from 1/6 of the floor area of setting up 11%. Block G 10 shows an open area of 13%, the block G5, 8%; the block P5, 19%, and block C 12%. Initial results show how likely is the passage of noise in open areas, and the more closed the block more sound insulation, however, as known, the lower the ventilation and lighting. The search is in progress and soon the final results on the blocks in question and other studies will be disclosed.

ACKNOWLEDGMENTS

FAPESP

REFERENCES

1. ARAÚJO et al. (2008). *Caracterização do Ruído de Tráfego na cidade de Natal/RN*, Brasil. In: VI Congresso Iberoamericano de Acústica, 2008, Buenos Aires/AR. Anais do VI Congresso Iberoamericano de Acústica.
2. ARAÚJO et al. (1999). *Propostas de elementos vazados para condições bioclimáticas na cidade de Natal*. In: Congresso de Iniciação científica da UFRN, 1999, Natal. Livro de Resumos.
3. BISTAFA, S. R. (2006). *Acústica aplicada ao controle de ruído*. São Paulo: Editora Edgard Blücher.
4. BITTENCOURT, L. (1993). *Ventilation as a cooling resource for warm-humid climates: An investigation on perforated block wall geometry fo improve ventilation inside low-rise buildings*. Tese (Doutorado) - Architectural Association Graduate School, AA, Grã-Bretanha. 1993.
5. GIVONI, B. (1992). *Comfort climate analysis and Building Design Guidelines*. Energy and Buildings, 1992. (1): p.11-23.
6. ISO 140 (1998). *Acoustics – measurement of sound insulation in buildings and buildings elements: part 5: field measurement of airborne sound insulation of façades and façades building elements*.
7. TECNOLOGIA inova cobogós (2005). Disponível em: www.rei.br/outraEdicao/artigo_08.htm. Acesso em: 3 ago. 2005.
8. VIVERIOS, E. B. (1998). *Evaluation of the Acoustical Performance os Louvre by Impulse Response Analysis*. Tese (Doutorado) – POSMEC/UFSC. Florianópolis.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)