



XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

ABSORÇÃO SONORA DE PAINÉIS MODULARES PARA MUROS VIVOS¹

THOMAZELLI, Rodolfo (1); CAETANO, Fernando (2); BERTOLI, Stelamaris (3)

(1) UNICAMP, e-mail: rodolfo.thomazelli@gmail.com; (2) UNIPAR, e-mail: durso.arq@gmail.com; (3) UNICAMP, e-mail: rolla@fec.unicamp.br

RESUMO

O conhecimento do coeficiente de absorção sonora de muros vivos possibilita que a simulação acústica de ambientes urbanos onde tais elementos foram empregados forneça resultados mais realísticos, já que a propagação sonora depende da absorção sonora das fachadas presentes. Esse trabalho apresenta resultados experimentais de testes de absorção sonora em um sistema modular de painéis vegetais. Cada módulo utilizado foi composto por uma placa base feita de compensado plastificado, de 60 cm², equipada com 9 bolsas de manta geotêxtil, nas quais foi inserido um substrato altamente poroso e cultivada uma espécie de planta com alta densidade foliar. Os testes foram realizados em câmara reverberante, onde foram medidos os coeficientes de absorção sonora em função de frequência. Os resultados demonstraram uma elevação significativa nos valores do coeficiente de absorção sonora em todas as frequências analisadas ao se inserirem, em etapas, o substrato e a vegetação nas placas base.

Palavras-chave: Absorção sonora. Coeficiente de absorção sonora. Muros vivos.

ABSTRACT

The characterization of the acoustic performance of green walls may provide better results for the acoustic simulation of urban environments where such elements are employed. This paper presents experimental results of the sound absorption tests for a modular system of vegetable panels. Each module was composed of a baseplate made of laminated plywood, equipped with 9 geotextile bags in which was inserted a highly porous substrate, and grown a species of plant with high leaf density. Absorption tests were conducted in a reverberation room, where sound absorption coefficient over frequency was measured. Results showed a significant increase of sound absorption coefficients at the whole spectrum when substrate and vegetation were inserted on the baseplates in each situation.

Keywords: Sound absorption. Sound absorption coefficient. Green walls.

1 INTRODUÇÃO

A problemática da qualidade ambiental no meio urbano é um tema recorrente na literatura científica a partir da década de 70. Desde o século XVIII, a capacidade do ser humano modificar o seu habitat cresceu em proporções que ultrapassaram o equilíbrio de vários ciclos naturais; aliado a isto, o grande contingente de pessoas que passaram a viver em áreas

¹ SOBRENOME01, Nome; SOBRENOME02, Nome; SOBRENOME03, Nome. Instruções para a preparação do artigo completo para o ENTAC 2016. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

urbanas coloca em foco a discussão do paradigma ambiental da cidade contemporânea (RIBEIRO; BARROS, 1997; HARVEY, 2004; HALL, 2009).

Diversos estudos vêm apontando que as condições ambientais existentes no meio urbano tornam-se cada vez mais prejudiciais ao bem estar humano, produzindo quadros de estresse na população e causando diversas doenças fisiológicas (ULRICH, 1986; HERZOG; STREVEY, 2008). Sabe-se que, em grande parte, estas alterações se devem ao modo de uso e ocupação do solo, caracterizado pela presença de revestimentos rígidos e impermeáveis (AKBARI; POMERANTZ; TAHA, 2001). O asfalto, o concreto e as pedras absorvem grandes quantidades da radiação solar incidente e impedem a retenção da água pluvial no solo, produzindo efeitos como as ilhas de calor e as inundações urbanas (NOWAK, 2006); já materiais como os vidros e os metais refletem grande quantidade de luz, aumentando o risco de ofuscamento, e dificultam a absorção do ruído urbano (DUNNET; KINGSBURY, 2008).

Especificamente sobre o ambiente acústico, muitas pesquisas indicam que os níveis de ruído aos quais as pessoas estão submetidas diariamente nos centros urbanos ultrapassam limites saudáveis, produzindo assim diversos transtornos psicofisiológicos, como o aumento da pressão sanguínea, distúrbios no sono, e baixo rendimento no trabalho (PAZ; FERREIRA; ZANNIN, 2005). Segundo a World Health Organization (2011), o ruído urbano é uma das maiores fontes de poluição ambiental nos centros urbanos, afetando diretamente a população, mas com o perigo de ser esquecido por não oferecer risco imediato à vida.

Já nos anos de 1960, Rosen e Olin (1965) destacavam que a presbiacusia, um mal comum na sociedade da época, pode ser considerado um fenômeno ligado ao ruído urbano, tendo em vista que os idosos de muitas comunidades indígenas relativamente silenciosas não apresentam perda auditiva considerável com a idade. Níveis equivalentes de ruído (Leq) acima de 65 dB(A), comumente encontrados no meio urbano, já são considerados desgastantes para o organismo, aumentando o risco de doenças cardiovasculares (HOFFMANN *et al*, 2006; WHO, 2011).

Considerando o impacto que o ruído ocasiona sobre a saúde da população, a necessidade de modificações sobre o perfil acústico do ambiente urbano é premente. Como já citado, um dos pontos centrais nesta discussão é a adequação das propriedades da superfície do solo. Neste sentido, a recuperação da cobertura vegetal urbana tem sido utilizada como uma alternativa tecnológica com um impacto considerável na qualidade ambiental. Diversos estudos têm demonstrado que as características morfofisiológicas da vegetação melhoram a qualidade do ar, mitigam o efeito das ilhas de calor, e também atuam na amenização do estresse urbano (NOWAK, 2006). Em relação ao ruído urbano, análises experimentais indicam que a vegetação atenua o ruído através da reflexão e espalhamento na folhagem e ramos; além disso, parte do ruído é absorvido pela camada termoviscosa de ar que circunda as folhas, e pela

conversão da energia sonora em vibração mecânica, dissipada então como calor (VAN RENTERGHEM *et al.*, 2012).

Apesar disso, Cook e Van Haverbeke (1977) já haviam colocado que a vegetação sozinha tem um potencial limitado de atenuação do ruído, em geral variando de 5 a 10 dB, de acordo com o tipo de vegetação e o posicionamento da fonte sonora. A atuação da vegetação se dá mais em as altas frequências, mas se considerarmos o efeito conjunto do solo macio com raízes e folhas mortas, tanto o nível de atenuação quanto as faixas de frequência atenuadas aumentam.

De qualquer forma, o potencial de amenização ambiental que a recuperação da cobertura vegetal oferece frequentemente esbarra na demanda pelo uso do solo urbano para outros fins. É exatamente devido a esta limitação que os revestimentos vegetais tem se destacado como uma alternativa viável no processo de inserção da vegetação nas cidades. O uso das fachadas e coberturas dos edifícios para este fim permite que espaços frequentemente ociosos recebam os revestimentos vegetais, evitando disputas pelo uso do solo. (KÖHLER, 2008; DUNNETT; KINGSBURY, 2008). O revestimento vegetal é especialmente válido para o caso das fachadas, que são abundantes nos grandes centros urbanos verticalizados, possibilitando o contato da vegetação com a superfície dos edifícios (PERINI; MAGLIOCCO, 2012).

O papel das peles vegetais de configuração vertical – ou paredes verdes – sobre o comportamento térmico dos edifícios tem sido bem explorado ao redor do mundo, e também no Brasil. No entanto, a análise do comportamento acústico do sistema ainda é muito pobre e inconsistente devido à existência de poucos estudos e à falta de padronização da metodologia utilizada (AZKORRA *et al.*, 2015).

Embora a vegetação sozinha não possua uma grande capacidade de atenuação acústica, o grande interesse das fachadas verdes reside na atuação conjunta das diferentes camadas que compõe seus painéis, o que aumenta o potencial de absorção do ruído urbano e do isolamento sonoro dos ambientes internos.

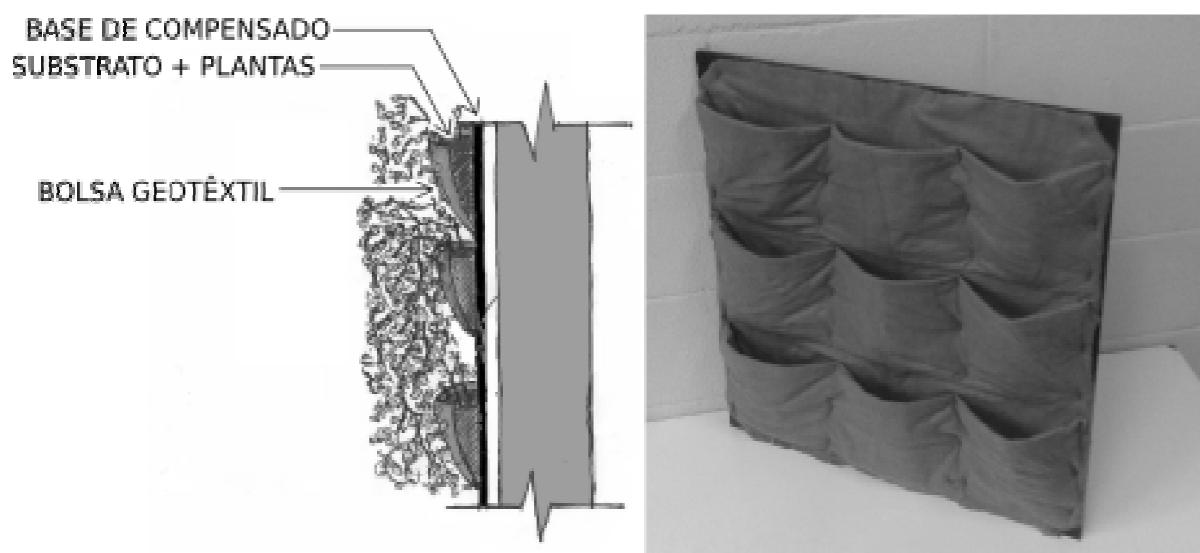
Azkorra *et al* (2015) destacam que o conhecimento prévio das propriedades acústicas dos diferentes materiais e revestimentos fornece uma vantagem no desenvolvimento do projetos das edificações. Da mesma forma, a obtenção destas propriedades no ambiente controlado do laboratório evita erros provenientes da influência de fatores externos. Nesse contexto, este artigo tem como finalidade apresentar os resultados de uma análise controlada das propriedades de absorção acústica de um sistema modular de muro vivo, desenvolvido previamente em uma pesquisa acadêmica, e discutir o seu potencial de aplicação para o controle do ruído. Essa análise e discussão fornece subsídios para futuras simulações sobre o impacto acústico que o uso de muros vivos traz para o ambiente urbano e para o interior das edificações.

2 METODOLOGIA

2.1 Seleção e montagem do sistema de muro vivo

O desenvolvimento deste trabalho se embasou na análise de um sistema de muro vivo proveniente da pesquisa de Caetano (2014). O sistema desenvolvido consistia de painéis vegetais modulares, compostos por placas bases de compensado plastificado, sobre as quais foram então grampeados recortes de manta geotêxtil formando bolsas. Dentro das bolsas eram dispostos o meio de crescimento e as plantas (Figura 1).

Figura 1 – Corte transversal esquemático e foto do sistema



Fonte: Os autores

Como um todo, o sistema foi pensado para trazer um baixo carregamento da alvenaria e funcionar de modo autossustentado num esquema de irrigação semi-hidropônica. Foi utilizado um meio de crescimento leve elaborado a partir de porções granulares e fibrosas do mesocarpo do coco (fibra de coco), associado ao mineral perlita. Desta forma foi possível obter um substrato com boa aeração (porosidade total de 87 %), baixa densidade aparente de 71 kg/m^3 e capacidade de retenção de líquidos de 400 ml por litro de substrato.

A seleção das plantas do sistema, originalmente levou em consideração critérios de resistência ambiental, volume e tipo de folhagem, e necessidade de manutenção. Para a análise do comportamento acústico dos painéis foi utilizada a espécie *Callisia repens* (dinheiro em penca), que foi escolhida devido ao grande volume de sua folhagem, grande número de folhas, e à maior massa que suas folhas suculentas possuem. Esta característica da planta poderia oferecer um diferencial na absorção/atenuação acústica do ruído, por aumentar a porosidade da superfície dos painéis, aprisionado e dispersando o som entre a folhagem (HOROSHENKOV; KHAN; BENKREIRA, 2013).

2.2 Medições acústicas

Para determinação dos coeficientes de absorção sonora em função de frequência do sistema de painéis, foram executados ensaios em câmara reverberante. O procedimento experimental foi baseado na norma ISO 354 (2003), que prevê o cálculo do coeficiente de absorção a partir da medição dos tempos de reverberação da câmara com e sem amostra. Para a medição foram utilizados 20 painéis, dispostos ao centro da câmara, cobrindo uma área total de 7,2 m².

Para a medida do tempo de reverberação foram escolhidos quatro pontos de microfone e duas posições de fontes. Para cada uma das oito combinações de microfone e fonte foram efetuadas três medições, sendo que o resultado considerado foi a média de todas as situações. Os tempos de reverberação foram medidos em bandas de frequência de 1/3 oitava entre 100 e 5000 Hz. Foi utilizado para a medição o sistema *Building Acoustics* da Brüel&Kjaer, composto por uma fonte omnidirecional, um amplificador de sinais e um analisador de frequência em tempo real (*Investigator 2260*).

O sistema modular foi analisado em três configurações diferentes, a fim de melhor caracterizar a contribuição de cada parte da montagem que o compunha na sua eficiência acústica. As configurações escolhidas foram: (I) placa base + bolsas geotêxteis, (II) placa base + bolsas geotêxteis + substrato, e (III) placa base + bolsas geotêxteis + substrato + vegetação. A Figura 2 mostra os painéis da terceira configuração (painéis completos) alocados na câmara reverberante.

Figura 2 – Montagem da configuração III na câmara de reverberação



Fonte: Os autores

Nas três configurações descritas, o conjunto de painéis foi apoiado diretamente ao chão da câmara. Além disso, para simular uma situação mais próxima da forma real da aplicação dos painéis sobre as paredes, optou-se também por realizar os ensaios da configuração II com os painéis apoiados sobre ripas de madeira e comparar os resultados (Figura 3).

Figura 3 – Variação da configuração II, com o uso de apoios de madeira



Fonte: Os autores

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

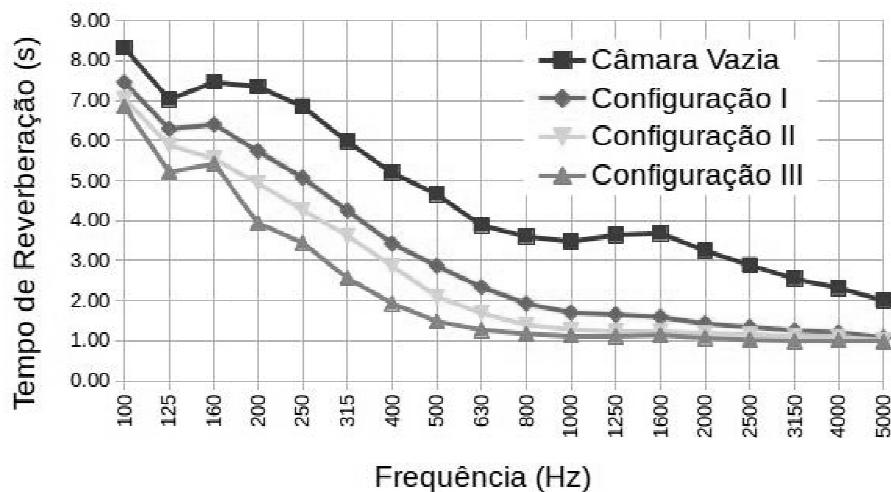
As curvas apresentadas no gráfico da Figura 4 mostram um comparativo entre os tempos de reverberação (TR) em função de frequência obtidos com a câmara vazia e com a câmara preenchida com os painéis arranjados nas três configurações. Nota-se que houve uma redução do tempo de reverberação para os três casos, sucessivamente, em toda a faixa de frequência analisada. Nota-se também que, a partir de 2 kHz, a contribuição do substrato para a redução do TR diminui consideravelmente. O mesmo comportamento ocorre para a contribuição da configuração com planta, nesse caso a partir de 1 kHz.

Pode-se afirmar que o principal agente para redução do TR ao longo da faixa de frequência analisada são as bolsas geotêxteis, considerando que a superfície plastificada do compensado não se comporta como um bom material absorvedor. O comportamento obtido para frequências abaixo de 200 Hz não pode ser analisado com precisão, pois em tal região as características modais da câmara podem ter prejudicado os resultados.

Na Figura 5, as curvas do gráfico representam os coeficientes de absorção sonora em função de frequência, obtidos para as três configurações de

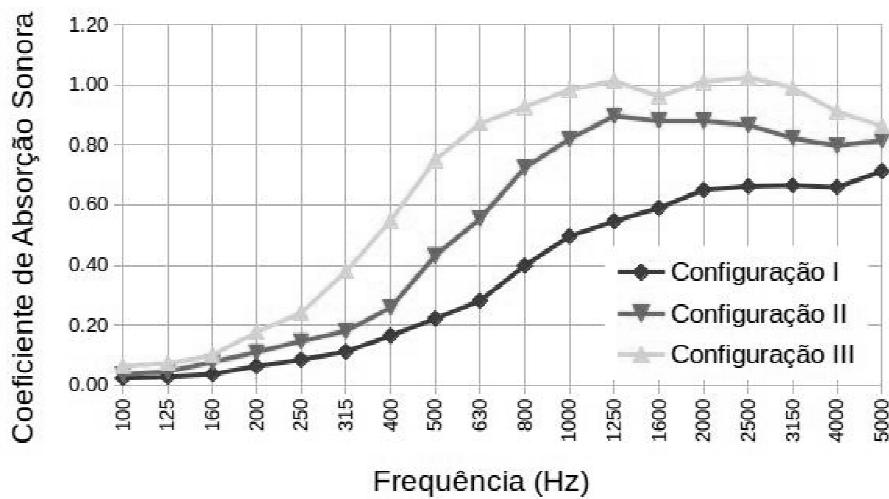
painéis analisadas. Nota-se que, como era esperado pela análise do gráfico da Figura 4, há um aumento do coeficiente de absorção em todas as frequências ao se inserir, respectivamente, o substrato e as plantas nas bolsas das placas base.

Figura 4 – Tempo de reverberação em função de frequência das diferentes configurações do sistema



Fonte: Os autores

Figura 5 – Coeficiente de absorção sonora em função de frequência das diferentes configurações

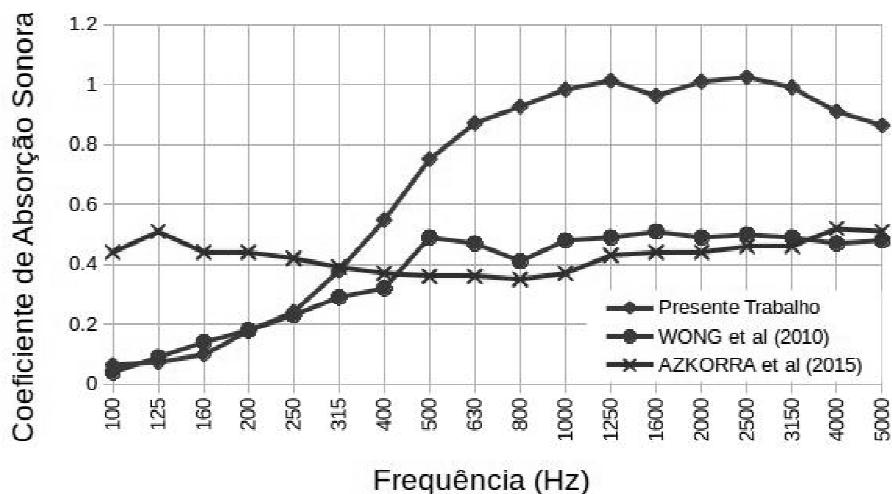


Fonte: Os autores

Para a Configuração III (paineis completos), os coeficientes de absorção sonora obtidos demonstram que os painéis têm grande potencial para aplicação acústica, chegando a apresentar desempenho semelhante a materiais desenvolvidos especificamente para o condicionamento acústico de ambientes, principalmente acima de 500 Hz.

A figura 6 mostra um comparativo entre os resultados obtidos neste trabalho e os resultados obtidos em outros dois trabalhos semelhantes, cujos ensaios foram também realizados em câmara reverberante de acordo com a norma ISO 354 (2003).

Figura 6 – Comparativo entre os coeficientes de absorção sonora em função de frequência de sistemas de muro vivo obtidos em três diferentes trabalhos



Fonte: Os autores

No trabalho de Wong *et al* (2010), os painéis eram compostos por uma estrutura de madeira na qual eram inseridos vasos com as vegetações. Segundo os autores, o substrato foi o responsável pela eficácia dos painéis na absorção sonora de baixas freqüências. Os autores ainda comentam que a presença da vegetação atua acusticamente nas altas freqüências, porém como mecanismo de espalhamento, o que não surte efeito significativo na redução do tempo de reverberação. Por fim, os autores concluem que a área coberta pela vegetação influí na absorção sonora para freqüências entre 250 e 1 kHz. Esta conclusão foi baseada comparando resultados obtidos com painéis com 43 %, 71 % e 100 % de cobertura vegetal. No gráfico foi mostrada a curva do coeficiente de absorção sonora para painéis 100% cobertos por vegetação. No trabalho de Azkorra *et al* (2015), os painéis eram compostos por módulos de plástico, nos quais o substrato e a planta eram cultivados. Os autores, ao comparar os resultados de diferentes trabalhos, concluem que painéis vegetais têm potencial como absorvedores sonoros, e que a variação entre as performances acústicas são consequências das diversas possibilidades de configurações dos painéis e dos materiais que os compõe.

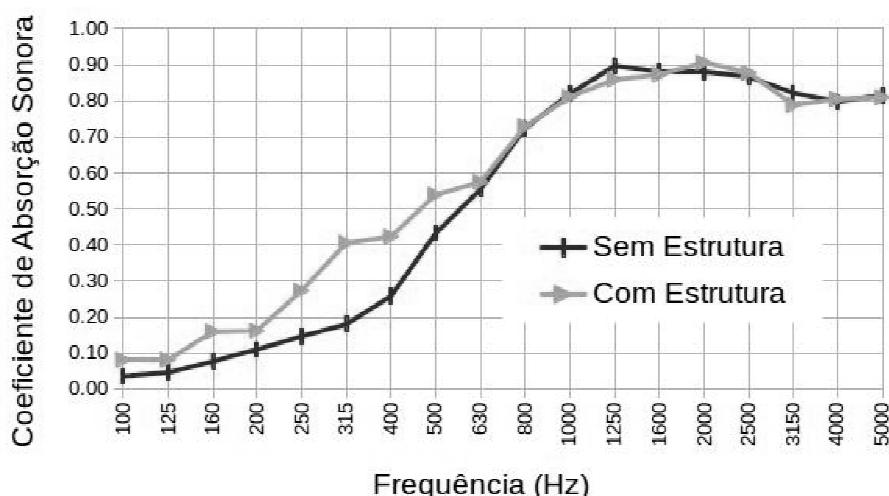
Duas situações despontam na comparação entre as curvas da Figura 6. A primeira é a diferença entre os coeficientes obtidos neste trabalho e nos outros dois, para freqüências acima de 400 Hz. Há muitas variações entre as configurações, porém o uso das bolsas geotêxteis parece ser o principal fator responsável pela diferença: além do material apresentar por si só boa absorção sonora na faixa em questão (como pode ser constatado pela

análise do gráfico da Figura 5), ele não representa um barreira relativamente rígida para o substrato, tal qual o plástico e o vaso, como destacam Azkorra *et al* (2015).

A segunda situação refere-se ao melhor desempenho dos painéis utilizados no trabalho de Azkorra *et al* (2015) para frequências abaixo de 315 Hz. Os painéis utilizados em tal trabalho foram instalados sobre estruturas de madeira que, em relação à superfície de instalação (piso da câmara), criavam uma caixa de ar de 120 mm de profundidade. Essa configuração permite que as placas funcionem como painéis vibrantes cujo desempenho de absorção é eficiente em baixas frequências. Para os outros dois trabalhos os ensaios foram realizados com os painéis posicionados diretamente sobre as superfícies da câmara (piso para o presente trabalho e parede para o trabalho de Wong *et al* (2010)).

A comparação dos ensaios de absorção realizados com a Configuração II das placas aplicadas diretamente sobre o piso e sobre uma estrutura de madeira é representada no gráfico da Figura 7 e confirmam a hipótese de que tal disposição dos painéis influencia consideravelmente a absorção em baixas frequências. A análise do gráfico da Figura 7, mostra que o comportamento de absorção acústico da disposição da configuração II (placa base + bolsas geotêxteis + substrato) com os painéis apoiados diretamente sobre o chão da câmara tem coeficientes de absorção menores que os valores obtidos com os painéis apoiados sobre vigas de madeira (neste caso, criando uma caixa de ar de aproximadamente 20 mm) para frequência inferiores a 630 Hz. Assim, nota-se que a suspensão dos painéis proporcionou um aumento no coeficiente de absorção sonora na faixa entre 200 e 630 Hz (lembrando que frequências inferiores a 200 Hz não estão sob análise).

Figura 7– Comparativo entre o coeficiente de absorção sonora da configuração II apoiada sobre o chão e sobre os suportes de madeira



Fonte: Os autores

4 CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo analisar o comportamento acústico de um sistema de painéis vegetais modulares. O sistema de placas modulares proposto apresentou potencial de absorção sonora. Os valores de coeficientes de absorção obtidos experimentalmente mostraram diferenças significativas de desempenho entre as configurações estudadas. Os resultados são promissores, pois o desempenho de absorção da placa concorre com materiais de absorção comerciais desenvolvidos especificamente para o condicionamento acústico. Os resultados mostraram que cada elemento do painel (bolsas geotêxteis, substrato e vegetação) contribui para o aumento da absorção sonora. Constatou-se ainda que o distanciamento dos painéis da superfície de aplicação pode aumentar a absorção em baixas frequências. Comparações com outros trabalhos permitiram concluir que a característica do espectro de absorção sonora depende significativamente da tipologia dos painéis, mesmo que o comportamento geral das plantas e dos substratos se assemelhe.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fapesp e a Capes pelo suporte financeiro concedido com bolsa, e aos técnicos do laboratório.

REFERÊNCIAS

- AKBARI, H.; POMERANTZ, M.; TAHA, H. Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. **Solar energy**, v. 70, n. 3, 2001. p. 295–310.
- AZKORRA *et al.* Evaluation of green walls as a passive acoustic insulation system for buildings. **Applied Acoustics**, 89, 2015. p. 46-56.
- CAETANO, F. D. N. Influência de muros vivos sobre o desempenho térmico de edifícios. 2014. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP.
- COOK D, VAN HAVERBEKE D. F. Suburban noise control with plant materials and solid barriers. In: Proceedings of the conference on metropolitan physical environment. Use of vegetation, space and structures to improve amenities for people. **USDA forest service general technical report NE-25**; 1977.
- DUNNETT, N.; KINGSBURY, N. **Planting green roofs and living walls**. Portland: Timber Press, 2008.
- HALL, P. **Cidades do Amanhã**. (P. D. CARVALHO, Trad.) São Paulo: Perspectiva, 2009.
- HARVEY, D. **Condição Pós-Moderna: Uma Pesquisa sobre as Origens da Mudança Cultural**. São Paulo: Loyola, 2004.

HERZOG, T. R.; STREVEY, S. J. Contact With Nature, Sense of Humor, and Psychological Well-Being. **Environment and Behavior**, v. 40, n. 6, 2008. p. 747-776.

HOFFMANN, B. et al. Residence close to high traffic and prevalence of coronary heart disease. **European Heart Journal**, v. 27, n. 22, 2006. p. 2696–2702.

HOROSHENKOV, K. et al. Acoustic Properties of Low Growing Plants. **Journal of Acoustical Society of America**, v. 133, n. 5, 2013. p. 2554–2565.

ISO INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 354 Acoustics -- Measurement of sound absorption in a reverberant room**. Geneva, 2003.

KÖHLER, M. Green facades – a view back and some visions. **Urban Ecosystems**, v. 11, n. 4, 2008. p. 423-436.

NOWAK, D. J. Institutionalizing urban forestry as a biotechnology to improve environmental quality. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 5, 2006, p. 93-100.

PAZ, E. C. DA; FERREIRA, A. M. C.; ZANNIN, P. H. T. Estudo comparativo da percepção do ruído urbano. **Revista de Saúde Pública**, v. 39, n. 3, 2005. p. 467–472.

PERINI, K.; MAGLIOCCO, A. The Integration of Vegetation in Architecture, Vertical and Horizontal Greened Surfaces. **International Journal of Biology**, v. 4, n. 2, 2012. p. 79.

RIBEIRO, G. L.; BARROS, F. L. A Corrida por Paisagens Autênticas: Turismo, Meio Ambiente e Subjetividade no Mundo Contemporâneo. In: C. M. SERRANO, & H. T. (orgs.), **Viagens à Natureza: Turismo, Cultura e Ambiente**. Campinas: Papirus, 1997. p. 27-42.

ROSEN, S.; OLIN, P. Hearing Loss and Coronary Heart Disease. **Archives of Otolaryngology**, 1965. p. 82-236.

ULRICH, R. S. Human responses to vegetation and landscapes. **Landscape and urban planning**, v. 13, 1986. p. 29–44.

VAN RENTERGHEM, T. et al. Road traffic noise shielding by vegetation belts of limited depth. **Journal of Sound and Vibration**, v. 331, 2012. p. 2404-2425.

WHO WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Burden of disease from environmental noise: quantification of healthy life years lost in Europe**. Copenhagen, Regional Office for Europe, 2011.

WONG et al. Acoustics evaluation of vertical greenery systems for building walls. **Building and Environment**, 45, 2010. p. 411-420.