

Comportamento Acústico e Design de Grandes Espaços Urbanos – Cânion e Túnel

Felipe do Valle

Mestre, Eng. Ambiental, UFPR, Brasil, Universität Stuttgart, Alemanha
felipe_valle85@hotmail.com

Eva Veres

Professora, Doutora, Universität Stuttgart, Alemanha
veres@lbp.uni-stuttgart.de

Matthias Brodbeck

Mestre em Acústica, Universität Stuttgart, Alemanha
mathias.brodbeck@lbp.uni-stuttgart.de

Zhou Xiaoru

Mestre em Acústica, Fraunhofer Stuttgart, Alemanha
xiaoru.zhou@ibp.fraunhofer.de

Paulo Henrique Trombetta Zannin

Professor Doutor, UFPR, Brasil
paulo.zannin@gmail.com

RESUMO

Sabe-se que residentes de grandes centros urbanos estão expostos diariamente à poluição sonora urbana, em especial, ao ruído gerado pelo de tráfego de veículos. O ruído ambiental pode acarretar prejuízos ao meio ambiente e à qualidade de vida da população, dessa forma, estudos que visam reduzir os efeitos da poluição sonora são de extrema relevância. Em divisões urbanas, deve haver espaços entre ou em edificações para garantir o acesso de pessoas e veículos, entretanto, no que tange à transmissão sonora, estes espaços são considerados "pontos fracos", pois, facilitam a passagem do ruído urbano para outros espaços com habitações. Assim, este estudo elaborado na cidade de Stuttgart/Alemanha, avaliou a influência dos espaços urbanos, chamados de túnel e cânion, na transmissão do ruído de tráfego para fachadas residenciais posteriores a estes espaços. Foram selecionadas duas localidades, a primeira com presença de espaço do tipo túnel e a segunda com espaço do tipo cânion. Verificou-se então, através de medições e simulações acústicas, o ambiente sonoro atual dos locais. Nas simulações acústicas também foram empregadas variações de aspectos geométricos e de coeficientes de absorção sonora das superfícies internas dos espaços abertos. Os resultados evidenciaram que as dimensões dos espaços abertos são significativas na transmissão sonora, principalmente para os parâmetros largura e altura. Os dados demonstraram ainda, que a instalação de revestimentos nas superfícies internas dos espaços com características de absorção sonora, é uma medida viável do ponto de vista técnico, pois, resultou na atenuação de até 22 dB(A) sobre fachadas posteriores.

PALAVRAS-CHAVE: Ruído ambiental. Transmissão sonora. Espaços Urbanos.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente a poluição sonora é uma das principais formas de poluição ambiental, diretamente responsável por impactos negativos ao meio ambiente e à qualidade de vida da população (GERAVANDI, 2015). Além dos efeitos diretos à saúde da sociedade, a poluição sonora também pode acarretar impactos econômicos negativos, haja visto que, propriedades localizadas próximas a áreas ruidosas, podem sofrer desvalorização frente ao mercado imobiliário (FURLANETTO, 2012, SOUZA, 2017).

A combinação de diferentes fontes sonoras presentes em grandes centros urbanos, como alarmes, sirenes de ambulâncias, igrejas, obras de construção civil, ruído de tráfego, indústrias, têm contribuído para o aumento dos níveis de sonoros, podendo tornar o ambiente urbano desagradável. Muitas vezes o impacto sonoro prejudica a realização de diferentes tarefas, como por exemplo: estudar, trabalhar e até mesmo descansar (GUEDES et. al., 2011; SZEREMETA, 2007; MILANEZ, 2013).

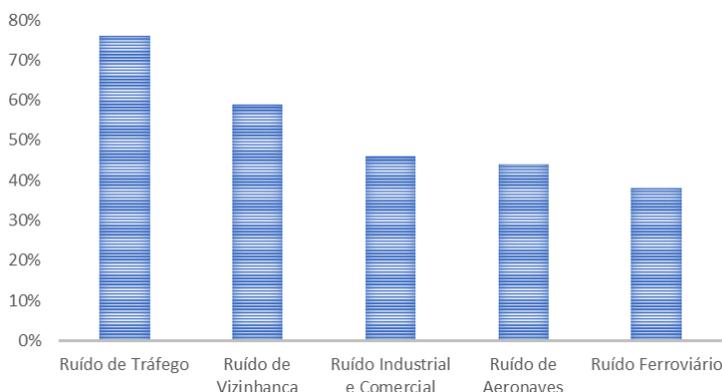
O agente caracterizador da poluição sonora urbana é denominado de ruído urbano ou ruído ambiental, considerado um ruído complexo, pois, é composto de várias parcelas de ruídos secundários, provenientes de fontes e atividades diversas (WHO, 2011). Sendo assim, para eliminar ou atenuar este tipo de ruído, é necessário intervir em cada parcela que o compõe (WHO, 2011).

Dentro as diversas fontes de ruído urbano existentes, o ruído proveniente do tráfego rodoviário em grandes centros urbanos é a parcela que mais contribui para a poluição sonora urbana, uma vez que, em termos de duração é considerado permanente e não pontual, isto é, não se limita a uma única área (KHAN et. al., 2018; ZANNIN et. al., 2019). O ruído de tráfego rodoviário é uma fração do ruído gerado e irradiado lateralmente a uma rodovia, que agrega as fontes de trânsito, estejam estas desempenhando funções de passagem (circulação e estacionamento) ou de serviços (obras rodoviárias) (VDA, 1978; JOHNSON & SANDERS, 1968; GILES-CORTI et. al., 2016).

Estudos têm mostrado que os efeitos negativos do ruído tráfego estão se tornando cada vez mais perceptíveis e que grande parcela da população se sente incomodada pela poluição sonora. Pesquisa realizada em 2016 por *Bundesministerium Für Umwelt, Naturschutz,*

Bau Und Reaktorsicherheit. Umweltbewusstsein (BMUB) na Alemanha, apontou que mais de 70% dos alemães se sentem incomodados com o ruído de tráfego (Figura 1).

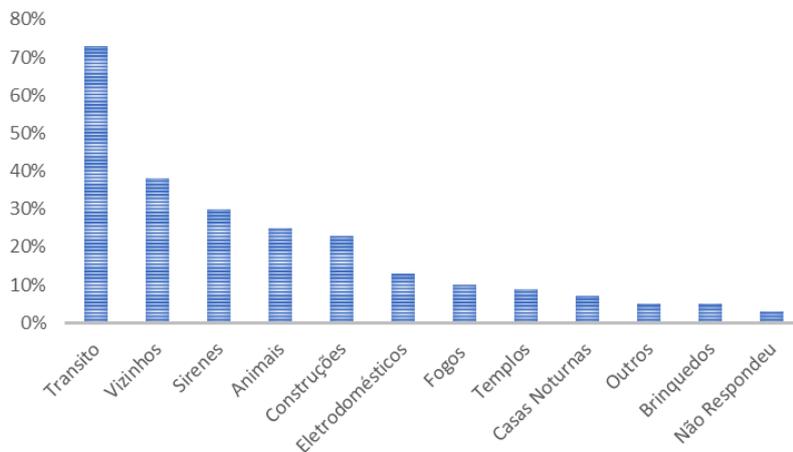
Figura 1: Percepção da população alemã ao ruído



Fonte: BMUB, 2016.

Em concordância com os resultados obtidos na Alemanha, estudo elaborado por Zannin et al. (2002) traçando a reação da população de Curitiba ao ruído ambiental, apontou que das 863 pessoas entrevistadas, 73% indicaram o ruído de tráfego urbano como principal fonte de desconforto (Figura 2).

Figura 2: Percepção da população brasileira ao ruído



Fonte: Zannin et al, 2002.

Em decorrência dos problemas expostos, esse estudo se caracteriza como uma pesquisa exploratória, na modalidade estudo de caso, com coleta e análise de dados medidos e simulados, cujo objetivo é investigar o comportamento acústico quanto aos níveis sonoros transmitidos para fachadas posteriores aos espaços descritos como seções de cânion e túnel. O presente trabalho também apresenta a análise de superfícies com absorção sonora como medida mitigadora, visando o conforto acústico da população e o enquadramento com as normas de conforto ambiental vigentes, tanto no Brasil quanto na Alemanha.

2 OBJETIVOS

Esta pesquisa tem como objetivo avaliar o comportamento acústico em grandes espaços abertos de edificações urbanas, descritos como seções de cânion e túnel na cidade de Stuttgart/DE (Alemanha).

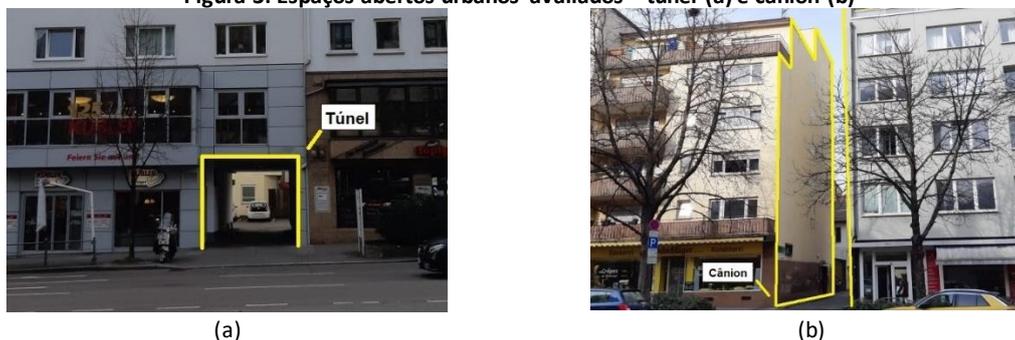
2.1 Objetivos específicos

- Caracterizar fachadas de primeiro andar em edifícios urbanos impactadas pelo ruído ambiental na cidade de Stuttgart/DE;
- Reconhecer a(s) principal(is) fonte(s) urbana de ruído ambiental na cidade de Stuttgart/DE;
- Identificar os espaços abertos urbanos objetos de estudo, na cidade de Stuttgart/DE;
- Quantificar qualidade acústica atual sobre fachadas localizadas após espaços abertos urbanos;
- Quantificar a transmissão sonora entre espaços livres urbanos, relativo às suas geometrias e materiais construtivos;
- Comparar resultados segundo diretrizes especificadas em normas brasileiras e alemãs;
- Avaliar o panorama geral da qualidade acústica sobre as fachadas localizadas após espaços abertos urbanos;
- Propor medidas mitigadoras, visando o conforto acústico da população e enquadramento com as normas de conforto acústico brasileiras e alemãs.

3 METODOLOGIA

Para análise da transmissão do som entre espaços abertos urbanos, foram selecionadas duas localidades, ambas localizadas em *Rotebühlstraße* na cidade de Stuttgart/DE. A primeira trata-se de um espaço tipo túnel (Figura 3a) e o segundo do tipo cânion (Figura 3b).

Figura 3: Espaços abertos urbanos avaliados – túnel (a) e cânion (b)



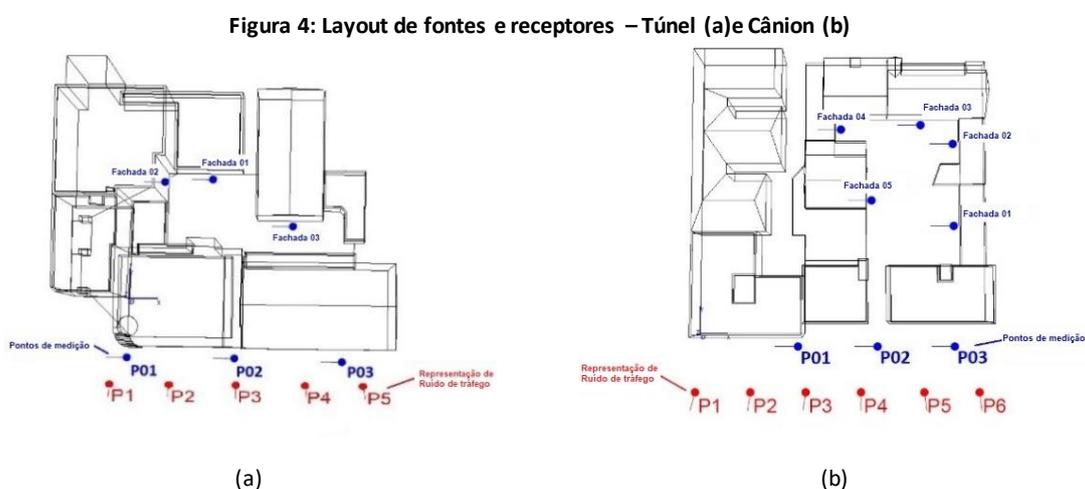
Fonte: Os Autores, 2020.

Espaço do tipo túnel é classificado como uma galeria superficial em edifício, de seção ampla, extensa, larga e coberta, utilizada como estrutura de apoio, possibilitando ou, facilitando, o acesso a um determinado local. Cânion urbano pode ser classificado como a

abertura entre dois edifícios, de seção de corredor extensa, larga e descoberta, podendo ou não ser empregado para a passagem a um determinado local.

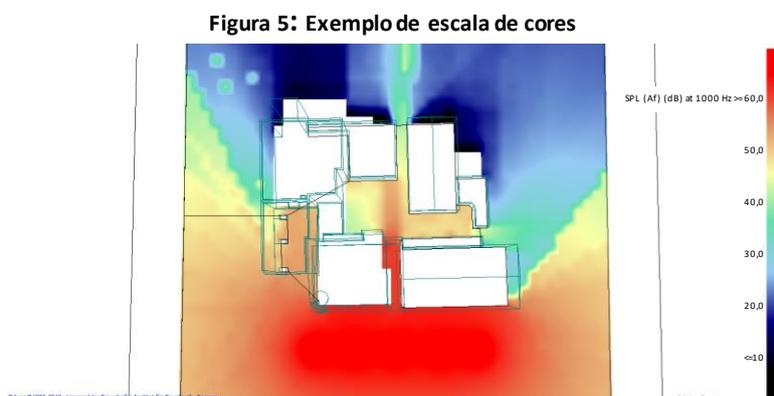
Os locais objetos de estudo são caracterizados pelo impacto sonoro constante, devido ao ruído de tráfego gerado pelo intenso fluxo de veículos na *Rotebühlstraße*. Dessa forma, para a caracterização do ruído nos locais designados, foram empregadas medições de níveis de pressão sonora (NPS) *in situ* utilizando um sonômetro do tipo I da marca *Norsonic AS*, modelo NOR 140. Também foram realizadas simulações acústicas com o auxílio dos softwares *Sketchup*®, especializado em design digital, e *ODEON 15.15 Auditorium*®, utilizado para cálculos e mapeamento da dispersão sonora.

Uma vez que as bases geométricas dos modelos foram criadas no ambiente *Sketchup*®, estas foram exportadas para o *ODEON 15.15 Auditorium*®. Posteriormente, foram definidas as fontes de NPS e receptores de interesse no software de mapeamento acústico (Figura 4).



Fonte: Os Autores, 2020.

Ajustadas as fontes sonoras, receptores e materiais, deve ser definido no ODEON qual será a grade de cálculo, ou seja, informar qual(is) a(s) superfície(s) de interesse, para visualizar os resultados de NPS nos receptores e o gráfico de cores do comportamento acústico nos locais avaliados. Então, foi empregado o comando para o cálculo de todas as interações sonoras presentes no modelo, resultando o mapa acústico com escala de cores conforme exemplificado pela figura 5.



Para avaliações da influência dos materiais utilizados nas superfícies internas de túneis e cânions na transmissão de NPS, as simulações se deram com materiais representativos para situação atual, ou seja, revestimento de alvenaria. Subsequentemente, foram adotadas variações dos coeficientes de absorção sonora das superfícies internas dos espaços avaliados, alterando assim os padrões de transmissão sonoras entre os espaços abertos.

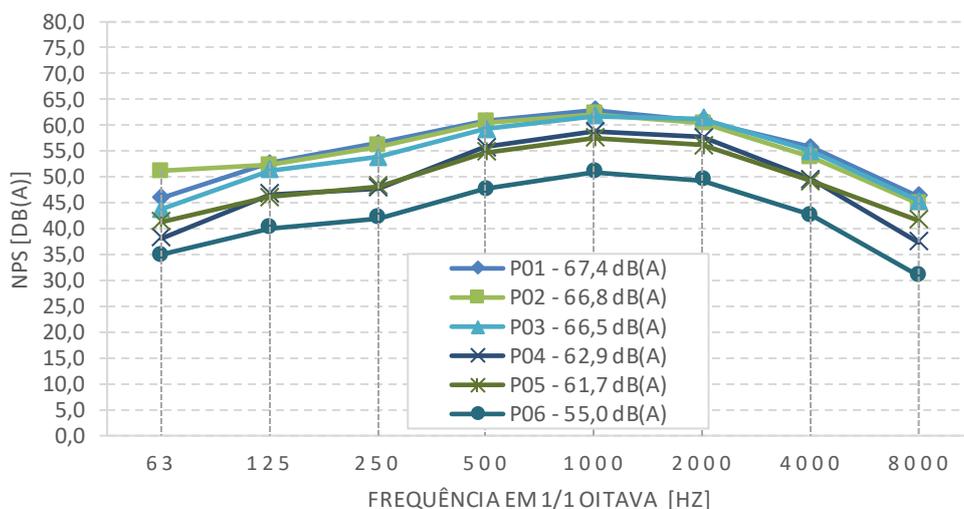
Todos os resultados obtidos foram confrontados com os limites estipulados por padrões estabelecidos pela Instrução Técnica Alemã para Proteção ao Ruído *Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm* (TA Lärm) e pela norma da Associação Brasileira de Normas e Técnicas (ABNT) NBR 10151/2020.

4 RESULTADOS

4.1 Medições Acústicas

As medições acústicas apresentaram valores de níveis pressão sonora em dB com ponderação na escala A. Ao analisar os resultados, primeiramente, foi possível constatar a característica do ruído de tráfego rodoviário urbano no local, onde, a análise em frequências para todos os pontos medidos, apresentaram valores mais elevados na faixa entre 500 e 2000 Hz (Figura 6).

Figura 6: Resultados das medições acústicas



Fonte: Os Autores, 2020.

Ademais, as medições apontaram os locais avaliados em desacordo com os valores máximos orientados pela legislação alemã TA Lärm e a norma brasileira ABNT NBR 10.151/2020, ou seja, áreas como - clínicas de tratamento, hospitais, casas de repouso e escolas - com limite de 45 dB(A) e - áreas estritamente residenciais - cujo limite é de 50 dB(A).

4.2 Simulações Acústicas

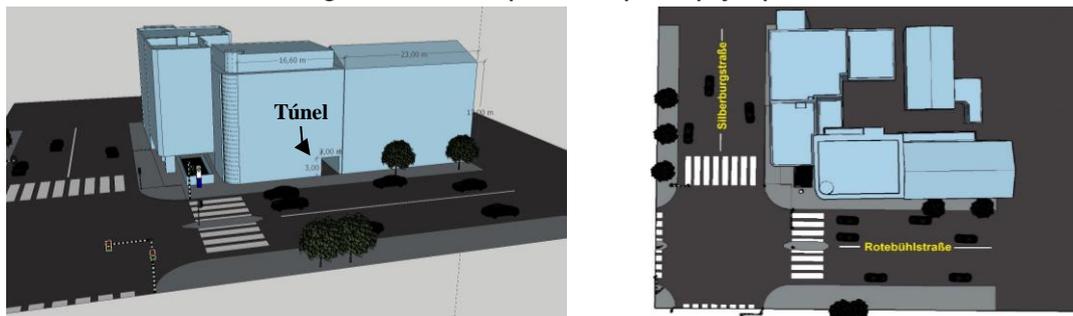
Neste item serão apresentados os resultados obtidos com as simulações acústicas, observando primeiramente comportamento acústico em túneis e cânions urbanos, para o

cenário atual. Em seguida, serão expostos e analisados os resultados atingidos com as variações das dimensões geométricas e dos materiais utilizados nas superfícies interiores do túnele cânion.

4.2.1 Modelos arquitetônicos

Empregando o software *Sketchup Pro 2019*[®], foram gerados os padrões digitais arquitetônicos dos espaços avaliados (Figuras 7 e 8).

Figura 7: Modelo arquitetônico para espaço tipo túnel



Fonte: Os Autores, 2020.

Figura 8: Modelo arquitetônico para espaço tipo cânion

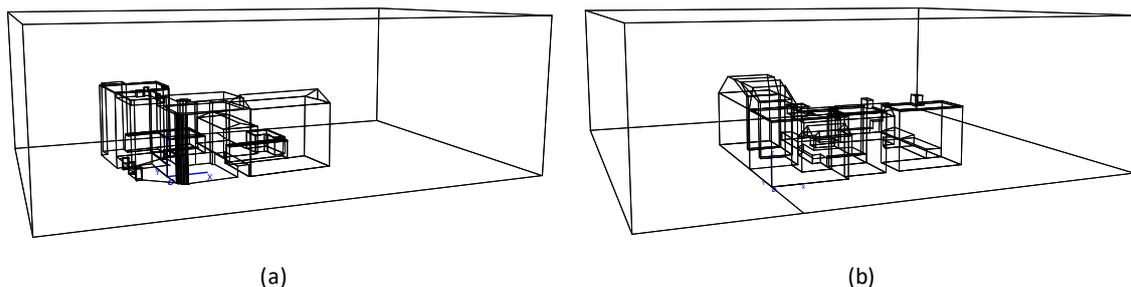


Fonte: Os Autores, 2020.

4.2.2 Modelo para simulações computacionais

Ao exportar os modelos arquitetônicos para o *ODEON 15.15 Auditorium*[®], obtém-se os modelos utilizados nas simulações acústicas, reconhecidos como espaços, volumosos e geometricamente fechados, onde, é possível a visualização das arestas (Figura 9).

Figura 9: Gride do Modelo ODEON – Túnel (a) e cânion (b)



Fonte: Os Autores, 2020.

4.2.3 Simulações acústicas - Situação atual

As simulações acústicas, mantendo as dimensões originais dos espaços avaliados, bem como os materiais utilizados em suas superfícies internas, apresentaram valores simulados para uma aproximação real dos níveis sonoros incidentes sobre fachadas (Tabela 1).

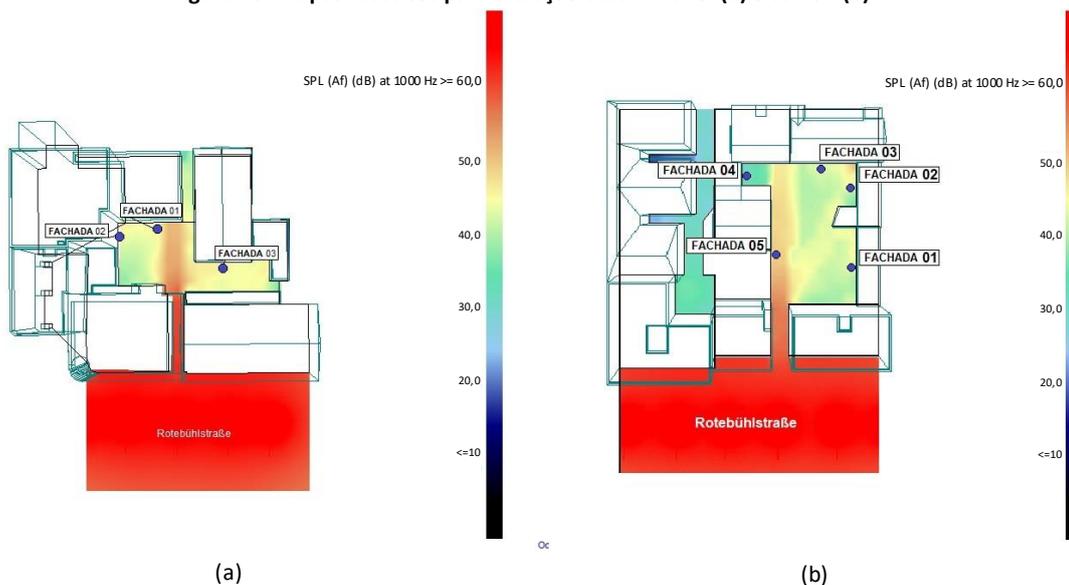
Tabela 1: Resultados simulados para a situação original dos espaços

Fachadas	Resultados LAeq - dB	
	Túnel	Cânion
Fachada 01	51,9	50,5
Fachada 02	50,9	48,5
Fachada 03	51,3	44,6
Fachada 04	--	36,1
Fachada 05	--	50,9

Fonte: Os Autores, 2020.

A figura 10 representa os mapas acústicos para a frequência de 1000Hz, pois, trata-se da componente que apresenta os maiores níveis sonoros. A escala de cores representa os níveis sonoros simulados na área de interesse e os pontos em destaque apresentaram valores destacados na tabela 1.

Figura 10: Mapas acústicos para situação atual – Túnel (a) e cânion (b)



Fonte: Os Autores, 2020.

Ficou evidente que algumas das fachadas pós túnel e cânion estão sob influência pelo ruído de tráfego gerado na via próxima, ou seja, os locais avaliados não atendem aos requisitos mínimos estipulados pela legislação *TA Lärm* e ABNT NBR 10.151.

4.2.4 Simulações acústicas – variações da geometria dos espaços

Para avaliar a interferência das dimensões dos espaços abertos na transmissão de níveis sonoros, foram realizadas variações geométricas no comprimento, largura e altura do túnel e cânion avaliados, entretanto, os materiais das superfícies internas forma mantidas.

A tabela 2 apresenta as respostas calculados para as fachadas de interesse na situação de espaço do tipo túnel.

Tabela 2: Simulações acústicas com variações geométricas - Túnel

Variações	Dimensões simuladas (m)	Resultados - LAeq		
	C x L x A	Fachada 01	Fachada 02	Fachada 03
Comprimento (C)	15 x 3 x 3	51,9	50,9	51,3
	12 x 3 x 3	50,1	48,8	51,2
	15 x 4 x 3	54,3	48,7	53,3
Largura (L)	15 x 5 x 3	56,8	55,3	54,9
	15 x 6 x 3	57,4	55,8	54,1
Altura (A)	15 x 3 x 3,5	48,7	51,2	53,1
	15 x 3 x 4	53,3	51,6	55,6

Fonte: Os Autores, 2020.

A tabela 3 apresenta as respostas calculados para as fachadas de interesse na situação de espaço do tipo cânion.

Tabela 3: Simulações acústicas com variações geométricas - Cânion

Variações	Dimensões	Resultados - LAeq				
	(m) C x L	Fachada 01	Fachada 02	Fachada 03	Fachada 04	Fachada 05
Comprimento (C)	12 x 4	50,5	48,5	44,6	36,1	50,9
	15 x 4	48,9	42,1	48,1	34,0	52,9
	15 x 3	48,1	39,7	43,5	31,4	51,2
Largura (L)	15 x 5	50,7	46,8	50,1	46,8	52,5
	15 x 6	51,3	48,4	51,1	48,9	54,6

Fonte: Os Autores, 2020.

Avaliando a influência dos aspectos geométricos dos espaços, foram observadas tendências mais significativas de acréscimo dos níveis de pressão sonora incidentes sobre as fachadas posteriores a túneis, à medida que foram acrescentadas as medidas de largura e altura. Para a abertura do tipo cânion, ocorreu fenômeno semelhante, onde, empregando o aumento de sua largura, houve acréscimos relevantes dos níveis sonoros sobre as fachadas posteriores.

Os resultados simulados mostraram também, que as fachadas estão impactadas pelo ruído de tráfego transmitido entre espaços abertos, pois, as fachadas apresentaram valores de níveis sonoros em desconformidade com os limites empregados pela *TA Lärm* e ABNT NBR 10.151/2020. Dessa forma, medidas de mitigação foram testadas, utilizando materiais com capacidade de absorção sonora nas superfícies interiores de túneis e cânions.

4.2.5 Simulações acústicas – variações dos materiais como medida mitigadora

Neste item estão expostos os resultados atingidos no emprego de superfícies com capacidade de absorção sonora como possível medida para atenuação de ruído ambiental

sobre as fachadas. Para tal, foram modeladas situações em que o revestimento interno do túnel e cânion, excetuando a superfície de pavimentação, foram testados para materiais com maior absorção sonora. Desta forma, foram selecionados materiais para as superfícies internas com capacidade de absorção sonora de 10% ($\alpha = 0,1$), 30%, ($\alpha = 0,3$), 50%, ($\alpha = 0,5$) e 70% ($\alpha = 0,7$).

A tabela 4 expõe os resultados simulados com variações da capacidade de absorção dos materiais internos na situação de espaço do tipo túnel.

Tabela 4: Simulações acústicas com variações dos materiais - Túnel

Absorção sonora	Resultados - LAeq		
	Fachada 01	Fachada 02	Fachada 03
Original	51,9	50,9	51,3
10%	51,6	50,1	50,5
30%	50,6	44,3	44,5
50%	50,2	38,9	37,2
70%	50,1	36,8	29,2

Fonte: Os Autores, 2020.

A tabela 5 apresenta os valores simulados com variações da capacidade de absorção dos materiais internos na situação de espaço do tipo cânion.

Tabela 5: Simulação acústicas com variações dos materiais - Cânion

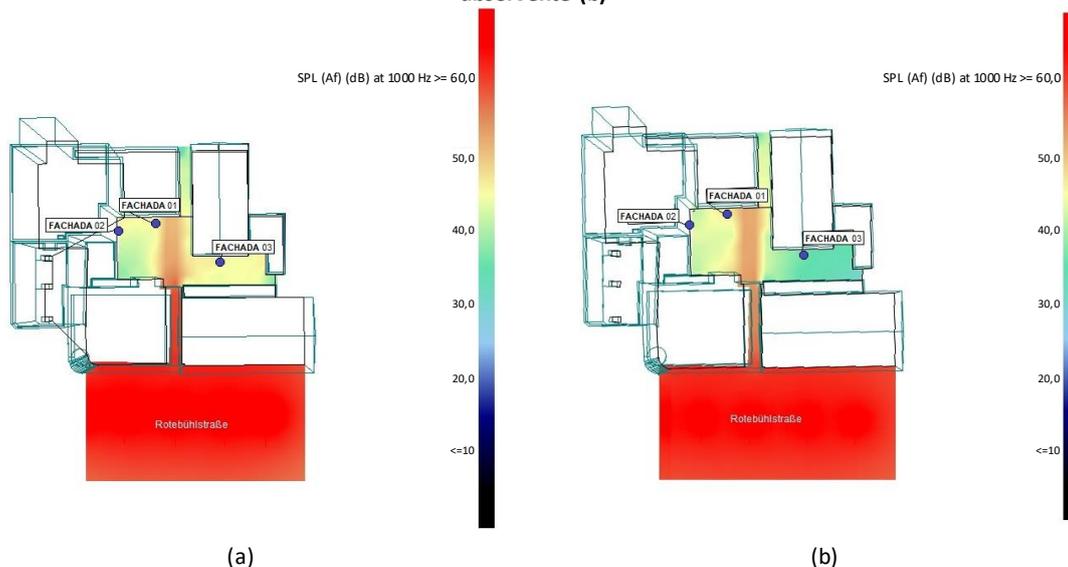
Absorção sonora	Resultados - LAeq				
	Fachada 01	Fachada 02	Fachada 03	Fachada 04	Fachada 05
Original	50,5	48,5	44,6	36,1	50,9
10%	49,9	48,2	44,3	35,9	50,8
30%	45,4	46,1	42,4	34,7	49,8
50%	41,2	44,0	41,1	33,8	49,3
70%	39,3	42,0	40,5	33,2	49,0

Fonte: Os Autores, 2020.

A diferença entre os valores obtidos com simulações acústicas, considerando materiais de absorção sonora, pode ser verificada nas figuras 11 e 12. Comparando a situação sem a aplicação de material absorvente no túnel e cânion, com o cenário simulado para material com 70% de absorção sonora, observa-se a dispersão de NPS e a influência dos materiais utilizados nos modelos.

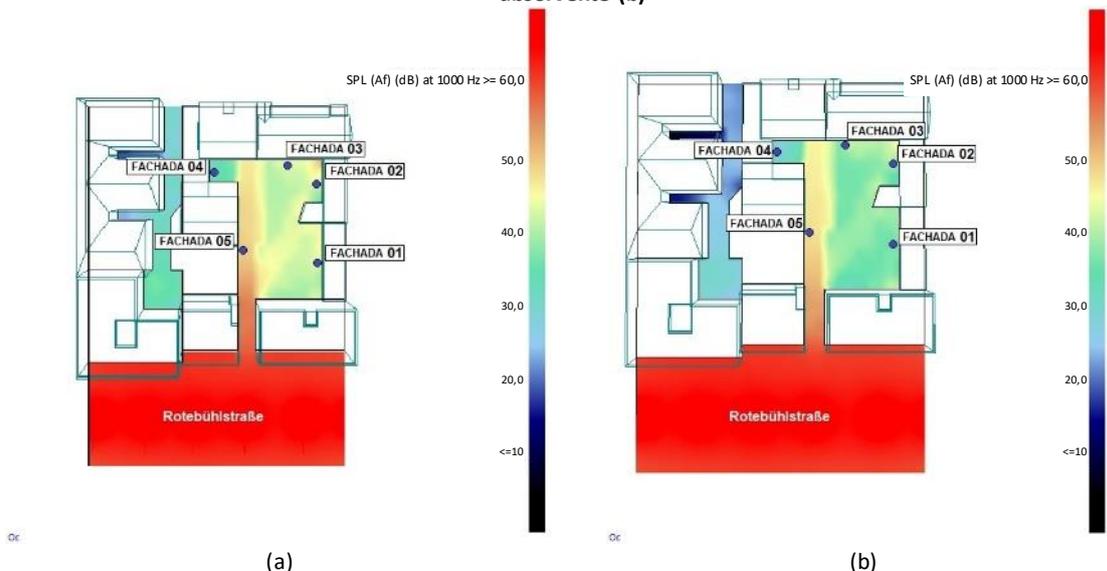
A escala de cores representa os níveis sonoros simulados na área de interesse e os pontos em destaque apresentaram valores destacados para cada fachada e apresentados nas tabelas 4 e 5.

Figura 11: Comparação entre mapas acústicos tipo túnel – situação original de alvenaria (a) e com material 70% absorvente (b)



Fonte: Os Autores, 2020.

Figura 12: Comparação entre mapas acústicos tipo cânion – situação original de alvenaria (a) e com material 70% absorvente (b)



Fonte: Os Autores, 2020.

Com as simulações acústicas, foi possível averiguar que, ao passo que foi incrementando a capacidade de absorção dos revestimentos internos dos espaços abertos, houve redução gradual dos níveis sonoros incidentes sobre as fachadas posteriores.

5 CONCLUSÃO

As medições e simulações acústicas, apontaram que na atualidade os NPS sobre fachadas próximas à *Rotebühlstraße em Stuttgart/DE*, estão acima dos valores recomendados pela legislação alemã *TA Lärm* e a norma brasileira ABNT NBR 10.151/2020.

As simulações com variações das dimensões demonstraram que todas as fachadas pós túnel apresentaram níveis acima do recomendado e parte das fachadas pós cânion

apresentaram valores acima do orientado pela legislação. Assim, foi possível confirmar que fachadas, mesmo situadas após edificações, estão suscetíveis aos NPS transmitidos em espaços como túneis e cânions.

Outro ponto levantado foi que, na medida em que foi acrescida a capacidade de absorção sonora das superfícies internas dos espaços, observou-se reduções graduais dos níveis de ruído sobre as fachadas posteriores, na ordem de até 22,1 dB(A), portanto, a técnica utilizada se apresentou como uma alternativa viável para a mitigação dos níveis sonoros.

Com uma visão global sobre este estudo, pode-se concluir também que poderá subsidiar projetistas, poder público e a população em geral, na compreensão dos efeitos acústicos causados pelos espaços abertos, pois, apontou que a variação de largura foi o parâmetro construtivo que mais influenciou na transmissão sonora para fachadas posteriores às lacunas. O presente trabalho também apresentou uma proposta de solução construtiva para adequação dos níveis de pressão sonora em regiões semelhantes aos objetos de estudo. Outro sim, apontou que a aplicação em túneis e cânions de materiais com grande capacidade de absorção sonora, como lãs minerais, resultará em atenuações significativas na transmissão de níveis sonoros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10.151: **Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas – Aplicação de uso geral**. Rio de Janeiro, 2020.

DEUTSCHLAND **Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz** (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm – TA Lärm). Vom 26. August 1998.

DEUTSCHLAND, Bundesministerium Für Umwelt, Naturschutz, Bau Und Reaktorsicherheit. Umweltbewusstsein in Deutschland (BMUB) - **Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage**, Berlin, 2016.

FURLANETTO, T. **Estudo de alternativas locais para a viabilidade ambiental de empreendimentos: o caso do aeroporto de Ribeirão Preto - SP**. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

GERAVANDI, S.; TAKDASTAN, A.; ZALLAGHI, E.; NIRI, M. V.; MOHAMMADI, M. J.; SAKI, H.; NAIEMABADI, A. **Noise Pollution and Health Effects**. Jundishapur Journal of Health Sciences, 2015.

GILES-CORTI, B.; VERNEZ-MOUDON, A.; REIS, R.; TURRELL, G.; DANNENBERG, A.L.; BADLAND, H.; FOSTER, S.; LOWE, M.; SALLIS, J.F.; STEVENSON, M.; ET AL. **City planning and population health: A global challenge**. Lancet, 388, 2912–2924, 2016.

GUEDES, I. C. M.; BERTOLI, S. R., ZANNIN, P. H. T. **Influence of urban shapes on environmental noise: A case study in Aracaju Brazil**. Science of the Total Environment, v. 412, p. 66-76, 2011.

JOHNSON, D. R.; SANDERS, G. **The Evaluation of Noise from freely flowing road traffic**. Journal of Sound and Vibration, UK, v. 7, n. 2, p. 287-309, 1968.

KHAN, J.; KETZEL, M.; KAKOSIMOS, K.; SØRENSEN, M.; JENSEN, S.S. **Road traffic air and noise pollution exposure assessment—A review of tools and techniques**. Sci. Total Environ. 634, 661–676, 2018.

MILANEZ, M. L. **Análise do Impacto Ambiental Sonoro Com a Implantação do Trecho Norte da Linha Verde em Curitiba**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

SOUZA L. L.; NASCIMENTO C. R. D.; COELHO A. H. **Elaboração de curvas de ruído para análise de uso e ocupação do solo no entorno do Aeroporto Internacional de Boa Vista - Atlas Brasil Cantanhede**. Revista dos Transportes Públicos – ANTP, 2017.

VERBAND DER AUTOMOBILINDUSTRIE E. V. - VDA **Urban Traffic and Noise**. 1 ed. Frankfurt: VDA, 1978.

WHO - European Centre for Environment and Health, **Burden of disease from environmental noise** - Quantification of healthy life years lost in Europe, 2011.

ZANNIN, P.H.T., CALIXTO, A., DINIZ F. B. D., FERREIRA J. A. C., SCHULLER R. **Incômodo Causado pelo Ruído Urbano à População de Curitiba**, PR. Revista de Saúde Pública, São Paulo, v.36, n. 4, p. 521-524, 2002.

ZANNIN, P.H.T., DO VALLE, F., DO NASCIMENTO E. O. **Assessment of Noise Pollution along Two Main Avenues in Curitiba, Brazil**, PR Open Journal of Acoustics, 9, 26-38, 2019.