

## X-005 - DESENVOLVIMENTO DE UM SOFTWARE PARA SIMULAÇÃO DE PROPAGAÇÃO DE RUÍDO EM AMBIENTES EXTERNOS: PROPAGSOM

**Jéssica dos Santos Oliveira<sup>(1)</sup>**

Engenheira Ambiental e Sanitarista pela Universidade Federal de Sergipe (UFS). Mestranda em Engenharia e Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Sergipe (UFS).

**André Luis Dantas Ramos<sup>(2)</sup>**

Engenheiro Químico pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Doutorado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) com período sanduíche em University of California. Pós-doutorado no Van't Hoff Institute for Molecular Sciences, da University of Amsterdam. Professor Associado I do Departamento de Engenharia Ambiental (DEAM) e docente permanente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais (PPGECIA) da Universidade Federal de Sergipe (UFS).

**Breno Cruz Barros<sup>(3)</sup>**

Cientista da Computação pela Universidade Federal de Sergipe (UFS). Desenvolvedor mobile pleno I na empresa Pagcerto.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. Marechal. Rondon, s/n – Jd. Rosa Elze – São Cristóvão – SE - CEP 49100-000 - Tel: +55 (79) 99889-7275 - e-mail: jessiicaoliveira12@gmail.com

### RESUMO

Devido aos diversos efeitos nocivos à saúde é indispensável o controle de ruídos ambientais, o qual pode ser feito através de mapeamento acústico, técnica de representação visual do ruído ambiente em uma determinada área geográfica, fazendo uso de recursos computacionais para simulação de propagação de ruído. Devido à dificuldade de encontrar programas brasileiros e gratuitos com tal finalidade, o objetivo desse trabalho consistiu em desenvolver um *software* de simulação de propagação de ruído em ambientes externos, o PropagSom, apoiado em equações de propagação do som, usando a linguagem de programação Java. O *software* criado conta com funções como inserção de dados de fonte sonora e receptores e, a partir dos dados da área de propagação inserida pelo usuário, gera um mapa de propagação de ruído, que pode ser salvo, impresso ou modificado seus elementos textuais. Caso deseje, o usuário pode ainda comparar, diretamente no programa, os resultados dos níveis sonoros estimados pelos receptores com a NBR 10.151 ou legislação estadual/municipal específica. Validou-se o PropagSom através de amostragens realizadas no condomínio Maikai Residencial Resort, localizado em Aracaju-SE, num total de sete amostragens. Os dados obtidos foram compilados e as informações das fontes sonoras adicionados no PropagSom. Com as distâncias fonte-estação de amostragem, estimou-se, no *software*, o nível sonoro de cada estação. Os dados medidos em campo foram comparados com os simulados pelo PropagSom e obtida uma diferença máxima de 3,8 dB (6,6%). Esta diferença é considerada satisfatória, validando, assim, o programa.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ruído, Mapeamento acústico, PropagSom, Propagação sonora, Java.

### INTRODUÇÃO

Com o advento da Revolução Industrial e consequente crescimento contínuo e difundido da industrialização, a partir do século XX, aumentou-se tanto a quantidade de indivíduos expostos aos ruídos quanto os níveis de ruído emitidos (FERREIRA, 2010). Somado a isto, o desequilíbrio ambiental foi o um dos resultados da concentração de pessoas nas cidades (ZAJARKIEWICCH, 2010). Desde então, a poluição sonora passou a ser um problema para a população mundial.

Dentre as principais atividades existentes no meio urbano que emitem níveis sonoros expressivos, destacam-se os bares, as casas de show, o tráfego de veículos, os carros de som, as indústrias, dentre outros. Por se tratar, muitas vezes, de variáveis importantes para o desenvolvimento populacional, o planejamento urbano torna-se essencial para a redução dos efeitos dos ruídos de tais atividades na população de um modo geral (BRITO, 2017). Tais efeitos devido a essas fontes podem ir muito além de efeitos fisiológicos, podendo afetar o psicológico do indivíduo.

Problemas como perda de apetite, tremores nas mãos, vertigens, náuseas, taquicardia, dilatação da pupila, diminuição do rendimento e eficiência laborais (OLIVEIRA; ARENAS, 2012) assim como perda total ou parcial da audição devido a algum dano na estrutura do ouvido, são algumas das consequências da exposição exacerbada a níveis sonoros elevados.

Com o intuito de combater a poluição sonora, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) promulgou a Resolução CONAMA nº 01/90, que dispõe sobre os padrões de emissão de ruído nas mais diversas atividades inerentes aos centros urbanos (BRASIL, 1990). Esta, por sua vez, faz menção a duas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), são elas: a NBR 10.152/1987 e NBR 10.152/1987, ambas com o objetivo de estabelecer os padrões, critérios e diretrizes visando o conforto da população.

De modo a obter uma visão geral dos níveis de ruído de uma região, utiliza-se muito a ferramenta de mapeamento acústico para estudo, diagnóstico e controle do ruído ambiental (GUEDES, 2005), a qual tem como objetivo, representar visualmente o ruído ambiente de uma determinada área geográfica (PINTO, 2013). Este pode ser elaborado de duas formas: através de medições ponto a ponto da malha de propagação da área, o que demandaria recurso e tempo consideráveis; ou através de ferramentas computacionais, que utilizam equações de propagação do som adicionados às peculiaridades de cada ambiente, limitando-se apenas à inserção de dados das fontes (níveis de pressão sonora (NPS)) e da área desejada (edifícios, vegetação, condições de temperatura, umidade e velocidade do ar, dentre outros).

Existem hoje no mercado vários *softwares* que simulam a propagação de ruído em um ambiente, *indoor* (interno) ou *outdoor* (externo), produzindo mapas acústicos. Entretanto, tratam-se de programas pagos e que, quando disponíveis em sua versão gratuita, são, em sua maioria, muito limitados, impossibilitando a utilização de ferramentas fundamentais, podendo interferir nos resultados e, consequentemente, não trazendo uma veracidade aos mesmos. Além disso, são *softwares* de criação estrangeira, que não possuem uma versão em português, dificultando o entendimento da ferramenta, além de serem regidos por suas respectivas legislações.

## OBJETIVOS

Desenvolver um *software* para simulação de propagação de ruído em ambientes externos, a partir de equações de propagação do som, utilizando a linguagem de programação Java para sua implementação e validando-o através de medições de ruído feitas, segundo procedimento contido na NBR 10.151, em um condomínio residencial.

## METODOLOGIA

O *software* desenvolvido utilizou, para sua construção, o programa NetBeans IDE, versão 8.2 Patch 2. Esta ferramenta, que auxilia os programadores a escrever, compilar, depurar e instalar aplicações de modo mais rápido, foi escolhida por ser um ambiente de desenvolvimento integrado gratuito e de código aberto, de fácil uso e instalação, executado nos mais diversos sistemas operacionais (Windows, Linux, Solaris e MacOs) com suporte à diversas linguagens de programação, dentre elas a linguagem Java. Entretanto, para o funcionamento deste no computador, foi necessária a instalação do JDK (*Java Development Kit*), versão 8u151, cuja função é desenvolver, compilar e rodar os aplicativos Java.

A implementação do programa considerou, em seus cálculos, as equações de propagação de ruído com a distância  $r$  (Equação (1)) e a combinação de níveis de pressão sonora (NPS) (Equação (2)), além dos padrões estabelecidos pela NBR 10.151. Com isso, algumas hipóteses simplificadoras foram consideradas no *software*, são elas: a medição do nível de pressão sonora da fonte deve ser feita a um metro de distância da mesma, sendo em todos os cálculos de propagação sonora com a distância considerado o  $r_1 = 1\text{m}$ ; a propagação sonora se dá em ambiente externo, havendo poucas ou, de preferência, nenhuma superfície refletora; não foram consideradas as absorções sonoras do ar, solo, condições climáticas ou barreiras acústicas, sendo restrito apenas à propagação com a distância; as fontes sonoras são pontuais e onidirecionais.

$$\text{NPS}_2 = \text{NPS}_1 - \log \left( \frac{r_2}{r_1} \right)^2 \quad (1)$$

$$NPS_t = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{\left(\frac{NPS_i}{10}\right)} \quad (2)$$

No que tange à validação do programa, foram realizadas amostragens em um condomínio residencial de casas com 370 lotes e atualmente com cerca de 80 residências construídas. Escolheu-se este local devido ao mesmo apresentar uma grande área de ambiente externo com poucos obstáculos no seu entorno, porém com forte presença de ventos, característica da região litorânea onde se encontra. Foram então realizadas amostragens em dois locais distintos, denominados Fonte 01 e Fonte 02. Na Fonte 01 foram efetuadas 3 (três) medições de ruído em locais distintos na direção do vento, enquanto na Fonte 02, foram 4 (quatro) medições perpendiculares à direção do vento, conforme visualizado na Figura 1. A seta da figura indica a direção dos ventos.



**Figura 1 – Mapa de localização e estações de amostragem.**  
**Fonte: Adaptado do Google Earth, 2017.**

O procedimento de simulação da fonte consistiu na utilização de um carro tocando um ruído contínuo, enquanto que o procedimento amostragem seguiu as orientações da NBR 10.151. Para isso, utilizou-se um decibelímetro tipo II, do fabricante Instrutherm, modelo DEC-470, com certificado de calibração válido. Conforme orientação da norma supracitada, utilizou-se este equipamento com o circuito de ponderação “A” e tempo de resposta rápido (*fast*). A medição consistiu no posicionamento do decibelímetro a aproximadamente 1,20 m do solo, com o protetor de vento fixo ao microfone. Mensurou-se três vezes o nível de pressão sonora em cada ponto (incluindo a fonte sonora), e calculou-se a média da pressão sonora neste, conforme Equação (3).

$$NPS_t = 10 \log \left( \frac{1}{n} \right) \sum_{i=1}^n 10^{\left(\frac{NPS_i}{10}\right)} \quad (3)$$

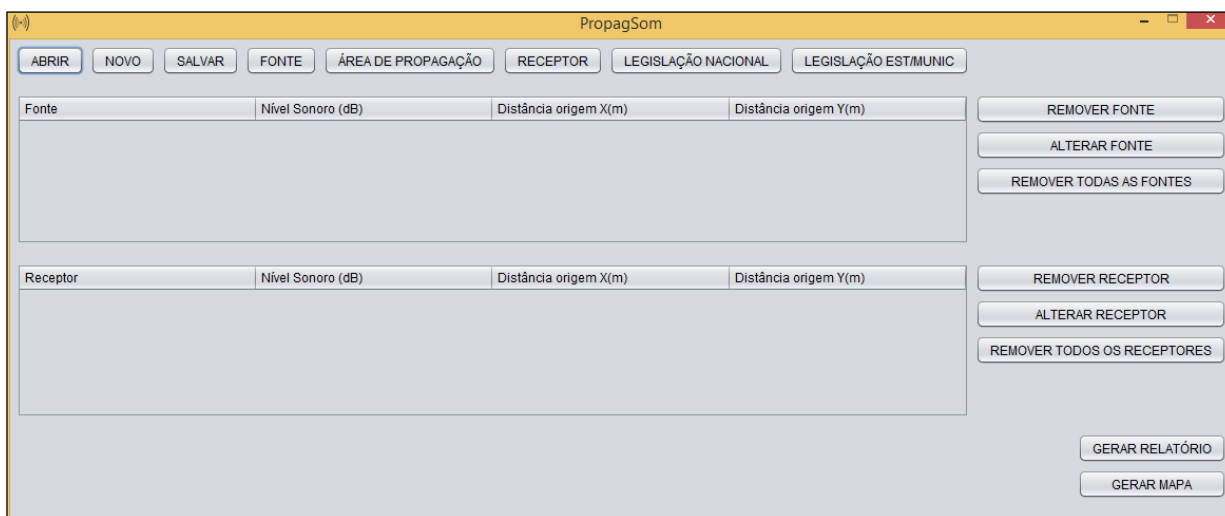
É válido salientar que um GPS (*Global Positioning System*) de marca Garmin e modelo Etrex 30x, foi utilizado para determinação das coordenadas de cada estação de amostragem.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

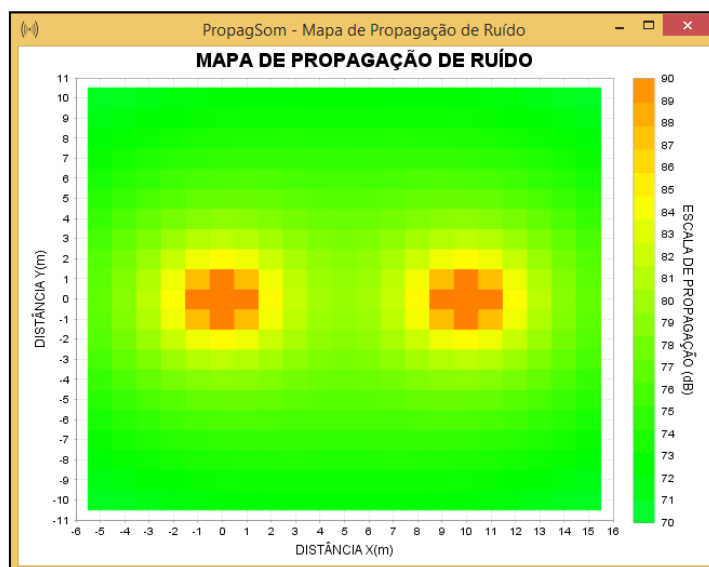
O *software* aqui desenvolvido foi nomeado de PropagSom. Este foi criado com o intuito de simular a propagação sonora em ambientes externos com pouca (ou nenhuma) superfície refletora, as quais são características gerais de ambientes externos, de forma a auxiliar em estudos e diagnósticos do ruído ambiental de uma região geográfica, estimando os níveis sonoros nesta e gerando um mapa acústico, evitando, ocasionalmente, gastos exacerbados e exposição à riscos ambientais inerentes às estações de amostragem.

Assim sendo, o princípio básico de funcionamento do PropagSom resume-se em, inseridas as fontes ruidosas encontradas num ambiente, com seus respectivos níveis sonoros e coordenadas (x,y), simular a propagação do ruído emitido em uma área de propagação estabelecida pelo usuário, considerando, basicamente, a distância à fonte.

Caso deseje, o usuário é capaz de gerar um mapa de propagação de ruído da região, o qual possui funcionalidades embutidas, tais como aumento de zoom (e seus eixos proporcionalmente), salvá-lo no computador em formato (.png), copiá-lo para área de transferência, imprimi-lo ou mesmo alterar os seus eixos e títulos. A Figura 2 mostra a tela inicial do programa enquanto a Figura 3 exibe um mapa de propagação de ruído simulado pelo PropagSom, no qual foram consideradas duas fontes sonoras, uma na coordenada (0,0) e outra na coordenada (10,0).



**Figura 2 - Tela inicial do PropagSom.**



**Figura 3 – Mapa de propagação de ruído gerado pelo PropagSom.**

Além disso, é possível a inserção de mais de uma fonte sonora, bem como inúmeros receptores em pontos desejados pelo usuário, estimando os seus respectivos níveis sonoros. Caso queira, é exequível ao mesmo a comparação, diretamente no PropagSom, dos níveis sonoros de tais receptores com a legislação nacional vigente, NBR 10.151, e/ou legislação estadual/municipal existente. Outra funcionalidade bastante útil implementada no programa é a geração de um pequeno relatório, em formato (.pdf), com todas as informações de fontes sonoras, receptores e área de propagação adicionadas no programa.

O usuário, ao utilizar o PropagSom, deve ter noção de algumas configurações do programa, sendo elas: i) os níveis sonoros inseridos devem ser medidos em campo através de um medidor de nível de pressão sonora; ii) as coordenadas inseridas não devem seguir o sistema de coordenadas geográfica de um GPS e sim o sistema de coordenadas cartesianas, considerando-se a distância da fonte à origem em relação aos eixos x e y; iii) a interpretação das entradas segue as unidades especificadas no programa para cada campo, não sendo possível ao mesmo fazer cálculos de conversão de unidades. Destaca-se que o funcionamento do PropagSom se encontra no manual do usuário do mesmo.

Para validação do *software*, como dito na metodologia, foram realizadas amostragens no condomínio residencial seguindo os procedimentos exigidos pela NBR 10.151. A Tabela 1 e Tabela 2 mostram, respectivamente, os resultados das medições obtidos a favor (Fonte 01) e perpendicular (Fonte 02) à direção do vento.

**Tabela 1 – Resultados das medições realizadas na direção do vento (Fonte 01).**

	Fonte 01	P01	P02	P03
Medição 1 (dB)	91	75	66	58
Medição 2 (dB)	90	75	66	58
Medição 3 (dB)	90	75	66	57
<b>Leq (dB)</b>	<b>90,4</b>	<b>75,0</b>	<b>66,0</b>	<b>57,7</b>

**Tabela 2 – Resultados das medições realizadas perpendicular à direção do vento (Fonte 02).**

	Fonte 02	P04	P05	P06	P07
Medição 1 (dB)	90	73	68	67	63
Medição 2 (dB)	88	76	71	66	63
Medição 3 (dB)	92	76	72	67	64
<b>Leq (dB)</b>	<b>90,3</b>	<b>75,2</b>	<b>70,6</b>	<b>66,9</b>	<b>63,4</b>

Com o auxílio do Google Earth e das coordenadas coletadas pelo GPS em campo, foi possível estimar a distância entre cada estação de amostragem e a sua fonte sonora de referência, as quais estão dispostas na Tabela 3.

**Tabela 3 – Distâncias fonte – estação de amostragem.**

Fonte - Estação	Distância (m)
Fonte 01 – P01	7,81
Fonte 01 – P02	18,7
Fonte 01 – P03	27,9
Fonte 02 – P04	5,04
Fonte 02 – P05	12,7
Fonte 02 – P06	22,5
Fonte 02 – P07	30,4

De posse dos níveis de pressão sonora em cada estação de amostragem, bem como da distância às suas respectivas fontes sonoras de referência, utilizou-se o PropagSom para estimar os níveis sonoros em tais pontos (receptores). Desta forma, para uma visualização geral dos resultados obtidos tanto em campo quanto através do *software*, a Tabela 4 foi construída contendo também a diferença entre ambos os resultados, em dB, e a sua percentagem de erro.

**Tabela 4 – Comparação entre os níveis sonoros estimados pelo PropagSom e obtidos em campo.**

Estações	Medições (dB)	Simulação (dB)	Diferença (dB)	Erro (%)
P01	75,0	72,5	2,5	3,3
P02	66,0	65,0	1,0	1,5
P03	57,7	61,5	-3,8	-6,6
P04	75,2	76,3	-1,1	-1,4
P05	70,6	68,2	2,4	3,5
P06	66,9	63,3	3,6	5,4
P07	63,4	60,6	2,8	4,4



Observando-se a tabela acima, é possível analisar que a diferença máxima absoluta entre os níveis sonoros estimados pelo PropagSom e aqueles obtidos em cada estação de amostragem foi de 3,8 dB, enquanto a mínima de 1 dB. Em termos percentuais, o maior erro absoluto obtido foi de 6,6%, enquanto o menor foi de 1,4%. Além disso, analisando-se a diferença média entre o nível medido e estimado, nas estações de amostragem a favor do vento (P01, P02 e P03), obtém-se um valor de -0,1dB (-0,2%) e 1,9 dB (2,8%) quando perpendicular à direção do vento, o que evidencia a possibilidade do uso do *software* em ambas as configurações.

Diante disso, considerando as hipóteses particulares do programa, as condições climáticas no momento da medição, principalmente relacionado ao efeito dos ventos, bem como os erros inerentes aos equipamentos, o resultado obtido pode ser considerado satisfatório, o que comprova a viabilidade e fidedignidade dos resultados do PropagSom.

## CONCLUSÕES

Como produto final, o PropagSom foi desenvolvido com êxito, em linguagem de programação Java, tendo como diferencial a avaliação de conformidade de um resultado pontual com os padrões exigidos pela NBR 10.151 e outras legislações vigentes. O *software* gera um mapa de propagação de ruído, bem como um pequeno relatório com todas as informações de fontes, receptores e área de propagação inseridas na simulação. Além disso, possui uma interface gráfica bastante amigável.

No que tange à validação do PropagSom, quando comparadas os resultados medidos em campo com resultados simulados, obteve-se uma variação máxima absoluta de 3,8 dB (6,6%), valor considerado satisfatório, o que comprova a veracidade e eficiência do programa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10151: acústica: avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade: procedimento. Rio de Janeiro, 2000.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10152: níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro, 1987.
3. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Comissão Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n. 001, de 08 de março de 1990. Dispõe sobre critérios de padrões de emissão de ruídos decorrentes de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política. Brasília, DF, 1990. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=98>>. Acesso em: 22 jul. 2018.
4. BRITO, L. A. P. F. A utilização de mapas acústicos como ferramenta de identificação do excesso de ruído em áreas urbanas. Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro, v. 22, n. 6, p. 1095-1107, dez. 2017.
5. FERREIRA, B. J. C. Análise de níveis sonoros em salas de aula. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Mecânica. Universidade de Coimbra, Portugal. 2010.
6. GUEDES, I. C. M. Influência da forma urbana em ambiente sonoro: um estudo no bairro Jardins em Aracaju (SE). 2005. 126 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP, 2005. Disponível em: <[http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/258522/1/Guedes\\_ItaloCesarMontalvao\\_M.pdf](http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/258522/1/Guedes_ItaloCesarMontalvao_M.pdf)>. Acesso em: 14 ago. 2018.
7. OLIVEIRA, C.A.; ARENAS, G. W. N. Exposição ocupacional a poluição sonora em anestesiologia. Rev Bras Anesthesiol. v. 62, n 2, p. 257-261, 2012.
8. PINTO, D. N. Mapeamento acústico como ferramenta para predição de ruído urbano na área de influência do estádio Arena das dunas, Natal/RN. 2013. 143f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Natal, RN. Disponível em: <[https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/12393/1/DeboraNP\\_DISSERT.pdf](https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/12393/1/DeboraNP_DISSERT.pdf)>. Acesso em 14 ago. 2018.
9. ZAJARKIEWICZ, D. F. B. Poluição sonora urbana: principais fontes - aspectos jurídicos e técnicos. 2010. 235 f. Dissertação (Mestrado em Direito) - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.dominiopublico.gov.br/download/teste/arqs/cp136499.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2018.