

4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CATEGORIA 2

SIMULAÇÃO DO IMPACTO SONORO AMBIENTAL DE UMA NOVA LINHA DE TREM EM SÃO PAULO

RESUMO

Este trabalho apresenta o estudo de Simulação de Impacto Sonoro Ambiental da futura Linha 13 - Jade, da CPTM, atualmente em construção. Tal linha terá uma função importantíssima, pois ligará a Estação Eng. Goulart, na zona leste ao Aeroporto Internacional de Guarulhos. A Linha 13 contribuirá para o transporte de passageiros ao Aeroporto, diminuindo o tempo de viagem e desafogando o trânsito das marginais e vias de acesso rodoviário ao Aeroporto. O traçado da Linha 13 - que é quase toda elevada, a ~15 a 20 m do piso - atravessa áreas próximas à Universidade USP Leste, Hotéis, condomínios residenciais como o CECAP e o Hospital de Guarulhos, todos considerados receptores sensíveis. Sabendo que o trem trafegará a 90 km / h, é previsto que a linha de trem emitirá algum ruído e poderá impactar o entorno. O trabalho aborda a modelagem e simulação do nível de ruído emitido pela Linha 13, através de software específico, comparando-se os níveis sonoros dos receptores aos critérios acústicos previstos na Decisão de Diretoria n. 389 da CETESB. A partir da identificação dos pontos críticos, a simulação permite localizar e dimensionar os trechos das barreiras acústicas necessárias à via, para que a passagem dos trens não provoque incômodo acústico aos receptores impactados, tanto nos períodos diurno, quanto no período noturno - reservado ao repouso.

Palavras-chave: Metroferroviário, Ruído, Simulação, Trem.

1. INTRODUÇÃO

Este paper apresenta um estudo de caso referente à avaliação de eventual impacto de ruído decorrente da construção de uma nova linha de trem – Linha 13 Jade – da CPTM, com extensão de 13 km, na zona leste de São Paulo. Essa linha – atualmente em construção – inicia-se paralela à Linha 12 - Safira, no nível da superfície, e depois de 2,5 km se eleva numa curva à esquerda, alcançando alturas médias de 10,0 a 15,0 m em relação ao piso. A nova linha corta vias de tráfego pesado e rodovias como a Rodovia Hélio Smidt e a Rodovia Dutra. Todo o projeto da Linha 13 foi elaborado pelo Consórcio EPC (Engevix – Planservi – Concremat).

O trabalho aqui apresentado consistiu nas etapas descritas a seguir:

- Medição dos níveis de ruído ambiental (pré-existent) no local do projeto, em 10 pontos de controle, período diurno;
- Modelagem digital da área em torno da Linha 13, abrangendo os pontos de controle, as rodovias e principais vias de tráfego existentes, e edificações comerciais, industriais e residenciais;
- Calibração do modelo com as medições de ruído ambientais, realizadas;
- Caracterização dos níveis de ruído do trem que será utilizado na respectiva linha, a saber modelo 7000 da CAF; introdução da linha de trem no modelo digital;
- Obtenção dos mapas de ruído na área estudada com a inserção da linha 13, e verificação das áreas impactadas;
- Dimensionamento de barreiras acústicas para minimizar o impacto sonoro e adequar as áreas atingidas aos critérios da Decisão de Diretoria n. 389 / 2010 / P da CETESB.

2. CAMPANHA DE MEDIÇÃO SONORA

2.1 Área de implementação da futura linha de trem

É apresentada na figura 1 uma fotografia aérea do comprimento total da Linha 13 – Jade, indicando a presença de uma malha urbana densa ao redor desta, além de vias de tráfego rodoviário de alta capacidade. Foram selecionados 10 pontos de medição próximos a receptores sensíveis ao longo dos 13 quilômetros compreendidos pela linha de trem.

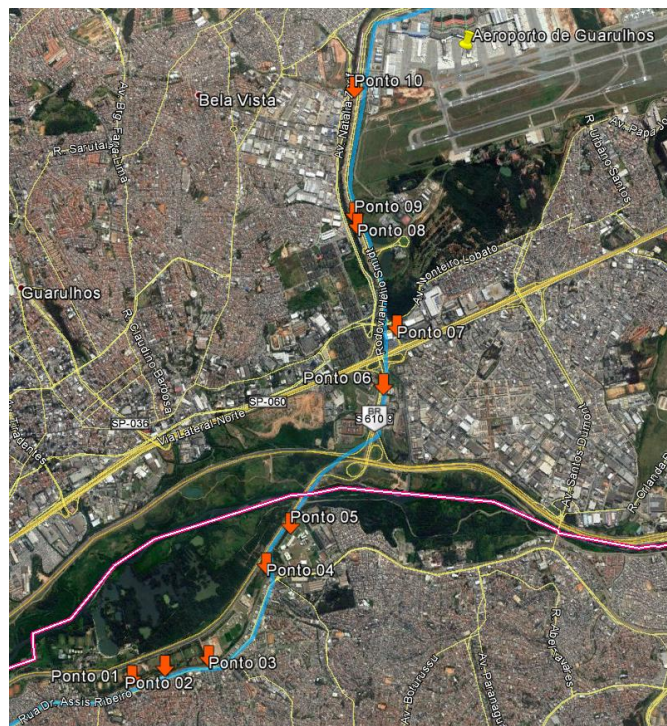


Figura 1 – Traçado da Linha 13 e pontos de avaliação.

2.2 Procedimentos

A campanha de medição sonora foi efetuada durante os períodos diurno (10:00 às 14:00) e noturno (22:00 às 02:00). Para as medições foram utilizados os analisadores sonoros Svantek, modelo 943 e Larson Davis, modelo 831. A metodologia de medição seguiu os procedimentos estabelecidos pelas Decisões de Diretoria da CETESB 389/2010/P e 100/2009/P, específicas para avaliação de fontes lineares de ruído. A metodologia consiste na amostragem mínima de 10 minutos contínuos, onde o nível sonoro equivalente (Leq) dos primeiros 5 minutos (Leq_5) e dos 10 minutos (Leq_{10}) são anotados e comparados entre si. Caso a diferença entre os Leq s seja menor ou igual a 0,5 dB, a medição é válida e interrompida aos 10 minutos. Caso contrário, prolonga-se a medição por mais 5 minutos, totalizando 15 minutos (Leq_{15}), e compara-se este nível Leq_{15} com o Leq_{10} . No caso da diferença entre estes Leq s for igual ou inferior a 0,5 dB, a medição é validada. Caso contrário, a medição é descartada e é iniciada uma nova medição, repetindo-se o procedimento descrito. A tabela 1 apresenta os níveis de pressão sonora mensurados (Leq) nos 10 pontos avaliados no período diurno. Os níveis sonoros obtidos foram comparados com os critérios estabelecidos pela CETESB 389/2010/P. Entretanto, devido ao elevado nível do ruído ambiente, seguiu-se a recomendação da NBR 10.151/2000, onde os pontos em que os níveis de pressão sonora mensurados superou o critério, este nível mensurado passou a ser o novo critério.

Tabela 1 – Medições sonoras efetuadas durante o período diurno, Leq , dBA

Período	Ponto	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
	Analisador	LAeq, dB																			
		5 min.	10 min.	5 min.	10 min.	5 min.	10 min.	5 min.	10 min.	5 min.	10 min.	5 min.	10 min.	5 min.	10 min.	5 min.	10 min.	5 min.	10 min.	5 min.	10 min.
Diurno	SVAN	71,8	71,3	68,8	68,6	71,7	71,5	63,9	64,2	58,5	58,7	77,6	77,8	72,1	72,4	66,3	66,7	75,1	74,6	71,5	71,7
	Larson Davis	70,8	70,3	68,3	68,4	71,6	71,8	64,1	64,0	58,2	58,3	77,1	77,2	72,4	72,0	66,1	66,6	74,8	74,5	70,6	71,1

3. ESTUDO DA CONDIÇÃO ATUAL

3.1 Considerações técnicas

O software de Simulação Sonora, SoundPLAN, foi adotado para a elaboração dos mapas de propagação sonora na área de estudo. Foi desenvolvido um modelo digital, tridimensional, contendo os elementos físicos da área de estudo, tais como: vias de tráfego, vias ferroviárias, edificações de diversos usos, muros, vegetação, viadutos entre outros. Para a geolocalização dos elementos, foram adotadas as bases geográficas levantadas pela CPTM, compatibilizadas com imagens de satélite. Os pontos de medição foram localizados através da inserção das coordenadas geográficas obtidas *'in loco'*.

Para modelar as vias de tráfego da região, adotou-se a norma alemã de rodovias 'RLS90'. Os dados para modelar as vias de tráfego inseridos no software foram: volume de tráfego (veículos/hora), % de veículos pesados, pavimento, velocidade máxima permitida (km/h), largura e geometria da via de tráfego etc. O volume de tráfego das ruas coletoras e arteriais foi contabilizado no ato da campanha de medições. O volume das rodovias foi fornecido pelas concessionárias.

As linhas metroferroviárias foram configuradas seguindo parâmetros de operação fornecidos pela CPTM. A Linha 12 – Safira, existente, e a futura Linha 13 – Jade, foram analisadas seguindo a norma ferroviária alemã 'Schall 03'. Os dados de entrada foram: a periodicidade na passagem de composições para os períodos diurno e noturno, a carga de operação (lotação), comprimento da composição (em metros), presença de curvas, cruzamentos, pontes, tipo de balastro etc.

Para a validação dos modelos digitais elaborados, a condição atual (sem Linha 13) foi calibrada com os pontos de medição efetuados no entorno desta. A calibração consiste na verificação se os elementos geradores de ruído (vias de tráfego e ferrovias) do modelo digital estão reproduzindo os mesmos níveis de pressão sonora obtidos em campanha de medição. Considera-se o modelo validado quando os receptores digitais inseridos no modelo apontam nível de pressão sonora simulado dentro de um intervalo de +/- 2,0 dBA do valor medido *'in loco'*.

3.2 Resultados

O processo de calibração do modelo digital retornou os valores indicados na tabela 2, os quais estão todos dentro do intervalo máximo de 2,0 dBA.

Tabela 2 – Comparação entre os níveis simulados e medidos.

Trecho	Pontos	Local	Medido (M)	Simulado (S)	Diferença (S-M)
1	1	Estação Engº Goulart	73,5	75,0	1,5
	2	Rua Galera	68,8	68,8	0,0
	3	Residencial Ágata	71,7	69,7	-2,0
2	4	Passarela da USP	64,0	64,5	0,5
	5	Universidade USP-Leste	59,0	61,0	2,0
3	6	Penitenciária	77,8	76,0	-1,8
	7	Edifício Garagem	72,4	70,5	-1,9
	8	Hospital de Guarulhos	66,5	68,5	2,0
	9	Residencial CECAP	74,7	73,6	-1,1
4	10	Aeroporto de Guarulhos	71,5	71,2	-0,3

3.2.1 Propagação sonora da condição atual

A área de estudo abrangendo toda a Linha 13 foi dividida em quatro trechos. Entretanto, para este artigo serão apresentados os resultados obtidos para dois trechos, descritos a seguir:

Trecho 2: Neste trecho a Linha 13 inicia-se paralela à Linha 12 – Safira, em superfície, paralela à

Avenida Dr. Assis Ribeiro. Logo após, faz uma curva à esquerda e fica elevada, com o campus da USP Leste, alguns edifícios residenciais e o CT do Sport Club Corinthians à direita da via.

Trecho 3: Este trecho diverge bastante do anterior, pois apresenta uma malha rodoviária mais densa, composta pelas rodovias Hélio Smidt e Dutra, além da Marginal do Rio Baquirivu. Essas rodovias apresentam grande volume de tráfego, com alta % de veículos pesados. Ao redor da Hélio Smidt há hotéis (Marriott / Pullmann), além do Hospital Geral de Guarulhos e o condomínio residencial CECAP.

Os mapas de propagação sonora da condição atual (sem Linha 13) estão apresentados nas figuras 1 e 2. Ambos evidenciam o protagonismo das rodovias/avenidas citadas, no panorama de poluição sonora.

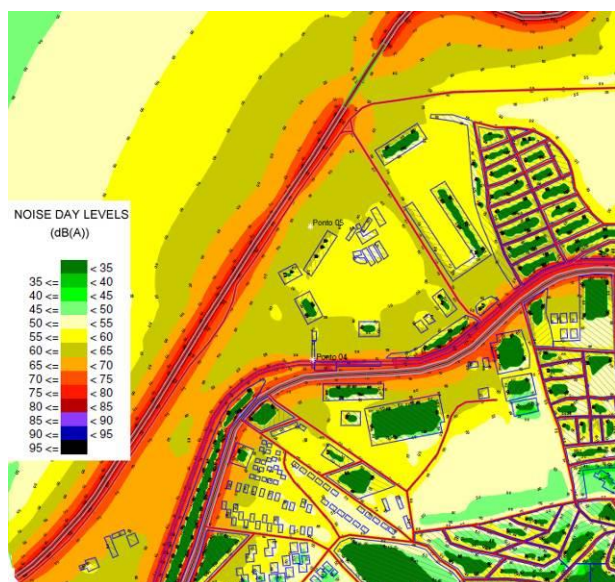


Fig. 1: Prop.Sonora condição atual – Trecho 2.



Fig. 2: Prop.Sonora condição atual– Trecho 3.

4. ESTUDO DA CONDIÇÃO FUTURA

4.1 Medições sonoras dos trens

Para simular a condição futura, considerando a Linha 13 – Jade foi preciso caracterizar o ruído da fonte sonora = trens. Para tal, efetuou-se uma campanha de medição sonora próximo ao pátio CEASA, na Linha 09 - Esmeralda. Esta campanha de medição seguiu as recomendações da norma ISO 3095:2013. Os analisadores sonoros foram posicionados, horizontalmente, a 3,5 metros de distância do eixo da via mais próxima (sentido Osasco) e a 7,5 metros do eixo mais distante (sentido Grajaú), e verticalmente em duas alturas distintas: 1,5 m e 3,5 m acima do piso da plataforma.

Foram mensuradas diversas passagens de trens, em ambos sentidos, por um período de amostragem contínuo de 1,5 hora. O horário da passagem de cada composição, assim como o número de série destes, em ambas as direções, foram anotados de modo a permitir filtrar, posteriormente, apenas os modelos CAF 7000, que tráfegarão na Linha 13 – Jade. Este modelo contempla 8 (oito) carros e comprimento total de 132,0 metros. A tabela 3 apresenta os níveis de pressão sonora médios obtidos nas medições sonoras, para cada altura diferente do analisador (1,5 e 3,5 metros), após um total de 18 passagens.

Tabela 3 – Níveis de pressão sonora médios de 18 passagens de trens.

Altura [m]	L_{min} dBA	L_{eq} dBA	L_{max} dBA
1,50	71,5	83,8	88,4
3,50	71,4	81,6	86,7

Em todas as medições a velocidade do trem superou os 70 km/h. Os níveis sonoros obtidos na Linha 9 com os trens operando em alta velocidade atuaram como parâmetro para a calibração da operação da fonte sonora, no caso, Linha 13 – Jade.

4.2 Dados de entrada da Linha 13 no software

A norma alemã Schall 03 foi adotada para a análise da propagação do ruído da operação da Linha 13. Esta norma demanda os seguintes dados de entrada, fornecidos pela CPTM, para caracterizar a fonte de ruído em questão:

- Velocidade de operação do trem = 90 km/h;
- Comprimento da composição = 132,0 m;
- Periodicidade = 1 passagem a cada 6 minutos = 10 trens/h

Através dos dados apresentados é possível calcular o LmE (equivalente ao Leq, dBA) da passagem do trem e o Lmax, que é o pico de emissão sonora durante a passagem do trem. Com a calibração da fonte sonora, tornou-se possível inseri-la na condição atual, projetando a condição futura.

4.3 Propagação sonora da condição futura

Com a inclusão da linha 13, parcialmente em superfície e elevada no trecho 2 e totalmente elevada no trecho 3, nota-se um aumento da poluição sonora nos mapas de propagação sonora e nos receptores digitais.

Assim, desenvolveu-se uma medida mitigadora visando proteger os receptores sensíveis próximos ao eixo da Linha 13 – Jade. A medida mitigadora consistiu na implantação de barreira acústica nas laterais do eixo da linha, nos trechos onde foram identificados impactos sonoros. A barreira acústica será constituída por um painel em sanduíche metálico, formado por [chapa de aço lisa (ext) + manta de lã de rocha com 50 mm + chapa de aço perfurada (int)], e terá altura de 2,00 m.

Foram elaborados mapas de propagação sonora para os trechos 2 e 3, considerando as particularidades das atividades urbanas desempenhadas nestes trechos. Assim, para caracterizar a contribuição sonora da operação da Linha 13 - Jade, foram elaboradas duas situações diferentes, com e sem a medida mitigadora, conforme figuras 3 a 10.

- Vias de tráfego + Linha 13;
- Vias de tráfego + Linha 13 com a barreira acústica;
- Apenas a Linha 13;
- Apenas a Linha 13 + barreira acústica.

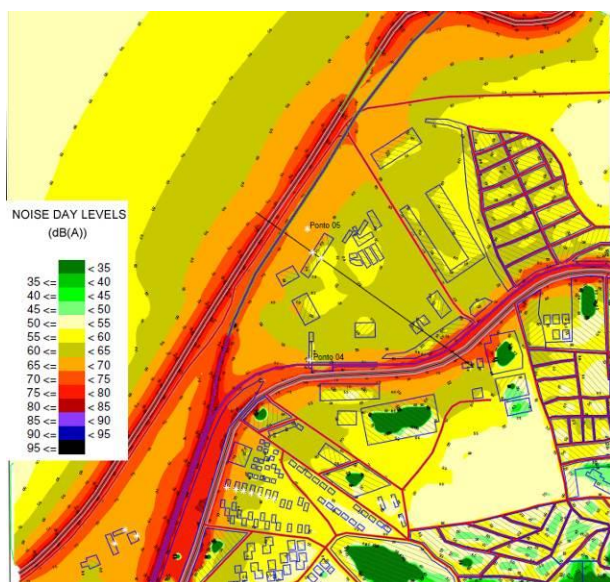


Fig. 3: Trecho 2: Vias de tráfego + Linha 13.

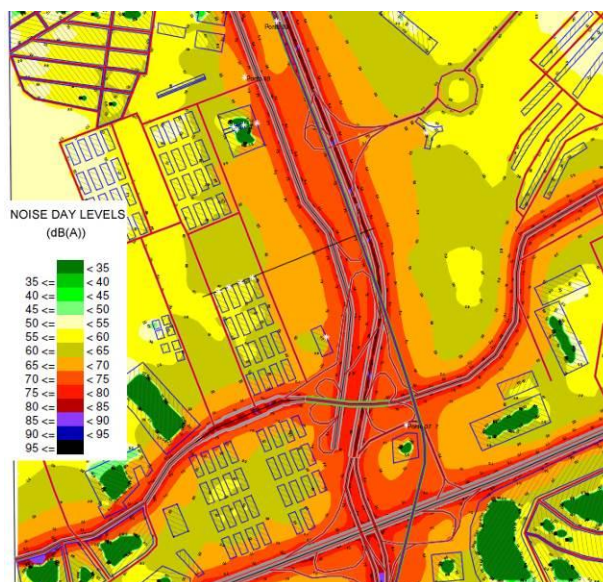


Fig. 4: Trecho 3: Vias de tráfego + Linha 13.

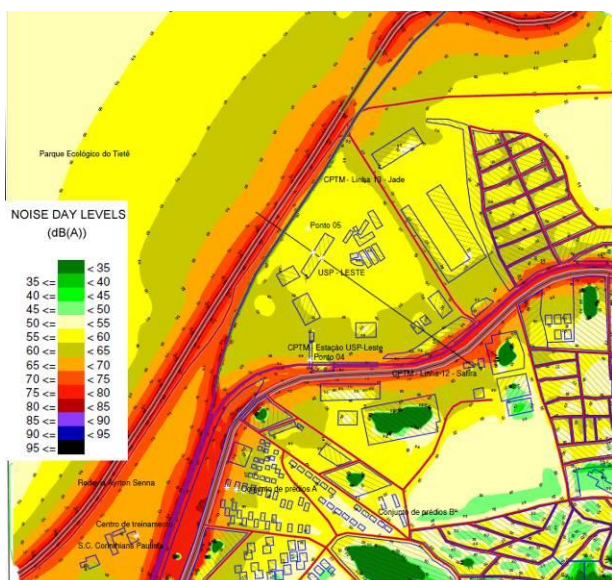


Fig. 5: Trecho 2: Vias de tráfego + Linha 13 com barreiras acústicas.



Fig. 6: Trecho 3: Vias de tráfego + Linha 13 com barreiras acústicas.

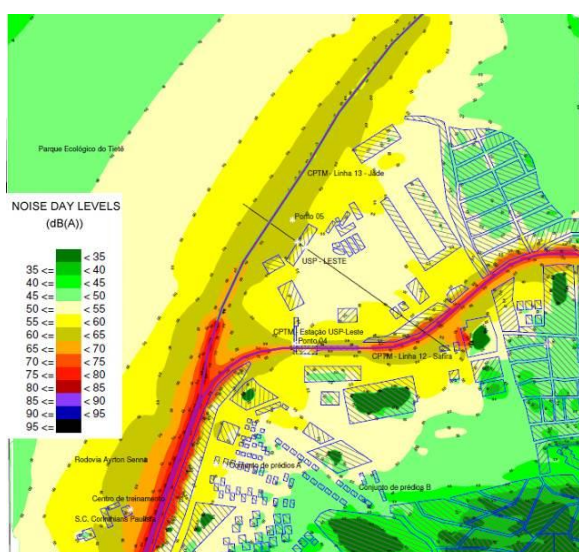


Fig. 7: Trecho 2: Apenas Linha 13.

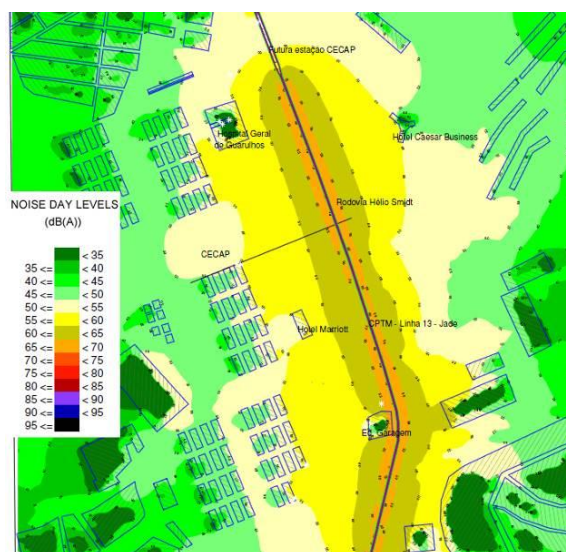


Fig. 8: Trecho 3: Apenas Linha 13.

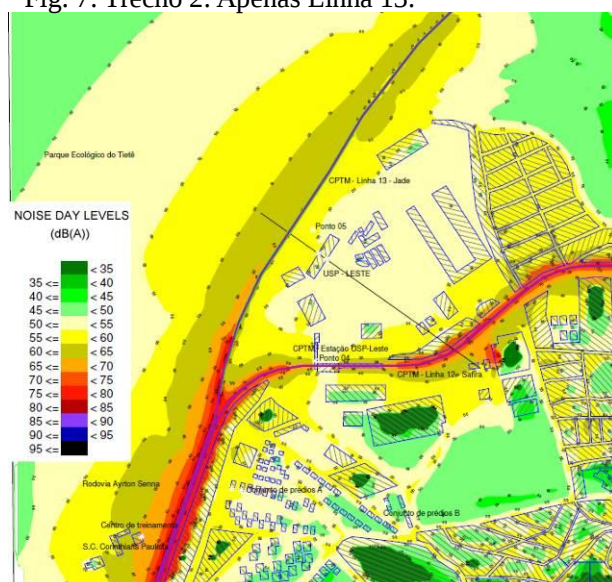


Fig. 9: Trecho 2: Apenas Linha 13 com barreiras acústicas.

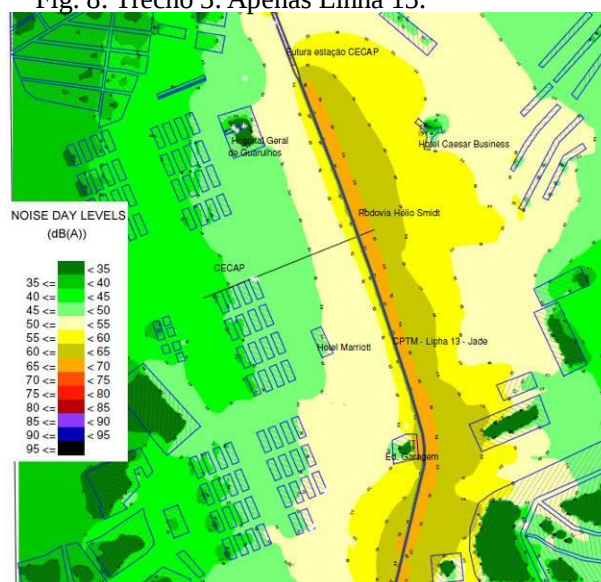


Fig. 10: Trecho 3: Apenas Linha 13 com barreiras acústicas.

A tabela 4 apresenta os níveis de pressão sonora simulados em alguns receptores posicionados próximos à Linha 13. Como o eixo da linha metroferroviária está 15,0 metros acima do solo, a propagação sonora desta tende a afetar receptores mais elevados, como prédios.

Tabela 4: Níveis de pressão Sonora simulados, dBA, em receptores baixos e elevados.
Trechos 2 e 3 – Diferentes condições simuladas

LrD						
Trecho	Edificação	Pavimento	Vias de tráfego + Linha 13	Vias de tráfego + Linha 13 com barreira	Apenas Linha 13	Apenas Linha 13 com barreira
2	USP Leste –	1°	59,7	56,2	58,3	52,5
	Fachada frontal	5°	63,2	59,2	60,9	53,3
	USP Leste –	1°	54,7	54,3	48,7	47,7
	Fachada traseira	5°	55,9	56,2	52,0	50,6
3	Hospital –	2°	64,9	63,4	55,2	48,0
	fachada frontal	9°	69,1	68,4	57,0	49,6
	CECAP (Edifício	1°	58,8	56,9	50,7	43,1
	35)	3°	59,5	57,7	51,6	45,6

A tabela 4 e os mapas de propagação sonora (figuras 3 a 10) apontam que o impacto sonoro das vias de tráfego é bastante presente, principalmente no trecho 3. A diferença entre os valores da 4° e 5° colunas da tabela variam entre si entre 0,7 e 1,5 dBA para o Hospital e entre 1,8 e 1,9 dBA para o condomínio CECAP. Estes dados apontam que, neste trecho, o impacto sonoro da operação da Linha 13 impacta os receptores, mesmo com o alto ruído das vias de tráfego. A implementação das barreiras acústicas resultaram em redução da energia sonora nos receptores próximos de 6,0 a 7,6 dBA.

O trecho 2 também indica impacto sonoro, principalmente no edifício da USP Leste. A diferença entre os valores das 4° e 7° colunas para a fachada frontal da USP Leste indicam que a operação da Linha 13 acrescenta energia sonora na ordem de 3,5 a 4,0 dBA. Com a implementação das barreiras acústicas, houve eficiência na redução da propagação sonora entre 5,8 e 7,6 dBA na fachada frontal.

Conclui-se que a aplicação das barreiras acústicas permitirá mitigar o impacto sonoro nos receptores sensíveis identificados, permitindo que os níveis sonoros a que eles estejam expostos – com a operação da Linha 13: Jade – sejam equivalentes àqueles existentes sem a Linha 13, ou seja, relativos somente ao ruído ambiente.

5. CONCLUSÃO

Em cidades de grande porte, como São Paulo e Guarulhos, o nível de ruído urbano já é elevado, função principalmente do tráfego viário. A introdução de um novo modal de transporte – no caso uma linha de trem metropolitano, com comprimento total de 13 quilômetros e elevada – significa incluir mais uma possível fonte de impacto sonoro ambiental.

Nesse sentido, a CPTM – responsável pela operação da nova Linha 13 Jade e o Consórcio EPC, formado pelas empresas Engevix, Planservi e Concremat - solicitaram um estudo de simulação acústica ambiental, para verificar se sua operação (com vias nos dois sentidos) poderia impactar os receptores sensíveis mais próximos à linha.

Para analisar tal condição, utilizou-se o software de simulação sonora SoundPlan, que permite – através da modelagem da fonte = Linha 13 Jade e também da topografia da área de abrangência, com suas vias de tráfego e edificações também modeladas – calcular a propagação sonora, definindo a distribuição das curvas de iguais níveis de pressão sonora com e sem a fonte em estudo, os chamados “mapas sonoros”.

Após a calibração do modelo digital com as medições sonoras realizadas “in loco”, os mapas de propagação sonora com a Linha 13 revelaram impacto da ordem de 5,8 a 7,6 dBA à alguns receptores próximos (Usp – Leste, Hospital Geral de Guarulhos e condomínio Cecap), apesar dos níveis de ruído ambiente – função do tráfego viário - já serem elevados. Para mitigar tal impacto, indicou-se a instalação de barreiras acústicas metálicas, com 2,00 m de altura, em parte dos trechos 2 e 3 da Linha 13 Jade, ora na margem direita ou na margem esquerda da via.

Conclui-se com este estudo que o uso da simulação sonora para prever a propagação de ruído de uma nova linha metroferroviária, no caso a Linha 13 – Jade, da CPTM, representa uma ferramenta de projeto essencial para se avaliar e mitigar eventual impacto sonoro à comunidade no entorno, garantindo o desenvolvimento urbano com sustentabilidade e respeito ao meio ambiente.

REFERÊNCIAS

- [1] ABNT, NBR 10.151 / 2.000, “Níveis de Ruído em Áreas Habitadas visando o Conforto da Comunidade”.
- [2] CETESB, “Decisão de Diretoria n. 389/2010” de 21/12/2010.
- [3] CETESB, “Decisão de Diretoria n. 100/2009” de 19/05/2009.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à CPTM e ao Consórcio EPC (Engevix, Planservi e Concremat), pela oportunidade de apresentar o Estudo Acústico da Linha 13 – Jade na 23ª Semana Metroferroviária da AEAMESP.