AVALIAÇÃO DE MEDIDAS MITIGADORAS DE CONTROLE DE RUÍDO NUMA INDÚSTRIA METALMECÂNICA ATRAVÉS DE MAPAS ACÚSTICOS

Tiago Alex Gonçalves (1); Eriberto Oliveira do Nascimento (2) e Paulo Henrique Trombetta Zannin (3)
(1) Engenheiro Ambiental e de Segurança do Trabalho, tiago.alx@gmail.com
(2) Engenheiro Mecânico, Doutorando, eriberto.on@gmail.com
(3) Engenheiro Mecânico, Prof. Tit. Dr. -Ing., paulo.zannin@gmail.com
Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Laboratório de Acústica Ambiental - Industrial e Conforto Acústico, Centro Politécnico, Bloco IV, Sala PG-05, Cx Postal 19011, Curitiba - PR, 81531-990

RESUMO
O ruído ambiental apesar de ser usualmente ignorado é um dos principais poluentes ambientais. A poluição sonora ocasiona danos à saúde, a economia e ao ambiente. Este trabalho objetiva avaliar o ruído gerado em uma indústria metalmecânica, instalada em uma área residencial na região metropolitana de Curitiba, Brasil. Para analisar a poluição sonora foram medidos os níveis de pressão sonora equivalente dos ruídos gerados por uma empilhadeira, nos períodos diurno e noturno. Mapas de ruído diagnóstico feito no software Predictor foram calculados objetivando avaliar a situação corrente e projetar medidas de atenuação dos ruídos industriais. Os resultados mostraram que o ruído gerado ultrapassa os níveis da legislação em todos os cenários avaliados, expondo cerca de 3915 pessoas a estes níveis. O ruído diurno atinge nas áreas habitadas L_{Aeq} de 63 dB e 67 dB para o ruído noturno. O ruído da empilhadeira foi de 84 dB. As ações propostas para o controle do ruído industrial, diurno e noturno, e para o ruído específico gerado pela empilhadeira, minimizaram a propagação sonora em áreas urbanas a níveis aceitáveis. Por fim, concluiu-se que mapas acústicos associado a medições in-situ são ótimas ferramentas para determinar o impacto sonoro, auxiliando na redução dos níveis sonoros.

Palavras-chave: Ruído industrial, Poluição sonora, Ruído de Prensas, Ruído de Empilhadeira, Incômodo à vizinhança e Mapeamento sonoro.

ABSTRACT
Environmental noise is one of the leading pollutants, despite being largely ignored. Noise pollution causes damage to health, the economy, and the environment. This work evaluates the noise generated in a metal-mechanic industry installed in a residential area in the metropolitan region of Curitiba, Brazil. The equivalent sound pressure levels of the noises generated by forklifts were measured during the day and night to analyze noise pollution. Diagnostic noise maps made in the Predictor software were calculated to assess the current situation and design measures to mitigate industrial noise. The results showed that the generated noise exceeds the legislation levels in all the evaluated scenarios, exposing about 3915 people to these levels. Daytime noise reaches 63 dB and 67 dB in the L_{Aeq} inhabited areas for nighttime noise. The forklift noise was 84 dB. The proposed actions for industrial, daytime, and nighttime noise and the specific noise generated by the forklift minimized the noise propagation in urban areas to acceptable levels. Finally, it was concluded that acoustic maps associated with in-situ measurements are great tools to determine the sound impact, reducing sound levels.

Keywords: Industrial noise, Noise pollution, Press noise, Forklift noise, Neighborhood disturbance and Sound mapping.

1. INTRODUÇÃO

A poluição sonora é um problema de ordem mundial, que interfere na saúde física e mental do ser humano. O aumento da poluição sonora está ligado diretamente ao crescimento demográfico da população urbana e ao consequente aumento das fontes geradoras de ruído (LICITRA; ASCARI; FREDIANELLI, 2017). O ruído ambiental também aparece como um fator perigoso em escolas causando danos para o processo de ensino e aprendizagem (CALOSSO et al., 2017). Além disso, Loupa et al. (2019) demonstraram que o ruído afeta a recuperação de pacientes e o desempenho do corpo clínico e de servidores de hospitais.

Basner et al. (2014) discorreram sobre os efeitos auditivos e não auditivos do ruído na saúde, apontando que as perdas auditivas induzidas por ruído estão predominantemente ligadas ao ruído ocupacional, da mesma forma, que a exposição ao ruído traz consigo aborrecimento, causa distúrbios no sono, afeta a recuperação de pacientes e o desempenho do pessoal em hospitais. Analogamente, van Kamp et al. (2020) aludiram que a exposição excessiva ao ruído aumenta a ocorrência de hipertensão, doenças cardiovasculares e prejudica o desempenho cognitivo em crianças em idade escolar.

Por outro lado, o ruído gerado por uma indústria depende de condições do seu processo, ou seja, cada planta pode ser modelada e associada com um nível de potência sonora equivalente. Com isso, na literatura, o ruído industrial tem sido alvo de várias investigações, e nestas verificou-se uma padronização acerca da avaliação metodológica para a estimativa do ruído, que se constitui em compreender e identificar as principais fontes sonoras e a partir delas, propor medidas de atenuação (BOZKURT; DEMIRKALE, 2017). Uma das ferramentas corriqueiramente utilizadas na avaliação do ruído industrial é o cálculo de mapas de ruído, sendo os softwares SoundPlan (IBRAHIM, 2015), CadnaA (JEONG; DIN; OTSURU, 2010) e Predictor (ZANNIN; DO VALLE, DO NASCIMENTO, 2019) os mais empregados.

Com o avanço de pesquisas relacionadas a atenuação sonora, a utilização de mapas de ruído tem sido uma ferramenta recorrentemente empregada, tal que Murphy, Faulkner e Douglas (2020) mostraram o estado da arte do mapeamento estratégico de ruído, em que evidencia o apropriado potencial deles para o apoio da tomada de decisões no controle do ruído ambiental, e, portanto, ajuda a buscar soluções que visem a diminuição dos efeitos da poluição sonora sobre a saúde.

2. OBJETIVO

Este trabalho objetiva avaliar a situação atual das imissões sonoras numa indústria metal mecânica e propor medidas atenuadoras para os níveis de pressão sonora gerados pela metalúrgica. Para tanto foram realizadas medições dos níveis de pressão sonoro emitidos, além do ruído de fundo durante os períodos diurno e noturno. Posteriormente, calculou-se os respectivos mapas de ruído da avaliação diagnóstica corrente e dos cenários das medidas atenuadoras do ruído.

3. MÉTODO

3.1. Descrição da planta industrial

A planta avaliada é uma indústria metalomecânica de grande porte, localizada na região metropolitana da cidade de Curitiba, na região Sul do Brasil. Esta indústria possui cerca de 1000 funcionários e fabrica anualmente cerca de 20.000 toneladas de peças soldadas, rebitadas, estampadas e usinadas para a produção de veículos como caminhões, ônibus, tratores agrícolas e da construção civil. Dos diversos equipamentos industriais, medições preliminares mostraram que os níveis de pressão sonora equivalente (L_{Aeq}) emitidos pela prensa excêntrica e da empilhadeira foram capazes de mascarar todos os demais ruídos do complexo industrial o que gerou indícios de acentuada poluição sonora.

As medições foram realizadas conforme as diretrizes da norma brasileira NBR 10151/2019 (ABNT, 2019) que avalia o ruído em comunidades. O nível de pressão sonora da prensa e da empilhadeira foram obtidos por meio de medição direta, pois trata-se de fontes especificas predominantes cuja diferença aritmética entre o ruído residual e o específico é superior a 15 dB conforme NBR 10151/2019.

Todos os pontos foram escolhidos em função da potencialidade da fonte específica causar incômodo na comunidade. Conforme apresentado na Figura 1, as medições foram realizadas em locais externos ao empreendimento e nas vias públicas das áreas habitadas vizinhas. Não foram realizadas medições nas residências.

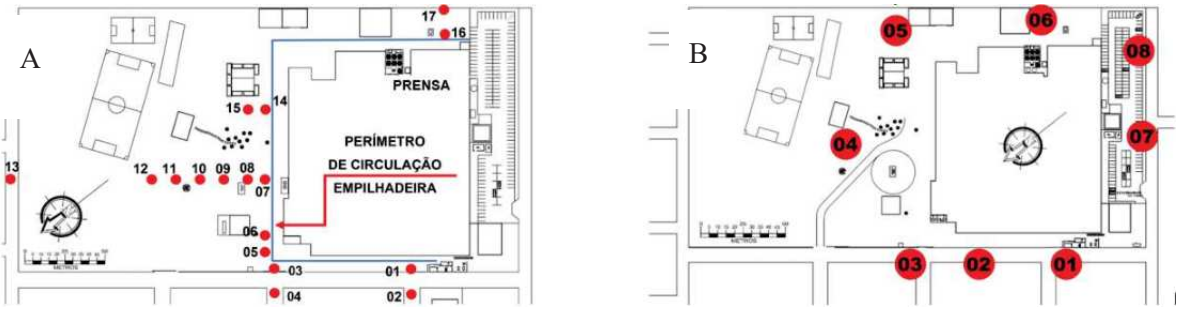

Figura 1 - Pontos de medição para os cenários de estudo: (A) Medições em relação a fonte empilhadeira; (B) Medição noturna para o ruído industrial de fundo

As medições foram realizadas utilizando dois sonômetros, Brüel & Kjaer 2270 e Brüel & Kjaer 2250 devidamente calibrados em conformidade com a NBR 10151/2019. Antes de cada série de medições e ao final de uma série de medições os sonômetros eram ajudados com o calibrador sonoro 4231, igualmente calibrado. O nível de pressão sonora equivalente (L_{Aeq}) para a empilhadeira foi medido em um período que contemplasse toda a variação do cenário produtivo. O período variou conforme a característica da fonte, entre 2 minutos para medições do ruído da empilhadeira e 5 minutos para ruído industrial de fundo.

A indústria avaliada está localizada num zoneamento residencial e o limite RL_{Aeq} permitido para a região é de 60 dB para o período diurno e 55 dB para o período noturno. O RL_{Aeq} foi estabelecido conforme a Lei Municipal nº 1319 de São José dos Pinhais, que caracteriza a região de estudo como área mista, com vocação comercial e administrativa, sem corredores de trânsito (SÃO JOSÉ DOS PINHAIS, 2008).

Além de residências, comércios e outros empreendimentos, há trânsito de veículos que poderiam influenciar os resultados de medições. Portanto, para determinar o efeito do ruído industrial na comunidade foram elaborados mapas acústicos de todos os cenários.

3.2. Mapas Acústicos

Os mapas acústicos foram calculados pelo software Predictor 8.13 da Brüel & Kjaer. O método ISO 9613-2 (ISO, 2017) para o cálculo da propagação sonora industrial foi empregado, este pondera a altura das edificações, parâmetros do solo, áreas de vegetação, topografia e outras condições físicas próprias do local de estudo, inclusive tipos de fontes, fatores de correção, velocidade de fontes móveis etc.

A Figura 2 mostra o modelo geométrico das curvas de níveis do terreno, as dimensões da indústria. Os prédios da região foram modelados com o auxílio do AutoCAD, totalizando 1140 edificações. O mapa obtido foi exportado para o software Predictor para posterior inserção da elevação das vegetações e das edificações conforme apresentado na Figura 2b. A área de cálculo foi estabelecida por um grid horizontal de 1 km², espaçamento de 5 m x 5 m e altura de 1,5m (PAIVA, CARDOZO, ZANNIN, 2019). Para o grid vertical foi utilizado espaçamento de 1 m x 1 m (MURPHY, KING, 2014).

A)



B)

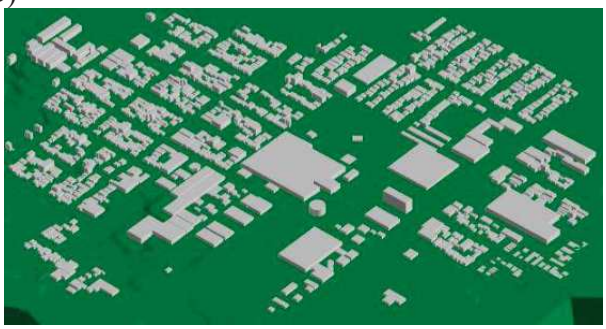

Figura 2 – Modelo do Predictor e foto aérea do local de estudo: (A) Imagem de satélite da área de estudo; (B) Modelo da área de estudo

Os mapas acústicos foram elaborados conforme os modelos estabelecidos para cada cenário estudado. Dessa forma, a Figura 3 mostra o circuito da empilhadeira, essa foi considerada como uma fonte móvel com circuito ao redor da planta.

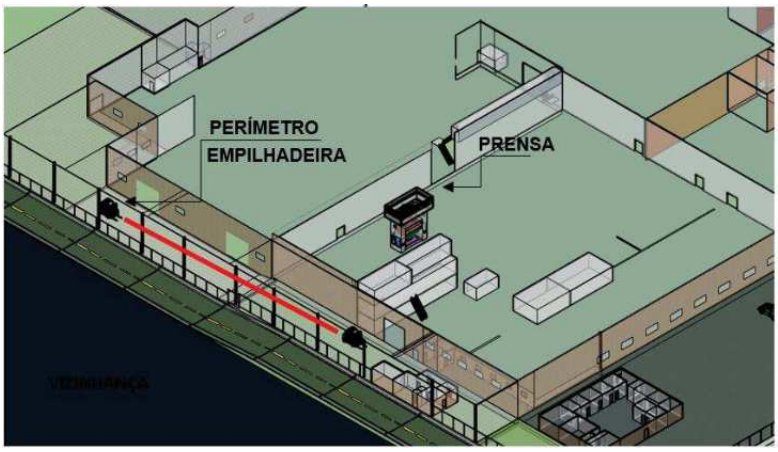

Figura 3 - Localização da área de atividade da empilhadeira.

Para a calibração dos modelos acústicos no software Predictor foram posicionados receptores georreferenciados no mesmo local das medições físicas conforme a localização dos pontos apresentados na Figura 1. O modelo obtido foi simulado sucessivamente até que o valor obtido no receptor fosse próximo do valor real medido, com tolerância do L_{Aeq} de até ± 3 dB (GOZALO et al., 2019).

3.3. Estimativa de exposição do ruído

Para cada cenário avaliado foi realizado a análise do número de pessoas expostas a nível superior aos critérios de aceitação, 60 dB para o período diurno e 55 dB para o período noturno. Essa análise ocorreu conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010) e a Secretaria Municipal de Planejamento e Desenvolvimento Econômico de São José dos Pinhais (2019), onde o bairro estudado possui densidade demográfica de 3,09 pessoas por moradia. Logo, conforme a distribuição espacial das isolinhas do mapa acústico e a ponderação do tipo de moradia foi determinado o número de residências expostas e em seguida calculado o número de pessoas que vivem nesta região.

3.4. Ação mitigadora para o ruído

Para a empilhadeira foram propostas quatro medidas para mitigar o ruído, estes cenários foram:

(i) Redução da velocidade da empilhadeira: a velocidade da empilhadeira, que pode atingir 20 km/h, é um fator relevante na geração do ruído. Desta forma, foi proposta como ação mitigadora de reduzir a velocidade da empilhadeira. Portanto foi realizada uma campanha de medições, em dois pontos localizados a 02 e a 15 metros da área de circulação, para avaliar o ruído da empilhadeira com velocidade limitada de até 7 km/h.

(ii) Alteração do pavimento: alteração do pavimento na área de circulação da empilhadeira, alterando a pavimentação atual em blocos rígidos de concreto para asfalto. Realizou-se uma campanha de medição em dois pontos localizados a 02 e a 15 metros da área de circulação da empilhadeira.

(iii) Barreira acústica: construção do modelo virtual de uma barreira acústica com altura de 4 metros no limite das dependências da indústria conforme detalhado na Figura 4.

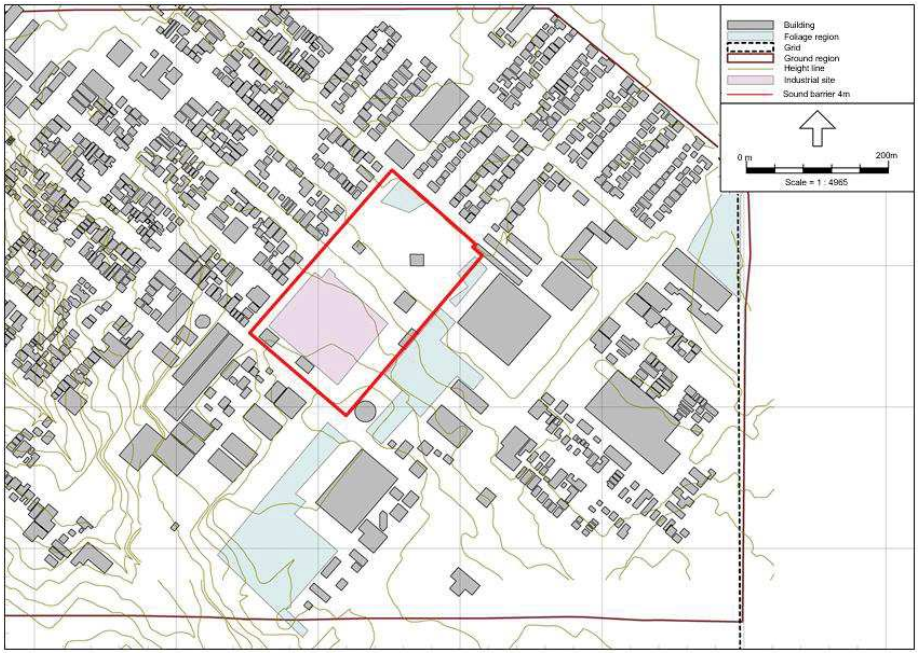

Figura 4 - Posicionamento da barreira acústica para atenuar o ruído na comunidade

Para cada ação de mitigação foram confeccionados novos mapas de ruído. Portanto, para a elaboração das propostas foram utilizados os modelos previamente calibrados.

3.5. Avaliação em Grid vertical

O grid vertical permite avaliar a exposição sonora dos andares superiores ao térreo, que são afetados de formas diferentes pela fonte sonora em razão da altura da fonte, barreiras e edifícios existentes. Após a definição das ações mitigadoras, foi realizado análise do grid vertical para avaliar a eficácia das ações para este grupo de moradores, que estão expostos a níveis diferentes quando comparados a moradores do térreo e segundo andar.

4. RESULTADOS

4.1. Resultados das medições

O ruído industrial em ambos os períodos avaliados, noturno e diurno, obtiveram L_{Aeq} acima dos limites legais na maioria dos pontos medidos. Quando considerado o período noturno, o L_{Aeq} medido foi superior em 50% dos pontos externos avaliados e obteve o L_{Aeq} médio, entre os pontos, de 58,2 dB. Para o período diurno, o L_{Aeq} medido é superior ao limite de 60 dB em cerca de 88% das medições realizadas e L_{Aeq} médio, entre os pontos, de 65,4 dB.

Os mapas calculados obtiveram tolerância inferior ao erro máximo admitido de ± 3 dB. A Figura 5 mostra a comparação entre os pontos medidos e os receptores simulados.

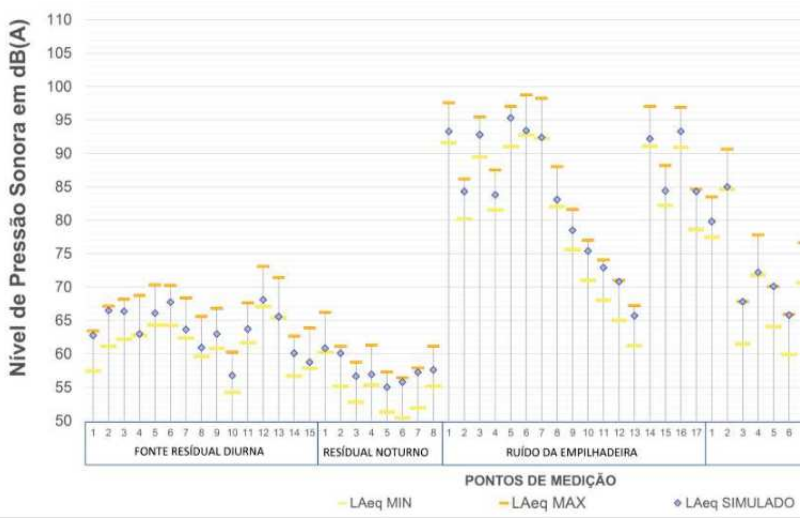

Figura 5 - Limite máximo e mínimos obtidos nos mapas acústicos associado a faixa de ± 3 dB(A).

Os resultados das medições evidenciaram que o ruído gerado nos (n = 17) pontos de medição, durante o deslocamento da empilhadeira, não apresentou alto desvio padrão no circuito, durante o deslocamento da empilhadeira. O L_{Aeq} médio do ruído gerado pela empilhadeira foi de 94 dB a 5 m do perímetro de circulação. As medições mostraram que a 150 m de distância de empilhadeira, 100% dos pontos obtiveram o L_{Aeq} superior ao limite legal de 60 dB, isso evidencia um incômodo significativo para a vizinhança, afetando o bem-estar da comunidade van Kamp et al. (2020).

4.2. Avaliação das ações mitigadoras

O ruído gerado pela empilhadeira a cerca de 05 metros da fonte apresentou uma média de 94,3 dB, índice elevado e que se mantém em todo o perímetro da movimentação. O ruído da empilhadeira a cerca de 15m da fonte apresentou uma média de 84,1 dB e desvio médio de apenas 1,2 dB. Após calibração, o modelo simulado do ruído da empilhadeira garantiu o desvio máximo de até ± 3 dB, entre todos os pontos medidos e os simulados, alcançando um erro máximo de 2,9 dB.

O ruído da empilhadeira possui caminho bem demarcado com níveis sonoros de 94,3 dB. Estes níveis são gradualmente reduzidos, entretanto alcança as áreas habitadas com níveis sonoros na faixa de 80 até 90 dB. Quando considerado o alcance esperado do nível sonoro com 60 dB e analisando as moradias que estão expostas a esse nível, o ruído da empilhadeira pode incomodar cerca de 1569 pessoas, 13% das pessoas que moram no bairro.

A primeira ação de mitigação do ruído da empilhadeira foi a limitação da velocidade que permitiu a redução da geração do ruído durante a movimentação da empilhadeira. Com os resultados das medições foi realizado uma nova simulação que obteve uma diferença de aproximadamente 11 dB. Apesar dessa atenuação, a proposta não é suficiente para garantir que o ruído alcance áreas habitadas em níveis sonoros abaixo do limite de níveis de pressão sonora permitido para região.

A segunda ação para mitigação do ruído da empilhadeira foi a alteração da pavimentação para asfalto que também permitiu a redução na geração do ruído durante a movimentação da empilhadeira. Com os resultados das medições foi realizado uma nova simulação que obteve uma diferença de aproximadamente 8 dB. Apesar dessa atenuação, a proposta também não é suficiente para garantir que o ruído alcance áreas habitadas em níveis sonoros abaixo do limite permitido.

Considerando que as ações individuais de redução da velocidade e alteração do pavimento, não atenderam ao limite de 60 dB para o período diurno, propôs-se uma terceira ação para mitigação do ruído da empilhadeira. Nesta ação foi proposta a simulação de uma barreira física em todo o contorno da planta. Os resultados obtidos no modelo constataram que a ação isolada da barreira também não seria suficiente para atenuar o ruído a níveis abaixo de 60 dB.

Portanto como nenhuma ação por si só é indicada para minimizar o ruído, para valores aceitáveis foi proposta a simulação das três ações em conjunto (Redução da velocidade, alteração na pavimentação e barreira física) e realizada uma nova simulação cujo L_{Aeq} indicado na predição da Figura 6 conformaria com a legislação municipal, atenuando o ruído que atinge as áreas habitadas a níveis inferiores à 55 dB – limite legal para o período noturno.

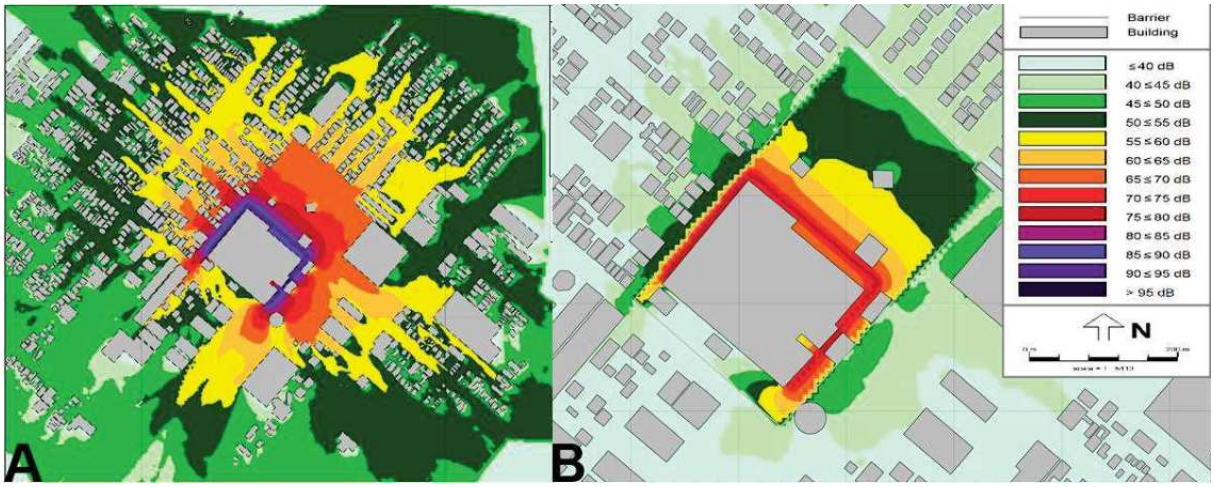

Figura 6 - Comparação de propagação do ruído da empilhadeira: (A) Simulação de diagnóstico (B) Simulação de predição acústica após as ações: Redução da velocidade, alteração na pavimentação e barreira física.

A comparação entre a Fig. 6(b) em relação a Fig. 6(a) indica a efetividade das medidas de mitigação, uma vez que a comunidade está exposta a níveis inferiores a 55 dB. Neste cenário, não haveria pessoas expostas a níveis acima do recomendado pela legislação, contudo aumentaria o ruído na região interna da planta em razão da reflexão na barreira.

4.3. Avaliação sonora na malha vertical

A Figura 7 apresenta a simulação na malha vertical para o ruído da empilhadeira, após a implementação de todas as ações de minimização que foram a redução da velocidade, alteração do pavimento e implementação da barreira física. Quando avaliado a propagação sonora vertical verificou-se que as edificações de até dois andares foram expostas a menores níveis de pressão sonora, quando comparado frente as edificações de maior altura.

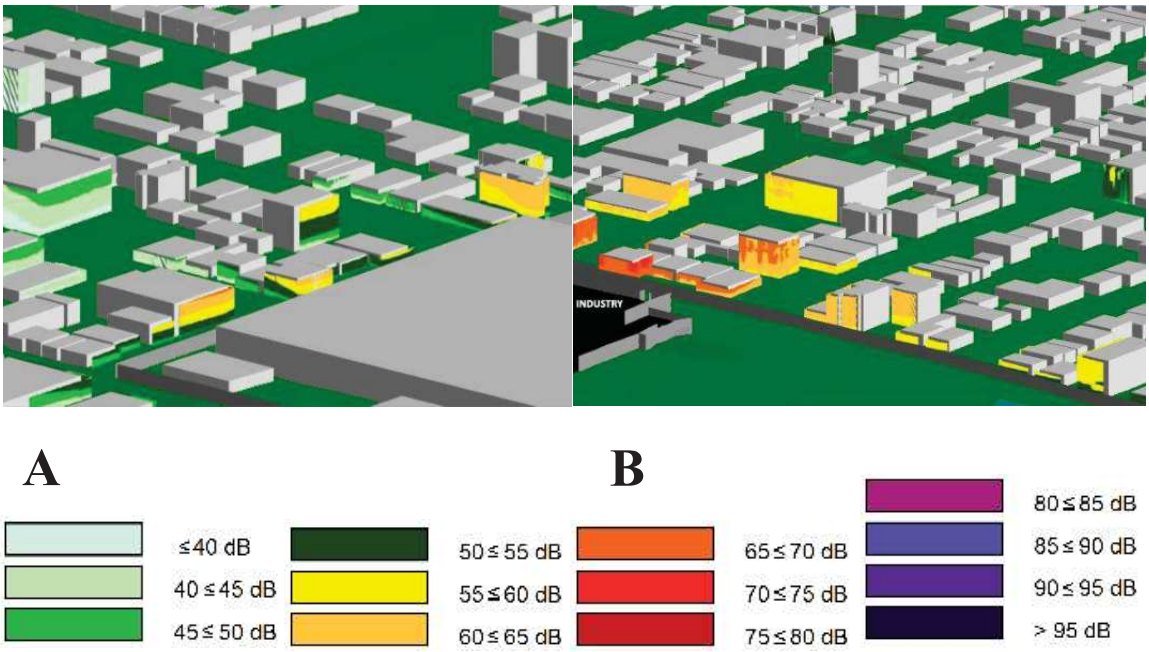

Figura 7 - Comparação prognóstica da propagação vertical do ruído: (A) Simulação do ruído da empilhadeira (B) Simulação do ruído da prensa

O modelo vertical indicou maior exposição dos níveis superiores dos prédios próximos a indústria, superando o limite sonoro de 60 dB. A exposição a estes níveis não foi identificada na análise horizontal para o ruído da empilhadeira após a implementação das medidas atenuadoras, evidenciando maior exposição de grupos de moradores na faixa de 60-65 dB.

5. CONCLUSÕES

As medições realizadas evidenciaram a exposição da comunidade à níveis de pressão sonora acima do limite legal em todos os cenários considerados. A simulação prognóstica acústica que considerou as ações para minimizar o ruído indicam os melhores resultados para o ruído da empilhadeira, desde que sejam implementadas todas as ações em conjunto, com resultados promissores indicando a atenuação do nível de pressão sonora entre 17,5 dB até 32,8 dB.

Como todas as ações atuaram na fonte e no percurso, as ações reduziram o ruído dissipado para a área externa da planta, criando uma região de sombra acústica nas residências próximas a indústria. Os empreendimentos com altura superior a 6,0 m sofreram uma menor redução dos níveis de pressão sonora que chegam a suas fachadas em função da reflexão de borda dos elementos acústicos, expondo os moradores a níveis sonoros superiores.

As simulações indicaram em grade horizontal, que o ruído industrial da empilhadeira, atenderiam os requisitos legais para a região de 60 dB. Todavia, quando considerado a simulação vertical, o ruído que atinge as edificações a partir do terceiro pavimento, possuem níveis sonoros acima dos limites aceitáveis, mesmo havendo uma redução substancial na propagação do ruído. De forma geral, o nível sonoro no pavimento térreo é cerca de 5 dB à 10 dB menor que os andares superiores.

Por fim, não houve uma solução específica que atenuasse o ruído industrial foram necessárias ações múltiplas, que associadas poderiam minimizar a poluição sonora. O uso de modelos computacionais permitiu avaliar tais cenários e definir as melhores estratégias, que podem minimizar os níveis sonoros, para níveis mais confortáveis, visando o bem-estar da comunidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10151: Acústica – Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas – Aplicação de uso geral. Rio de Janeiro, 2019.

BASNER, M. et al. Auditory and non-auditory effects of noise on health. **The lancet**, v. 383, n. 9925, p. 1325-1332, 2014.

BOZKURT, T. S.; DEMIRKALE, S. Y. The field study and numerical simulation of industrial noise mapping. **Journal of Building Engineering**, v. 9, p. 60-75, 2017.

CALOSSO, G. et al. A one-school year longitudinal study of secondary school teachers' voice parameters and the influence of classroom acoustics. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 142, n. 2, p. 1055-1066, 2017.

GOZALO, G. R. et al. Statistical attribution of errors in urban noise modeling. **Applied Acoustics**, v. 153, p. 20-29, 2019.

IBRAHIM, Sh. Noise Mapping of the Campus of the College of Engineering/The University of Al-Mustansiriyah. **Journal of Environment and Earth Science**, v. 5, n. 4, p. 108, 2015.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 9613:2 Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 2: General method of calculation. Suiça, 2017.

JEONG, J. H. et al. An application of a noise maps for construction and road traffic noise in Korea. **International Journal of Physical Sciences**, v. 5, n. 7, p. 1063-1073, 2010.

LICITRA, G.; ASCARI, E.; FREDIANELLI, L. Prioritizing process in action plans: A review of approaches. **Current Pollution Reports**, v. 3, n. 2, p. 151-161, 2017.

LOUPA, G. et al. Mapping the noise in a Greek general hospital. **Science of the Total Environment**, v. 646, p. 923-929, 2019.

MURPHY, E.; FAULKNER, J. P.; DOUGLAS, O. Current state-of-the-art and new directions in strategic environmental noise mapping. **Current Pollution Reports**, v. 6, n. 2, p. 54-64, 2020.

MURPHY, E.; KING, E. Environmental noise pollution: Noise mapping, public health, and policy. **Newnes**, 2014.

PAIVA, K. M.; CARDOSO, M. R. A.; ZANNIN, P. H. T.. Exposure to road traffic noise: Annoyance, perception and associated factors among Brazil's adult population. **Science of the Total Environment**, v. 650, p. 978-986, 2019.

SÃO JOSÉ DOS PINHAIS. Lei nº 1319, de 05 de dezembro de 2008. Dispõe sobre ruídos urbanos e proteção do bem-estar e do sossego público. Disponível em: << https://bit.ly/2NaGO2q>> Acesso em: 10 mar 2019

VAN KAMP, Irene et al. Evidence relating to environmental noise exposure and annoyance, sleep disturbance, cardio-vascular and metabolic health outcomes in the context of IGCB (N): A scoping review of new evidence. **International journal of environmental research and public health**, v. 17, n. 9, p. 3016, 2020.

ZANNIN, P. H. T.; do VALLE, F. Do Nascimento, E. O. Assessment of Noise Pollution along Two Main Avenues in Curitiba, Brazil. **Open Journal of Acoustics**, v. 9, n. 02, p. 26, 2019.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.