



Futuro da Tecnologia do Ambiente Construído e os Desafios Globais

Porto Alegre, 4 a 6 de novembro de 2020

SOLUÇÕES DE ATENUAÇÃO SONORA PARA VENTILAÇÃO NATURAL ATRAVÉS DE JANELAS: REVISÃO DE LITERATURA¹

COSTA, Emiliana (1); WESTPHAL, Fernando (2)

(1) Universidade Federal de Santa Catarina, emiliana.costa@hotmail.com

(2) Universidade Federal de Santa Catarina, fernando.sw@ufsc.br

RESUMO

As janelas podem ser elementos de controle de ventilação passiva e também de atenuação sonora. Este artigo tem o objetivo de apresentar um resumo da literatura existente e avaliar o desempenho destes elementos. Esta revisão mostra que tais janelas são essenciais na construção das cidades contemporâneas, pois combatem a exposição prolongada a altos níveis de ruído externo, ao passo que possibilita a ventilação natural. Assim, trata-se de uma estratégia bioclimática que aumenta a eficiência energética das edificações, visto que evita o uso de ventilação mecânica. Conforme esta pesquisa, conclui-se que o uso de elementos como ressonadores ou refratores em janelas pode reduzir o ruído externo significativamente, contudo há uma perda considerável na ventilação natural. Já o uso de defletores e persianas na janela ou a presença de sacadas com absorvedores ou refletores não são elementos eficazes na atenuação do ruído, podendo estes ainda contribuir para poluição sonora na cidade com a reverberação do som. Por fim, as janelas plenum, que são dispositivos com entrada e saída de ar escalonadas, são a alternativa mais vantajosa no momento, em atenuação de ruído e permeabilidade para ventilação.

Palavras-chave: Desempenho acústico, ventilação natural, eficiência energética.

ABSTRACT

The windows can be passive ventilation control elements and also sound attenuation. This article aims to present a summary of the existing literature and evaluate the performance of these elements. This review shows that such windows are essential in the construction of contemporary cities, as they combat prolonged exposure to high levels of external noise, while enabling natural ventilation. Thus, they are bioclimatic methods that enable energy efficiency for construction, since they avoid the use of mechanical ventilation. According to this research, it is concluded that the use of elements such as resonators or refractors in windows can significantly reduce external noise, however there is a considerable loss in natural ventilation. The use of deflectors and blinds on the window or the presence of balconies with absorbers or reflectors are not effective elements in attenuating noise, which may also contribute to noise pollution in the city with the reverberation of sound. Finally, plenum windows, which are devices with staggered air inlet and outlet, are the most advantageous alternative at the moment, in noise attenuation and permeability for ventilation.

Keywords: Acoustic performance, natural ventilation, energy efficiency.

¹ COSTA, Emiliana; WESTPHAL, Fernando. Soluções de atenuação sonora para ventilação natural através de janelas: revisão de literatura. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020, Porto Alegre. **Anais**. Porto Alegre: ANTAC, 2020.

1 INTRODUÇÃO

Fachadas com isolamento sonoro são uma crescente demanda de grandes e médios centros urbanos, porém a maior parte dos elementos de controle de ruído instalados em fachadas não permitem a passagem da ventilação natural. Com o conhecimento de que a ventilação cruzada é essencial para que o conforto térmico aconteça de forma bioclimática dentro da edificação, os dispositivos de fachada contemporâneos devem oferecer bom isolamento acústico e possibilitar um condicionamento aceitável de ventilação natural aos usuários, simultaneamente (LEE, 2020).

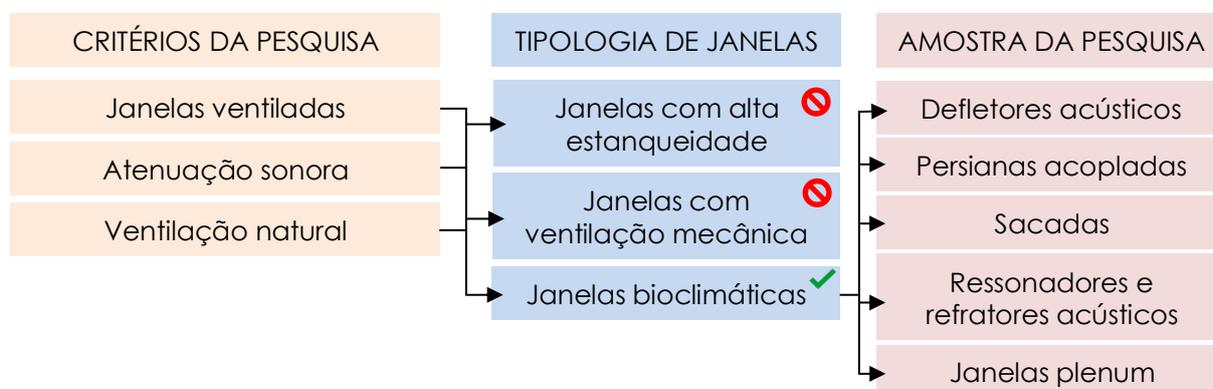
De maneira lógica, o ato de fechar todas as janelas do ambiente é o método mais direto de obstrução da passagem do ruído, e o mercado já apresenta modelos de esquadrias com alto nível de estanqueidade para este uso. Contudo, essa solução é obtida com a anulação da ventilação natural, o que resulta em ambientes climatizados 24 horas por dia, aumentando os custos de funcionamento do edifício, desenvolvendo-se uma construção sem eficiência energética. Portanto, janelas fixas e ambientes enclausurados não são opções realistas na prática contemporânea de cidades do futuro (DU, 2020).

Com base nisso, este artigo tem como objetivo sintetizar informações sobre o desempenho acústico de janelas ventiladas com atenuação sonora, apontando possíveis vantagens e desvantagens de elementos já testados, e avaliar seus respectivos desempenhos acústicos em escala de ruim, regular, bom ou ótimo. Ao fim, o artigo ainda faz um balanço de índices, classificando as tipologias de janelas estudadas quanto ao seu impacto na arquitetura, a viabilidade técnica e ao desempenho no conforto em baixo, regular ou alto.

2 METODOLOGIA

A fim de alcançar o objetivo proposto, foi coletado uma série de pesquisas científicas internacionais e nacionais que pudessem fornecer informações sobre possíveis soluções de atenuação acústica através de janelas. Dentre as pesquisas estudadas, para adequar ao tema atual de eficiência energética, foram excluídas as amostras que se referiam a estanqueidade da esquadria, que formavam ambientes enclausurados e também as que utilizavam algum procedimento mecânico para fornecer ventilação (quadro 1).

Quadro 1 – Método de escolha de amostras



Fonte: Autores

Dentro dos critérios do trabalho, ou seja, janelas ventiladas, atenuação sonora e ventilação natural, encontrou-se a amostra da pesquisa referente somente às

tipologias de janelas bioclimáticas. Nesse grupo, foram estudados autores que utilizavam metodologias similares para aferir o isolamento acústico e a ventilação natural das janelas. Pode-se citar MARTELLO et al (2015) e CHEUNG et al (2019) que fazem experimentos em escala 1:1 manuseando caixas acústicas omnidirecionais e decibelímetros através de MockUp de janelas já disponíveis no mercado. Já TANG (2017a) utiliza o software MatLab para simulações computacionais de esquadrias que ainda não estão no mercado.

Todos os autores nesse trabalho utilizaram os mesmos critérios de pesquisa, partindo do princípio que se poderia atenuar o som externo sem comprometer a ventilação natural da esquadria.

3 TIPOS DE JANELAS E SUAS VARIAÇÕES

Dentro da categoria de janelas bioclimáticas, que atendem aos critérios da pesquisa, encontram-se cinco tipologias de janelas, são elas: defletores acústicos, persianas acopladas, sacadas, ressonadores e refratores acústicos e janelas plenum (figura 1). Todas as tipologias apresentam soluções de atenuação sonora com a passagem de ventilação natural. Estas amostras foram escolhidas por não dependerem de energia ou dispositivos mecânicos para funcionar.

Figura 1 – Tipologias de janelas estudadas



Fonte: 1 Desttak, 2020; 2 MARTELLO et al, 2015; 3 CHEUNG et al, 2019; 4 Atenua Som, 2018; 5 TANG, 2017a (modificado pelos autores)

Por meio de cálculos do índice de redução sonora ponderado (R_w), que mede atenuação sonora (dB), TANG (2017b) classifica elementos com baixo desempenho aqueles com até 9 dB de redução sonora, onde não há muita alteração na percepção do usuário. Acima deste valor o desempenho acústico é considerado mediano. Já CHEUNG et al (2019) afirmam que acima de 25 dB de atenuação as janelas ventiladas são consideradas de alto desempenho. Partindo dessas pesquisas, neste artigo, cada tipologia de janela estudada será classificada em desempenho acústico ruim se o R_w for abaixo de 5 dB, regular se alcançar a faixa de R_w de 5 dB a 10 dB, bom desempenho se o R_w estiver entre 11 dB e 24 dB e ótimo desempenho se o R_w for superior a 25 dB.

Destes dispositivos, três já são usualmente encontrados em fachadas: defletores acústicos, persianas acopladas e sacadas. Os outros dois ainda estão sendo submetidos a testes laboratoriais: ressonadores e refratores acústicos e janelas plenum.

3.1 Defletores acústicos

Os defletores acústicos são painéis instalados em fachadas de edifícios que atuam como barreira contra o som externo, protegendo as janelas. Nessa solução, como é possível abrir a esquadria, a ventilação natural promovida pela abertura não é

prejudicada. Além disso, há a possibilidade de diversos tipos de disposição dos defletores na esquadria. Alguns tipos de defletores acústicos são os brises-soleil e as venezianas (TANG, 2017b).

Um ensaio laboratorial realizado por Badino et al (2019) em venezianas móveis acústicas com protótipos reais teve o objetivo de solucionar problemas relacionados à poluição sonora. Segundo resultados das medições, os pesquisadores constataram que as venezianas a 40° de inclinação apresentavam um desempenho acústico melhor, chegando a atenuar 16 dB do ruído externo. Já as lâminas das venezianas na horizontal e a 25° apresentavam 10 dB e 9 dB de redução sonora, respectivamente.

Em outro experimento laboratorial, Martello et al. (2015) testaram o acoplamento de materiais de absorção sonora, como espuma de poliuretano, juntamente às placas de brises externos. Os resultados apontaram que o brise-soleil conseguiu atenuar o ruído externo em 6 dB a mais do que as outras sem revestimento acústico, que costumam resultar em até 10 dB de isolamento acústico, principalmente em frequências altas.

3.2 Persianas acopladas

As persianas em rolo acopladas à esquadria são usualmente encontradas em fachadas para a proteção da incidência de luz solar. Normalmente compostas de PVC, esses elementos permitem a troca de ar entre o ambiente externo e interno, ao passo que podem proporcionar atenuação acústica do ruído externo.

Logicamente, as persianas têm desempenho acústico melhor quando estão totalmente fechadas, mas contribuem para a atenuação mesmo quando parcialmente abertas. Resultados de experimentos em escala real, utilizando MockUp, apontam que com a janela aberta e persiana parcialmente fechada o isolamento sonoro é de até 15 dB, mas os valores podem variar dependendo do material composto da janela e persiana.

Rohden et al (2019) realizaram ensaios laboratoriais com janelas que apresentavam persianas integradas. Nos resultados descobriu-se que o material de absorção inserido no interior da persiana não contribuiu para o isolamento acústico, contudo ao colocar o material absorvente na vedação da persiana obteve-se um aumento na atenuação de 3 a 4 dB.

3.3 Sacadas

As sacadas acústicas foram desenvolvidas inicialmente em Hong Kong, em um edifício que estava localizado a 35 metros da rodovia movimentada chamada West Kowloon Corridor. Os volumes ressaltantes em forma de Y foram incorporados ao edifício para minimizar o ângulo de visão para rodovia, como método de atenuação do ruído externo que atingia picos de 78 dB no primeiro andar. A solução se mostrou aceitável, resultando num acréscimo de 8 dB no isolamento (CHEUNG et al., 2019).

Experimentos realizados dentro de apartamentos que sofrem com poluição sonora em Hong Kong mostraram que sacadas típicas podem atenuar de 2 a 6 dB de ruído externo, dependendo do ângulo visual da rua (CHEUNG et al., 2019).

Ao longo dos anos, houve diversas pesquisas sobre o melhor desempenho acústico da sacada, e em sua maioria os pesquisadores concordam no uso de materiais de absorção sonora como solução mais viável. Em experimentos laboratoriais,

pesquisadores do HKHA (2017) asseguraram que o teto da varanda é o espaço mais apropriado para acomodar o material absorvente, seguido pelas paredes laterais internas. O isolamento da sacada com materiais de absorção sonora foi 7 dB a mais do que a varanda regular.

3.4 Ressonadores e refratores acústicos

O som é composto por ondas sonoras longitudinais que transitam pelo meio. Estas ondas podem ser alteradas através de transmissores acústicos, que são compostos em geral por placas com muitos orifícios. Estas placas são comumente chamadas de painéis microperfurados, e possuem uma influência na absorção sonora. Tang (2017b) relata que o raio do orifício e a espessura do painel são os fatores chaves para a melhor absorção.

Existe apenas uma condição para que uma janela seja à prova de ruído, em que o ar passa livremente. Ela se baseia no conceito de difração, fazendo com que a onda se difunda no ressonador. Segundo este princípio, todo ponto de uma frente de onda sonora atua como fonte de uma onda secundária que se espalha no tubo, dispersando as partículas. Geralmente, estas janelas são compostas por um orifício de ar no centro de seu corpo cilíndrico para maximizar o efeito de difração. Quando o comprimento de onda sonora que chegar for maior que o tamanho dos furos, as ondas sonoras serão difratadas fortemente nos orifícios.

Experimentos laboratoriais em escala real foram realizados por Fusaro et al (2020) com uma matriz de colunas cilíndricas de vidro acopladas na estrutura de janelas como método de barreira acústica sem bloquear a visibilidade. O modelo de cilindro que possuía dois orifícios para entrada e saída do meio nas duas extremidades, conseguiu atenuar de 20 até 35 dB do ruído externo.

3.5 Janela plenum

Experimentos realizados no conjunto habitacional San Po Kong, com influência do tráfego intenso da rodovia Prince Edward em Hong Kong, confirmam que as janelas plenum podem reduzir o ruído externo em 8 dB, com ambas folhas abertas em disposição desalinhada (HKHA, 2017).

Não somente limitada a este índice de redução sonora, o desempenho das janelas plenum pode melhorar se acompanhadas de material absorvente ou tubos ressonadores. Em simulações computacionais no MatLab, dois tubos ressonadores foram acoplados às janelas plenum, para melhorar sua performance. O resultado mostrou uma redução de até 25 dB do ruído externo (TANG, 2017a).

Em outra simulação computacional, observou-se que havia variação do índice de redução sonora quando se alterava o tipo de vidro utilizado ou material do perfil, contudo o melhor desempenho era quando utilizava persianas absorventes na esquadria, podendo chegar a resultados de atenuação de 8 a 40 dB (CHEUNG et al., 2019).

4 ANÁLISES E DISCUSSÕES

A partir da classificação de desempenho acústico proposta por TANG (2017b) e CHEUNG et al (2019), em função do índice de redução sonora (R_w), as tipologias de janelas ventiladas acústicas identificadas nesta pesquisa foram avaliadas conforme apresentado no Quadro 2. Quanto à ventilação, as janelas foram classificadas em

ruim, regular, bom e ótimo de forma qualitativa se o elemento permitia pouco ou muito fluxo de ar para o ambiente interno.

Quadro 2 – Desempenho acústico das janelas ventiladas

Elemento de controle de ruído		Tipologia/Composição	Atenuação sonora R_w (dB)	Desempenho redução de ruído	Desempenho ventilação natural
Disponível no mercado	Defletores acústicos	Veneziana 25°	9 dB ¹	Regular	Bom
		Veneziana 0°	10 dB ¹	Regular	Bom
		Veneziana 40°	16 dB ¹	Bom	Bom
		Brise-soleil padrão	6 dB ²	Regular	Bom
		Brise-solei com material absorvente	10 dB ²	Regular	Bom
	Persianas acopladas	Padrão	16 dB ³	Bom	Bom
		Com material absorvente	20 dB ³	Bom	Bom
	Sacadas	Padrão	6 dB ⁴	Regular	Ótimo
		Com material absorvente	13 dB ⁵	Bom	Ótimo
Testes em laboratório	Ressonadores e refratores acústicos	Padrão	35 dB ⁶	Ótimo	Ruim
	Janela plenum	Padrão	8 dB ⁵	Regular	Bom
		Com tubos ressonadores	25 dB ⁷	Ótimo	Ruim
		Com material absorvente	40 dB ⁴	Ótimo	Bom

Fonte: 1 BADINO et al, 2019; 2 MARTELLO et al, 2015; 3 ROHDEN et al, 2019; 4 CHEUNG et al, 2019; 5 HKHA, 2017; 6 FUSARO et al, 2020; 7 TANG, 2017a (modificado pelos autores)

Nos defletores acústicos é comprovado que a tipologia de venezianas a 40° de inclinação e brise-solei com material absorvente são as mais indicadas, podendo reduzir de 16 e 10 dB, respectivamente. Os defletores acústicos são satisfatórios na passagem de ventilação natural, pois permitem a abertura da esquadria, contudo a atenuação acústica é inferior a outras soluções estudadas.

As persianas acopladas às janelas são capazes de atenuar 16 dB de ruído externo, quando estão parcialmente fechadas e com a janela aberta. Acrescentando-se material absorvente às frestas da persiana, o índice de redução sonora (R_w) sobe para 20 dB. As persianas são classificadas com bom desempenho em ventilação natural, pois permite a passagem do fluxo de ar em situação semi-aberta.

Existem diferentes tipologias de sacadas e o melhor desempenho acústico depende inicialmente da geometria arquitetônica da fachada. O seu maior aproveitamento é com materiais absorventes no teto e paredes laterais, que podem chegar a 13 dB de atenuação, diferente da varanda regular que chega em 6 dB na redução do ruído externo. Esse elemento permite a passagem do fluxo de ventilação satisfatória e sem grandes perdas, sendo classificado como ótimo, mas ainda a redução do ruído é inferior ao desejado, quando não há aplicação de materiais absorventes.

O uso de ressonadores e refratores acústicos, tais como os tubos cilíndricos avaliados na pesquisa de Fusaro et al (2020), permitem reduções de até 35 dB, tendo ótimo desempenho acústico. Mas são muito limitados em ventilação natural, pois os orifícios dos tubos ainda não permitem a passagem de grande fluxo de ar, sendo mais aplicados em ambientes com pouca necessidade de ventilação, tais como casas de máquinas e equipamentos elétricos.

Por fim, ainda que seja um método novo de controle de ruído, a janela plenum pode conseguir 8 dB de atenuação sonora. Quando construída com tubos ressonadores, pode-se elevar o índice de redução sonora até 25 dB e quando a janela plenum é composta com materiais absorventes, pode-se chegar ao valor de 40 dB em redução de ruído externo. A janela possui ótimo desempenho no controle do ruído e ainda permite maior ventilação natural conforme variação na disposição das aberturas.

As janelas também foram classificadas quanto ao seu impacto arquitetônico no edifício, a sua viabilidade técnica e ao desempenho no conforto. O critério para a avaliação do impacto arquitetônico foi a verificação da composição, proporção e harmonia da fachada do edifício. Sendo classificado como alto impacto se o elemento muda significativamente a estética da fachada e baixo impacto se não a altera.

Avaliou-se também a viabilidade técnica de cada solução, considerando-se o custo de manutenção e possibilidade de construção. Por fim, o desempenho no conforto foi avaliado nas três categorias de conforto ambiental: visual, térmico e acústico, de forma qualitativa. Considerou-se como alto desempenho no conforto aquelas tipologias que permitem acesso visual ao ambiente externo com pouca obstrução, boa ventilação natural e alta atenuação sonora (desempenho bom ou ótimo, segundo a avaliação do Quadro 2). A classificação final para cada quesito é apresentada no Quadro 3.

Quadro 3 – Desempenho geral das janelas ventiladas acústicas.

Elemento de controle de ruído		Tipologia/ Composição	Impacto na arquitetura	Viabilidade técnica	Desempenho no conforto
Disponível no mercado	Defletores acústicos	Veneziana	Alto	Regular	Regular
		Brise-soleil	Alto	Regular	Regular
	Persianas acopladas	Padrão	Alto	Alto	Alto
	Sacadas	Padrão	Alto	Alto	Alto
Testes em laboratório	Ressonadores e refratores acústicos	Padrão	Regular	Baixo	Regular
	Janela plenum	Padrão	Baixo	Regular	Alto
		Com tubos ressonadores	Regular	Baixo	Regular

Fonte: Autores

Diante do balanço apresentado, pode-se afirmar que os ressonadores e refratores acústicos ainda precisam ser mais explorados antes de começarem a ser comercializados em massa. Os defletores acústicos, persianas acopladas e as sacadas apresentam a mesma dinâmica de desempenho, podendo ser melhorada

com a composição de materiais absorventes. Já a janela plenum é considerada a melhor opção dentre as estudadas devido sua flexibilidade e bom desempenho tanto no baixo impacto na arquitetura como no alto potencial para promoção do conforto.

5 CONCLUSÕES

Este artigo sintetizou o desempenho acústico de janelas ventiladas com atenuação sonora e avaliou seus respectivos desempenhos acústicos. A revisão concluiu que as janelas plenum são as mais recomendadas para ventilação natural e atenuação acústica, simultaneamente. Isso devido à possibilidade de fluxo de ar contínuo e desempenho acústico considerável, tornando-se o melhor dispositivo de eficiência energética para construção. Diante disso, futuras pesquisas serão aprofundadas nas janelas plenum, para compreender melhor seu desempenho e funcionamento.

REFERÊNCIAS

- CHEUNG, Ka; WONG, Hoi; HUNG, Wan; LAU, Kwok. Development and application of specially designed windows and balconies for noise mitigation in Hong Kong. **Inter Noise**, Madrid, jun.2019. http://www.sea-acustica.es/fileadmin//INTERNOISE_2019/Fchrs/Proceedings/2101.pdf
- DU, Liangfen; LAU, Siu-Kit; LEE, Siew; DANZER, Martin. Experimental study on noise reduction and ventilation performances of sound-proofed ventilation window. **Building and Environment**, [s.l.], v. 181, aug.2020. Elsevier BV. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132320304807>
- BADINO, Elena; MANCA, Roberto; SHTREPI, Louena; CALLERI, Cristina. ASTOLFI, Arianna. Effects of façade shape and acoustic cladding on reduction of leisure noise levels in street canyon. **Building and Environment**, [s.l.], v. 157, p. 242-256, jun.2019. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132319302914>
- FUSARO, Gioia; YU, Xiang; KANG, Jian; CUI, Fangsen. Development of metacage for noise control and natural ventilation in window system. **Applied Acoustics**, [s.l.], v. 170, dec.2020. Elsevier BV. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003682X20306149>
- HONG KONG HOUSING AUTHORITY (HKHA). Application of acoustic window and acoustic balcony for public housing development in Hong Kong. **The Hong Kong Institution of Engineers**, Hong Kong, 2017. <https://www.hkie.org.hk/>
- LEE, Hsiao; WANG, Zhaomeng; LIM, Kian; XIE, Jinlong; LEE, Heow. Novel plenum window with sonic crystals for indoor noise control. **Applied Acoustics**, [s.l.], v. 167, oct.2020. Elsevier BV. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003682X20304941>
- MARTELLO, N.; FAUSTI, N.; SANTONI, P.; SECCHI, S. The use of sound absorbing shading systems for the attenuation of noise on building façades: An experimental investigation. **Buildings**, [s.l.], v. 5, n. 4, p. 1346–1360, dez.2015. <https://www.mdpi.com/2075-5309/5/4/1346>
- ROHDEN, Abrahão; LIMA, Gabriela. Desempenho acústico de esquadria de alumínio com melhorias na caixa de persiana. **Revista de Engenharia Civil IMED**, Passo Fundo - RS, v. 6, n. 2, jul./dez. 2019. Disponível em: <https://seer.imed.edu.br/index.php/revistaec/article/view/3154>. Acesso em: 01 set 2020.
- TANG, S.K. Reduction of sound transmission across plenum windows by incorporation an array of rigid cylinders. **Journal of Sound and Vibration**, [s.l.], v. 415, p. 25-40, nov.2017a. Elsevier BV. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022460X1730799X>
- _____. A review on natural ventilation-enabling façade noise control devices for congested high-rise cities. **Applied Sciences**, [s.l.], v. special issue, p. 93-108, feb. 2017b. Elsevier BV. <https://www.mdpi.com/2076-3417/7/2/175>