



Universidade de São Paulo  
Escola Politécnica  
Departamento de Engenharia de Transportes

# Impactos do Transporte Rodoviário

**PTR 3439**  
**Transporte e Meio Ambiente**

**Prof. Dr. Cassiano A. Isler**  
**2023**



- Transporte Rodoviário
  - Impactos da Implantação
  - Impactos da Operação
- Modelagem de Ruídos no Transporte Rodoviário
  - Altura do som
  - Intensidade do som
  - Método FHWA



# Transporte Rodoviário

Transporte rodoviário é um importante vetor de desenvolvimento econômico porém apresenta vários impactos na:

- Implantação
- Operação





- **Impactos da Implantação**

Os principais impactos decorrentes da **implantação** de infraestruturas rodoviárias de transporte são:

- (1) Uso do Solo
- (2) Segregação Espacial
- (3) Alterações visuais
- (4) Poluição do ar e água
- (5) Impactos socioeconômicos
- (6) Acidentes



- **Impactos da Operação**

Os principais impactos decorrentes da **operação** de infraestruturas rodoviárias de transporte são:

- (1) Acidentes
- (2) Poluição do ar
- (3) Ruídos e Vibrações

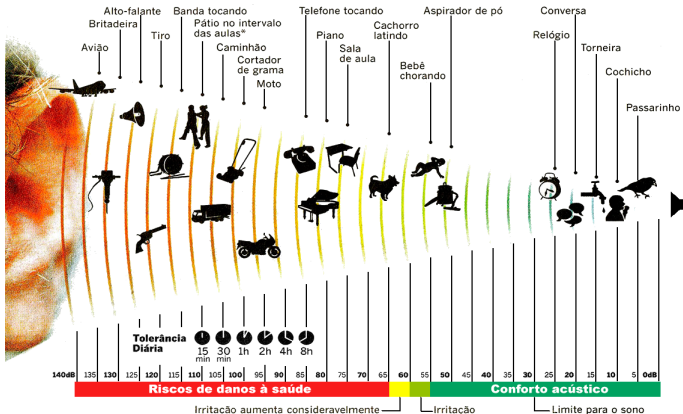


# Modelagem de Ruídos

## Poluição Sonora

De acordo com a OMS, até 55 decibéis é um nível aceitável de ruído

NÍVEIS DE RUÍDO EM DECIBÉIS







Existem modelos que visam quantificar o nível de ruído emitido pela operação de transporte rodoviário e os efeitos de medidas mitigadoras.

O som é descrito em função de duas características:

1. **Intensidade:** pressão exercida pelo som
2. **Altura:** frequência das vibrações

A partir dessas características será apresentado um método de estimativa dos ruídos do transporte rodoviário em função da composição e fluxo de tráfego, características geométricas da rodovia e existência de barreiras.



- **Intensidade do som**

A unidade de intensidade (pressão) sonora é  $N/m^2$  e o ser humano percebe o som entre  $2 \cdot 10^{-5} N/m^2$  e  $100 N/m^2$ .

O decibel ( $dB$ ) é uma unidade alternativa de intensidade.

Em termos de limite fisiológico do ser humano o nível de pressão do sonora (intervalo de percepção) é entre  $0 dB$  e  $134 dB$ , que correspondem respectivamente a  $2 \cdot 10^{-5} N/m^2$  e  $100 N/m^2$ , sendo calculado por:

$$NPS = 10 \cdot \log \left( \frac{P}{P_0} \right)^2$$

onde  $NPS$  = nível de pressão do sonora ( $dB$ );

$P$  = pressão sonora ( $N/m^2$ );

$P_0$  = menor pressão sonora perceptível ao humano ( $2 \cdot 10^{-5} N/m^2$ ).



- **Intensidade do som**

O nível de intensidade percebido é dado pela intensidade do som (fluxo de energia por unidade de área) em função de intensidade de referência.

$$NI = 10 \cdot \log \left( \frac{I}{I_0} \right)$$

onde  $NI$  = nível de intensidade de uma fonte sonora (dB);

$I$  = intensidade sonora ( $W/m^2$ );

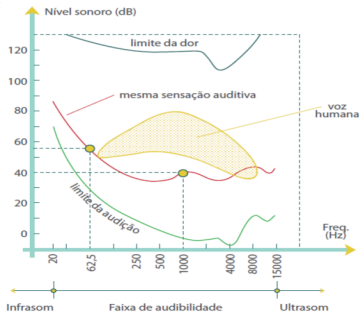
$I_0$  = menor intensidade sonora perceptível ao humano ( $10^{-12}W/m^2$ ).

Duplicar a intensidade da fonte sonora não significa duplicar o nível de intensidade, mas aumentá-lo em 3 dB.

$$NI_{2fontes} = 10 \cdot \log \left( \frac{2 \cdot I}{I_0} \right) = 10 \cdot \log(2) + 10 \cdot \log \left( \frac{I}{I_0} \right) = 3 + NI$$

## ● Altura do som

O ser humano é sensível à altura do som (frequência) entre 20  $Hz$  e 15.000  $Hz$ .



O nível de intensidade do som (medido em decibéis,  $dB$ ) ajustado à altura do som (medida em  $Hz$ ) resulta em uma escala de mensuração em decibel com ponderação  $A$  ( $dBA$ ).

Fonte: [Guia orientativo para atendimento à norma NBR15575/2013](#)



- **Altura do som**

Ao realizar a medição para obtenção de um índice de incômodo causado pelo ruído é necessário considerar que:

- (1) o nível de ruído varia continuamente no tempo e no espaço;
- (2) a intensidade e o espectro de frequência do ruído varia para cada modo de transporte;
- (3) o nível de ruído que chega até um observador depende da distância que o separa da fonte de ruído, e também do nível de ruído ambiente.



- **Altura do som**

Os níveis máximos permissíveis de ruídos produzidos por veículos no Brasil são determinados pelo Conselho Nacional de Trânsito através da Resolução CONTRAN 448/71, tal que:

- veículos de passageiros e de uso misto (exceto ônibus), motocicletas e bicicletas com motor auxiliar:  $84 \text{ dBA}$
- veículos de carga, ônibus, máquinas de tração agrícola, e demais veículos:  $89 \text{ dBA}$  (até 185 CV) e  $92 \text{ dBA}$  (acima de 185 CV)
- sons de buzina e equipamentos similares em áreas urbanas:  $104 \text{ dBA}$



- **Método do FHWA**

O Relatório FHWA-RD-77-108 do *Federal Highway Administration (FHWA)* do *U.S. Department of Transportation* estabelece um método para estimativa dos impactos de ruídos provocados por determinada condição de operação de um sistema de transporte rodoviário.

O modelo considera um veículo isolado como uma fonte pontual de ruído e o nível médio de emissão de energia é estimado em função da densidade de tráfego na rodovia.

O nível médio de emissão de energia de referência para uma determinada classe de veículo é o *ruído médio medido em um ponto situado a uma distância de referência de 15 metros do eixo central da faixa mais próxima do observador.*



- **Método do FHWA**

O nível de som equivalente horário da  $i$ -ésima classe de veículos pode ser calculado como um ajuste do nível de som de referência pelo tráfego de veículos da classe  $i$ , distância do observador, declividade da rodovia para veículos comerciais (caminhões médios,  $CM$ , e pesados,  $CP$ ), extensão da rodovia e existência de barreira.

$$NI_i = f(\text{referência}_i, \text{tráfego}_i, \text{distância}, \text{declividade}, \text{rodovia}, \text{barreira})$$

$$= NI_{0i} + NI_{traf_i} + NI_{dist} + NI_{decl_i} + NI_{rodo} + NI_{barr}$$

em que  $i$  é a classe de veículos que opera na rodovia (automóveis, caminhões médio ou pesados)





- **Método do FHWA**

Para a classe de veículo  $i$ , o nível de som de referência ( $NI_{0i}$ ) é estimado em função da velocidade  $V_i$ .

- Automóveis com velocidade menor que 50 km/h

$$NI_{0A} = 62 \text{ dBA}$$

- Automóveis com velocidade maior ou igual a 50 km/h

$$NI_{0A} = 38,1 \cdot \log(V_{Auto}) - 2,4 \text{ dBA}$$

- Caminhões médios (2 eixos ou 6 pneus)

$$NI_{0CM} = 33,9 \cdot \log(V_{CM}) + 16,4 \text{ dBA}$$

- Caminhões pesados (3 ou mais eixos)

$$NI_{0CP} = 24,6 \cdot \log(V_{CP}) + 38,5 \text{ dBA}$$



## ● Método do FHWA

O ajuste para o fluxo de tráfego para a  $i$ -ésima classe de veículos ( $NI_{traf_i}$ ) é dado por:

$$NI_{traf_i} = 16,7 + 10 \cdot \log \left( \frac{Q_i}{V_i} \right)$$

onde  $Q_i$  = fluxo de veículos da classe  $i$  (veic/h);

$V_i$  = velocidade média dos veículos da classe  $i$  (km/h).

O ajuste para a distância do observador ( $NI_{dist}$ ) é dado por:

$$NI_{dist} = 10 \cdot \log \left( \frac{D_0}{D} \right)^{1+\alpha}$$

onde  $D_0$  = distância de referência (15 metros);

$D$  = distância perpendicular do eixo da via ao observador (metros).



- **Método do FHWA**

O valor do ângulo  $\alpha$  depende da posição do observador e da fonte de ruído tal que:

- $\alpha = 0,0$ : quando a fonte ou receptor estiver 3 metros acima do solo ou do topo de barreira, ou quando a diferença de cota entre a fonte e o receptor for menor que 3 metros e a rodovia puder ser vista claramente e não houver nenhuma estrutura interveniente;
- $\alpha = 0,5$ : quando a diferença de cota entre a fonte e o receptor for menor que 3 metros e a rodovia puder ser avistada mas fica entremeada de algumas construções ou arbustos, ou o solo é coberto por vegetação.



- **Método do FHWA**

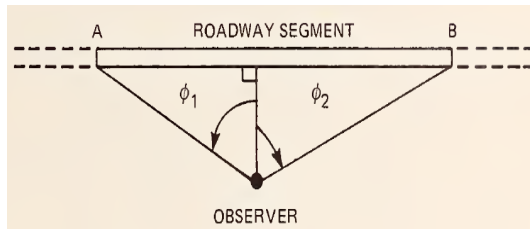
O efeito de declividade ( $NI_{decl}$ ) é ajustado somente para veículos pesados pelos valores da tabela a seguir.

<b>Declividade (%)</b>	<b>Ajuste (dBA)</b>
menor que 2	0
2 a 4	+2
4 a 6	+3
maior que 6	+5

- **Método do FHWA**

O ajuste devido à configuração da rodovia ( $NI_{rodovia}$ ) considera que os veículos operam em uma rodovia infinita, ou seja, com ângulo de influência acústica ( $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$ ) de  $180^\circ$ .

A localização espacial de um segmento finito é definida por um sinal positivo (sentido horário) ou negativo (sentido anti-horário) para os ângulos  $\Phi_1$  e  $\Phi_2$  da figura abaixo.



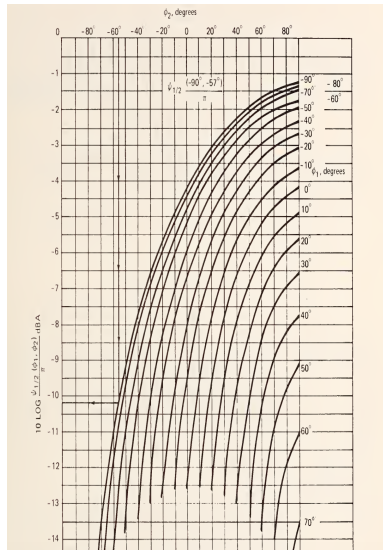


## ● Método do FHWA

Se o parâmetro de ajuste para a distância do [slide 19](#) é  $\alpha = 0,0$  o nível de som diminui proporcionalmente a:

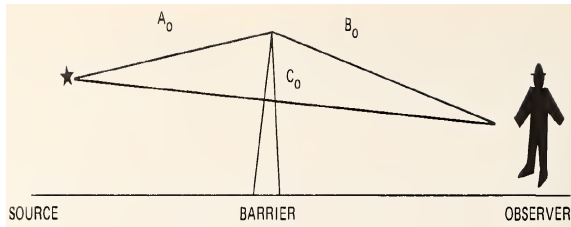
$$NI_{r\text{odo}} = 10 \cdot \log \left( \frac{\Delta\Phi}{\pi} \right)$$

Se  $\alpha = 0,5$  então o ajuste pode ser estimado pelo gráfico.



- **Método do FHWA**

O ajuste pela existência de barreiras ( $NI_{barr}$ ) é função da diferença entre o comprimento da trajetória do som contornando o obstáculo ( $A_0 + B_0$ ) e a distância em linha reta ( $C_0$ ) entre a fonte e o observador.

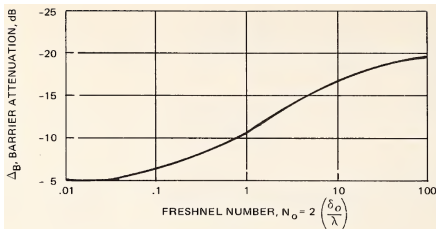




- **Método do FHWA**

Dados o parâmetro  $\delta_0 = (A_0 + B_0 - C_0)$  e o parâmetro de comprimento de onda gerado pelo tráfego ( $\lambda = 0,66$  metros), a redução pela existência de barreiras pode ser estimada graficamente pelo número de Freshnel ( $N_0$ ).

$$N_0 = 2 \cdot \frac{\delta_0}{\lambda} = 2 \cdot \frac{(A_0 + B_0 - C_0)}{\lambda}$$



Fonte: Relatório FHWA-RD-77-108





- **Método do FHWA**

O nível de intensidade sonora total ( $NI_{total}$ ) não pode ser estimado pela soma dos níveis das classes de veículos. É necessário converter os níveis de intensidade das classes em respectivas intensidades, e calcular o nível de intensidade total pela soma das intensidades.

Lembrando que  $NI = 10 \cdot \log \left( \frac{I}{I_0} \right)$  então:  $I = I_0 \cdot 10^{NI/10}$

A intensidade total para todas as classes de veículos é:

$$\begin{aligned} I_{total} &= I_A + I_{CM} + I_{CP} \\ &= I_0 \cdot 10^{(NI_A/10)} + I_0 \cdot 10^{(NI_{CM}/10)} + I_0 \cdot 10^{(NI_{CP}/10)} \end{aligned}$$



- **Método do FHWA**

Portanto, o nível de intensidade total é:

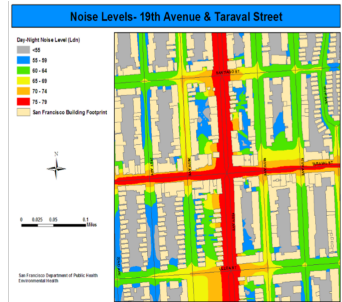
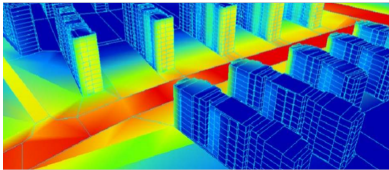
$$\begin{aligned} NI_{total} &= 10 \cdot \log \left( \frac{I_{total}}{I_0} \right) \\ &= 10 \cdot \log \left( \frac{I_0 \cdot 10^{(NI_A/10)} + I_0 \cdot 10^{(NI_{CM}/10)} + I_0 \cdot 10^{(NI_{CP}/10)}}{I_0} \right) \\ &= 10 \cdot \log \left( 10^{(NI_A/10)} + 10^{(NI_{CM}/10)} + 10^{(NI_{CP}/10)} \right) \end{aligned}$$

Estudos realizados a partir desse modelo permitiram melhorias nas estimativas e resultaram em um ferramenta computacional disponibilizada pelo *FHWA* com base no atual *Traffic Noise Model (TFN)*.

# Modelagem de Ruídos



Os modelos pode ser utilizados para representação espacial dos ruídos a partir da extrapolação de observações.



Rodrigues, F. (2006). Análise de ruído em terminais de transporte coletivo urbano: desenvolvimento de modelos de previsão.