

# Metodologia para Avaliação de Impacto Ambiental Sonoro da Construção Civil no Meio Urbano

S. M. M. Andrade<sup>a</sup>, J.G. Slama<sup>b</sup> e J. P. S. de Azevedo<sup>c</sup>

<sup>a</sup>L.H.C. – Laboratório de Hidráulica Computacional – Programa de Engenharia Civil da COPPE / UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia – Bloco I 2000 sala: 206 – Cidade Universitária – Ilha do Fundão, Rio de Janeiro / RJ, CEP: 21945-970, <sup>a</sup>smelazzi@infolink.com;

<sup>c</sup>zepaulo@hidro.ufrj.br.

<sup>b</sup>L.H.C. – Departamento de Engenharia Mecânica da COPPE / UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia – Bloco G sala: 210 – Cidade Universitária – Ilha do Fundão, Rio de Janeiro / RJ, CEP: 21945-970, jules@rionet.com.br.

**RESUMO:** Este trabalho tem o objetivo de apresentar uma metodologia de avaliação de impacto ambiental sonoro da construção civil abrangendo: a análise do meio físico; a caracterização da obra; a definição das alternativas de planejamento da obra; a relação dos serviços significativos quanto ao ruído; a listagem dos equipamentos em cada etapa executiva, seus níveis sonoros e tempos de utilização; o nível de ruído ambiental; as normas acústicas; modelos de acústica previsional; medidas para mitigação do ruído; a indicação de métodos de tomada de decisão aplicados ao tratamento do ruído. Como contribuição desta avaliação de impacto ambiental sonoro, destaca-se: a utilização das composições de serviços para determinação do tempo de operação dos equipamentos para obtenção dos níveis de exposição sonora; devido à transitoriedade e a imprevisibilidade do ruído das construções, a consideração de um índice, através da lógica fuzzy, que retrata o incômodo e os riscos nocivos físicos e psicológicos resultantes desta descontinuidade; o desenvolvimento de um programa de acústica previsional.

**ABSTRACT:** This work aims to submit an assessment methodology of noise environmental impact of the civil construction, it includes the aspects of the physical environment; the work characterization; the equipment list for each executive stage and its noise levels and period of utilization; the relation of the main services in relation to the noise; the definition of the work planning; the acoustical standards; the noise assessment, prediction and monitoring programs; models of prediction acoustics; recommendations of measures for noise mitigation; indication of decisions methods applied to the noise treatment. As contribution of this assessment of noise environmental impact, one highlights the use of services compositions for the equipment operation time determination for obtaining the sound exposure levels; due to the transitory and unforeseeable aspects of the constructions noise, the consideration of an index, through the Fuzzy logic, which shows the annoyance and the physical and psychological harmful risks resulted from this discontinuity; the development of a prediction acoustics program.

## 1. INTRODUÇÃO

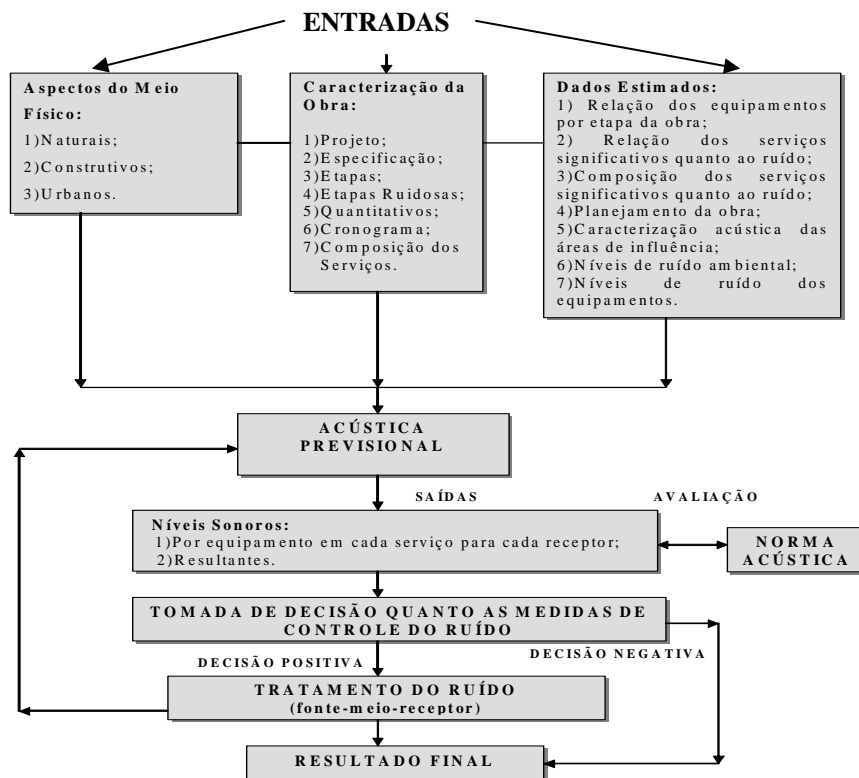
O presente trabalho tem como objetivo de apresentar uma metodologia de avaliação de impacto ambiental sonoro da construção civil abrangendo um modelo de acústica previsional executado através de um programa computacional – PROGRAMA RUÍDO em linguagem FORTRAN versão 90, que considera a estimativa dos níveis de exposição sonora dos

equipamentos ressaltando a variação de intensidade, carácter, localização e período de tempo destas fontes, incluindo as fontes provenientes das atividades da cidade associadas ao ruído residual característico do meio urbano onde se encontra a obra.

O modelo incorpora os principais parâmetros acústicos; os métodos construtivos e o planeamento da obra; alguns elementos que interferem na emissão, propagação e recepção do ruído; o tipo de obra e etapa; a resposta humana e os efeitos do ruído (físicos e psíquicos); as legislações; o sistema especialista Fuzzy.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Fluxograma da Metodologia de Avaliação de Impacto



Esquema 1 – Metodologia de Avaliação de Impacto

Este trabalho é uma amostra preliminar da metodologia até a fase de obtenção dos níveis sonoros por equipamento em cada serviço para cada receptor e dos níveis resultantes.

### 2.2 Planeamento da obra

É recomendável, que as atividades potencialmente ruidosas sejam localizadas nos locais mais ruidosos da cidade da seguinte forma: (1) a localização dos barracões para almoxarifado, depósito de material de pequeno porte, depósito de aço e vergalhões, primeiros socorros e escritório, que normalmente são situados na entrada da rua secundária para não atrapalhar o

tráfego urbano devido ao trânsito constante de veículos de carga e descarga de materiais, deverão estar posicionados numa das ruas mais ruidosas, evitando a criação de novas zonas ruidosas próximas à comunidade e aproveitando o efeito de mascaramento proporcionado pelo ruído urbano; (2) o setor de carpintaria de formas deve estar próximo a uma das ruas mais ruidosas, evitando a criação de novas zonas de emissão sonora, porém distante do escritório, da sala de primeiros socorros e do primeiro receptor externo à obra; (3) as centrais de concreto e betoneiras, no caso do caminhão betoneira, devem permanecer próximas à bomba para lançamento de concreto, na entrada do canteiro de obras, internamente, de preferência próximo a uma das ruas mais ruidosas para atender aos parâmetros acústicos já descritos anteriormente; (4) os equipamentos com lugar prévio, tais como serras de bancada, devem ficar enclausurados em ambientes tratados acusticamente, evitando a propagação do ruído e protegendo as áreas adjacentes para que não haja acidentes com as partes elétricas e mecânicas; (5) as áreas de operação das gruas devem estar no mínimo a 10 m de distância das ruas mais silenciosas (as gruas emitem ruído pelo motor a diesel e pela movimentação do material na haste de sustentação; constituindo por várias fontes de ruído); (6) os veículos de uma forma geral devem ter os seus acessos desviados das áreas mais sensíveis como hospitais, habitações e escolas; (7) as operações ruidosas devem ser combinadas para que elas aconteçam no mesmo período de tempo, em horários apropriados, pois o nível de ruído total produzido não será significativamente maior que o nível de ruído produzido com as operações executadas separadamente; além disso, reduz a produção de ruídos com características de intermitência e impulsividade; (8) devem ser evitadas atividades noturnas, quando a sensibilidade ao ruído torna-se maior, principalmente em zonas residenciais.

### 2.3 Modelos de acústica previsional

Os modelos de acústica previsional apresentados são diferenciados por casos de acordo com as seguintes características: fontes pontuais e lineares, receptores em ambientes internos e externos e obras em locais abertos e fechados, conforme definidos a seguir:

**1° Caso:** Para cada equipamento em cada serviço em obras em locais abertos, o nível de exposição sonora em dBA, medido num receptor em ambiente aberto, a uma certa distância de uma fonte pontual é dado por:

$$NESfi = NWSfi + 10 \log_{10}(t) + 10 \log_{10}\left(\frac{Q}{2\pi r^2}\right) + I \log_{10} - A_{atm} - A_{solo} - A_{barr} - A_{misc}(1)$$

**2° Caso:** Para cada equipamento em cada serviço em obras em locais abertos, o nível de exposição sonora em dBA, medido num receptor em ambiente fechado, a uma certa distância de uma fonte pontual é dado por:

$$NESfi = NWSfi + 10 \log_{10}(t) + 10 \log_{10}\left(\frac{Q}{2\pi r^2}\right) + I \log_{10} - SRIfi - A_{atm} - A_{solo} - A_{barr} - A_{misc}(2)$$

**3° Caso:** Para cada equipamento em cada serviço em obras em locais abertos, o modelo de fontes lineares que caracteriza a potência acústica por metro linear  $W_m$  pode ser utilizado para representar o ruído provocado pelas máquinas móveis da construção civil, que pode ser



considerado como fontes sonoras lineares de grande dimensão. Neste caso, o nível de exposição sonora de uma fonte linear em dBA, medido num receptor em ambiente aberto, na distancia r da fonte é dado por:

$$NESfi = 10\log_{10}\left(\frac{Wm}{Wo}\right) + 10\log_{10}(t) + 10\log_{10}\left(\frac{Q}{2\pi r^2}\right) + I\log_{10} - Aatm - Asolo - Abarr - Amisc(3)$$

**4° Caso:** Para cada equipamento em cada serviço em obras em locais abertos, o modelo de fontes lineares que caracteriza a potência acústica por metro linear  $Wm$  pode ser utilizado para representar o ruído provocado pelas máquinas móveis da construção civil, que pode ser considerado como fontes sonoras lineares de grande dimensão. Neste caso, o nível de exposição sonora de uma fonte linear em dBA, medido num receptor em ambiente fechado, na distancia r da fonte é dado por:

$$NESfi = 10\log_{10}\left(\frac{Wm}{Wo}\right) + 10\log_{10}(t) + 10\log_{10}\left(\frac{Q}{2\pi r^2}\right) + I\log_{10} - SRIrfi - Aatm - Asolo - Abarr - Amisc(4)$$

**5° Caso:** Para cada equipamento em cada serviço em obras em locais fechados, o nível de exposição sonora em dBA, medido num receptor em ambiente aberto, a uma certa distância de uma fonte pontual é dado por:

$$NESfi = NWfi + 10\log_{10}(t) + 10\log_{10}\left(\frac{S}{R}\right) + 10\log_{10}\left(\frac{Q}{2\pi r^2}\right) + I\log_{10} - SRIffi - Aatm - Asolo - Abarr - Amisc(5)$$

**6° Caso:** Para cada equipamento em cada serviço em obras em locais fechados, o nível de exposição sonora em dBA, medido num receptor em ambiente fechado, a uma certa distância de uma fonte pontual é dado por:

$$NESfi = NWSfi + 10\log_{10}(t) + 10\log_{10}\left(\frac{S}{R}\right) + 10\log_{10}\left(\frac{Q}{2\pi r^2}\right) + I\log_{10} - SRIffi - SRIrfi - Aatm - Asolo - Abarr - Amisc(6)$$

Sendo:

O índice de atenuação acústica da parede do receptor em faixas de oitavas normalizadas é:[1]

$$SRIrfi = -17 + 15\log_{10}(\sigma fi) \quad \text{dBA} \quad (7)$$

Onde  $\sigma$  é a densidade dos materiais em  $\text{Kg/m}^3$  e f a frequência em Hertz.

O nível de potência sonora em faixas de oitavas normalizadas é:[2;3]



$$NWS_{fi} = 10 \log_{10} \frac{W_m}{W_0} \quad \text{dBA} \quad (8)$$

Onde  $W_0 = 10^{-12}$  watts é o valor de referência da potência sonora.  
A constante do ambiente que caracteriza a reverberação é:[1]

$$R = \frac{S \bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}} \quad (9)$$

Onde  $\bar{\alpha} = \frac{\sum \alpha_i \cdot S_i}{\sum S_i}$  é o coeficiente de absorção médio interno; S é a área total da superfície interna, em  $m^2$ .

O índice de atenuação acústica da parede da fonte em faixas de oitavas normalizadas em dBA é:[1]

$$SRI_{fi} = -17 + 15 \log_{10}(\sigma_{fi}) \quad \text{dBA} \quad (10)$$

Onde  $NES_{fi}$  é o nível de exposição sonora, por bandas de oitava, em dB(A);  $NWS_{fi}$  é o nível de potência sonora, por bandas de oitava, em dB(A);  $W(m)$  é a potência acústica por metro linear, em dB(A);  $Q$  é o fator/correção de direcionalidade em dB considerado igual a uma unidade;  $r$  é a distância fonte/receptor, em m (metros);  $t$  = período de tempo de ligação do equipamento medido em segundos;  $I$  = grau de impulsividade.

O valor da  $A_{atm}$  atenuação devido à absorção atmosférica, em dB(A) é conseguido pela norma ANSI S1.26 - *American National Standards Institute: method for the calculation of the absorption of sound by the atmosphere* S1.26 (1978)[4,5];  $A_{solo}$  atenuação pelo efeito do solo, em dB(A) é obtida pela norma ISO 9613. 2 *acoustics – attenuation of sound during propagation outdoors (Part 2)* (1996)[6];  $A_{barr}$  atenuação pelas barreiras, em dB(A) pela fórmula de Kurse[1]; a  $A_{misc}$  atenuação devido a efeitos diversos, em dB(A) é para uma proposição futura.

Como os níveis de exposição sonora  $NES_{fi}$  são expressos de forma logarítmica, o nível sonoro resultante da superposição de mais de uma fonte deve ser calculado da seguinte forma:

$$NEST_{fi} = 10 \log_{10} \sum \left( 10^{\frac{NES_{fi}}{10}} \right) + A \log_{10} 10 \quad \text{dBA} \quad (11)$$

Onde  $NEST_{fi}$  é o nível de exposição sonora total (de todos os equipamentos), em faixas de oitava normalizadas em dBA;  $NES_{fi}$  é o nível de exposição sonora parcial (cada equipamento em cada serviço), em faixas de oitava normalizadas em dBA;  $A \log_{10}$  é o grau de ajuste.

A partir do  $NEST_{fi}$  obtemos o cálculo do Nível de Pressão Sonora Resultante:

$$NPSR_{fi} = NEST_{fi} - 10 \log_{10}(t_{total}) \oplus NRA + R \log_{10} 10 \quad \text{dBA} \quad (12)$$

Onde  $NPSR_{fi}$  é o nível de pressão sonora resultante (de todos os equipamentos), em faixas de oitava normalizadas em dBA;  $t_{total}$  é a duração total do evento, normalmente 8 horas de trabalho/dia;  $NRA$  igual ao  $L_{eq}$  é o nível de ruído ambiental, em dB(A);  $\oplus$  a soma logarítmica;  $R_{log_{10}10}$  a reflexão, igual a 3dBA (ambientes de alta densidade urbana)<sup>1</sup>.

Após a obtenção do nível de pressão sonora resultante em faixas de oitava normalizadas em dBA de todas as máquinas, é feito o somatório logarítmico de todas as frequências para obtenção de um valor global a ser comparado com a norma concernente.

$$NPSG = \sum NPSR_{fi} = 10 \log_{10} \sum \left( 10^{\frac{NPSR_{fi}}{10}} \right) \quad \text{dBA} \quad (13)$$

Onde  $NPSG$  é o nível de pressão sonora global, em dB(A).

#### 2.4 Tempo de Ligação ou Tempo de Utilização do Equipamento (t)

O cálculo da variável período de tempo de ligação ou tempo de utilização do equipamento (t) está condicionado aos serviços com seus quantitativos e composições a serem utilizadas nas diversas etapas da obra de acordo com as Composições Usuais de Serviços de Ruídos Significativos (Catálogo de Referência do Sistema de Custos Unitários do Governo do Estado do Rio de Janeiro, Brasil, 1998).[8]

Exemplificando com o serviço demolição com equipamento de ar comprimido, podem atuar os equipamentos martetele pneumático e compressor, cada um consumindo um determinado tempo para executar o quantitativo proposto pela obra, no prazo estipulado pelo cronograma executivo da seguinte forma: serviço demolição com equipamento de ar comprimido (m<sup>3</sup>) com martetele pneumático 10,5000 h / m<sup>3</sup> e compressor 12,0000 h / m<sup>3</sup>.

As composições são adaptadas conforme tipo de obra e etapa e o cálculo se traduz em nível de potência sonora corrigida em faixas de oitavas normalizadas através da fórmula:

$$NWS_{ci}^2 = NWS + 10 \log (t) \quad \text{dBA} \quad (14)$$

Onde t é medido em hora, sendo neste modelo igual a  $\sum t_e / t_0 = \sum (q \times i) / t_0$ , sendo q o quantitativo executado, i o índice de hora trabalhada e  $t_0$  igual a 8 horas/dia (valor referência).

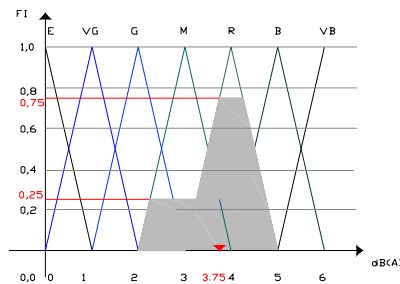
#### 2.5 Fuzzy – Grau de Impulsividade (para cada equipamento) e Grau de Ajuste (para a obra)

Com o objetivo de incorporar os aspectos qualitativos ao modelo, de forma avaliar a dimensão real do ruído, foi criado um parâmetro subjetivo que se aproximasse da resposta humana, destacando a predominância da variação do ruído gerado pelas máquinas e o aspecto fragmentado do processo produtivo da construção civil utilizando os valores de I e A, já mostrados nos modelos apresentados, determinados através da Lógica Fuzzy.[9;10;11]

<sup>1</sup> No caso de obras em ambiente urbano denso, de acordo com a determinação da BS 5228 Part 1 – *British Standard*, 1984, deve ser somada uma margem de segurança de reflexão de 3 dBA para os níveis totais calculados.[7]

<sup>2</sup> Nível de Potência Sonora Corrigida em faixas de oitavas normalizadas em dBA.

O julgamento do ruído com características impulsivas e incômodas é dado de acordo com os elementos a seguir, tendo como objetivo considerar um acréscimo e uma correção em decibéis ao  $NES_A$  (nível de exposição sonora na curva A) numa escala de 0 (zero) a 6 (seis) decibéis, respectivamente, devido ao grau de impulsividade e ao grau de incômodo do ruído produzido. O acréscimo parcial para cada máquina considera o “grau de impulsividade” e a correção - ajuste global para a obra corresponde ao “grau de ajuste”, sendo este último relativo à análise dos fatores prazo da obra, distância entre máquinas, considerando a ininterrupção do ruído e tamanho da obra. Exemplificando com o acréscimo parcial para o equipamento - conjunto explosivo, com tempo de pulso no valor de 0,75 segundos, o resultado corresponderá ao acréscimo de 3,75 dBA ao nível de exposição sonora expresso no gráfico grau de impulsividade a seguir representado.



*Gráfico 1 – Grau de Impulsividade*

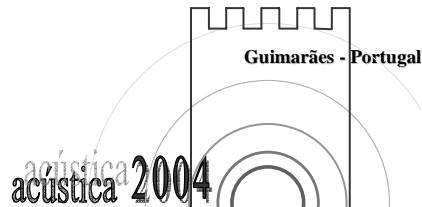
Nota<sub>1</sub>: 1) Variável de Entrada: Tempo de Pulso; 2) Rótulos de Entrada: Curto; Moderado1; Moderado2; Moderado3; Moderado4; Moderado5; Longo; 3) Intervalo Numérico Mensurável: Curto-0,3-0,5s; Moderado1-0,3-0,7s; Moderado2-0,5-0,9s; Moderado3-0,7-1,1s; Moderado4-0,9-1,3s; Moderado5-1,1-1,5s; Longo-1,3-1,5s. 4) Rótulos de Saída: Péssimo; Ruim; Razoável; Médio; Bom; Ótimo; Excelente; 5) Variável de Saída: Acrescentar 6dB(A); Acrescentar 5dB(A); Acrescentar 4dB(A); Acrescentar 3dB(A); Acrescentar 2dB(A); Acrescentar 1dB(A); Acrescentar 0 dB(A). Nota<sub>2</sub>: Os intervalos numéricos são alterados em função das fontes escolhidas; outras variáveis de entrada poderão ser incluídas.

## 2.6 Legislação

Os ruídos urbanos e da construção civil no meio urbano foram apreciados de acordo com a NBR 10.151 da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas(2000), que fixa os limites em dBA de aceitabilidade do ruído em comunidades, independente da existência de reclamações, de acordo com as áreas de zoneamento e o período do dia (diurno/noturno) da seguinte forma: (1) área de sítios e fazendas – 40/35; (2) Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas – 50/45; (3) Área mista, predominantemente residencial – 55/50; (4) Área mista, com vocação comercial e administrativa – 60/55; (5) Área mista, com vocação recreacional – 65/55; (6) Área predominantemente industrial – 70/60.[12]

## 3. CONCLUSÃO

A metodologia aqui apresentada e aplicada a uma área restrita de uma obra é na verdade mais abrangente, pois pode ser utilizada no controle do ruído numa escala regional, nacional



e/ou internacional, servindo de instrumento de análise da componente acústica em estudos de sustentabilidade. O método pode subsidiar a avaliação de Impacto Ambiental Sonoro na fase de implantação de empreendimentos e atividades contempladas nas Resoluções brasileiras CONAMA N° 001/1986 e CONAMA N° 237/1997, que dispõem, respectivamente, sobre a elaboração dos EIA – Estudos de Impacto Ambiental / RIMA – Relatório de Impacto Ambiental e Licenciamento Ambiental.[13;14;15]

#### 4. REFERÊNCIAS

- [1] SLAMA, Jules Ghislain. *Curso de acústica ambiental*. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 1999.
- [2] HALL, Donald E. *Basic Acoustics* California State University, 1987.
- [3] DOWLING, A.P.; FFOWCS WILLIAMS, J. E. *Sound and Sources of Sound*. New York: John Wiley and Sons, 1983.
- [4] ANSI S1.26 - AMERICAN NATIONAL STANDARD: *Method for the calculation of the absorption of sound by the atmosphere*, 1978.
- [5] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 9613.1: acoustics – attenuation of sound during propagation outdoors*. [S.l.], 1993. (Part 1: Calculation of the Absorption of Sound by the Atmosphere).
- [6] \_\_\_\_\_ *9613.2: acoustics – attenuation of sound during propagation outdoors*. [S.l.], 1996. (Part 2: General Method of Calculation).
- [7] BRITISH STANDARD. *BS 5228 (part 1): noise control on construction and open sites*. [S. l.], 1984.
- [8] RIO DE JANEIRO (Estado). Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Regional. *Catálogo de referência – sistema de custos unitários*. Rio de Janeiro, 1988.
- [9] JANG, J. S. R.; GULLEY, N. MATLAB. *Fuzzy Logic Toolbox*, 1995.
- [10] \_\_\_\_\_ *ISO 2204: acoustics – guide to international standards on the measurement of airborne acoustical noise and evaluation of its effects on human beings*. [S.l.], 1979.
- [11] \_\_\_\_\_ *ISO 10.843: acoustics – methods for the description and physical measurement of single impulses or series of impulses*. [S.l.], 1997.
- [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.151-avaliação de ruídos em áreas habitadas visando o conforto da comunidade, 2000.
- [13] BRASIL.CONAMA N° 001. *Estabelece definições, responsabilidades, critérios básicos e diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente*, 1986.
- [14] \_\_\_\_\_CONAMA N° 237. *Dispõe sobre os procedimentos e critérios para o licenciamento ambiental*, 1997.
- [15] GUIDELINES FOR NOISE IMPACT ANALYSIS. Office of Noise Abatement and Control U.S. Environmental Protection Agency, Apr. 1982.