

A UTILIZAÇÃO DO MÉTODO *MARK VII* PARA CÁLCULO DE “LOUDNESS”: ESTUDO DE CASO DA ESTAÇÃO VENDA NOVA.

Marcela Álvares Maciel, Victor Mourthé Valadares

UFMG - Escola de Arquitetura. – Depto de Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo - Labcon

Rua Paraíba, 697, Funcionários, Belo Horizonte, CEP – 30.130-140,

Fone: 0xx31-3269-1825; Fax: 0xx31-3269-1818

e-mail: m.a.maciel@ig.com.br ou victormvaladares@aol.com

Resumo: O presente trabalho dá continuidade ao estudo de alternativas de controle de ruído da operação da Estação Venda Nova, prevista no Plano de Reestruturação de Transporte Coletivo de Belo Horizonte da Empresa de Transporte e Trânsito de Belo Horizonte S.A (BHTRANS). Envolve a análise de impacto ambiental acústico, utilizando parâmetros não comuns de avaliação de ruído ambiental, destacando-se o conceito de “loudness” (sensação subjetiva da intensidade sonora), pelo qual é possível avaliar o problema sem se recorrer à escala logarítmica. Isso possibilita uma leitura mais familiar para pessoas leigas na área de acústica, mas que estão envolvidas no processo de decisão para melhoria das condições do ambiente sonoro urbano. Os resultados desse trabalho são apresentados em mapas de ruído ambiental gerados a partir do *software* Surfer 7.0. A partir da interpretação desses resultados, é possível verificar a influência que o parâmetro de avaliação tem na percepção do real impacto acústico provocado por implantação de grandes projetos, como estações de transporte coletivo urbano.

Abstract: The present work gives continuity to the study of alternatives of noise control in Venda Nova BHBUS Station, foreseen in the plan of restructuring of road public transport of Belo Horizonte developed by Transit and Public Transport Inc. of Belo Horizonte (BHTRANS). This paper presents the analysis of acoustic environmental impact, using an uncommon environmental noise descriptors, standing out the concept of “loudness” (subjective sensation of the sound intensity), for which is possible to evaluate the problem without appealing to the logarithmic scale. It makes possible a more family reading for lay people in the area of acoustics, but that are involved in the process of decision for improvement of the conditions of the urban sound environment. The results of that work are presented in maps of environmental noise generated through the *software* Surfer 7.0. Starting from the interpretation of those

maps, it is possible to verify the influence that the noise descriptor has in the perception of the real acoustic impact generated by great projects, as stations of road urban public transport.

I. INTRODUÇÃO

Atualmente, na maioria dos países, existem grupos encarregados da normalização dos limites máximos dos níveis de pressão sonora, assim como o tempo de exposição ao ruído, visando a proteção da saúde das pessoas. Com relação a tais grupos, merecem destaque, a nível federal, a American National Standards Institute - ANSI, nos EUA, International Organization of Standart - ISO, na Europa e a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, no Brasil. Mesmo no caso brasileiro existem, além dessas normas técnicas, legislações federais, estaduais ou municipais, que, quando existentes, prevalecem sobre as normas técnicas.

No caso específico da cidade de Belo Horizonte, índices de qualidade ambiental em acústica no ambiente externo são preconizados pela Lei Municipal nº 4253 de 04/12/85, em seu Capítulo III sobre Poluição Sonora, conhecida como *Lei do Silêncio*. Em seu texto, são apresentados valores limites admitidos dos níveis sonoros no ambiente construído, buscando assegurar condições para conforto acústico e sossego público.

A fim de obter-se uma maior aproximação entre o valor físico e a sensação humana, a maioria das normas, incluindo-se a Lei do Silêncio do município de Belo Horizonte, tem no nível de pressão sonora ponderado na curva A - o $dB(A)$ - como parâmetro mais utilizado na descrição do ambiente sonoro vinculada à percepção do ruído pelas pessoas.

Entretanto, o uso do nível de pressão sonora equivalente-contínuo ponderado na curva A não consiste num descritor definitivo para a abordagem do problema de exposição sonora nos ambientes no sentido de reproduzir a percepção subjetiva do ruído pelo homem, embora haja uma tendência consensual a nível internacional de utiliza-lo em legislações sobre a

poluição sonora (Berlung & Lindvall, 1995). A escala A consiste numa solução prática para a abordagem do problema, embora nem sempre a mais adequada. Assim, temos situações em que mesmo respeitando aos limites sonoros preconizados pelas legislações locais isto não implica, necessariamente, em conforto acústico.

Diante de tal fato, faz-se necessária a utilização de novos parâmetros subjetivos de avaliação da qualidade acústica ambiental, de maneira tal que as condições de conforto acústico sejam verificadas em sua plenitude. É dentro desse novo contexto que convém utilizar o método de Stevens para cálculo de “loudness” no trabalho de avaliação de impacto ambiental acústico para proposição de alternativas de controle de ruído como no caso da operação da Estação Venda Nova em Belo Horizonte-MG, Brasil.

II. MÉTODOS DE STEVENS PARA CÁLCULO DE “LOUDNESS”.

Tentativas de derivar o loudness de um som para seu modelo de mascaramento foram feitas a partir do segundo quartil do século passado (Fletcher e Munson, 1937; Howes, 1950; Munson e Gardner, 1950), mas não resultaram num procedimento universal aplicável para uma grande variedade de estímulos sonoros. Abordagens empíricas como a de Stevens (1961) e Zwicker (1965) obtiveram sucesso.

Com o objetivo de ampliar a capacidade de avaliação do ruído e sua relação com a percepção humana, Stevens propôs dois métodos de cálculo de “loudness”, denominados Mark VI e Mark VII. O método utilizado por este trabalho, o qual será descrito a seguir, é o Mark VII, por ser mais atualizado, permitindo uma correlação muito próxima com o ruído como é percebido pelo ouvido humano.

2.1) O método Mark VII

O método Mark VII para cálculo de “loudness” foi proposto em 1961 por Stevens, generalizando o procedimento anterior, definido em 1955, no que se refere ao fator de mascaramento, que no método Mark VI era uma constante na equação. Assim, podemos obter uma relação entre “loudness” e a intensidade do estímulo sonoro através do cálculo de “loudness” a partir do espectro de bandas de 1/1 oitava.

O cálculo de loudness e (ou) do nível de loudness, realizado pelo Método Mark VII, pode ser efetuado de acordo com o seguinte procedimento:

- 1) *Análise em 1/3 e 1/1 bandas de oitava do ruído na área de interesse.*
- 2) *Determinação das amplitudes ou magnitudes em sonos relativas aos respectivos NPS por*

bandas, mediante a Tabela “Magnitude Percebida como Função dos NS por banda”;

- 3) *Determinação o fator de mascaramento, F. Se dados em 1/3 de bandas de oitava estão sendo utilizados, F é obtido a partir do seu valor na Tabela “Fator de Mascaramento e Sones para 1/3 de Oitava”. Se dados em 1/, deve-se subtrair 4,9 dB do NPS maior entre as bandas de oitava, obtendo um novo NPS a partir do qual será obtido o valor correspondente em sone para cálculo de F. Dobre o valor de F;*
- 4) *Execute a seguinte operação de soma das magnitudes percebidas:*

$$S_t = S_m + F (\sum S - S_m) \text{ [sones];} \quad (1)$$

Onde:

S_t é o “loudness” total [sones];

S_m é o “loudness” máximo [sones];

$\sum S$ é a soma de todos os “loudness” das outras bandas [sones];

F é o Fator de Mascaramento.

- 5) *Determinar o nível de “loudness” percebido pela equação:*

$$NS_t = 30 (\text{LOG} (S_t) + 1,069) \text{ [PLdB];} \quad (2)$$

Onde:

NS_t é o nível de “loudness” total [PLdB];

S_t é o “loudness” total [sones].

A Tabela I exemplifica o procedimento de cálculo de cálculo de loudness e (ou) nível de loudness a partir do método Mark VII. Neste exemplo, temos a aplicação do método a partir de valores de níveis sonoros medidos em 1/1 oitava, no intervalo espectral de [63;8K]Hz.

TABELA I – APLICAÇÃO DO MÉTODO MARK VII

Frequência [Hz]	Leq [dB]	[sones]
63	59,7	0,5278
125	56,5	1,225
250	48,7	1,277
500	47,6	1,794
1000	43,4	1,300
2000	40,3	1,393
4000	39,9	1,837
8000	39,9	1,837
Loudness máximo, [sones]	St x	1,837
Somatório espectral, [sones]	Sti	11,19
Leq correspondente ao St x, [dB]	Leq x	39,9
Leq correspondente menos 5, [dB]	Leq x - 5	34,9
Loudness [sones]	St i(x-5)	1,187
Fator de Mascaramento	F	0,320
Loudness global [sones] – Eq. [1]	St,G	7,83
Nível de Loudness global [PLdB] - Eq.[2]	NadP, G	58,9

III. A UTILIZAÇÃO DO MÉTODO *MARK VII* PARA CÁLCULO DE “LOUDNESS”: ESTUDO DE CASO DA ESTAÇÃO VENDA NOVA

Ao se aplicar o Método Mark VII nos resultados de medições de níveis sonoros para estudo de alternativas de controle de ruído da operação da Estação Venda Nova, foi possível uma avaliação do impacto ambiental acústico provocado pela operação da Estação Venda Nova em outras escalas subjetivas de avaliação do ruído.

A figura 1 apresenta a delimitação da área preliminar de influência determinada para a Estação Venda Nova evidenciada pela malha de 56 pontos de medição de ruído, dispostos conforme uma matriz $M_{7 \times 8}$.

A partir das médias dos níveis sonoros para o pico da manhã (6:50h-7:50h) e pico da tarde (16:00h-17:00h), levantados em bandas de 1/1 oitava, para o intervalo espectral [63;8K] Hz, foi aplicado o procedimento de tratamento de dados, exemplificado pela Tabela I, aos 56 pontos de medição, para as situações antes e depois da operação da Estação Venda Nova.



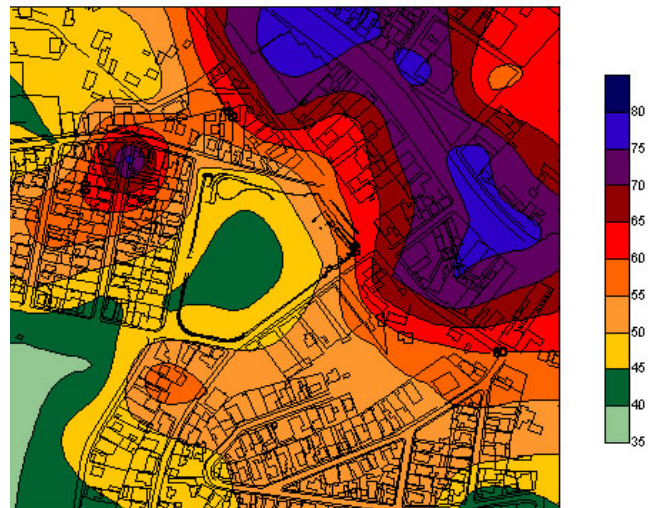
Figura 1: Pontos de medição de níveis de ruído e delimitação da área preliminar de influência da Estação Venda Nova.

A partir dos resultados obtidos da utilização do método Mark VII, foi possível a elaboração de mapas de ruído ambiental da Estação Venda Nova e sua área de influência considerada, para as situações antes e após a operação da mesma. Dessa forma, pôde ser realizada uma avaliação comparativa do impacto ambiental acústico da Estação Venda Nova em outras escalas psicoacústicas, além da escala usual ponderada na curva A, dB(A).

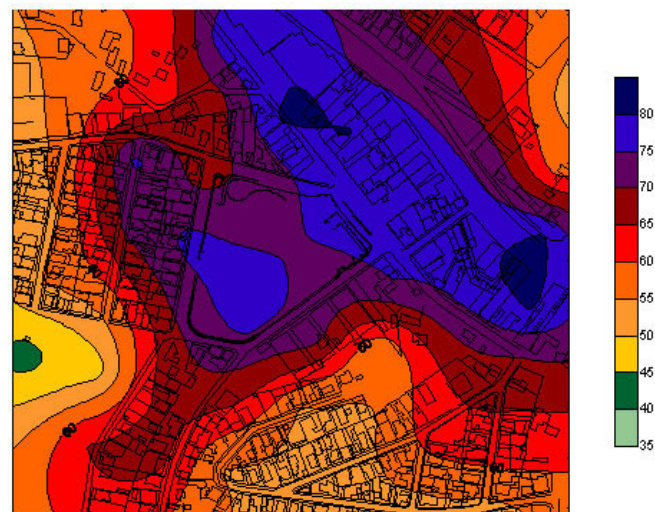
IV. ANÁLISE DE IMPACTO AMBIENTAL ACÚSTICO DA ESTAÇÃO VENDA NOVA

Para desenvolvimento da análise de impacto ambiental acústico, foram observadas as ordens de

grandeza de variação entre o resultado das medições para a situação antes e após a operação da Estação Venda Nova. As Figuras 2, 3 e 4 apresentam os valores dessas variações segundo os descritores nível sonoro equivalente contínuo, L_{Aeq} , dB(A), nível de loudness, NSt_G em PLdB e loudness, St_G , em sones, respectivamente.

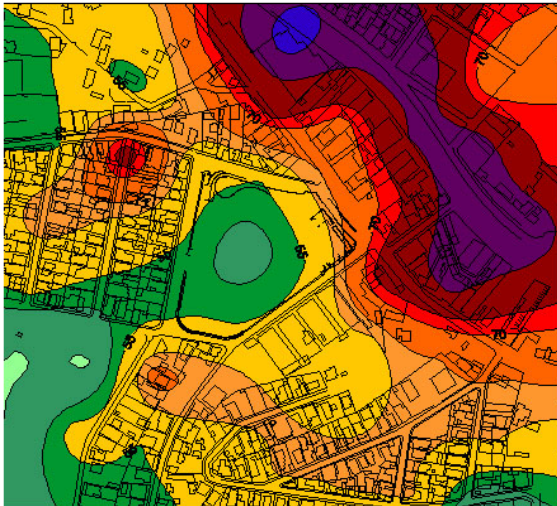


(Fig 2.a)

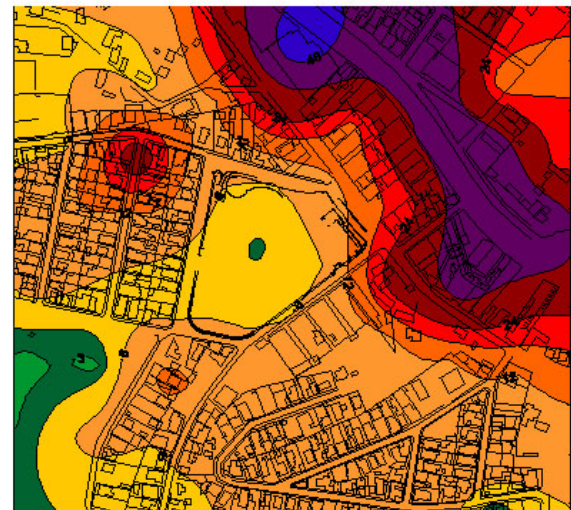


(Fig 2.b)

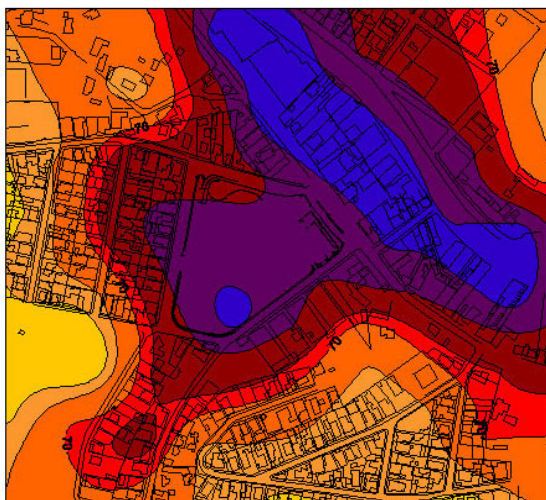
Figura 2 – Mapas acústicos do descritor $L_{A eq 20 seg.}$ em dB(A), representando uma média entre os horários de pico da manhã e da tarde, para a Estação fora de operação (Fig 2.a) e em operação (Fig 2.b).



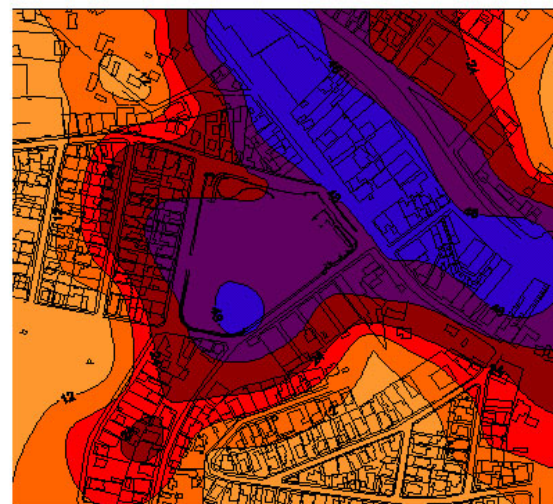
(Fig 3.a)



(Fig 4.a)



(Fig 3.b)



(Fig 4.b)

Figura 3 – Mapas acústicos do descritor NSt, em PLdB, representando uma média entre os horários de pico da manhã e da tarde, para a Estação fora de operação (Fig 3.a) e em operação (Fig 3.b).

Figura 4 – Mapas acústicos do descritor St, em sones, representando uma média entre os horários de pico da manhã e da tarde, para a Estação fora de operação (Fig 4.a) e em operação (Fig 4.b).

A comparação dos mapas acústicos permite-nos perceber que as escalas L_{Aeq} global, NSt e St apresentam entre si uma semelhança muito nítida com relação à conformação das isocurvas sonoras. Os descritores utilizados neste estudo apresentam-se em padrão de cores baseadas em recomendações da ISO1996-2:1987 onde os menores níveis de ruído são expressos em tons verdes e (ou) amarelos, passando para tons vermelhos e azuis na outra extremidade das escalas, isto é, nos maiores níveis de ruído. Assim, a avaliação do impacto da estação no ambiente acústico no seu entorno imediato, ou seja, na comunidade lindeira às vias periféricas à Estação, mostra-se bastante evidenciado pela transição cromática:

podemos observar a modificação das cores nos mapas das situações antes e após a operação da Estação Venda Nova, para os extremos opostos das escalas cromáticas, em todas as escalas subjetivas de avaliação.

Uma avaliação menos qualitativa pode ser feita a partir da Tabela II, que relaciona numericamente as escalas subjetivas de avaliação.

TABELA II COMPARAÇÕES ENTRE ESCALAS PSICOACÚSTICAS DE AVALIAÇÃO DE RUÍDO URBANO.

COR	L_{Aeq}	SONES	PLdB
verde claro nível 1	20-25	1	32
verde claro nível 2	25-30	1,5	37
verde claro nível 3	30-35	2,25	43
verde	35-40	3	46
verde escuro	40-45	4	50
amarelo	45-50	6	55
ocre	50-55	9	61
laranja	55-60	12	64
canela	60-65	18	70
carmim	65-70	24	73
Lilas avermelhado	70-75	36	79
azul	75-80	48	83
azul escuro nível 1	80-85	72	88
azul escuro nível 2	> 85	96	92

Fonte: Adaptado da ISO1996-2:1987

Para o descritor L_{Aeq} , temos os níveis sonoros nas proximidades da Estação Venda Nova variando, para as situações antes e após a operação dessa estação, de, respectivamente, [45;55] dB(A) para [70;80] dB(A), o que equivale a uma diferença de aproximadamente 25dB(A). Já na escala em PldB, o NSt varia de [50;55] PldB para [73;79]PldB, equivalendo a uma diferença que reside no intervalo [23;34] PldB. Para o descritor St, temos uma mudança de níveis sonoros de [6,9] sonos para [24;36] sonos, equivalendo à maior faixa de variação da situação antes e após a operação da estação Venda Nova, em torno de [18,27] sonos. Isso pode ser entendido quando evidenciado que a escala em “sones” é aritmética, diferente das outras escalas, que são funções logarítmicas. Assim, no caso do descritor St, é mais conveniente expressar uma relação comparativa entre numa as situações antes e após a operação da Estação: a magnitude dos níveis sonoros percebidos pelos moradores lindeiros à Estação Venda Nova após a sua operação é cerca de 4 vezes a situação inicial.

A partir do estudo de caso da Estação Venda Nova, pode-se verificar o impacto acústico que esse tipo de equipamento comunitário tem no ambiente urbano. Independentemente do descritor avaliado, a utilização dos mapas sonoros mostrou-se bastante eficiente para retratar qualitativamente o impacto acústico da Estação Venda Nova.

Já a verificação da ordem de grandeza do impacto acústico mostrou-se mais dependente do parâmetro de avaliação. Dentro desse contexto, destaca-se a adoção do descritor St_G , expresso em escala aritmética, que facilita a interpretação das pessoas leigas em acústica, que não estão familiarizadas com o uso de escalas logarítmicas em seus respectivos processos naturais de raciocínio. Esse é o caso da comunidade sujeita a imissão acústica, bem como das autoridades do poder público e privado. Nesse caso, sugere-se apresentação dos resultados em termos de nível de loudness, em [PLdB], além da escala dB(A) para a equipe técnica em acústica, e de loudness, em [sones], para as que estão envolvidas no processo de decisão para melhoria das condições do ambiente sonoro urbano.

Através do estudo de caso da Estação Venda Nova, evidencia-se o impacto ambiental acústico causado pela inserção do equipamento comunitário representado pelas estações de transporte coletivo intraurbano é considerável, sendo que esse problema de controle de ruído deve ser abordado em fases iniciais de planejamento da inserção e projeto desses equipamentos, de forma a facilitar a elaboração, seleção e implementação de alternativas de controle de ruído, promovendo uma adequação ambiental do projeto dentro de uma melhor relação custo benefício para a administração pública e a comunidade. (Valadares, 2001)

V CONCLUSÕES

A escala ponderada na curva A, dB(A), que tem sido largamente utilizada em problemas de avaliação de poluição sonora é uma aproximação possível mas limitada para avaliação da percepção sonora que por questões de ordem prática tem sido difundida sua aplicação. O estágio de conhecimento atual em psicoacústica permite o uso de escalas mais precisas para avaliações dessa natureza, que com os atuais recursos tecnológicos mais acessíveis à comunidade em geral, deve ser aplicada de forma mais usual para tornar as avaliações mais consistentes. Assim, este trabalho demonstra a plausibilidade da utilização do método Mark VII para uma determinação mais consistente dos níveis sonoros percebidos e conseqüentes impactos acústicos, podendo ser aplicado na prática para cálculos de níveis de loudness.

Finalizando, deve-se sugerir uma revisão das legislações nacionais referentes avaliação da poluição sonora, indicando a necessidade da utilização de descritores de avaliação subjetiva do ruído como o loudness global, em sonos, o nível de loudness global, em PLdB, além do nível equivalente contínuo ponderado na curva A, assim como a inserção, nos textos dessas legislações, de tabela com limites

admissíveis de valores dessas escalas psicoacústicas de avaliação de ruído urbano complementares apresentadas nesse trabalho.

VI AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a colaboração de Rafael Silva Brandão e Marco Aurélio Rodrigues de Paula para a realização deste trabalho.

VII REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Prefeitura de Belo Horizonte, (Secretaria Municipal do Meio Ambiente). (1993) Lei Ambiental do Município. Belo Horizonte , SEMMA.
- [2] B. Berglung, T. Lindvall, Community Noise (Document prepared for the World Health Organization) Stockholm University and Karolinska Institute, 1995.
- [3] International Standardization Organization. “Description and measurement of environmental noise.” Part 1, 2 e 3, ISO 1996:1 1982. 1982/87.
- [4] D. D. Reynolds, Engineering principles of acoustics: noise and vibration control.1.ed. Boston: Allyn & Bacon Inc., 641p, 1981.
- [5] T.D. Rossing, “The Science of Sound.” 2nd ed. Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, 686 p, 1990.
- [6] S. S. Stevens,. “ Perceived Level of noise by Mark VII and Decibels (E),” *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 51, No. 2 part 2, pp. 575-601, fevereiro de 1972
- [7] V. M. Valadares; M. A. M. Vecci, “Análise de Impacto Ambiental Acústico de Estações de Transporte Coletivo Urbano: Estudo de caso da Estação Venda Nova –BH.” In: *Encontro Nacional e Encontro Latino americano de Conforto no Ambiente Construído*, VI e III, 2001, São Pedro. Anais do VI Encontro Nacional e III Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. São Pedro: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ANTAC, 2001.