



IMPACTO ACÚSTICO PROVOCADO PELA EXPANSÃO DO METRÔ - DF

Sérgio Luiz Garavelli

Centro Universitário de Brasília - UniCEUB

sergio.garavelli@ceub.edu.br

Armando de Mendonça Maroja

Universidade de Brasília - Planaltina

amaroja@gmail.com



IMPACTO ACÚSTICO PROVOCADO PELA EXPANSÃO DO METRÔ - DF

S. L. Garavelli e A.M. Maroja

RESUMO

Estudos anteriores constataram que os ruídos emitidos pelo Metrô-DF incomodam a população residente as margens da via metroviária. Encontra-se em andamento uma proposta de expansão do metrô, com o aumento de estações e da linha férrea de superfície. Este trabalho teve como objetivo avaliar o impacto sonoro dessa expansão na comunidade vizinha a via. Para tanto, foi elaborado o mapa do ruído devido a operação sistema, onde foram considerados as curvas de níveis, as reflexões nas edificações e a absorção do solo. Concluiu-se que a expansão irá provocar alterações significativas na paisagem sonora local. Os ruídos gerados pela passagem do comboio irão atingir a população residente às margens da via e tem potencial de incômodo. Quase 40% da população avaliada estará submetida a níveis de pressão sonora superiores a 55 dB, considerados inadequados pela Organização Mundial de Saúde.

1 INTRODUÇÃO

Nas grandes cidades brasileiras o modal ferroviário tem sido uma opção para ampliação e modernização dos sistemas de transportes. São exemplos as cidades de Salvador, Cuiabá, Recife, Brasília, Rio de Janeiro e São Paulo. Nesses locais ocorreram ampliação e ou implantação desse modal. Parte dessas infraestruturas são de superfície, que por um lado apresentam menor custo de implantação, mas por outro, provocam incômodo em função do ruído gerado pela operação.

A implantação dessas infraestruturas provoca o aumento da poluição ambiental, em especial a sonora, que é considerada pela Organização Mundial de Saúde (OMS) como um problema de saúde pública, que afeta negativamente a qualidade de vida e a saúde de milhões de pessoas. Na Europa, o número total de pessoas expostas a níveis de ruído de 55 dB ou mais é estimado em 113 milhões para o ruído do tráfego rodoviário e em 22 milhões para o ruído ferroviário. (EEA, 2020).

No Brasil a avaliação do ruído advindo do tráfego ferroviário ainda é incipiente, estudos são escassos. Desta forma, não existem estatísticas referentes a exposição ao ruído metroviário/ferroviário.

Um estudo realizado em Curitiba – PR, por Zannin e Bunn (2014), avaliou os ruídos devido a passagem de trens na zona residencial da cidade. O incômodo percebido pelos moradores também foi avaliado, por meio de entrevistas. Os resultados mostraram que os limites diurnos e noturnos estabelecidos pela legislação municipal são ultrapassados. Os moradores relataram que o ruído gerado pela passagem dos trens causa irritabilidade, dores de cabeça, falta de concentração e insônia. A grande maioria dos respondentes (88%) afirmaram que poluição sonora noturna é a mais angustiante.

Há estudos relacionados aos níveis de pressão sonora (NPS) nas estações e no interior das composições de sistemas metroviários (Neitzel *et al.*, 2009; Lee *et al.*, 2017) bem como vibrações e outras fontes referentes a operação da ferrovia, como os pátios de manobra, as emendas dos trilhos, ruído de frenagem, apitos de buzina, guinchos de curva, etc. (fontes não convencionais)(Licitra *et al.*, 2016; Zou *et al.*, 2015). O incômodo em relação ao transporte ferroviário (Zannin e Bunn, 2014; Licitra *et al.*, 2016) também é tema de interesse. Os resultados mostraram que os níveis de pressão sonora tanto no interior dos vagões como nas plataformas são extremamente elevados, em alguns casos, superando os 80 dB (Neitzel *et al.*, 2009) e em outras situações é relatado que o nível de ruído interno do metrô não era alto o suficiente para que os passageiros incorressem em perda auditiva induzida por ruído mas que esforços de controle de ruído no sistema são necessários para o conforto dos usuários (Lee *et al.*, 2017).

Em Águas Claras, cidade atravessada pela via do metrô, é comum a reclamação dos moradores residentes nas margens da linha em relação ao ruído ferroviário, como na reportagem: “Moradores de Águas Claras acordam com o barulho do metrô” (Globo, 2020).

Ali *et al.* (2017), avaliaram o impacto provocado pela operação do Metrô DF na cidade de Águas Claras DF. Foi constatado que os níveis de pressão sonora produzidos pela passagem do metrô, apesar de intermitente, estão acima do ruído residual e acima do limite estabelecido pela legislação distrital. Esses níveis têm potencial de causar impactos negativos na população ali residente. Em função do ruído intermite emitido pela operação do metrô, parâmetros de longo prazo como o Lden, por exemplo, não representam de forma fidedigna as alterações na paisagem sonora na vizinhança da malha ferroviária de superfície do metrô.

Este trabalho teve como objetivo avaliar o impacto provocado pelo ruído devido à expansão da via do Metrô-DF em Samambaia. Além do mapa acústico elaborado para a área de estudo, foi estimando o número de pessoas expostas por faixa do indicador dos níveis de pressão sonora.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

No Distrito Federal (DF) a malha do metrô apresenta uma extensão de aproximadamente 42 km que liga a região administrativa de Brasília às de Ceilândia (Linha 1) e Samambaia (Linha 2), atravessando as regiões administrativas do Guará, Águas Claras e Taguatinga. Como característica especial, a maior parte da malha metroviária é de superfície, ou seja, a céu aberto. Apenas na área tombada do Plano Piloto da Capital e quando atravessa a cidade de Taguatinga a linha é subterrânea, Figura 1.

A área de estudo corresponde ao trecho de ampliação do metrô na cidade de Samambaia, apresentado com destaque na Figura 1. O diagnóstico urbano da área de influência direta produzido pela Companhia de Planejamento do Distrito Federal, CODEPLAN (CODEPLAN, 2018a), mostra que a expansão do metrô em Samambaia será acompanhada de uma série de ações governamentais urbanizadoras na região, nas margens da ferrovia bem como na cidade de Samambaia, Figura 2.

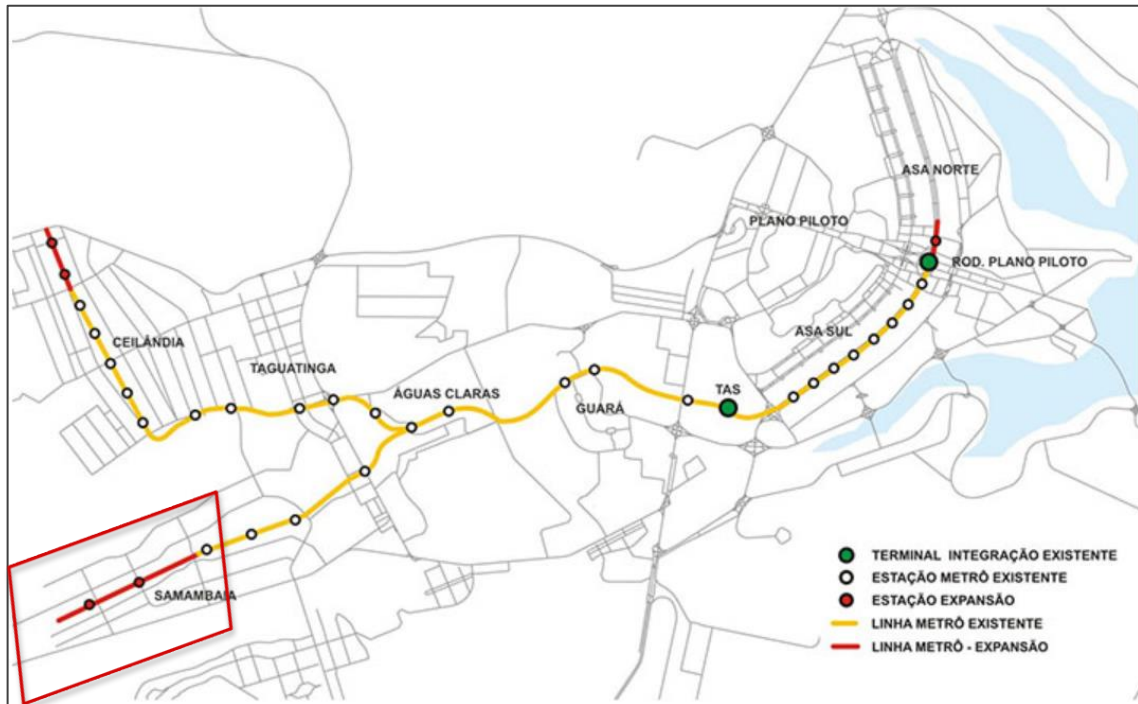


Fig. 1 – Rede do Metro-DF com a sinalização da expansão

Fonte: Secretaria de Mobilidade do DF.

A Figura 2 apresenta o projeto urbanístico de Samambaia, Linha 1, as estações existentes e as futuras estações 34 e 35. Segundo a CODEPLAN (2018b), mais da metade da população vive nas cidades cortadas pelas linhas do metrô e mais de 230 mil pessoas habitam a cidade de Samambaia.

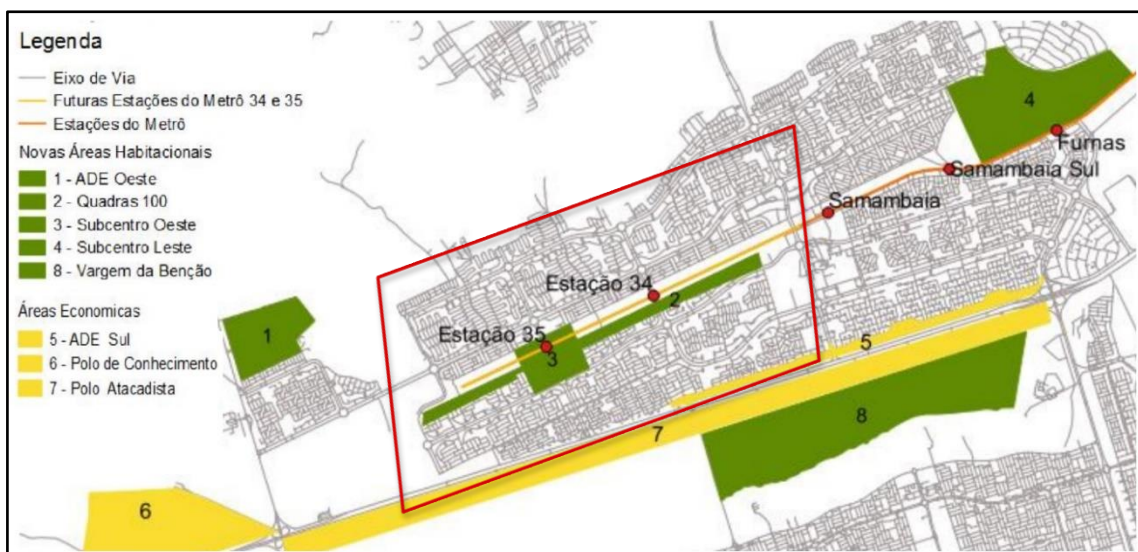


Fig. 2 – Projeto urbanístico de Samambaia: estações atuais e futuras 34 e 35.

Conforme pode ser observado, haverá um adensamento populacional significativo localizado na vizinhança da futura via e das duas estações projetadas. Em função da pequena distância entre as edificações residenciais e a via, e da ausência no projeto de barreiras acústicas, é esperado que o impacto negativo do ruído gerado pela operação do Metrô seja considerável.

Método

O método utilizado na pesquisa teve como base simulações e modelagens com a elaboração de mapas acústicos e a avaliação do incômodo sonoro, realizada através da estimativa da população exposta ao ruído ambiental (WHO, 2018). As etapas seguidas foram as seguintes:

- Seleção dos dados cartográficos e demográficos.
- Simulação e modelagem com a elaboração de mapas acústicos.
- Medidas do ruído ambiental e calibração do mapa.
- Cálculo da população exposta.
- Avaliação dos do ruído nas fachadas de edifícios durante a passagem do metrô.

2.1 Seleção de dados cartográficos e demográficos necessários à pesquisa

A área do mapa de ruídos foi definida a partir da estrutura urbana da cidade delineada pelas principais vias da cidade. Foi considerada a área entre a 1ª avenida Sul e a 1ª Avenida Norte que seguem paralelas a linha do Metrô com extensão pouco maior que o trecho de ampliação objeto de estudo. O sistema de coordenadas utilizado foi o SIRGAS 2000, projeção UTM 23 Sul/Ampliada, Os dados cartográficos relativos à área de estudo e arredores foram obtidos no Geoportal do DF (Geoportal, 2020).

Na avaliação da população exposta ao ruído ambiental os dados demográficos do DF foram os da Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios (PDAD) - Samambaia (CODEPLAN, 2018b).

2.2 Simulação e modelagem com a elaboração de mapas acústicos.

O software de simulação ambiental acústica SoundPLAN® foi utilizado na produção dos mapas de ruído, sendo o ruído do tráfego ferroviário a fonte de ruído considerada. A partir das curvas de nível, dados do Geoportal DF, foi construído o mapa digital do terreno (MDT), que simula a altura em cada ponto do terreno conforme as curvas de nível. Em seguida foram inseridos os objetos virtuais necessários à simulação, tais como edifícios, fontes de ruído etc.

É importante destacar que conforme o projeto urbanístico de Samambaia apresentado na Figura 2, novas áreas habitacionais serão criadas, estando as quadras 100 (área 2) e o subcentro oeste (área 3) dentro da área de cálculo do mapa. Hoje essas áreas não estão ocupadas, assim edifícios foram acrescentados nestas áreas seguindo o modelo de áreas habitacionais consolidadas existentes atualmente nas margens do metrô, tanto em relação a configuração espacial como a população, de modo a simular com maior precisão a situação futura com a expansão da linha do metrô.

O fluxo dos comboios é intermitente, como mostra a grade dos horários de funcionamento disponível no site do Metrô - DF (METRO, 2020). De modo a aferir com maior fidelidade o ruído principal relativo à passagem do metrô, veja definição na Tabela 1, a linha de emissão relativa ao tráfego ferroviário foi ajustada de forma a produzir nos locais de medida níveis de pressão sonora simulados com diferença de até 3dB em relação aos valores medidos.

Na produção dos mapas de ruído de grelha o passo da rede foi de 5m, a altura de cálculo foi de 4m e a resolução espacial a maior disponível no software de simulação ambiental, 9x9. Já no mapa de ruído de fachada os receptores foram acrescentados no centro de cada fachada de cada andar de edifícios e casas residenciais.

2.3 Medidas dos NPS e calibração dos mapas acústicos.

Os locais das medidas para a calibração do mapa acústico foram georreferenciados com a utilização de GPS. Os dados foram coletados em dias da semana, sem chuva e com baixa velocidade do vento. As medidas foram efetuadas no exterior das edificações pelo menos a 1,5 m de qualquer estrutura refletora. Os locais selecionados para a validação foram escolhidos de forma que o ruído predominante foi gerado pela passagem do comboio. Os equipamentos utilizados para as medidas de validação: o sonômetro (medidor do nível de pressão sonora) com tripé e protetor de vento FUSION da 01dB, tipo 1, com integração direta, calibrador acústico marca 01dB e GPS.

Os resultados das medidas foram utilizados para a calibração do mapa. Esta etapa foi realizada tendo como base uma área semelhante à da expansão de metrô, ou seja, locais onde o metrô é de superfície, Águas Claras, Ceilândia e Guará, para tanto foram utilizados resultados de trabalhos anteriores do grupo de pesquisa (Ali *et al.*, 2017; Projeto FAPDF, 2020).

Os NPS emitidos pelo metrô foram calculados segundo a NBR 16425 (ABNT, 2016). A Parte 1 dessa Norma, em vigor desde 2016, aborda os aspectos gerais para medição e avaliação do NPS provenientes de sistemas de transportes. A Parte 3 trata, especificamente, da medição de ruído em sistemas metroviário, porém ainda não foi publicada. A Parte 4 (ABNT, 2020) trata do ruído ferroviário e estabelece: descritores sonoros para análise de níveis de pressão sonora provenientes de sistema de transporte ferroviário, foi publicada em 19/06/2020. No estudo foi adotada a metodologia da NBR 16425-4 para avaliar os NPS emitidos pelo metrô, na área que funciona a céu aberto.

De acordo com a NBR 16425-4, foi considerado ruído emitido pela operação do metrô, os NPS que superaram em 5 dB o som residual, até voltar a esse valor. A média do NPS medido durante a passagem de vários comboios foi feita, considerando o tempo médio de passagem do trem e a quantidade de trens que trafegaram pelo trecho em cada período.

2.4 Cálculo da população exposta.

A população estimada para Samambaia foi distribuída nas casas e edifícios residenciais, selecionados a partir da base de edificações atualizada (Geoportal, 2020), proporcional ao número de andares dos edifícios e de modo a manter a proporção de 3,38 habitantes por domicílio (CODEPLAN, 2018b). Todas essas informações foram transferidas quando foi

produzido o modelo digital de terreno. Foi produzido então o mapa de ruído de fachada que define o NPS em cada fachada.

Conhecida a população e o NPS em cada fachada de cada edifício e casa dentro da área de estudo foi calculada a população exposta. Destaca-se que nesse caso considerou-se apenas a população que habita a área de cálculo selecionada.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 apresenta os resultados das medições realizadas in situ para a calibração do mapa de ruídos. Para a calibração foram realizadas medidas de 15 minutos e avaliados os seguintes parâmetros: o Leq (total) que representa o nível equivalente de pressão sonora ponderado, utilizando o filtro de frequência A. O ruído principal, corresponde ao NPS médio avaliado durante a passagem dos trens, considerando o critério da NBR 16425-4, descrito na metodologia. O som residual refere-se ao ruído medido no local, sem a passagem dos trens.

Tabela 1 – Níveis de pressão sonora medidos e simulados, em dB(A)

i	Local	Coordenadas Geográficas		L _{Aeq,15min} (total)	L _{Aeq,15min} (som residual)	L _{Aeq, médio} (ruído principal)	L _{Aeq,15min} Simulado	DIF
1		15°50'7.94"S	48° 0'34.63"O	65,9	55,1	72,7	70,8	1,9
2		15°50'7.03"S	48° 0'35.25"O	61,5	54,1	67,2	64,3	2,9
3		15°50'8.98"S	48° 0'31.65"O	56,5	55,7	71,3	71,1	0,2
4		15°50'7.06"S	48° 0'39.56"O	55,2	52,5	68,0	69,2	1,2
5		15°50'9.42"S	48° 0'35.73"O	57,7	55,4	69,7	68,8	0,9
6	Águas Claras	15°50'21.68"S	48° 1'56.07"O	68,7	49,2	68,2	68,8	0,6
7		15°50'22.83"S	48° 1'47.83"O	67,5	57,5	73,9	73,2	0,7
8		15°50'22.97"S	48° 1'47.13"O	66,9	48,0	72,1	73,7	1,6
9		15°50'22.97"S	48° 1'43.05"O	57,9	54,5	67,8	68,1	0,3
10		15°50'23.03"S	48° 1'43.20"O	55,6	56,5	67,3	69,1	1,8
11		15°50'19.69"S	48° 1'20.49"O	67,0	54,1	74,4	73,5	0,9
12		15°50'13.38"S	48° 1'5.88"O	64,2	54,6	72,8	73,2	0,4
13	Ceilândia	15°48'47.20"S	48° 7'0.28"O	62,1	63,0	73,4	71,0	2,4
14		15°50'5.96"S	48° 6'18.63"O	62,9	48,8	73,0	70,6	2,4
15	Guará	15°49'25.01"S	47°58'37.59"O	55,3	47,1	69,0	71,2	2,2

O Leq (simulado) foi o NPS obtido por meio da simulação realizada no SoundPlan. A última coluna da Tabela 1 apresenta a diferença entre o Leq medido (ruído principal) e simulado. Como a área de expansão é semelhante a estudada para a calibração do mapa, a mesma configuração foi utilizada para a elaboração do mapa preditivo para a área de expansão.

Conforme pode ser observado, o ruído principal supera em muito o som residual, em média 16 dB, indicando que a passagem do comboio tem potencial de incomodar a população residente a vizinhança da via do metrô. Uma relação sinal/ruído acima de 10 dB fará com que o sinal seja claramente identificado.

O valor absoluto da diferença observada entre o valor previsto e o medido, após a calibração do mapa ficou menor que 3 dB, desta forma o mapa de ruído foi considerado calibrado. A

calibração foi realizada em locais onde o metrô é de superfície e está funcionando. No caso a calibração foi feita na região administrativa de Águas Claras, Ceilândia e Guará.

A Figura 3 apresenta o mapa de ruído da região de estudo. Para o estudo, foi selecionada a área próxima à futura via. Atualmente, somente uma parte da área encontra-se ocupada, as edificações futuras foram consideradas levando-se em conta o projeto urbanístico de Samambaia – DF, Figura 2.

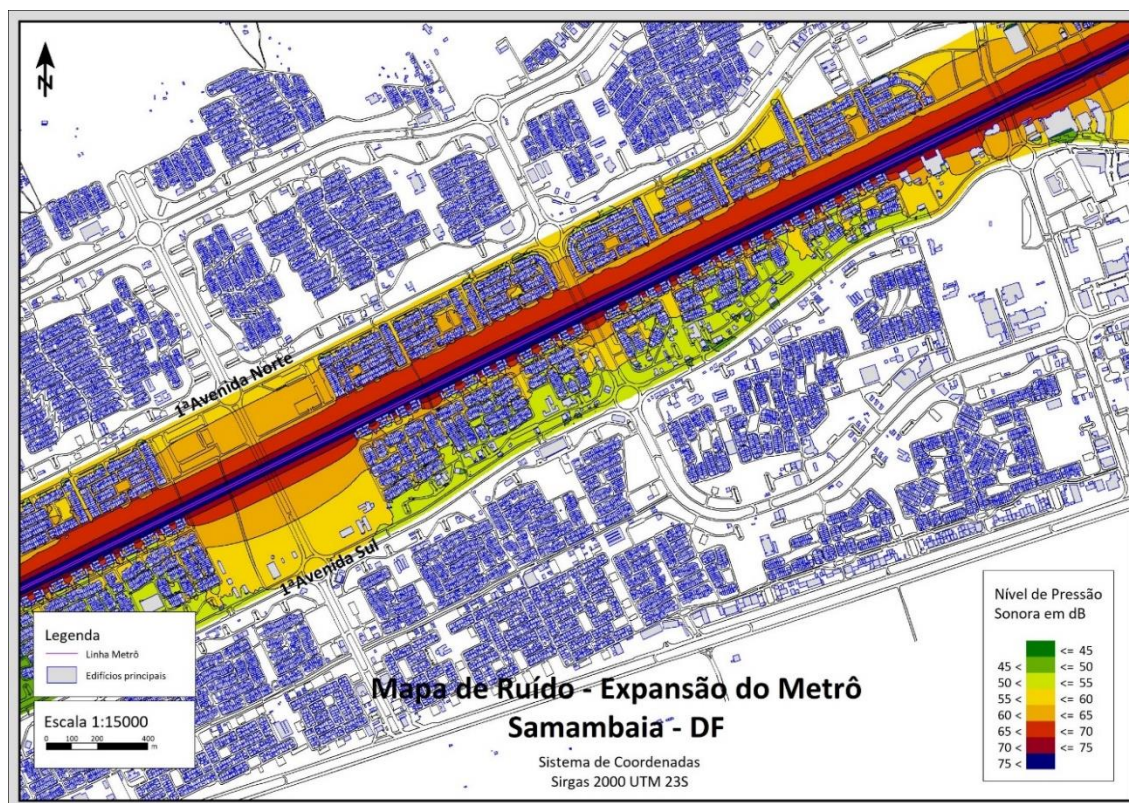


Fig. 3 – Mapa acústico devido a operação do Metrô

As residências localizadas na vizinhança da futura via sofrerão grande impacto em função da operação do sistema, os ruídos emitidos pela passagem dos comboios alteram de maneira significativa a paisagem sonora da região. Conforme pode ser observado na Figura 2 os edifícios mais próximos serão atingidos por NPS acima de 70 dB.

As edificações mais distantes da via serão atingidas por NPS menores, isso ocorre em função da atenuação relacionada a propagação sonora, nesse caso os edifícios mais próximos atuarão como barreiras acústicas.

A Figura 4 apresenta o mapa de ruído de fachada, os pontos nas edificações representam os receptores inseridos para o cálculo dos NPS que atingem a fachada. Também podemos observar, de maneira semelhante ao que ocorre no mapa de ruído, Figura 3, os edifícios localizados mais próximos à via férrea sofrerão impacto maior.

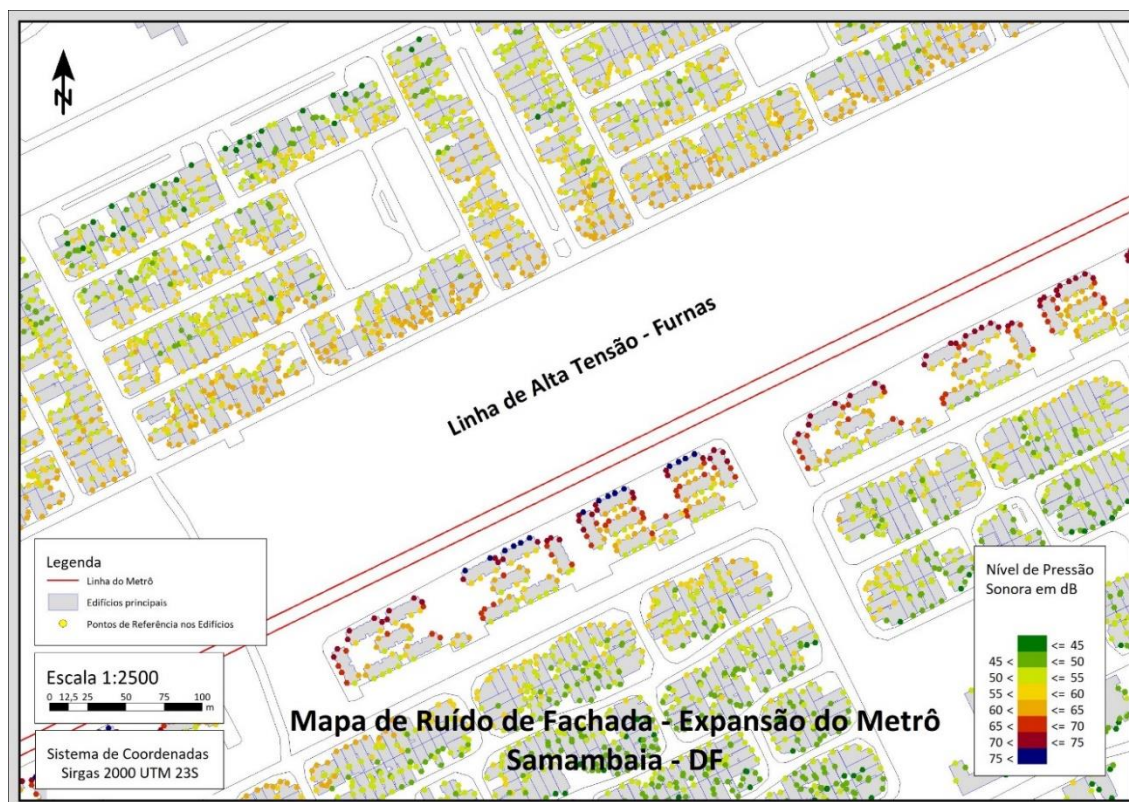


Fig. 4 – Níveis de pressão sonora na fachada das edificações

A Tabela 2 apresenta o número de pessoas expostas por faixa do indicador do NPS. A população residente na área de estudo considerada é de 27.830 habitantes. Foram considerados os moradores atuais e futuros que ocuparão a região, visto que é uma área em expansão. O número e percentual de residências, casas e unidades habitacionais de edifícios residências também estão apresentados na tabela.

Um percentual elevado da população considerada na área de estudo, 39%, que corresponde a 10.742 habitantes, estará submetida a níveis de pressão superiores a 55 dB, limite estabelecido pela OMS para que não haja prejuízos à saúde humana (WHO, 2018).

Tabela 2 – População exposta por faixa do indicador (NPS)

Faixa (NPS)	Total moradores	Número de residências	% residências
< 45	3171	919	11,2
45 - 50	5830	1677	20,4
50 - 55	8087	2342	28,4
55 - 60	5668	1687	20,5
60 - 65	2772	855	10,4
65 - 70	1099	360	4,4
70 - 75	1041	341	4,1
> 75	162	53	0,6
> 55	10.742	3.296	40,0
Totais	27.830	8.234	100,0

4 CONCLUSÕES

A expansão do Metrô – DF trará externalidades positivas, como o desenvolvimento da região a valorização financeira dos imóveis dentre tantas outras, além do conforto proporcionado à população, que terá transporte de boa qualidade disponível próximo a suas residências. Desta forma a expansão é de fundamental importância para a região. Entretanto, como uma das externalidades negativas terá o incômodo provocado pelos ruídos emitidos pela operação do metrô de superfície. A ausência de barreiras acústicas projetadas para a expansão potencializa esta externalidade.

Os resultados do estudo, mapa acústico, cálculo da população exposta e estimativa do incômodo, indicaram que a expansão da via irá provocar alterações significativas na paisagem sonora local. Os NPS gerados pelas passagens do comboio irão atingir a população residente nas áreas lindeiras à via e tem potencial de causar incômodo. Quase 40% da população avaliada estará submetida a NPS superiores a 55 dB, níveis considerados não adequados pela OMS.

Estudos por parte do GDF (Governo do Distrito Federal) avaliando o impacto do ruído gerado pela expansão do Metrô não foram encontrados, se foram feitos, não estão disponíveis para a população.

A implantação de barreiras acústicas irá diminuir o impacto negativo relacionado a expansão da via. Porém, no projeto não há previsão de utilização deste tipo de solução mitigadora. Assim recomenda-se a adoção dessa solução.

Agradecimentos: Os autores agradecem à FAP-DF (Fundação de Amparo à Pesquisa do Distrito Federal) - projeto 0193.001557/2017, ao DPI/UnB e ao UniCEUB pelo apoio e parceria na realização desse artigo.

5 REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 16425-1. Acústica - Medição e avaliação de níveis de pressão sonora provenientes de sistemas de transportes. Parte 1: Aspectos gerais. Rio de Janeiro. 2016.

Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 16425-4. Acústica — Medição e avaliação de níveis de pressão sonora provenientes de sistemas de transportes Parte 4: Sistema ferroviário. Rio de Janeiro. 2020.

Ali, M. Y.; Barbalho, B. S.; Garavelli, S. L.; Maroja, A. M. (2017). Incômodo provocado pelo metrô em Águas Claras – DF. **In: XXVII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica, 2017**, Brasília DF, Brasil.

CODEPLAN 2018a, Companhia de Planejamento do Distrito Federal - Expansão da linha 1 do metrô-DF - Diagnóstico urbano da área de influência direta. Disponível em: <http://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/03/NT-Expansão-da-Linha-1-do-Metrô-DF-Diagnóstico-Urbano-da-Área-de-Influência-Direta.pdf>. Acesso em: 03/08/2020.

CODEPLAN 2018b, Companhia de Planejamento do Distrito Federal - Pesquisa Distrital por Amostra de Domicílios - Samambaia 2018. Disponível em:

<<http://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2020/06/Samambaia.pdf>> Acesso em: 07/06/2020.

European Environment Agency - EEA (2020) - Environmental Noise in Europe–2020. Disponível em <https://op.europa.eu/s/ofav>. Acesso em 25/05/2020.

Geoportal DF. Disponível em: <<https://www.geoportal.seduh.df.gov.br/mapa/>>. Acesso em: 11/05/2020.

Globo (2020) Moradores de Águas Claras acordam com o barulho do metrô: Disponível em: <https://globoplay.globo.com/v/8330039/>, (Exibição em 17 Fev. 2020).

Lee, Donguk; Kim, Gibbeum, and Han, Woojae. Analysis of Subway Interior Noise at Peak Commuter Time. **J Audiol Otol**. 2017;21(2):61-65

Licitra, G.; Fredianelli, L.; Petri, D.; Vigotti, M. A. Annoyance evaluation due to overall railway noise and vibration in Pisa urban areas. **Science of the Total Environment** 568, p.1315-1325, 2016.

Metrô (2020) Horário de Funcionamento. Disponível em http://www.metro.df.gov.br/?page_id=8762. Acesso em 02/02/2020.

Neitzel, Richard; Gershon, Robyn R.M.; Zeltser, Marina; Canton, Allison; Akram, Muhammad. Noise Levels Associated With New York City's Mass Transit Systems. August. **American Journal of Public Health**, 2009, Vol 99, No. 8

Projeto FAPDF, 2020. A contaminação acústica provocada pelo Metrô do Distrito Federal. Edital 04/2017 - Seleção Pública de Propostas de Pesquisa Científica, Tecnológica e Inovação Demanda Espontânea.

World Health Organization (WHO), Environmental Noise Guidelines for the European Region, WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, 2018. Disponível em: <<http://www.euro.who.int/en/publications/abstracts/environmental-noise-guidelines-for-the-european-region-2018>>. Acesso em: 21 fevereiro 2020.

Zannin, P. H. T. and Bunn, F. Noise annoyance through railway traffic – a case study **Journal of Environmental Health Sciences & Engineering** 2014, 12:14.

Zou, C. , Wang, Y., Wang, P., Guo J. Measurement of ground and nearby building vibration and noise induced by trains in a metro depot. **Science of the Total Environment**. 536 (2015) 761–773.