



FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -
TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

FACHADAS VERDES E A ACÚSTICA URBANA: UM ESTUDO DE CASO

PACS: 43.55

ROCHA, Rafaella Estevão da.¹; THOMAZELLI, Rodolfo²; BERTOLLI, Stelamaris R³.

UNICAMP

R. Saturnino de Brito, 224 - Cidade Universitária, Sala 19

CEP: 13083-889

Campinas – SP

Brasil

¹ rafaellaestevaorocha@gmail.com

² rodolfo.thomazelli@gmail.com

³ rolla@fec.unicamp.br

Palavras-chave: fachada-verde; espaço urbano; comportamento acústico.

ABSTRACT

Green-façades are a common strategy to allow good thermal environmental comfort in the urban space. The objective of this paper was to investigate if green-façades can also modify the acoustic performance of the urban space. The method consisted of acoustic computer simulations and acoustic measurements of a real space. Acoustic parameters T30, EDT and SPL were analyzed. It was observed that the change in the acoustic performance is bounded to the variety of systems that compose the green-façade. When such systems were made of permeable materials, it was possible to see a decrease in sound energy in the urban space.

1. INTRODUÇÃO

No contexto contemporâneo dos grandes centros urbanos a tentativa de minimizar prejuízos ambientais e a busca pela melhora da qualidade de vida é temática recorrente. Entre as diversas áreas de abordagem do Conforto Ambiental, o Conforto Térmico tem dado especial atenção para estratégias que minimizem os efeitos das ilhas de calor, e.g.: as fachadas verdes constituem-se em uma destas estratégias. Diferentemente das fachadas vegetadas – onde as plantas, comumente trepadeiras, são enraizadas no solo e crescem sobre as fachadas – as fachadas verdes são compostas por sistemas verticais que elevam o meio de crescimento da vegetação, que deixa de ser o solo e é comumente associado a diferentes tipos de substratos. Bastante pesquisada, a eficiência das fachadas verdes em modificar o comportamento térmico do espaço urbano beneficiando seus microclimas por meio da redução de temperatura, entre outros benefícios, já foi demonstrada [1]–[6].

Entretanto, em termos de Conforto Acústico as fachadas verdes são pouco investigadas. Poucas pesquisas investigaram os coeficientes de absorção sonora em diferentes arranjos e sistemas de painéis vegetais [7]–[10]. Outras associaram a aplicação dos painéis vegetais ao desempenho de isolamento sonoro na relação exterior/interior da edificação [10]. Contudo, há uma lacuna em pesquisas que identifiquem como estas fachadas verdes compostas por painéis vegetais atuam na propagação sonora do próprio espaço urbano onde elas estão inseridas. Isto posto, o objetivo

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -
TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

da presente pesquisa é investigar se a presença de fachadas verdes modifica o comportamento acústico de determinado um espaço urbano.

2. MÉTODO

O processo metodológico para atingir este objetivo baseou-se em simulações acústicas virtuais de modelos computacionais de um espaço urbano real: uma praça. Foram realizadas medições *in situ* neste espaço urbano que fundamentaram a construção e calibração de um *modelo base* virtual que reproduz computacionalmente e a realidade acústica deste espaço. A partir do modelo base foram construídos novos modelos virtuais que receberam a aplicação de painéis vegetais modulares nas fachadas das edificações circundantes à praça. A inserção dos painéis nos modelos virtuais seguiu duas configurações de distribuição: a distribuição moderada [DM] com acréscimo de painéis vegetais nos peitoris, pilares e vigas das edificações; e a distribuição alta [DA], que além de incluir os peitoris, pilares e vigas, também incluiu o acréscimo de painéis vegetais nas fachadas cegas, ou empenas das edificações que circundam a praça. A análise foi comparativa dos parâmetros acústicos obtidos com os modelos onde foram aplicados os painéis vegetais e com os parâmetros do modelo base. Foram analisados os parâmetros acústicos tempo de reverberação (T30), tempo inicial de decaimento (EDT) e nível de pressão sonora (SPL). A seguir são apresentadas as especificidades dos painéis vegetais modulares (2.1), do espaço urbano investigado (2.2), das medições acústicas (2.3) e da elaboração dos modelos virtuais e das simulações computacionais (2.4).

2.1 Os painéis vegetais modulares

Os coeficientes de absorção sonora dos painéis vegetais modulares aplicados às fachadas das edificações da praça da presente pesquisa foram obtidos com ensaios acústicos em câmara reverberante de acordo com a ISO 354/2003 [11] em pesquisas anteriores dos autores [9], [10]. A Tabela 1 apresenta os coeficientes de absorção das bandas de frequência em 1/3 de oitava entre 100 e 5000Hz destes painéis vegetais modulares. Os painéis são sistemas compostos por bolsas geotêxteis que acomodam substrato de fibra em coco e vegetação tipo *Callisia repens* (comumente chamada de “dinheiro-em-penca” ou “tostão”) sobre estrutura de compensado [9], [10]. A Figura 1 ilustra estes os painéis vegetais modulares.

f [Hz]	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
α	0,06	0,07	0,10	0,18	0,24	0,38	0,55	0,75	0,87	0,93	0,98	1,01	0,96	1,01	1,02	0,99	0,91	0,86

Tabela 1 - Coeficientes de absorção sonora dos painéis vegetais modulares utilizados na presente pesquisa.

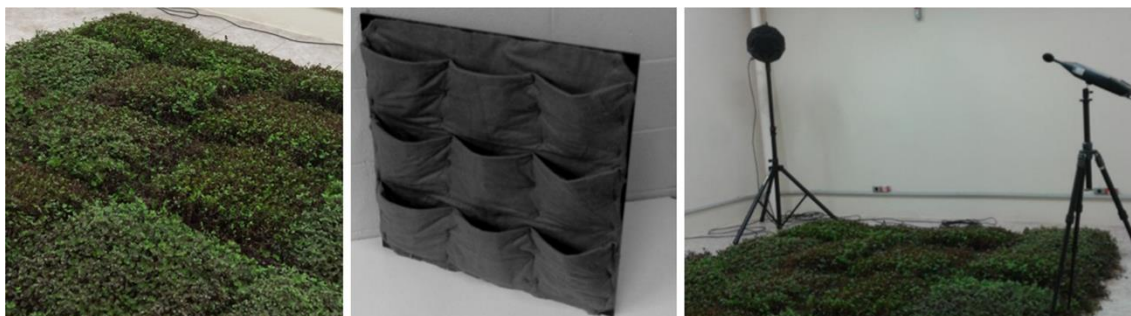


Figura 1 - Sistema de composição dos painéis vegetais modulares utilizados na presente pesquisa.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -
TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

2.2 O espaço urbano investigado

O local selecionado para representar o espaço urbano foi o estacionamento da Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismo (FEC) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), cujas características de implantação se aproximam da configuração de espaços urbanos abertos tradicionais, como uma praça, uma esplanada, ou um jardim urbano. Por essa similaridade, este espaço foi selecionado para ser o estudo de caso desta investigação, sendo mencionado simplesmente como *praça*. Uma das vantagens metodológicas de utilizar a praça da FEC como caso é que ao contrário da maior parte dos espaços urbanos públicos, na praça da FEC é possível obter medições acústicas com o mínimo de interferência do ruído de fundo, uma vez que não há atividades no campus durante os finais de semana, tornando-o um excelente espaço para as medições necessárias a esta pesquisa.

As dimensões da praça são de aproximadamente 40x48m. As alturas de suas edificações variam de 5,75m (edificações mais baixas) à 18m (edificações mais altas). A maior parte da diferença topográfica existente é desprezível. As que não foram desprezíveis, como os taludes existentes, foram consideradas. Os materiais predominantes da praça são grama e piso intertravado. Já as edificações circundantes são compostas por blocos de concreto pintado, janelas de vidro e portas de metal. A implantação destas edificações configura um formato predominante “L” (edificações mais altas) e em “U” (edificações mais altas associadas às mais baixas) possibilitando uma boa quantidade das reflexões necessárias para obtenção dos parâmetros acústicos investigados.

Além da possibilidade de interferência mínima do ruído de fundo, as edificações da praça da FEC possuem fachadas com grande riqueza de elementos arquitetônicos que podem receber os painéis vegetais modulares nas simulações virtuais para análise comparativa dos parâmetros acústicos investigados (**Figura 2**). A escolha da praça FEC enquanto sítio de estudo para representação de espaços urbanos abertos em outras investigações brasileiras de acústica urbana em microescala [12]–[14] também reforça a decisão de sua seleção.



Figura 2 - À esquerda a locação da fonte sonora – S1 em vermelho, e dos pontos receptores – R1-R10 em azul. À direita a praça da FEC e suas edificações circundantes.

2.3 As medições

Uma vez definido o espaço urbano a ser investigado, foram realizadas as medições *in situ*. As medições foram realizadas em um dia ensolarado de outono, apresentando 61,5% de umidade relativa e 28,3°C de temperatura, valores devidamente inseridos nos modelos virtuais. Foi utilizada a técnica de resposta impulsiva (RI) obtida através do *software* Dirac Room Acoustics. O sinal utilizado foi um e-sweep exponencial de 10,9s. Os parâmetros obtidos a partir do Dirac foram o tempo de reverberação (*reverberation time*-RT) e o tempo inicial de decaimento (*early decay time*-EDT) para as frequências em banda de oitava de 125Hz a 4000Hz. Todas as medições ficaram acima dos recomendados 40dB para a relação sinal-ruído (*signal-to-noise ratio*-SNR). O parâmetro nível de pressão sonora (*sound pressure level*-SPL) e o ruído de fundo foram obtidos através de ruído rosa e captados com o sonômetro tipo-2270 da Brüel & Kjær. As

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -
TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

compensações em relação ao ruído de fundo não foram necessárias para frequências investigadas.

A posição da fonte sonora e dos pontos receptores foi determinada para obter melhor proveito de interação entre a propagação sonora e às edificações existentes na praça, e assim permitir uma boa comparação dos resultados acústicos com e sem o uso dos painéis vegetais modulares. Deste modo, foi utilizada uma fonte sonora omnidirecional a 1,6m do piso. A fonte foi posicionada no vértice do conjunto das edificações mais altas em um patamar mais próximo das edificações distanciando-se 2,1m do plano de superfícies dos pontos receptores (Figura 2).

Microfones de medição omnidirecionais foram utilizados em 10 posições de pontos receptores a 1,5m do piso. Os cinco primeiros pontos receptores (R1-R5) foram locados a cada 10m da fonte em uma linha paralela à edificação mais alta da praça. Os cinco pontos restantes (R6-R10) foram locados com os mesmos raios de distância, em relação à fonte, dos primeiros pontos, mas desta vez distribuídos com uma maior distância das edificações, projetando-se para o campo aberto como ilustrado na Figura 2.

2.4 Os modelos virtuais e as simulações

Os modelos virtuais do espaço urbano investigado foram construídos e calculados a partir de método híbrido – que associa o traçado de raios (*ray tracing*) e fonte-imagem (*image source*) – do *software* Odeon v13 *Room Acoustic*.

O primeiro modelo virtual a ser construído foi o *modelo base*. Este modelo reproduz computacionalmente o espaço urbano real e suas características acústicas, sendo a referência comparativa para todos os outros modelos virtuais desta investigação. As medições *in situ* fundamentam sua construção, e foram utilizadas para sua calibração e ajustes. A calibração ocorreu a partir da inserção no *software* dos *audiofiles* das RI obtidas nas medições. Foram então ajustadas as configuração de *setup* que melhor se adequaram aos resultados medidos por meio de algumas posturas metodológicas e ferramentas computacionais: como a investigação dos parâmetros de simulação, a verificação das melhores configurações de *transition order* (TO), a verificação do número adequado de *early* e de *late rays*, a correta determinação dos materiais constituintes do espaço urbano real e do modelo virtual, entre outros. Uma vez calibrado o modelo base com as medições *in situ*, todos os outros modelos virtuais foram dele derivados.

As configurações da fonte sonora e dos pontos receptores foram as mesmas para todos os modelos virtuais, que por sua vez reproduziam as posições das medições *in situ*. Em todos os modelos virtuais as superfícies que representam campo aberto receberam absorção de 100%, alinhando-se com outras investigações de microescala urbana baseadas em *softwares* de acústica geométrica [12]–[17]. Os coeficientes de absorção e de espalhamento dos outros materiais predominantes (grama, blocos intertravados, blocos de concreto pintado, janelas de vidro e portas de metal) foram estabelecidos a partir da livreria de materiais do *software* e alguns deles ajustados (blocos de concreto pintado e grama) pela ferramenta de otimização baseada em algoritmos genéticos [18]. Todos os cálculos foram realizados no modo *precision*. Uma síntese das configurações utilizadas é apresentada na **Tabela 2**.

Item	Configurações
Ordem de transição entre métodos (<i>transition order</i>)	TO = 3
Número de raios tardios (<i>late rays</i>)	200.000 raios
Número de primeiros raios (<i>early rays</i>)	definido automaticamente pelo <i>software</i>
Comprimento da resposta impulsiva	2.000 ms
Resolução da resposta impulsiva	10 ms
Espalhamento da superfície (<i>surface scattering</i>)	0,05 recomendado pelo <i>software</i>

Tabela 2 - Configurações de cálculo das simulações acústicas.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -
TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise comparativa entre o modelo base e os modelos virtuais que receberam a aplicação dos painéis vegetais modulares foi realizada a partir das médias dos pontos receptores investigados em função da frequência em banda de oitava para os parâmetros acústicos T30 e EDT. Para o parâmetro SPL a análise comparativa foi conduzida a partir das médias dos pontos receptores em função da distância à fonte sonora. Os gráficos da **Figura 3** apresentam os resultados obtidos.

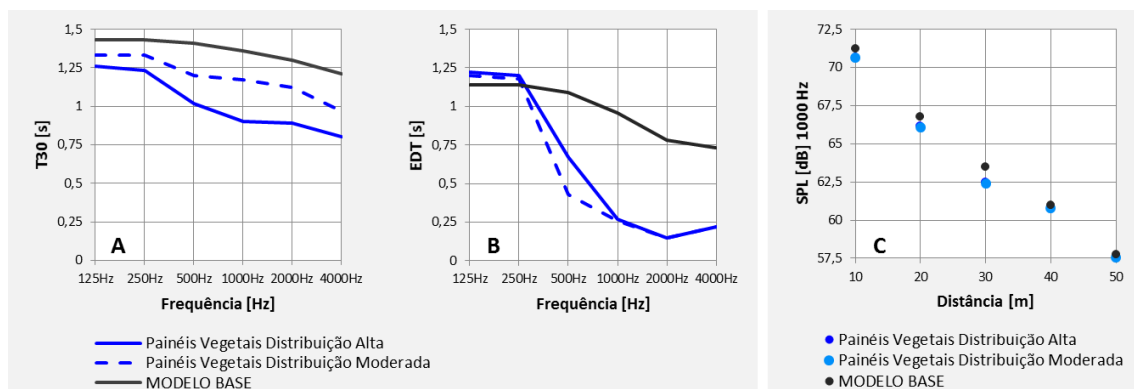


Figura 3 – Resultados da aplicação dos painéis vegetais nas fachadas das edificações. Em A e B, médias dos pontos receptores. Em C, média dos pontos receptores em função da distância em 1000Hz.

Ao analisar o gráfico do **tempo de reverberação (Figura 3 - A)** identifica-se sua redução após a aplicação dos painéis vegetais nas edificações da praça da FEC. Tomando-se a frequência de 500Hz como referência, o T30 atualmente existente na praça é de 1,4s, sendo reduzido para 1,2s com a distribuição moderada dos painéis vegetais nas edificações. Quando se considera a distribuição alta dos painéis vegetais nos edifícios há uma diminuição ainda mais expressiva do T30 para 1s. Esta tendência de redução do T30 deste espaço urbano em microescala com a inserção dos painéis vegetais ocorreu para todas as frequências analisadas.

Os resultados obtidos evidenciam que os painéis vegetais não precisam ser empregados apenas em fachadas cegas, ou empenas sem aberturas para se obter uma redução do T30. Mesmo uma aplicação construtiva dos painéis vegetais modulares com distribuição moderada, sem interferir nas características morfológicas originais das edificações da praça – respeitando as disposições construtivas de varandas, janelas, portas, e respeitando suas as relações de ventilação e iluminação – já são suficientes para modificar o comportamento acústico da propagação sonora neste espaço em microescala urbana.

O **tempo inicial de decaimento (Figura 3 - B)** de maneira geral também apresentou redução após a aplicação dos painéis vegetais nas edificações da praça. Essa redução foi bem mais acentuada do que no T30: a média espacial do EDT atualmente existente na praça é de 1s, passando para 0,5s com a distribuição moderada dos painéis, e para 0,3s com a distribuição alta. Isto ocorre por conta da própria estrutura conceitual do tempo inicial de decaimento de abarcar o decaimento sonoro nos primeiros -10dB. Nesse intervalo, a influência das primeiras reflexões é determinante para o aumento ou diminuição do EDT. Estas reflexões, por sua vez, vão depender do tipo de superfície em que refletem. Na praça investigada ao substituir as superfícies de incidência das primeiras reflexões dos blocos de concreto pintados para os painéis vegetais modulares, aumentou-se a absorção sonora destas superfícies, e assim, diminuiu-se a energia sonora das primeiras reflexões. Por conseguinte, o EDT deste espaço urbano em microescala apresentou redução.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -
TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

Dos parâmetros acústicos analisados o **nível de pressão sonora** foi o único em que não foi identificada grande variação com a inserção dos painéis vegetais modulares na praça, como evidencia o gráfico da Figura 3 - C. Houve redução no SPL com a aplicação dos painéis, mas essa diminuição não foi significativa, fazendo com que SPL apresente apenas um comportamento acústico comum a espaços abertos de redução de nível de pressão sonora vinculado ao aumento da distância entre fonte-receptor. Ainda que em termos objetivos o SPL não tenha apresentado redução expressiva, a diminuição do T30 e do EDT com uso dos painéis vegetais por si só já são indícios de que pode haver redução na percepção de audibilidade relacionada a redução na sensação subjetiva de reverberância na praça da FEC. Neste sentido, novas pesquisas associadas a análise de júri, auralização e percepção podem ser conduzidas para investigar estes indicativos a partir das respostas impulsivas obtidas com as medições e com as simulações dos modelos virtuais.

De modo geral, os resultados encontrados por esta investigação apontam que o uso de painéis vegetais modulares nas fachadas das edificações de espaços urbanos em microescala modificam o comportamento acústico da propagação sonora nestes mesmos espaços. Apesar disso, estes resultados não podem ser extrapolados para quaisquer composições de fachadas verdes. Há uma grande diversidade nos sistemas de montagem, nos tipos de vegetação utilizados, e até mesmo variações no modo de dispor e preencher a vegetação nestes painéis.

No sentido de aprofundar um pouco mais tais diferenças, a aplicação dos painéis vegetais modulares desta pesquisa foram comparados com a aplicação de outros painéis vegetais disponíveis na literatura. Foram utilizados os painéis compostos por vasos e suporte de madeira do trabalho de Wong [7], e os painéis de módulos plásticos e suporte de madeira da pesquisa de Askorra [8]. Estes trabalhos foram utilizados como referência por terem como fundamento o mesmo método para obtenção dos coeficientes de absorção dos painéis vegetais da presente pesquisa: ensaios em câmara reverberante normalizados pela ISO 354/2003 [11]. O gráfico da **Figura 4** apresenta os coeficientes de absorção das bandas de frequência em 1/3 de oitava entre 100 e 5000Hz dos painéis vegetais da presente pesquisa, de Wong e de Askorra [7], [8]. Para uma discussão mais detalhada dos resultados obtidos entre estes diferentes tipos de painéis vegetais e seus respectivos coeficientes de absorção recomenda-se a leitura das pesquisas de Thomazelli [9], [10].

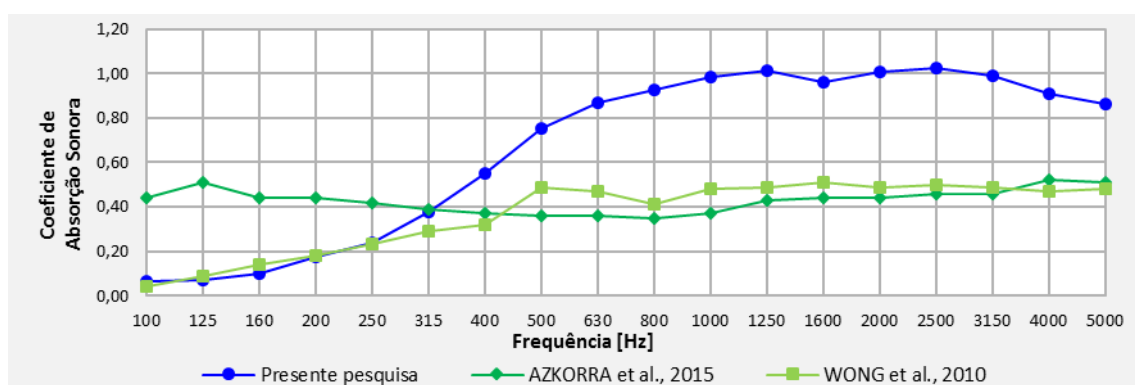


Figura 4 - Coeficientes de absorção dos painéis vegetais utilizados para aplicação comparativa nas fachadas das edificações da praça investigada pela presente pesquisa.

Os gráficos da **Figura 5** – A e B apresentam todos os resultados obtidos com a simulação virtual da aplicação dos 03 diferentes painéis vegetais, em 02 diferentes situações de distribuição dos painéis – distribuição alta [DA] e distribuição moderada [DM] – nas fachadas das edificações da praça da FEC para os parâmetros T30 e EDT. Observa-se pelos resultados do T30 (**Figura 5** - A) que tanto a distribuição moderada quanto a distribuição alta de ambos os painéis vegetais, de Wong e de Askorra, possuem resultados bastante próximos ao da distribuição moderada dos

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -
TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

painéis da presente pesquisa. Já a distribuição alta dos painéis vegetais da presente pesquisa apresentou uma redução bem mais expressiva tanto no T30 quanto no EDT (Figura 5 – A e B) quando comparado aos outros painéis e modos de distribuição investigados. Ainda no EDT, a aplicação dos painéis de Askorra nas fachadas das edificações apresentou resultados nos parâmetros acústicos semelhantes aos do modelo base da praça – sem a aplicação dos painéis vegetais e com superfícies em blocos de concreto pintado - para as bandas de frequências de 500 a 2000Hz. Isto ocorreu devido às variações no modo de dispor e preencher a vegetação entre os diferentes painéis investigados. Em Askorra os painéis são compostos de módulos plásticos, material relativamente mais rígido e menos absorvente, tornando-os menos eficientes na redução da energia das primeiras reflexões no espaço urbano investigado. Em sentido oposto, a vegetação e substrato dispostos em bolsas geotêxteis como nos painéis da presente pesquisa são composições bem mais absorventes, caracterizando-os a partir dos resultados obtidos como os painéis vegetais que apresentaram melhor desempenho na redução da energia sonora em T30 e EDT quando aplicados nas fachadas das edificações do espaço urbano em microescala investigado.

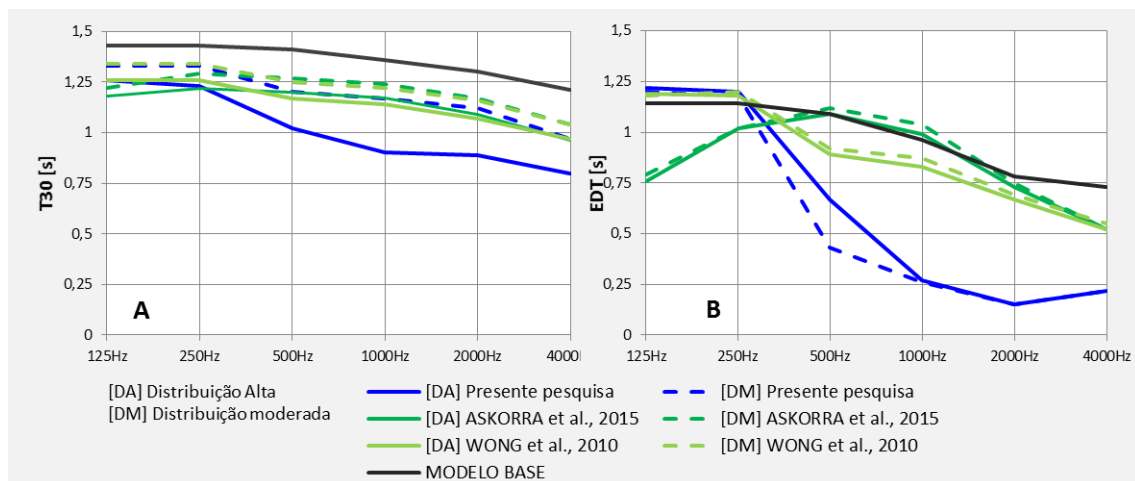


Figura 5 – Resultados comparativos da aplicação dos painéis vegetais nas fachadas das edificações.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Compreendendo que a literatura já demonstrou a eficiência das fachadas verdes em modificar o comportamento térmico do espaço urbano, beneficiando-o com a redução da temperatura que a aplicação de painéis vegetais proporciona, a presente pesquisa se propôs a investigar se esta mudança de também se estendia ao comportamento acústico.

Foi identificado que *há* mudança no comportamento acústico da propagação sonora em espaços urbanos em microescala com a inserção de fachadas verdes nas edificações constituintes deste mesmo espaço. Entretanto, esta modificação acústica está vinculada ao modo de dispor e preencher a vegetação nestes painéis, ao sistema de montagem e a composição do material de armazenamento e suporte desta vegetação. E, portanto, não deve ser generalizada para uma condição em que toda fachada-verde pode gerar conforto acústico. Materiais mais rígidos e menos permeáveis à onda sonora, como os plásticos, demonstraram, em algumas frequências, não influenciar significativamente na redução da energia das primeiras reflexões (EDT), que são fundamentais para a percepção sonora no espaço urbano em microescala.

Já os painéis vegetais compostos por materiais permeáveis, como bolsas as geotêxteis, foram mais expressivos na modificação do comportamento acústico da propagação sonora no espaço

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -
TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

urbano em microescala, reduzindo significativamente tanto o T30 quanto o EDT mesmo com uma distribuição moderada nas fachadas. Isto posto, a presente pesquisa concluiu que fachadas verdes compostas por materiais mais permeáveis à onda sonora podem proporcionar conforto acústico através da redução da energia sonora quando aplicadas em edificações de espaços urbanos em microescala.

REFERÊNCIAS

- [1] L. Pan, S. Wei, e L. M. Chu, "Orientation effect on thermal and energy performance of vertical greenery systems", *Energy Build.*, vol. 175, p. 102–112, set. 2018.
- [2] C. Y. Cheng, K. K. S. Cheung, e L. M. Chu, "Thermal performance of a vegetated cladding system on facade walls", *Build. Environ.*, vol. 45, n° 8, p. 1779–1787, ago. 2010.
- [3] R. U. Galagoda, G. Y. Jayasinghe, R. U. Halwatura, e H. T. Rupasinghe, "The impact of urban green infrastructure as a sustainable approach towards tropical micro-climatic changes and human thermal comfort", *Urban For. Urban Green.*, vol. 34, p. 1–9, ago. 2018.
- [4] E. A. Eumorfopoulou e K. J. Kontoleon, "Experimental approach to the contribution of plant-covered walls to the thermal behaviour of building envelopes", *Build. Environ.*, vol. 44, n° 5, p. 1024–1038, maio 2009.
- [5] E. Alexandri e P. Jones, "Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates", *Build. Environ.*, vol. 43, n° 4, p. 480–493, abr. 2008.
- [6] W. J. Stec, A. H. C. van Paassen, e A. Maziarz, "Modelling the double skin façade with plants", *Energy Build.*, vol. 37, n° 5, p. 419–427, maio 2005.
- [7] N. H. Wong, A. Y. K. Tan, P. Y. Tan, K. Chiang, e N. C. Wong, "Acoustics evaluation of vertical greenery systems for building walls - ScienceDirect", *Build. Environ.*, vol. 45, p. 411–420, 2010.
- [8] Z. Askorra *et al.*, "Evaluation of green walls as a passive acoustic insulation system for buildings", *Appl. Acoust.*, vol. 89, p. 46–56, 2015.
- [9] R. Thomazelli, F. Caetano, e S. R. Bertoli, "Absorção sonora de painéis modulares para muros vivos", in *ENTAC*, São Paulo, 2016.
- [10] R. Thomazelli, F. D. N. Caetano, e S. R. Bertoli, "Acoustic properties of green walls: Absorption and insulation", *POMA*, vol. 28, 2016.
- [11] I. O. F. S. ISO, *ISO 354 Acoustics - Measurement of sound absorption in a reverberant room*. 2003.
- [12] R. E. da Rocha, S. R. Bertoli, e A. V. Maiorino, "Environmental noise performance: the detail of the building shape influence", in *INTERNOISE*, San Francisco, CA, USA, 2015.
- [13] R. E. da Rocha, S. R. Bertoli, e A. V. Maiorino, "Reducing geometry or detailing? Comparison between measured and modeled microscale urban spaces", *POMA*, vol. 28, n° 015011, 2017.
- [14] R. E. da Rocha, A. V. Maiorino, e S. R. Bertoli, "Accuracy of computer simulation software using hybrid models for microscale urban environments", *POMA*, vol. 28, n° 015012, 2017.
- [15] D. Paini, J. Holger Rindel, A. Christian Gade, e G. Turchini, "The acoustics of public squares/places: a comparison between results from a computer simulation program and measurements in situ", in *Internoise*, Praga, República Checa, 2004.
- [16] D. Paini, A. C. Gade, e J. H. Rindel, "Agorá acoustics - Effects of arcades on the acoustics of public squares", in *Forum Acoustics*, Budapeste, Hungria, 2005, p. 1813–1818.
- [17] J. Mori, F. Satoh, S. Yokoyama, e H. Tachibana, "Prediction of outdoor sound propagation by geometrical computer modeling", *Acoust. Sci. Technol.*, vol. 35, n° 1, p. 50–54, 2014.
- [18] C. L. Christensen, G. Koutsouris, e J. Gil, *ODEON room acoustics software version 13: user's manual*. Denmark: ODEON S/A, Scion DTU, 2016.