

ANÁLISE DE DIFERENTES INTERVENÇÕES PARA O CONTROLE DE RUÍDO DE UMA RODOVIA

Um estudo de caso considerando barreiras acústicas, velocidade de tráfego, tipos de veículos e asfalto

Murilo Cardoso Soares ¹, José Carlos Giner ², Marcelo Santos Brites ³,

Yann Ardanaz de Sá ³, Raquel Rossatto Rocha ⁴

¹ GINER, mestre, murilo@giner.com.br

² GINER, engenheiro, jcginer@giner.com.br

³ GINER, engenheiro, lab@giner.com.br

⁴ GINER, mestre, raquel@giner.com.br

RESUMO: O presente trabalho tem como objetivo apresentar um estudo de caso que analisa diversas soluções para o controle de ruído de uma rodovia no estado de São Paulo. Este controle visa reduzir o nível de pressão sonora incidente nas fachadas das torres de um empreendimento residencial localizado próximo à rodovia. Diferentes cenários foram analisados utilizando o *software* CadnaA – DataKustik. As intervenções consideradas incluem: construção de barreiras acústicas, redução da velocidade máxima permitida para os veículos na via, restrição da passagem de grandes veículos de carga e alteração do pavimento da rodovia. Observou-se que, para atender ao critério de avaliação do nível de pressão sonora decorrente do uso e ocupação do solo, conforme estipulado na norma ABNT NBR 10151:2019, seria necessária uma combinação entre as diferentes intervenções propostas.

PALAVRAS-CHAVE: Barreiras acústicas, controle de ruído, ruído rodoviário.

TITLE: ANALYSIS OF DIFFERENT INTERVENTIONS FOR NOISE CONTROL ON A HIGHWAY: A CASE STUDY CONSIDERING NOISE BARRIERS, TRAFFIC SPEED, VEHICLE TYPES AND ASPHALT

ABSTRACT: The purpose of this paper is to present a case study that analyzes different solutions for noise control on a highway in the state of São Paulo. This control aims to reduce the sound pressure level incident on the facades of the towers of a residential building located close to the highway. Different scenarios were analysed using the *CadnaA – DataKustik* software. The interventions considered include: construction of acoustic barriers, reduction of the maximum speed allowed for vehicles on the highway, restriction of the passage of large cargo vehicles and change of the road pavement. It was observed that, to meet the criteria for evaluating the sound pressure level resulting from land use and occupation, as stipulated in the ABNT NBR 10151:2019 standard, a combination of the different proposed interventions would be necessary.

KEYWORDS: Acoustic barriers, noise control, road noise.

1. INTRODUÇÃO

O tema da paisagem sonora urbana é de extrema importância, pois o tráfego de veículos é uma das principais fontes de poluição sonora em grandes cidades e áreas urbanas [1]. Assim, torna-se fundamental analisar e desenvolver soluções para o controle desse tipo de ruído.

No Brasil, ainda não existe uma norma em vigor relativa à medição e à avaliação de níveis de pressão sonora provenientes de sistemas de transporte rodoviário. A norma ABNT NBR 16425-6, específica para essa aplicação, encontra-se em fase de elaboração. Por isso, no presente trabalho



foram considerados os limites estabelecidos na norma ABNT NBR 10151:2019 [2] como critério para avaliação do resultado obtido para as soluções propostas.

Existem diversas soluções descritas na literatura que têm como objetivo mitigar o ruído emitido por rodovias. As aplicadas no presente trabalho foram o uso de barreiras acústicas, a diminuição da velocidade de tráfego dos veículos, a diminuição da quantidade de veículos pesados e a alteração do pavimento da rodovia [3, 4, 5, 6].

2. METODOLOGIA

É analisado o impacto de diferentes intervenções para controlar o ruído emitido por uma rodovia, de forma a diminuir o nível de pressão sonora incidente nas fachadas das torres de um empreendimento residencial localizado próximo a essa rodovia. Para tanto, é utilizada uma ferramenta de simulação computacional, obtendo-se o nível de pressão sonora a 2 m das fachadas.

2.1. Modelo 3D para simulação

As simulações para verificação do impacto de cada uma das intervenções foram realizadas no *software* CadnaA – DataKustik [7, 8]. Para cálculo de propagação sonora e caracterização do ruído da rodovia, o *software* utilizou o modelo de predição CNOSSOS-EU (*Common Noise Assessment Methods in Europe*) [9].

Variáveis como topografia da região, edifícios do entorno, dimensão das edificações, absorção sonora do solo, absorção sonora das edificações, distância entre fonte e receptor, extensão da fonte sonora, barreiras e configuração da fonte sonora são consideradas na simulação. A Figura 1 apresenta o modelo 3D utilizado nas simulações.

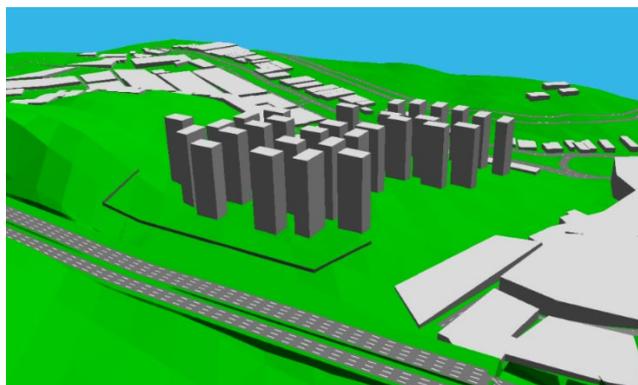


Figura 1: Modelo 3D utilizado nas simulações.
Fonte: Elaborado pelos autores.

O documento *Common Noise Assessment Methods in Europe* [9] apresenta um guia para a padronização da elaboração de mapas de ruído europeus e se mostrou uma abordagem mais apropriada para o presente estudo. Para a simulação é necessário modelar a fonte sonora conforme as medições de nível de pressão sonora *in loco*. Para isso, a modelagem de rodovias possibilita a variação dos parâmetros como: quantidade de veículos por hora, a porcentagem de veículos pesados e de motos, velocidade máxima permitida e tipo da pavimentação utilizada.

Realizaram-se medições de níveis de pressão sonora nas proximidades da rodovia, juntamente com a contagem de veículos em passagem, diferenciando-se motos e veículos pesados, bem como a velocidade máxima da rodovia à frente do empreendimento, obtendo-se assim os dados de entrada e valores de níveis de pressão sonora para conferência da simulação do modelo computacional. O tipo de pavimentação adotado foi baseado na inspeção visual realizada durante as medições.



2.2. Zoneamento e definição dos critérios de avaliação

A norma ABNT NBR 10151:2019 [2] estabelece critérios para avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas em função do uso e ocupação do solo no local da medição e do período do dia. Os limites estabelecidos são apresentados no Quadro 1, conforme a Tabela 3 da norma.

Quadro 1: Limites de níveis de pressão sonora em função dos tipos de áreas habitadas e do período.

Fonte: ABNT NBR 10151:2019 [2].

Tipos de áreas habitadas	RL _{Aeq} Limites de níveis de pressão sonora (dB)	
	Período Diurno	Período Noturno
Áreas de residências rurais	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista predominantemente residencial	55	50
Área mista com predominância de atividades comerciais e/ou administrativa	60	55
Área mista com predominância de atividades culturais, lazer e turismo	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

De acordo com o zoneamento definido na legislação do município onde se encontra o empreendimento, ele está localizado em um “Setor de Uso Predominantemente Comercial”, para o qual as categorias de usos permitidos incluem residências, comércio e serviços. Dessa forma, pelos critérios estabelecidos no Quadro 1, pode-se classificar a área como sendo área mista com predominância de atividades comerciais e/ou administrativa. Dessa forma, o limite diurno é 60 dB e o limite noturno 55 dB. Pela necessidade de se manter sigilo, não é definido no presente trabalho exatamente o município onde se encontra o empreendimento.

3. RESULTADOS DA MITIGAÇÃO DO RÚIDO EMITIDO PELA RODOVIA OBTIDOS COM AS DIFERENTES INTERVENÇÕES

Quatro diferentes intervenções foram consideradas nas simulações, sendo: construção de barreiras acústicas, redução da velocidade máxima permitida para os veículos na via, restrição da passagem de grandes veículos de carga e alteração no pavimento da rodovia. Também é analisado um cenário considerando uma combinação entre essas intervenções. Como premissa para avaliação dos resultados obtidos com as intervenções propostas, será considerado o limite noturno para a região, 55 dB para L_{Aeq} .

3.1. Sem intervenção

A Figura 2 apresenta o mapa de ruído obtido sem considerar nenhuma intervenção, com base nos valores de nível de pressão sonora medidos no entorno da rodovia e na contagem de veículos realizada durante essas medições. Nesse cenário, o nível de pressão sonora contínuo equivalente ponderado em A, L_{Aeq} , a 2 m da fachada é de aproximadamente 73 dB no 6º e no 20º pavimentos de uma das torres mais próximas à rodovia. Esses valores serão utilizados como base para análise das intervenções. Como é possível observar, os níveis de pressão sonora estão acima da premissa adotada de 55 dB.



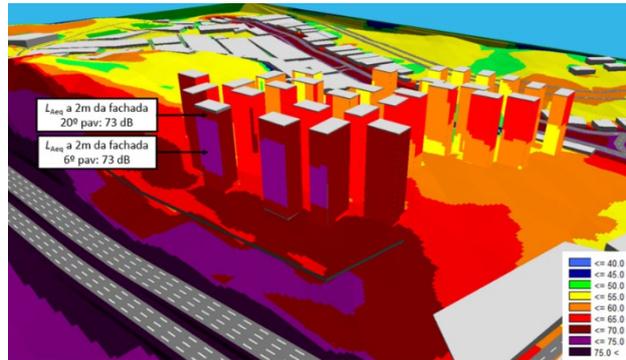


Figura 2: Resultados obtidos no mapa de ruído sem nenhuma intervenção.

 Fonte: Elaborado pelos autores.

3.2. Primeiro cenário com barreiras acústicas

A Figura 3 apresenta o primeiro conjunto de barreiras considerado para intervenção. A rodovia que é objeto da análise possui vias nos dois sentidos. Uma barreira maior, de 15 m de altura, foi posicionada mais próxima ao empreendimento, a uma distância de 6,5 m da pista de rodagem. Outra menor, com 9 m de altura, entre as vias com sentidos opostos. Nesse cenário, as barreiras foram consideradas sem material de absorção, com coeficiente de absorção sonora de 0,2 em todas a faixa de frequência sonora.

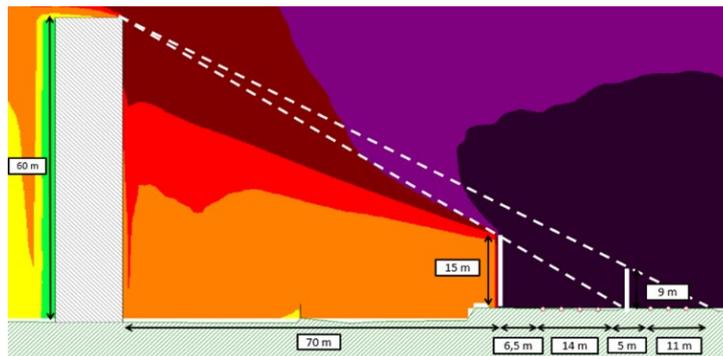


Figura 3: Posicionamento e dimensionamento das barreiras acústicas.

 Fonte: Elaborado pelos autores.

Na Figura 4 são apresentados os resultados obtidos com essa primeira configuração de barreiras. O nível de pressão sonora, L_{Aeq} , a 2 m da fachada obtido no 6º pavimento é de aproximadamente 59 dB, ou seja, uma redução de 14 dB em relação ao cenário sem intervenção. Já no 20º pavimento, o nível obtido foi de aproximadamente 67 dB, ou seja, uma redução de 6 dB. Apesar da redução, os valores estão acima da premissa adotada, 55 dB.



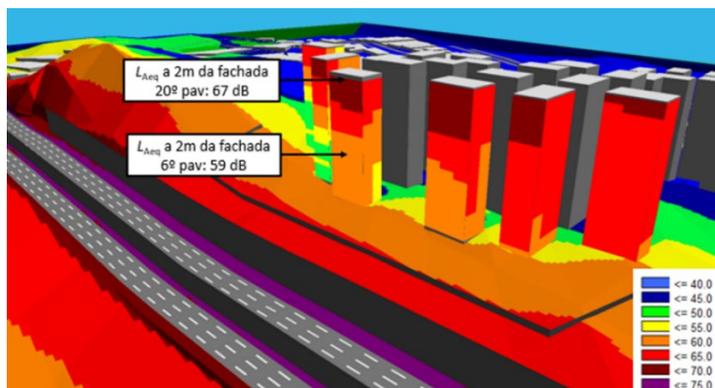


Figura 4: Resultados obtidos no mapa de ruído com barreiras de 15 m e 9 m e com coeficientes de absorção sonora de 0,2 em todas as bandas de frequência.

Fonte: Elaborado pelos autores.

3.3. Segundo cenário com barreiras acústicas

A Figura 5 apresenta o resultado obtido com o mesmo conjunto de barreiras considerado na Seção 3.2, porém, com um coeficiente de absorção sonora de 0,8 em toda a faixa de frequência. O nível de pressão sonora, L_{Aeq} , a 2 m da fachada obtido no 6º pavimento é de aproximadamente 59 dB, ou seja, não houve redução em relação à barreira sem absorção, sendo mantida a redução de 14 dB em relação ao cenário sem intervenção. Já no 20º pavimento, o nível obtido foi de aproximadamente 65 dB, ou seja, uma redução de 2 dB em relação ao cenário com pouca absorção sonora na barreira e de 8 dB em relação ao cenário sem barreira. Apesar da redução, os valores estão acima da premissa adotada, 55 dB.

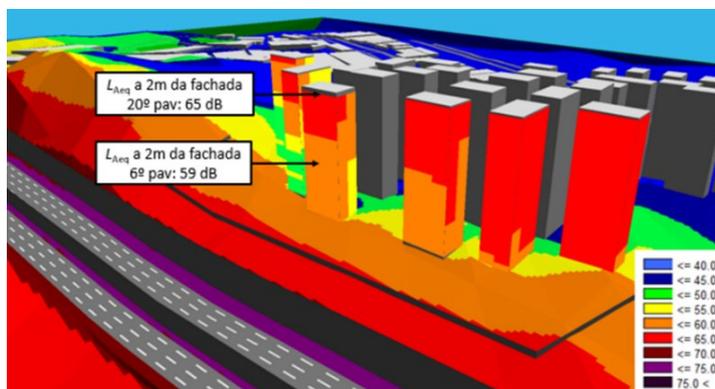


Figura 5: Resultados obtidos no mapa de ruído com barreiras de 15 m e 9 m e com coeficientes de absorção sonora de 0,8 em todas as bandas de frequência.

Fonte: Elaborado pelos autores.

3.4. Terceiro cenário com barreiras acústicas

Como não foi possível atingir a premissa de 55 dB com a configuração proposta na Seção 3.3, avaliou-se aumentar a altura das barreiras. Nesse cenário, considerou-se uma barreira de 20 m próxima ao empreendimento e outra de 14 m entre as vias com sentidos opostos, sendo que ambas possuem coeficiente de absorção sonora de 0,8 em toda a faixa de frequência sonora. A Figura 6 apresenta o resultado obtido. O nível de pressão sonora, L_{Aeq} , a 2 m da fachada obtido no 6º pavimento é de aproximadamente 58 dB, ou seja, uma redução de 15 dB em relação ao cenário sem intervenção. Já no 20º pavimento, o nível obtido foi de aproximadamente 63 dB, ou seja, uma



redução de 10 dB em relação ao cenário sem intervenção. Apesar da redução, os valores estão acima da premissa adotada, 55 dB.

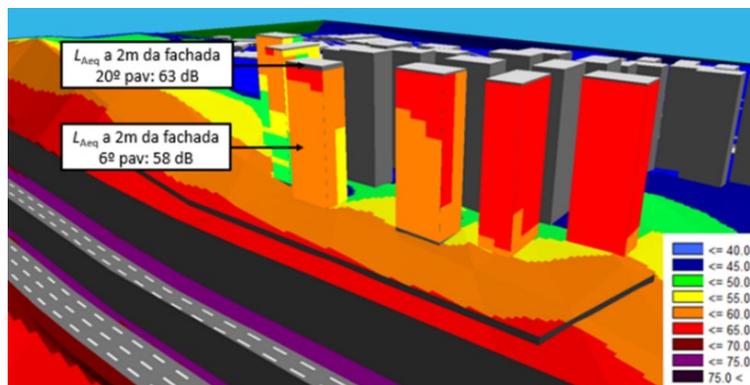


Figura 6: Resultados obtidos no mapa de ruído com barreiras de 20 m e 14 m e com coeficientes de absorção de 0,8 em todas as bandas de frequência.

Fonte: Elaborado pelos autores.

3.5. Redução de 20 km/h em todas as pistas

Outra medida para o controle de ruído é a atuação diretamente na fonte sonora. Foi realizada uma simulação reduzindo 20 km/h em todas as pistas da rodovia que têm como limites máximos de velocidade 100 km/h para veículos leves e 90 km/h para veículos pesados. Portanto, os novos limites de velocidade da via adotados para simulação foram de 80 km/h para veículos leves e 70 km/h para veículos pesados. Os resultados são apresentados na Figura 7. O nível de pressão sonora, L_{Aeq} , a 2 m da fachada é de aproximadamente 71 dB no 6º e no 20º pavimentos. Dessa forma, obteve-se uma redução de 2 dB em relação ao cenário sem intervenção. Os valores obtidos estão acima da premissa adotada, 55 dB.

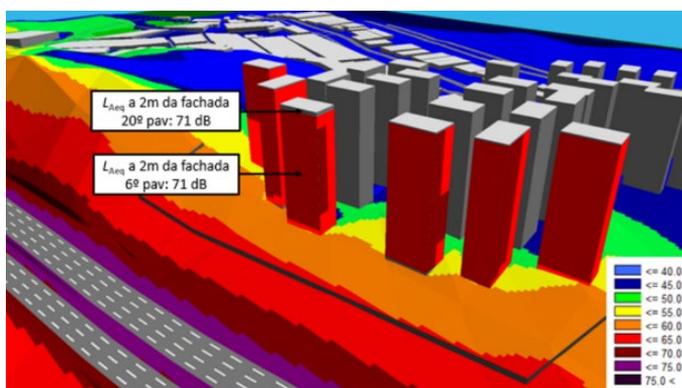


Figura 7: Resultados obtidos no mapa de ruído com redução de 20 km/h em todas as pistas da rodovia.

Fonte: Elaborado pelos autores.

3.6. Redução de 30 km/h em todas as pistas

Foi também realizada simulação considerando uma redução de 30 km/h em todas as pistas da rodovia. Portanto, os novos limites de velocidade da via adotados para simulação foram de 70 km/h para veículos leves e 60 km/h para veículos pesados. O mapa de ruído com os resultados da simulação é apresentado na Figura 8. O nível de pressão sonora, L_{Aeq} , a 2 m da fachada é de aproximadamente 70 dB no 6º e no 20º pavimentos de uma das torres mais próximas à rodovia. Assim, foi obtida uma redução de 1 dB em relação ao cenário com redução de 20 km/h na



velocidade máxima dos veículos nas vias e de 3 dB em relação ao cenário sem intervenção. Esses valores serão utilizados como base para análise das intervenções, mas também estão acima da premissa adotada, 55 dB.

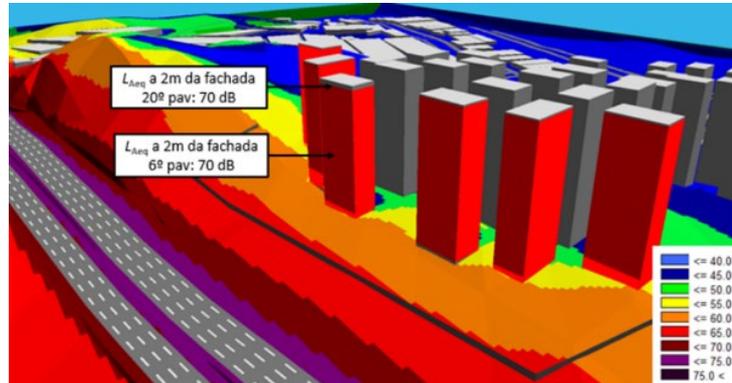


Figura 8: Resultados obtidos no mapa de ruído com redução de 30 km/h em todas as pistas da rodovia.
Fonte: Elaborado pelos autores.

3.7. Subtração de todos os caminhões

Outro cenário avaliado foi com a subtração de todos os caminhões das pistas da rodovia. De acordo com a contagem realizada durante as medições, esse tipo de veículo corresponde a 20% do total de passagens. Os resultados são apresentados na Figura 9. O nível de pressão sonora, L_{Aeq} , a 2 m da fachada é de aproximadamente 71 dB no 6º e no 20º pavimentos. Assim, se obteve uma redução de 2 dB em relação ao cenário sem intervenção. Os valores obtidos estão acima da premissa adotada, 55 dB.

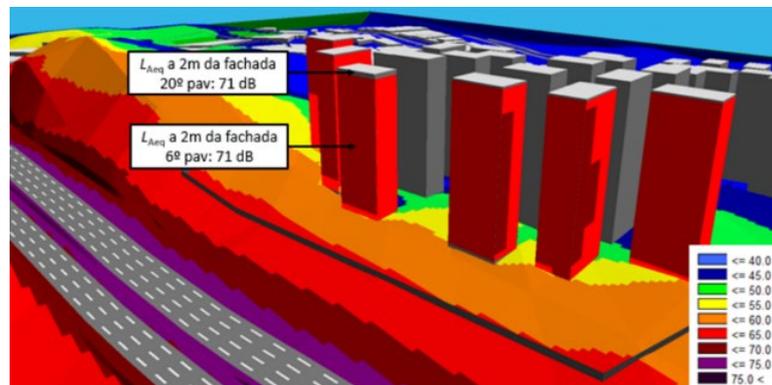


Figura 9: Resultados obtidos no mapa de ruído com subtração de todos os caminhões.
Fonte: Elaborado pelos autores.

3.8. Troca de pavimentação

Uma das possibilidades de intervenção é alterar a composição do pavimento da rodovia. Considerou-se uma pavimentação porosa de duas camadas. A estrutura asfáltica utilizada, conhecida como *double layered porous asphalt surface*, é composta por uma camada inferior porosa mais espessa e com maior tamanho de grânulos e outra camada superior porosa com grânulos de menor tamanho e mais densamente compactada. Os resultados da simulação são apresentados na Figura 10. O nível de pressão sonora, L_{Aeq} , a 2 m da fachada é de aproximadamente 68 dB nos dois pavimentos (6º e 20º). Assim, em ambos os casos, foi obtida uma



redução de 5 dB em relação ao cenário sem intervenção. Os valores obtidos permanecem acima da premissa adotada, 55 dB.

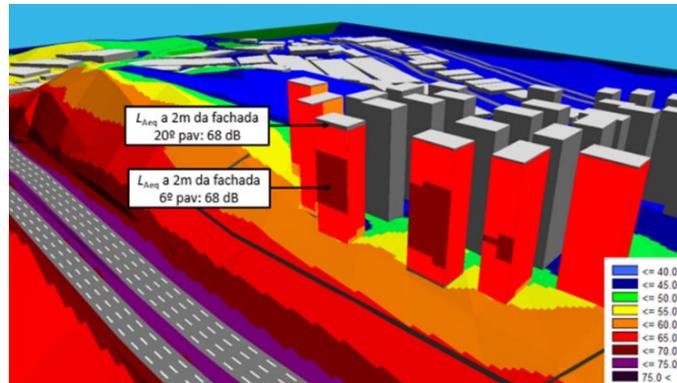


Figura 10: Resultados obtidos no mapa de ruído com troca de pavimentação da rodovia.
Fonte: Elaborado pelos autores.

3.9. Combinação entre as intervenções

Devido ao elevado nível de pressão sonora causado pelo tráfego na rodovia, foi necessário combinar diferentes intervenções, inserindo barreiras acústicas como medidas de intervenção de forma a maximizar a redução de ruído da via. Nesse cenário, foram consideradas barreiras com 20 m e 15 m de altura com coeficiente de absorção sonora de 0,8 em toda a faixa de frequência, uma redução de 20 km/h na velocidade máxima dos veículos em todas as pistas da rodovia e a utilização de pavimentação do tipo *double layered porous asphalt surface*. O mapa de ruído com os resultados da simulação é apresentado na Figura 11. O nível de pressão sonora, L_{Aeq} , a 2 m da fachada obtido no 6º pavimento é de aproximadamente 50 dB, ou seja, uma redução de 23 dB em relação ao cenário sem intervenção. Já no 20º pavimento, o nível obtido foi de aproximadamente 55 dB, ou seja, uma redução de 18 dB em relação ao cenário sem intervenção. Com essa combinação entre diferentes soluções é possível atender ao limite considerado como premissa, de 55 dB.

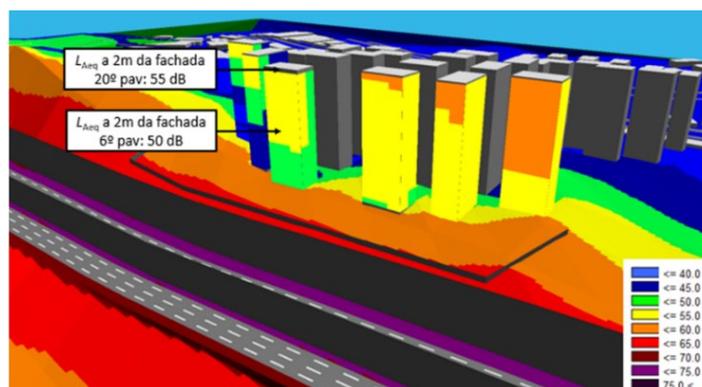


Figura 11: Resultados obtidos no mapa de ruído com barreiras com 20 m e 15 m de altura com coeficiente de absorção sonora de 0,8 em todas as bandas de frequência, redução de 20 km/h na velocidade máxima dos veículos e troca da pavimentação da rodovia.
Fonte: Elaborado pelos autores.



4. CONCLUSÃO

A análise da paisagem sonora urbana é um tema de extrema importância. Nesse sentido, devem ser estabelecidas e analisadas formas de controle de ruído, especialmente daquele provocado pelo tráfego rodoviário. No presente trabalho foi analisado o impacto de diversas intervenções em uma rodovia visando diminuir o nível de pressão sonora obtido nas fachadas de um empreendimento próximo à via. Conclui-se que, no estudo de caso analisado, seria necessária a combinação de diferentes intervenções para que o nível de pressão sonora contínuo equivalente ponderado em A, L_{Aeq} , estivesse de acordo com as normas técnicas e legislações pertinentes. As intervenções consideradas foram barreiras com 20 m e 15 m de altura com coeficiente de absorção sonora de 0,8 em todas a faixa de frequência, redução de 20 km/h na velocidade máxima dos veículos em todas as pistas da rodovia e a utilização de pavimentação do tipo *double layered porous asphalt surface*. É necessário salientar a complexidade em controlar a propagação de ruído rodoviário em determinadas situações, visto a dificuldade de implementação, sobretudo das soluções apresentadas, envolvendo a construção de barreiras acústicas de dimensões elevadas.

Para um estudo mais completo da paisagem sonora urbana, é necessário ir além da avaliação quantitativa e acrescentar a avaliação qualitativa, a partir de respostas subjetivas de pessoas em relação aos diferentes cenários simulados.

AGRADECIMENTOS

À empresa Giner, por fornecer as condições necessárias para que o presente trabalho pudesse ser executado.

REFERÊNCIAS

- (1) Ouis, D. (2001). Annoyance from road traffic noise: a review. *Journal of Environmental Psychology*, 21(1), 101–120.
- (2) Associação Brasileira de Normas Técnicas (2019). *Acústica — Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas — Aplicação de uso geral* (ABNT NBR 10151).
- (3) Ekici, I.; Bougdah, H. (2003). A review of research on environmental noise barriers. *Building Acoustics*, 10(4), 289–323.
- (4) Iannone, G.; Guarnaccia, C.; Quartieri, J. (2013). Speed distribution influence in road traffic noise prediction. *Environmental Engineering and Management Journal*, 12(3), 493–501.
- (5) Gündoğdu, Ö.; Gökdağ, M.; Yüksel, F. (2005). A traffic noise prediction method based on vehicle composition using genetic algorithms. *Applied acoustics*, 66(7), 799–809.
- (6) Sandberg, U. (1987). Road traffic noise—The influence of the road surface and its characterization. *Applied Acoustics*, 21(2), 97–118. DOI:10.1016/0003-682X(87)90004-1.
- (7) DataKustik. CadnaA – State-of-the-art Noise Prediction Software. <https://www.datakustik.com/products/cadnaa/cadnaa>.
- (8) Karantonis, P.; Gowen, T.; Simon, M. (2010). Further comparison of traffic noise predictions using the CadnaA and SoundPLAN noise prediction models. In: *Proceedings of 20th International Congress on Acoustics (ICA)*, 23–27.
- (9) Kephelopoulos, S.; Paviotti, M.; Anfosso-Lédée, F. (2012). Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU), European Commission, 180-p.

