

**UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE  
DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

**DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA**

**Curso de Engenharia Civil**

**SÉRGIO COPETTI CALLAI**

**PERFIL DE INFLUÊNCIA DA POLUIÇÃO  
SONORA EM RODOVIAS**

IJUÍ/RS

2008

**Sérgio Copetti Callai**

**PERFIL DE INFLUÊNCIA DA POLUIÇÃO SONORA EM  
RODOVIAS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia  
Civil apresentado como requisito parcial para  
obtenção de grau de Engenheiro Civil.

**IJUÍ  
2008**

# **FOLHA DE APROVAÇÃO**

**Trabalho de conclusão de curso defendido e aprovado em sua  
forma final pelo professor orientador e pelos membros da  
banca examinadora.**

---

Prof. Luciano Pivoto Specht, Dr. - Orientador

Banca Examinadora

---

Profª. Raquel Kohler , Msc. Arq  
UNIJUÍ/DeTec

---

Prof. Tiago Stum Marder, Msc. Eng.  
UNIJUÍ/DeTec

*I think I will do nothing now but  
listen,*

*To accrue what I hear into myself—to  
let sounds contribute toward me.*

*I hear bravuras of birds, bustle of  
growing wheat, gossip of flames, clack  
of sticks cooking my meals;*

*I hear the sound*

*I love, the sound of the human voice;*

*I hear all sounds running together,  
combined, fused or following;*

*Sounds of the city, and sounds out of  
the city—sounds of the day and  
night...*

*Walt Whitman, Songs of my self*

*Dedico este trabalho aos meus pais,  
Jaeme Luiz Callai e Helena Callai, e aos meus  
irmãos, Tomás Copetti Callai e Andréia  
Copetti Callai*

## AGRADECIMENTOS

Um abraço e a agradecimento especial à que conheci durante minha graduação, especialmente aos meus colegas, pois com estes dividi aflições e felicidades da faculdade.

Entre eles à Diego Hartman, André Bock, Jaelson, Fabio, Kiko, Koff, Júlio, Thiago Rozek, Giovani, Ricardo, Fernando, Gordo, Salete, Luis e muitos outros

A dois colegas devo fazer um agradecimento especial, são eles o André Zwirtes, que me auxiliou muito na pesquisa e na coleta de dados. Um mais do que especial agradecimento ao Eduardo Suliman Bueno meu colega por toda faculdade e amigo para toda vida.

Agradeço também aos mestres que tive em toda minha graduação, em especial ao meu orientador Luciano Pivoto Specht, por me ensinar não só as matérias, mas como buscá-las e por ser um grande mestre e amigo.

Um agradecimento mais do que especial a cinco pessoas que tem uma importância, imensurável em minha vida. Meus irmãos, a Déia que me mandava estudar e ficar calmo, ao Tomás que me irritava por dizer que eu não deveria me estressar. Meus pais, Jaeme e Helena, não apenas pais, amigos e guias. Por último a minha namorada, que me motivou a estudar mais, e sempre manteve-se calma ao meu lado.

## RESUMO

A engenharia de transportes talvez seja uma das indústrias mais poluidoras que existem, tanto pelo impacto causado pela construção de suas obras, como pela convivência com a operação irregular e/ou irresponsável destas. No Brasil as rodovias têm um papel muito importante na economia e a vida das pessoas, sendo que 63% das cargas e 97% dos passageiros são transportados em por este modo de transporte. Porém, a população sente o pesado ônus de viver ou trabalhar em suas proximidades, pois sofrem com grandes e inaceitáveis níveis poluição (sonoro e do ar) os quais podem ocasionar graves problemas de saúde. Logo assim se faz necessário um estudo destes índices. Esta pesquisa busca criar um perfil sonoro advindo de duas rodovias na região de Ijuí/RS, sendo elas BR-285, pavimentada de micro revestimento e RS-522, pavimentada com tratamento superficial duplo. A metodologia da coleta de dados proposta por este trabalho é baseada na norma ISO 11819-1 (*Statistical Pass-By Index*) a qual preconizada que a rodovia em estudo seja plana, sem deformações físicas, no mínimo 130 metros de tangente, adjacências em nível próximo da rodovia e sem qualquer tipo de barreira sonora. O decibelímetro deve estar posicionado a 1,20 metros da pista de rodagem, paralela a esta e perpendicular ao eixo da pista. Porém existem algumas variações, enquanto a norma preconiza que a coleta de dados, deve ser feita a 7,5 metros, far-se-á também mediadas a 15, 30 metros do eixo da rodovia possibilitando assim a criação de um perfil de ruído. Os valores de temperatura e umidade do ar serão medidos também. No SPB, os níveis de ruído medidos levam em consideração tanto o ruído pneu/pavimento quanto o ruído causado pelo sistema motor/transmissão e aerodinâmico. Ele nos apresenta os melhores resultados no quesito de avaliação do ruído de tráfego em áreas povoadas, porém é um método trabalhoso e extenso. O estudo apresentou resultados interessantes que nos levam a concluir que a distância é uma peça chave, e se ela for respeita e aliada a outras soluções, como a utilização de pavimentos silenciosos e barreiras sonoras naturais(árvores), grande parte do problema estará solucionado.

Palavras Chave – Ruído, Rodovias, Engenharia de transportes

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Faixa audível de frequências.....	17
Figura 02: Sensação das frequências do som.....	18
Figura 03: Sensação das frequências do som.....	18
Figura 04: Níveis de ruído em ambientes.....	20
Figura 05: Influência das diversas fontes no ruído.....	23
Figura 06: Altura da barreira sonora.....	25
Figura 07: Talude como barreira sonora.....	25
Figura 08: Barreira sonora transparente.....	25
Figura 09: Deficiência das barreiras sonoras.....	26
Figura 10: Mecanismos mais significativos da atenuação sonora ao ar livre.....	28
Figura 11: Média da pressão sonora medida para os diferentes revestimento e veículos.....	29
Figura 12: Vista superior do posicionamento.....	32
Figura 13: Vista frontal do posicionamento.....	32
Figura 14: Vista do veículo de testes.....	34
Figura 15: Detalhe do trailer.....	34
Figura 16: Vista detalhada do equipamento.....	35
Figura 17: Vista do veículo em uso .....	35



Figura 18: Esquema do sítio de ensaio.....	35
Figura 19: Esquema de equipamento <i>in situ</i> .....	39
Figura 20: Tubo de impedância.....	40
Figura 21: (TPTA) <i>Tyre/Pavement Test Aparatus</i> .....	41
Figura 22: Mapa da localização dos sítios em estudo.....	43
Figura 23: Sítio de estudo BR-285.....	43
Figura 24: Sítio de estudo RS – 522.....	44
Figura 25: Decibelímetro marca Minipa MSL-1351C.....	44
Figura 26: Pressão sonora <i>versus</i> velocidade, para micro revestimento a 15 metros do eixo da via, para veículo tipo 1.....	45
Figura 27: Perfil de influência da poluição sonora para MICRO.....	47
Figura 28: Perfil de influência da poluição sonora para TSD.....	48
Figura 29: Comparação entre os revestimentos.....	49

### LISTA DE SIGLAS

ABNT – *Associação Brasileira de Normas Técnicas*

ANPET - *Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transporte*

ASTM – *American Association for Testing and Materials*

CBUQ – *Concreto Betuminoso Usinado a Quente*

CCP – *Concreto de Cimento Portland*

CPA – *Camada Porosa de Atrito*

CPB – *Controlled Pass – B y*

CPI – *Close Proximity sound Intensity*

CPX – *Close Proximity*

COPPE – *Instituição Alberto Luiz Coimbra de Pós – graduação e pesquisa em engenharia*

dB(A) – *Decibéis em escala A*

FEHRL – *Forum of European National Highway Research Laboratories*

FHWA – *Federal Highway Administration*

Leq – *Nível de ruído equivalente*

ISO – *International Organization for Standardization*

MICRO – *Micro revestimento*

OMS – Organização Mundial de Saúde

SILVIA – *Sileda Via*

SPB – *Statistical Pass – By*

SPBI – *Statistical Pass – By Index*

TPTA – *Tyre/Pavement Test Apparatus*

TSD – *Tratamento Superficial Duplo*

USDOT – *United States Department of Transit*

UNIJUI – *Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul*

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.1	TEMA .....	14
1.2	DELIMITAÇÃO DO TEMA .....	14
1.3	FORMULAÇÃO DA QUESTÃO DE ESTUDO.....	14
1.4	DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS DO ESTUDO .....	15
1.4.1	<i>Objetivo geral</i> .....	15
1.4.2	<i>Objetivos específicos</i> .....	15
1.5	JUSTIFICATIVA .....	15
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>17</b>
2.1	O SOM.....	17
2.2	RUÍDO .....	20
2.2.1	<i>Ruído ambiental</i> .....	21
2.2.2	<i>Ruído e a economia</i> .....	21
2.2.3	<i>Ruído e a saúde humana</i> .....	22
2.2.4	<i>Ruído em rodovias</i> .....	22
2.3	PROCESSOS PARA MITIGAÇÃO DO RUÍDO .....	24
2.3.1	<i>Barreiras Sonoras</i> .....	24
2.3.3	<i>Pavimentos silenciosos</i> .....	28
2.4	MÉTODOS PARA ANÁLISE DE RUÍDO .....	30
2.4.1	<i>Statistical Pass – By Index (SPBI) (ISO 11819-1)</i> .....	30
2.4.2	<i>Close Proximity (CPX)</i> .....	33

	13
2.4.3	<i>Close Proximity Sound Intensity (CPI)</i> ..... 34
2.4.4	<i>CPB (Controlled Pass By) (ISO/CD 11819-2)</i> ..... 35
2.4.5	<i>Ruído médio de tráfego</i> ..... 36
2.4.6	<i>Modelos de correção do ruído em função da temperatura</i> ..... 36
2.5	<b>MÉTODOS DE ANÁLISE DAS PROPRIEDADES SONORAS DO PAVIMENTO</b> ..... 39
2.5.1	<i>Método de propriedades acústicas</i> ..... 39
2.5.2	<i>Medições locais em laboratório</i> ..... 40
3	<b>METODOLOGIA</b> ..... 42
3.1	<b>CLASSIFICAÇÃO DO ESTUDO</b> ..... 42
3.2	<b>PLANO DE COLETA DE DADOS</b> ..... 42
4	<b>APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS</b> ..... 45
5	<b>CONCLUSÕES</b> ..... 50
5.1	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> ..... 51
	<b>REFERÊNCIAS</b> ..... 52
	<b>ANEXO A</b> ..... 56

# **1 INTRODUÇÃO**

## **1.1 Tema**

O tema da pesquisa é: Poluição ambiental.

## **1.2 Delimitação do tema**

A pesquisa restringirá seu escopo ao estudo da poluição sonora causada por veículos rodoviários.

## **1.3 Formulação da questão de estudo**

A questão que norteia a presente pesquisa é:

Qual é o perfil de influência do ruído nas adjacências das rodovias levando em conta a influência do tipo de pavimento?

## **1.4 Definição dos objetivos do estudo**

### **1.4.1 *Objetivo geral***

O objetivo geral deste estudo é verificar o perfil de poluição sonora em algumas rodovias do estado do Rio Grande do Sul.

### **1.4.2 *Objetivos específicos***

Verificar o perfil de poluição sonora em diferentes distâncias do eixo da rodovia, bem como a influência do pavimento em tal poluição.

## **1.5 Justificativa**

Em nosso país as rodovias são altamente poluidoras. Tal poluição tem início em suas construções que, por um uso quase irresponsável dos insumos, mesmo que justificável, porém não muito responsável de recursos naturais esgotáveis, como britas, areia, petróleo (asfalto ou combustível), atentam contra o meio ambiente. Já no momento de seu uso, os veículos utilizam estas rodovias com um nobre fim, porém de uma forma que o responsável pelo seu controle não consegue manter a rodovia em bom estado, gerando assim, mais e mais gastos. Soma-se a isto o fato de que estes mesmos veículos que transportam nossas cargas e passageiros são os responsáveis diretos pela poluição do ambiente, especialmente do ar, seja com dióxido de carbono, ou com níveis altos de ruído.

A poluição sonora é um problema que temos de encarar e conviver cada dia mais em nossa sociedade, contudo os problemas de saúde que acarretam desta poluição são imensos. A organização Mundial de saúde diz que a exposição dos seres humanos a

altos níveis de ruído acaba por ocasionar respostas involuntárias e inconscientes do organismo a esse estímulo. As principais alterações fisiológicas reversíveis são: dilatação das pupilas, hipertensão sanguínea, mudanças gastrintestinais, reações musculares e vaso constrição das veias. Além das alterações fisiológicas existem as bioquímicas que são: mudanças na produção de cortisona, do hormônio tiróide, de adrenalina, na glicose sangüínea e na proteína do sangue. O ruído também provoca efeitos cardiovasculares, tais com aumento da pressão sanguínea causando hipertensão arterial (OMS, 1999).

Também temos o problema econômico gerado pela poluição sonora que acarreta em perdas altíssimas, estas principalmente geradas pela desvalorização imobiliária. (SANDBERG, 2001).

Vários países estão em busca da redução de ruídos em rodovias. Muitos fazem uso de barreiras sonoras para a atenuação do mesmo, porém, são de elevado custo e requerem medidas paliativas, visto que atenuam de forma indireta o ruído e não resolvem o problema na fonte. Outro caminho à seguir seria o da utilização de pavimentos com propriedades fonoabsorventes, como a Camada Porosa de Atrito (CPA), esta já existente em algumas poucas rodovias no Brasil.

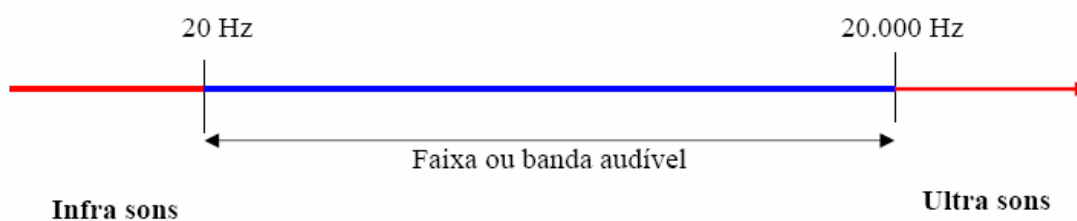
Na Europa diversas iniciativas de cooperação têm sido estabelecidas para pesquisar sobre o tema e buscar alternativas para sua atenuação. Destacam-se os projetos SILVIA (Silenda Via) e FEHRL (Forum of European National Highway Research Laboratories). Não obstante, nos EUA a FHWA tem empreendido esforços no mesmo sentido (FHWA, 2008). No Brasil as pesquisa são mais recentes, todavia a importância do tema e a expansão do sistema rodoviário de transporte tem reforçado sua importância.



## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 O som

O som é formado por ondas sonoras que viajam em sentido longitudinal. Resultado das vibrações de corpos elásticos, o som audível ao ser humano encontra-se em determinado intervalo (20 Hz a 20.000 Hz) de frequência (Figura 01). Acima e abaixo desses limites, existem o ultra e infra som, que não são audíveis ao ser humano, mas a alguns animais, e seu uso é bem abrangente ( radares, sonares, e exames médicos).



**Figura 01:** Faixa audível de frequências

Fonte: Fernandes, 2002

O som pode ser caracterizado em três variáveis físicas:

*Frequência*, é o numero de oscilações por segundo do movimento vibratório do som, sua unidade de medida é o hertz (Hz), que corresponde à frequência de um som que executa a vibração completa ou ciclo.

O ouvido humano percebe as frequências de uma maneira não linear. A partir de experiências notou-se que este segue a Lei de Weber de estímulo/sensação, ou seja, sensações como cor, som, odor, etc., variam como o logaritmo dos estímulos que a produzem (Figura 02).

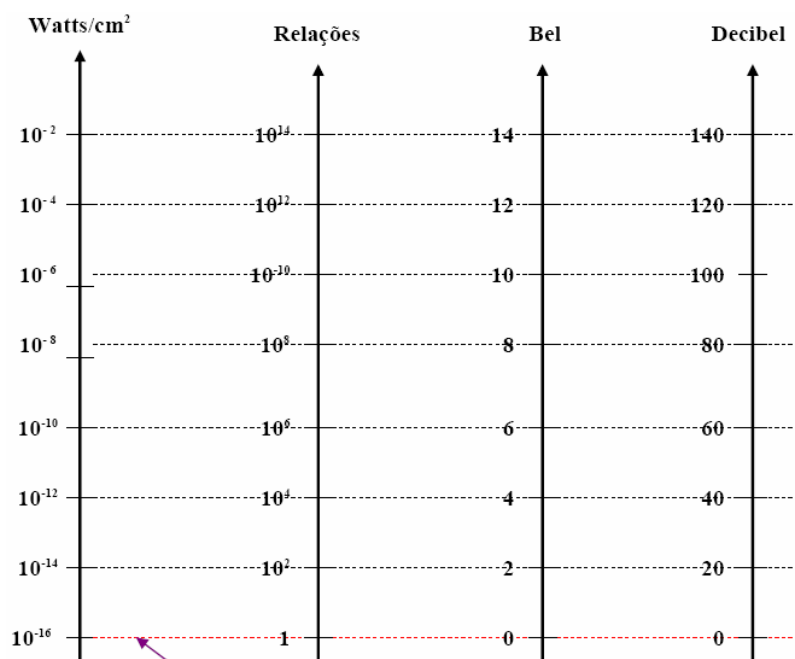


**Figura 02:** Sensação das frequências do som

Fonte: Fernandes, 2002

*Intensidade* é outra variável. Ela se caracteriza como a quantidade de energia contida no movimento vibratório. Essa intensidade se traduz com maior ou menor amplitude na onda sonora ou na vibração.

A intensidade do som é medida por meio de potência sonora, propagada por unidade de superfície, a qual o som toma o nome de intensidade energética (Gerges, 1998). Assim podendo ser medido através de dois parâmetros que são: a pressão sonora causada pela onda sonora que é medida em BAR ( $\text{dina/cm}^2$ ) e, a energia contida no movimento vibratório que é medida em ( $\text{Watt/cm}^2$ ). Os valores de referência podem ser vistos na Figura 03.



**Figura 03:** Sensação das frequências do som

Fonte: Fernades, 2002

A Lei de Weber explica a avaliação da sensação auditiva, conforme se aumenta a intensidade sonora, o ouvido humano fica cada vez menos sensível, ou ainda, é preciso que se aumente o som de maneira exponencial para que o ouvido perceba o som de maneira linear. A Figura 03, localizada na pagina anterior demonstra isso com exatidão.

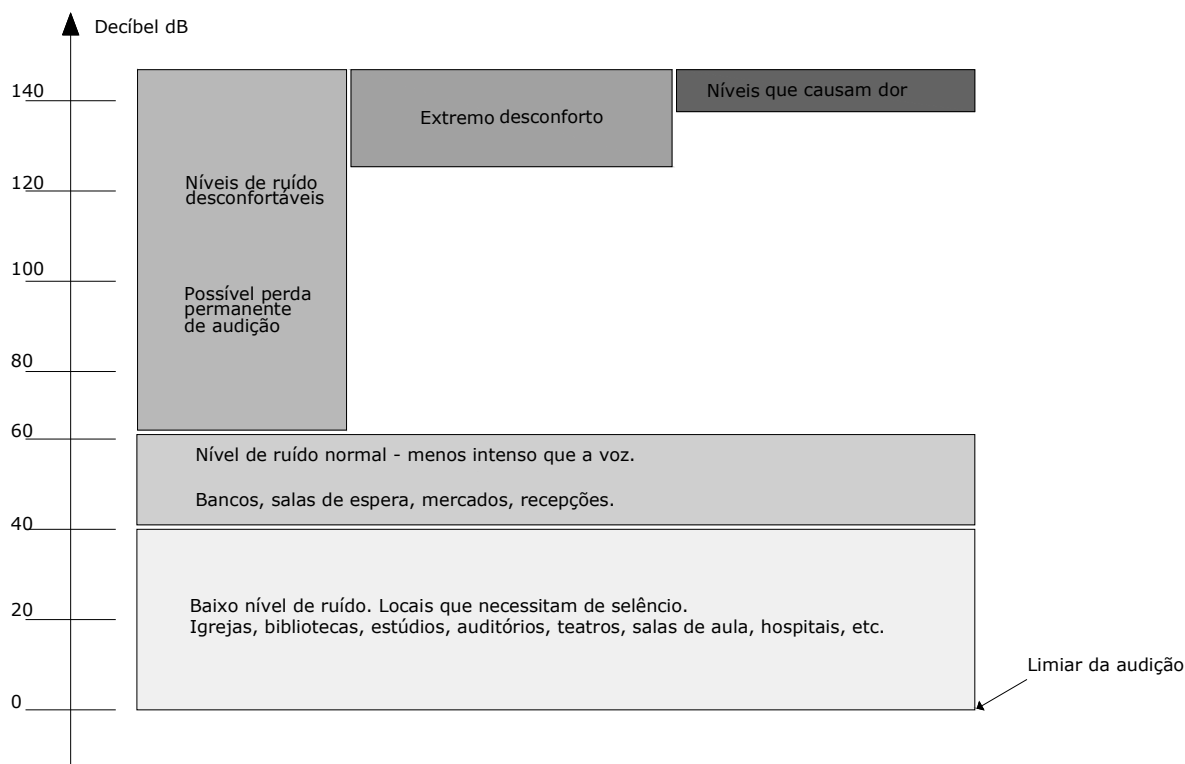
O decibel é uma escala logarítmica que usa a expoente da relação da (Figura 03), chamada de Bel, então multiplicada por 10 para obter-se uma escala mais ampla e representativa. O nome Bel foi dado em homenagem a Alexandre Graham Bell, o inventor do telefone e pesquisador de acústica. O decibel não é uma unidade de medida e sim uma escala.

*Timbre* se relaciona diretamente a composição harmônica da onda sonora. Isto é, permite identificar a procedência do som, seja ele de uma pessoa, animal, ou instrumento musical, mesmo encontrando-se em uma mesma frequência e intensidade.

## 2.2 Ruído

O ruído pode ser definido como uma mistura de sons cujas frequências não seguem nenhuma lei precisa, ou ainda, todo aquele som indesejável (NBR 7731/83)

A NBR 10152 (ABNT, 2000) estabelece os níveis máximos de ruídos considerados adequados aos diversos tipos de ambiente. Seu objetivo é orientar sobre os valores recomendados para se atingir o conforto, levando em consideração o uso e a atividade que serão realizadas no ambiente e as condições a que o ambiente será exposto. (Figura 04).



**Figura 04:** Níveis de ruído em ambientes

Fonte: Fernandes 2000

### **2.2.1 Ruído ambiental**

O ruído ambiental ou doméstico é definido como o ruído gerado por diversas fontes como o tráfego de veículos, atividades comerciais, animais domésticos etc., excetuando o ruído dos ambientes industriais.

### **2.2.2 Ruído e a economia**

A poluição sonora ou o ruído pode causar danos à economia do local, devido a inúmeros fatores, tanto diretos quanto indiretos. Entre os diretos, o mais evidente é a desvalorização imobiliária. Na Suécia um estudo de perdas causadas pelo ruído apresenta cifras da ordem de 330 milhões de dólares por ano e estão ligadas principalmente a desvalorização imobiliária (SANDBERG, 2001). Cada vez mais se tem buscado alternativas para reduzir o ruído causado pelo tráfego, ou minimizar seus efeitos. (SANDBERG e EJSMONT, 2002; RAITANEN, 2005).

Um estudo feito por Lambert (2000), mostra um relatório do departamento de planejamento nacional francês apresenta a estimativa de um custo anual gerado por pessoas incomodadas pelo ruído, que é de € 137. Vários estudos foram efetuados em busca de estimar o custo do ruído de tráfego nos anos 1980 e início de 1990 na Europa. Soguel *apud* McDonald (2008) estimou-se que em Neuchatel, na Suíça, a população local estivesse disposta a pagar aproximadamente € 710 por ano para reduzir a sua exposição pela metade ao ruído de tráfego.

O custo indireto é devido a necessidade de implantação de políticas anti-ruído ou gastos com a saúde pública decorrente de problemas de saúde causados pelo ruído (assunto a ser abordado no item seguinte), ou ainda, do gasto com a aplicação de soluções como barreiras sonoras, amplamente utilizadas nos EUA, no entanto, estas são onerosas para a sociedade, devido ao seu alto custo de implantação, aproximadamente 692.840,00 U\$/km num total de 17 estados dos EUA, em 1992 (FHWA 2006).

### **2.2.3 Ruído e a saúde humana**

A exposição dos seres humanos a altos níveis de ruído acaba por ocasionar respostas involuntárias e inconscientes do organismo a esse estímulo. As principais alterações fisiológicas reversíveis são: dilatação das pupilas, hipertensão sanguínea, mudanças gastrintestinais, reações musculares e vaso constrição das veias. Além das alterações fisiológicas, existem as bioquímicas que são: mudanças na produção de cortisona, do hormônio tiróide, de adrenalina, na glicose sangüínea e na proteína do sangue. O ruído também provoca efeitos cardiovasculares, tais com aumento da pressão sanguínea, causando hipertensão arterial (OMS, 1999; FERNANDES, 2002).

Estima-se que nos países membros da União Européia, aproximadamente 20% da população está exposta a níveis inaceitáveis de ruído, causando dano à saúde e que, aproximadamente 170 milhões de habitantes vivem nas denominadas áreas cinzas e sofrem algum tipo de incomodo devido aos níveis de ruído diurno (RAITANEN, 2005).

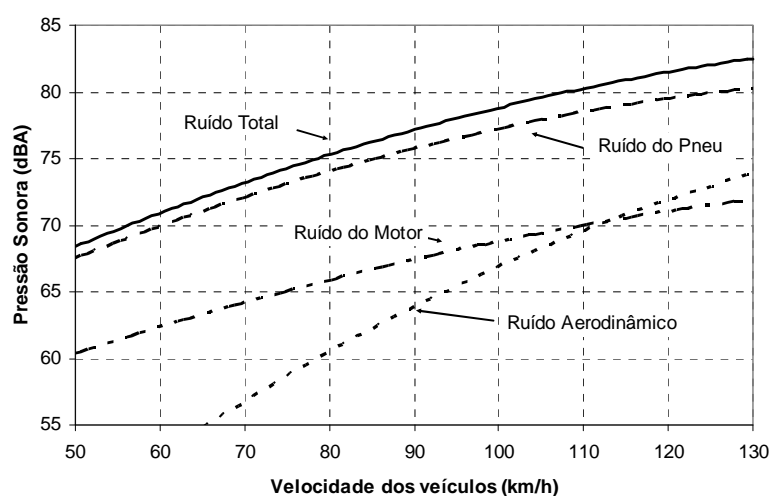
Os limites aceitáveis/toleráveis de ruído causados pelo tráfego de veículos variam de país para país. Nos Estados Unidos a EPA (*Environmental Protection Agency*) fixa valores entre 80 dB(A) e 87dB(A) dependendo do tipo de veículo e da velocidade do mesmo. (USDOT/FTHW, 1995). No Brasil, a norma NBR10151 *Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – procedimento* (ABNT 2000) fixa como valores máximos de ruído flutuante para áreas externa e no período diurno valores entre 40 dBA para sítios e fazendas e até 70 dBA para áreas predominantemente industriais.

### **2.2.4 Ruído em rodovias**

Segundo OMS (1999) o tráfego de veículos rodoviários, ferroviários e do modal aéreo são as principais fontes de geração de ruído; no Brasil, onde 63% das cargas e 97% dos passageiros são transportados em rodovias (MELLO, 2001) o modal rodoviário merece destaque.

Shafer (1977) apresenta uma compilação de diversas pesquisas (Londres e Vancouver em 1969, Chicago em 1971, Joanesburgo, Paris e Munique em 1972) sobre os ruídos ambientais que mais afetam o público em geral, e o tráfego de veículos foi o mais lembrado. Nos últimos anos o Brasil têm experimentado um expressivo aumento nas taxas de motorização, passando de 122 habitantes/veículo na década de 1950 para 6 habitantes/veículo em 1995, o que acentuou ainda mais o problema (ANTP, 2003). O USDOT/FHWA (1995) complementa que o ruído, tanto em zonas urbanas quanto rurais, está intimamente associando com os transportes.

O ruído dos veículos é originário no sistema de motor, escapamento e sistema de transmissão, contato pneu/pavimento e efeito aerodinâmico. Na Figura 05 está representada a contribuição de cada parcela no ruído total, nota-se claramente a importância do ruído pneu/pavimento no ruído total (HANSON *et al.*, 2005). Se considerarmos a velocidade de 100 km/h, a participação do ruído pneu/pavimento chega a 78% contra 12% do motor, escapamento e sistema de transmissão e 10% do ruído aerodinâmico.



**Figura 05:** Influência das diversas fontes no ruído.

Fonte: Hanson *et al.*, 2005

O ruído pneu/pavimento depende de muitos fatores: modelo e idade do veículo, peso por eixo, pressão de inflação dos pneus, tipo e tamanho dos pneus (para neve, esportivo, para lama, etc.), temperatura, textura e material de composição dos pneus e superfície da rodovia (textura, qualidade, umidade e temperatura). Os mecanismos de geração são bastante complexos e não são completamente entendidos, principalmente

por acontecerem de maneira simultânea e somarem-se para compor o ruído total. De maneira geral, podem ser divididos em dois grupos: mecânicos e aerodinâmicos.

O ruído gerado pelo atrito pneu-pavimento é considerado o resultado de combinações de processos físicos que são categorizados por convenção em três classes distintas (FEHRL report 2006/02). Os fenômenos existentes podem pertencer a o grupo de choques e impactos; processos aerodinâmicos; efeitos de micro – movimentação e adesão, descritos abaixo (FEHRL report 2006/02):

Choques e impactos causados pelas variações das forças que interagem na banda de rodagem do pneu e a rodovia incluindo a resposta vibratória a carcaça do carro;

Processos aerodinâmicos na, banda de rodagem do pneu e entre esta e a superfície da rodovia;

Efeitos de micro – movimentação e adesão da banda de rodagem na superfície da rodovia.

## **2.3 Processos para mitigação do ruído**

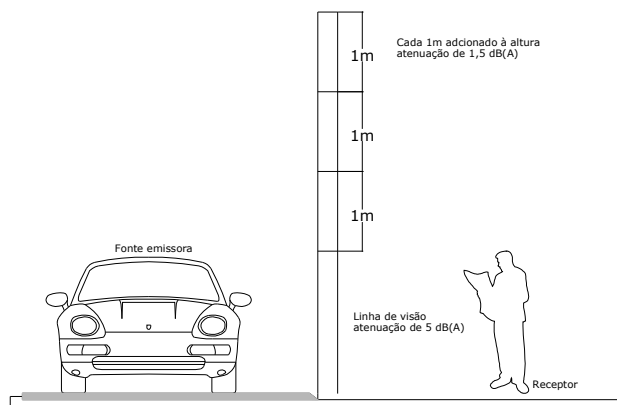
Existem inúmeros métodos para a mitigação do ruído cada um tem suas vantagens em particular e assim como defeitos.

### **2.3.1 Barreiras Sonoras**

Entre várias maneiras de atenuação do ruído, uma das mais utilizadas é a das barreiras sonoras, por sua relativa simplicidade e relativa eficácia. A barreiras sonoras podem ser feitas de diversas formas e materiais, dependendo do ambiente onde se encontram e do nível de ruído que se tem por objetivo atenuar.

A barreira sonora baseia-se em princípios básicos da física acústica, ou seja, ela funciona como um obstáculo à onda sonora, desviando ou absorvendo-a. Sua altura é um dos fatores mais importantes como mostra a Figura 06, onde cada metro adicionado na altura reduz 1,5 dB do ruído.





**Figura 06:** Altura da barreira sonora.

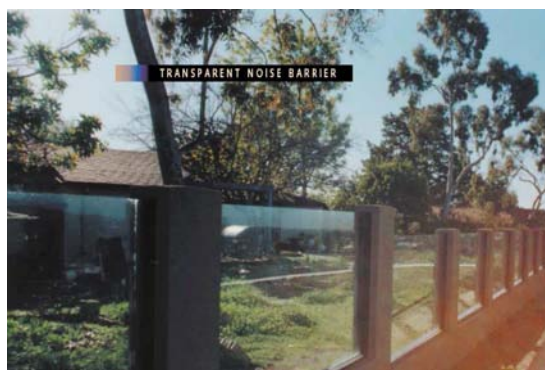
Fonte: FHWA 2001.

A barreira sonora pode ser inclusive de terra (Figura 07) ou árvores, não ocasionando poluição visual. Porém, as barreiras não naturais podem ser feitas de um modo a não causar nenhuma diferença gritante ao local onde estão colocadas (Figura 08).



**Figura 07:** Talude como barreira sonora.

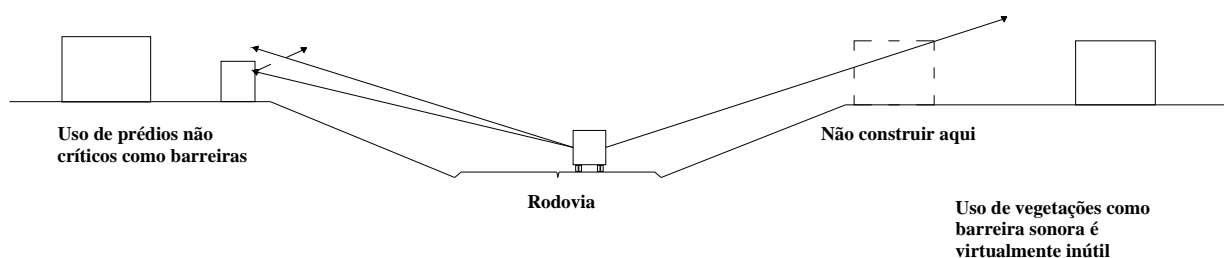
Fonte: FHWA 2001.



**Figura 08:** Barreira sonora transparente.

Fonte: FHWA 2001.

Entretanto, as barreiras sonoras não são eficientes em trechos rodoviários que transpassam centros urbanos, pois sua construção não é possível e, devido a movimentação física do som (Figura 08) a barreira não teria altura suficiente para impedir sua propagação a prédios de grande porte.



**Figura 09:** Deficiência das barreiras sonoras.

Fonte: Garcia, R. *et al*, 2002.

As barreiras sonoras somente começaram a ser amplamente utilizadas nos Estados Unidos da América por volta de 1970, em resposta à lei ambiental nacional promulgada em 1969, e a lei de auxílio as rodovias, promulgada em 1970 pela *FHWA* (*Ministry of Transportation and Highways*). Nos EUA, 41 estados gastaram aproximadamente 1.4 bilhões de dólares no período de um ano (1994) apenas na manutenção das barreiras sonoras existentes (GARCIA, R, *et al*, 2002).

### 2.3.2 Planejamento Urbano

O planejamento urbano é definido pela Constituição Federal Brasileira no Art. 182, tendo como objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes. Remete a política de desenvolvimento urbano ao Poder Público Municipal, a partir de diretrizes gerais fixadas em lei.

Via de regra, o planejamento urbano é feito para um município ou para uma determinada região, como nos casos das Regiões Metropolitanas. Para estes é estabelecida, mediante legislação local, observados os índices estabelecidos em legislação superior (no caso do Brasil a NBR 10151 e NBR10152), a tolerância de ruído que deverá ser observada nos períodos matutino, vespertino e noturno, onde o Poder Público determina os limites máximos admitidos por período.

O planejamento urbano é fundamental na definição dos patamares e controle de emissões de ruídos. Através do Plano Diretor e de outros instrumentos de prevenção e controle é possível estabelecer mecanismos para combater à poluição sonora, como o Zoneamento Urbano, o Estudo de Impacto Ambiental, o Relatório de Impacto Ambiental, etc. Desta forma, a concessão ou indeferimento de Licença Ambiental toma por molde o atendimento de todos os requisitos necessários para a manutenção dos padrões de qualidade ambientais.

No que diz respeito ao planejamento com vistas à qualificação do ambiente urbano, ressaltam-se algumas recomendações:

→ Planejar o zoneamento de uso e os índices urbanísticos para garantir boa qualidade da saúde e do sono do cidadão nas suas áreas residenciais e nas áreas onde as atividades de trabalho específicas o exigirem;

→ Organizar o tráfego interno nas áreas urbanas, dando prioridade ao transporte público e ao pedestre;

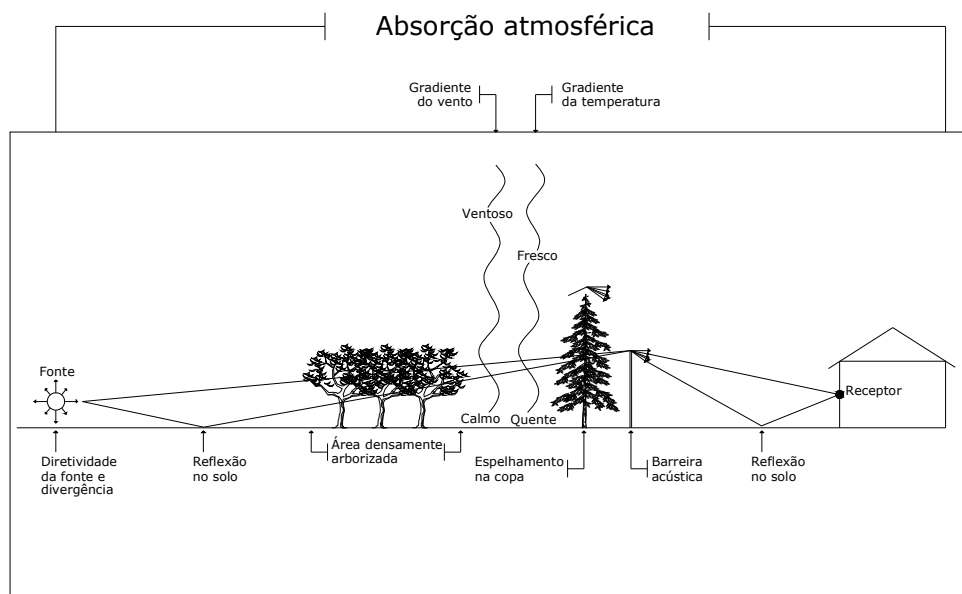
→ Incentivar uso de veículos automotores e aparelhos domésticos e industriais, com nível adequado de emissão de ruído,

→ Considerar os mecanismos de atenuação sonora ao ar livre (Figura 10) planejar as rodovias, corredores de tráfego, aeroportos e outras atividades urbanas barulhentas a partir de medidas que protejam a população;

→ Equipar áreas urbanas com praças silenciosas e recreativas;

→ Instalar sistema de controle preventivo de níveis máximos e médios de ruído ambiental em lugares públicos;

→ Implantar a educação ambiental no currículo das escolas e em campanhas publicitárias.



**Figura 10:** Mecanismos mais significativos da atenuação sonora ao ar livre.

Fonte: Anderson e Kurze apud Bistafa, 2006

### 2.3.3 Pavimentos silenciosos

“Uma superfície rodoviária silenciosa” é uma rodovia que, ao interagir com um pneu rodando, influencia o ruído do veículo de tal forma que no mínimo 3 dB(A) (metade de energia) é reduzido a mais do que o obtido em convencionais e ‘mais comuns’ superfícies rodoviárias”. (SANDBERG, *et al.* 2002).

O conceito de pavimentos (superfície) silenciosos começou a aparecer na literatura internacional recentemente, devido especialmente a crença de que as soluções existentes naquele momento (barreiras sonoras) estavam fadadas ao desuso, pois sua ineficiência e altos custos estavam comprovados. Então, países europeus juntaram esforços para achar soluções (SILVIA, SILENCE, 2008) em projetos intergovernamentais. Os EUA também buscam isto. Ambos procuram soluções não em um tipo de revestimento em particular, mas sim em vários (pavimentos asfálticos, pavimentos cimentícios, e blocos intertravados).

Segundo Sandberg (2001) e Hanson *et al.* (2004) a tendência para se construir

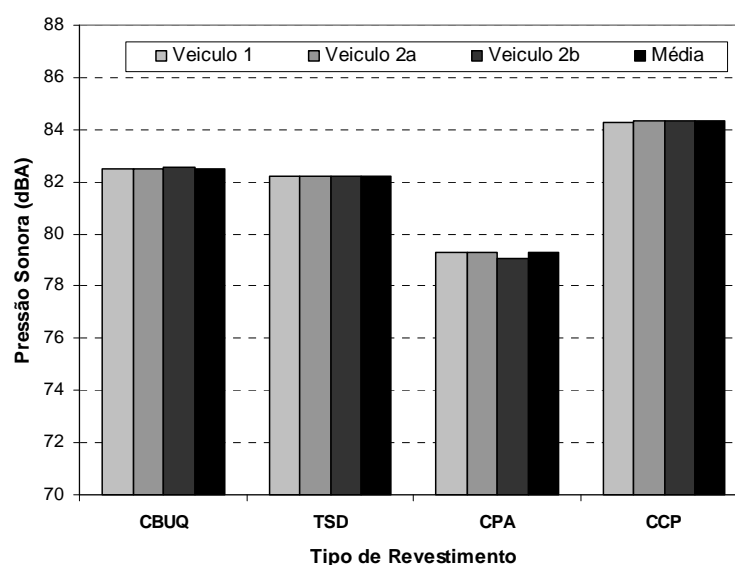
pavimentos considerando a segurança, desempenho, custo e baixos níveis de ruído deve considerar as seguintes possibilidades: a superfícies com baixa textura e agregados pequenos; camadas porosas com altos volumes de vazios; superfícies com baixa rigidez no contato pneu/pavimento.

Algumas pesquisas realizadas no Brasil mediram as propriedades acústicas dos materiais de revestimento utilizando técnicas do tubo de impedância (NASCIMENTO *et al.*, 2005; LÁO, 2004; ASTRANA, 2006).

Specht *et al.*, (2007) avaliaram, através do método *Pass – By* (ISO 11819-1), o ruído gerado em 4 diferentes pavimentos implantados em rodovias gaúchas e obtiveram os resultados apresentados na Tabela 01 e na Figura 11.

**Tabela 1:** Média da pressão sonora, em dB (A), medida para os diferentes revestimentos e veículos.

Veículo (ISSO 11819)	Revestimento			
	CBUQ	TSD	CPA	CCP
1 - carros	82,51	82,19	79,29	84,29
2a - veículos pesados com 2 eixos	82,52	82,18	79,27	84,33
2b - veículos pesados mais de 2 eixos	82,58	82,20	79,08	84,33



**Figura 11:** Média da pressão sonora medida para os diferentes revestimento e veículos.

Os resultados denotam a importância das propriedades acústicas dos revestimentos; os maiores valores foram encontrados para o Concreto de Cimento Portland de 84,31 dB(A) seguido de 82,52 dB(A) para o Concretos Betuminosos Usinado à Quente, 82,19 dB(A) para o Tratamento Superficial Duplo e de 79,29 dB(A) para a Camada Porosa de Atrito. A diferença entre o CPA e CCP chega a 5 dB(A), o que é bastante expressivo e representa 67% de perda na energia acústica.

## 2.4 Métodos para análise de ruído

Para avaliarmos a qualidade do pavimento no quesito absorção sonora, devemos seguir métodos consagrados e normalizações internacionais, diante da grande dificuldade e complexidade do fenômeno sonoro, e a inexistência de métodos ou normas nacionais.

É necessário lembrar que para os métodos onde a coleta de dados se dá ao ar livre precisa-se ter muito cuidado com ocorrências das intempéries, e de seguir-se a norma. Não obstante, deve-se fazer uma correção da temperatura, pois como o ensaio é feito ao ar livre, as condições como temperatura e umidade não são controlados. Nos itens a seguir apresentar-se-á modelos de correção da temperatura e uma revisão dos métodos existentes no mundo para avaliar o ruído no pavimento.

Estão sendo avaliados outros métodos, no entanto não estão em uso no momento. Potencialmente, métodos de medição das propriedades acústicas serão úteis para acrescentar dados ao CPX ou ao CPI (BERNHARD e Wayson *et al*). Tais métodos são extremamente válidos em estudos de novos materiais para revestimentos de rodovias e barreiras acústicas.

### 2.4.1 *Statistical Pass – By Index (SPBI) (ISO 11819-1)*

O método Statistical Pass – By que consiste em medir a maior pressão sonora tipo A de veículos individuais que estão passando por um determinado ponto de referência, assim como a velocidade. Cada veículo é classificado por veículos leve

(Carros), veículo pesado com dois eixos (Truck), veículo pesado com mais de dois eixos (Carreta).

De acordo com a velocidade de uso, as rodovias são classificadas em :

- Vel. Baixa            45-64 km/h; Velocidade de referência de 50 km/h;
- Vel. Média            65-99 km/h; Velocidade de referência de 80 km/h;
- Vel. Alta              100 km/h ou mais; Vel. de referência de 110 km/h.

Para efeito de adequação, as rodovias no trecho observado devem atender aos seguintes critérios durante as medições:

- A extensão da pista deve ter no mínimo 30 m para ambos os lados a partir da posição do microfone, para velocidades altas esta distância deve ser de 50 m;
- A rodovia deve ser “nivelada” e plana;
- A rodovia deve estar em boas condições, a não ser que a intenção seja estudar o efeito de tal condição;
- O volume de tráfego deve compreender o mínimo de veículos necessários para atender a norma.

O seguinte número de veículos de cada categoria deve ser atendido:

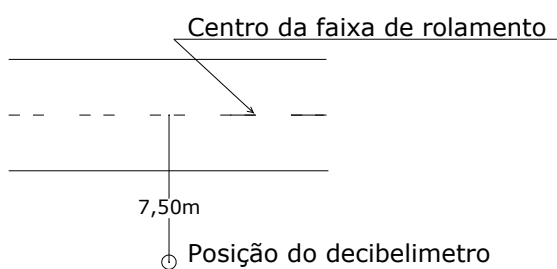
Carros	min. 100
Veículos pesados com dois eixos <sup>1</sup>	min. 30
Veículos pesados com mais de dois eixos <sup>1</sup>	min. 30

A posição do microfone deve seguir a norma, a qual preconiza que este deve estar localizado em um ambiente livre de barreiras sonoras, sejam elas naturais ou fabricadas. Deve haver, no mínimo, 25 metros de espaço livre ao redor do microfone, o suficiente para evitar absorções ou reverberações. Ele deve estar posicionado a uma

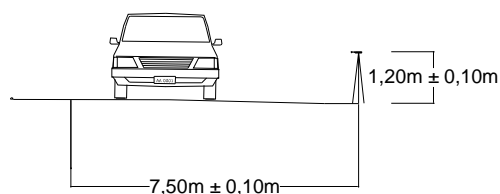
---

<sup>1</sup> Estas duas categorias devem juntas, atender a um mínimo de 80 veículos

distância de  $7.5\text{m} \pm 0.1\text{m}$  do eixo da via (Figura 12), e a  $1.2\text{m} \pm 0.1\text{m}$  acima da superfície da rodovia (Figura 13).



Espaço livre



**Figura 12:** Vista superior do posicionamento.

**Figura 13:** Vista frontal do posicionamento.

Só devem ser levados em consideração veículos que estão claramente livres da interferência acústica de outros veículos. Deve ser feita uma regressão linear dos valores obtidos para que estes possam enquadrar-se aos do Quadro 1.

**Quadro 1:** Referencial dos índices do SPBI.

Categoria do veículo		Velocidade da rodovia					
		Baixa		Média		Alta	
Nome	Número	Velocidade de referência	$W_x$	Velocidade de referência	$W_x$	Velocidade de referência	$W_x$
Carros	1	50km/h	0,900	80km/h	0,800	110km/h	0,700
Pesados de dois eixos	2a	50km/h	0,075	70km/h	0,100	95km/h	0,075
Pesados de mais de dois eixos	2b	50km/h	0,025	70km/h	0,100	95km/h	0,225

Então deve-se aplicar os valores obtidos das regressões lineares na Fórmula 1.

$$\text{SPBI} = 10 \times \lg[ W_1 \times 10^{L_1/10} + W_{2a} \times (v_1/v_{2a}) \times 10^{L_{2a}/10} + W_{2b} \times (v_1/v_{2b}) \times 10^{L_{2b}/10} ] \quad (1)$$

Onde,



SPBI = Índice estatístico de passagem (Statistical Pass – By Index), para uma média entre veículos leves e pesados;

L1, L2a, L2b = Valores de pressão sonora para as categorias respectivas (dB);

W1, W2a, W2b<sup>2</sup> = Fatores que presumem as proporções dos veículos respectivos, de acordo com a Quadro 1;

V1, V2a, V2b = Velocidades de referência dos veículos, de acordo com a Quadro 1.

Os valores de temperatura e umidade do ar são medidos juntamente com o ensaio. No SPB, os níveis de ruído medidos levam em consideração tanto o ruído pneu/pavimento quanto o ruído causado pelo sistema motor/transmissão, pelo aerodinâmico. Ele nos apresenta os melhores resultados no quesito de avaliação do ruído de tráfego em áreas povoadas, porém é um método trabalhoso e extenso.

#### **2.4.2 Close Proximity (CPX)**

O método Close Proximity consiste em medir a pressão sonora equivalente em quatro diferentes fontes (pneus), com a utilização de dois microfones por pneu para medir o ruído em velocidades pré-programadas, permitindo assim uma avaliação mais exata da interação pneu/pavimento. Este ensaio é efetuado com auxílio de um trailer como mostrado nas figuras abaixo (Figura 14 e Figura 15).

---

<sup>2</sup> Estes valores podem variar de acordo com o país, localidade, e com o horário do dia ou noite. Portanto eles representam valores globais em casos típicos dos países de origem da norma de referência.



**Figura 14:** Vista do veículo de testes

Fonte: Hanson *et al*, 2005.



**Figura 15:** Detalhe do trailer

Fonte: Hanson *et al*, 2005.

Esse dispositivo está inserido em um trailer que comporta também uma cobertura para os microfones, de modo a reduzir a incidência do vento e do ruído proveniente de outros veículos sobre ele. Devido a estas características, este ensaio pode ser feito independente do tráfego de veículos.

Trata-se de um ensaio de execução relativamente rápida e de resultados confiáveis e interessantes. Porém existe uma limitação proveniente do equipamento, que apenas permite o uso de uma serie limitada de pneus.

### 2.4.3 *Close Proximity Sound Intensity (CPI)*

O método chamado de Close Proximity Sound Intensity, é tido como mais sofisticado para a medição sonora do que os que levam em conta apenas a medição da pressão sonora. Por ele considerar a intensidade ele se torna capaz de resolver a componente de propagação do som em uma fonte próxima.

O procedimento de medição é muito similar ao CPX. Pois equipamento também é instalado próximo ao pneu, como mostrado na (Figura 16). Contudo neste ensaio não é necessário o cobertura, que no CPX é utilizada, ele pode ser feito em rodovias normais a velocidades de tráfego (Figura 17), porém apenas alguns veículos podem ser adaptados ao CPI.



**Figura 16:** Vista detalhada do equipamento

Fonte: Hanson *et al* 2005

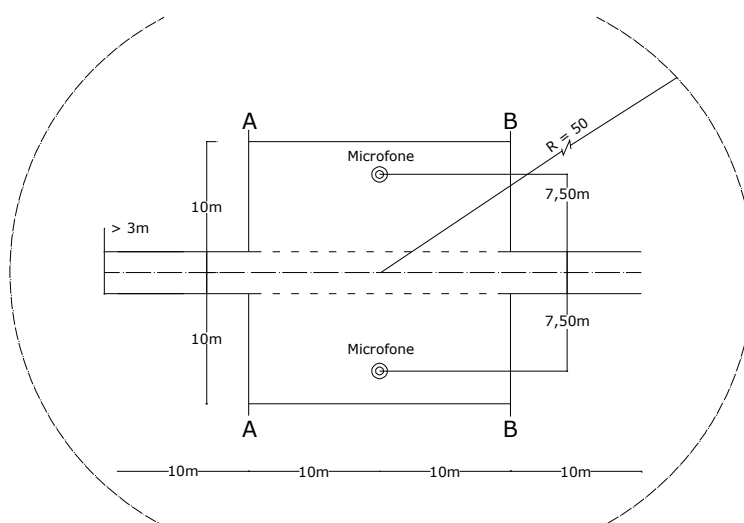


**Figura 17:** Vista do veículo em uso

Fonte: Hanson *et al* 2005

#### 2.4.4 CPB (Controlled Pass By) (ISO/CD 11819-2)

Esse ensaio utiliza uma metodologia muito próxima do SPB, porém, com alguns veículos predeterminados e em velocidade preestabelecidas, em um campo de testes (Figura 18), com baixíssimo tráfego de veículos ou sem tráfego. Este método toma menos tempo que SPB, porém não leva em consideração a variação de veículos do mesmo tipo. No entanto ele tem as mesmas limitações do SPB.



**Figura 18:** Esquema do sítio de ensaio

Fonte: ISO 362: 1998.

### **2.4.5 Ruído médio de tráfego**

Para altos índices de tráfego, nem o SPB nem o CPB podem ser utilizados para avaliar com precisão a relação ruído pneu/pavimento, porque não há como isolar um veículo do outro. Para tais casos, é possível fazer uso de técnicas de medição conhecidas como ruído médio de tráfego. Onde o resultado da medição do ruído, é transformado para níveis de ruído equivalente (Leq). Neste ensaio um local significativo deve ser escolhido, onde o ruído de fundo seja no mínimo 10 dB(A) menor que o ruído de tráfego e o terreno não apresente nem barreiras sonoras ou superfícies reflexivas.

Para o método de ruído médio, a variação de veículos, o volume de tráfego, velocidade, e as condições meteorológicas não são controladas. O processo de normalização baseado em modelos de ruído de tráfego é usado para desenvolver um modelo descritor comparável de ruído ao lado da rodovia. A melhor aplicabilidade deste método é para avaliação de mudanças nas características do ruído de um “sítio” em particular com clima neutro.

### **2.4.6 Modelos de correção do ruído em função da temperatura**

Para a precisão dos métodos de medição é necessário que haja uma temperatura constante, visto que o efeito da temperatura é de que 10 °C causa uma diferença de 1 dB no ruído medido. Ocorre que, isto é quase impossível de ser feito em campo, portanto a utilização de um método de correção se faz necessário.

Mesmo assim, no momento não há nem uma padronização, ou norma a ser seguida. Segundo Raitanen a International Organization for Standardization (ISO) tem uma equipe de trabalho (ISO/TC 43/SC 1/WG 27) lidando com este problema, no entanto mas o seu trabalho ainda não foi finalizado.

Sabe-se que o ruído de pneu/pavimento sofre alterações pela temperatura, tanto na geração quanto na propagação. Assim como as características da superfície de contato do pneu são muito importantes, pois em condições iguais diferentes pneus

(formatações diferentes) podem causar ruídos diferentes, então com o pavimento o problema é o mesmo, acrescentando-se a isso altas ou baixas temperaturas no pavimento, deste modo aumentando ou reduzindo a viscosidade do pavimento, por conseqüente aumentando ou reduzindo a geração de ruído.

A correção da temperatura pode ser feita com base em diferentes fatores. Os mais comuns são a temperatura do pneu, a temperatura da superfície do pavimento, e a temperatura do ar.

Estudos prévios mostram que as relações entre temperatura do ar e ruído e temperatura do pavimento e ruído são mais confiáveis de se empregar do que a relação entre temperatura do pneu e ruído. A escolha entre eles é feita devido a praticidade de cada um.

As normas ISO, SPB e CPX, citam que é necessário fazer uma correção da temperatura, mas não explicam como deve ser feita e não provem nenhuma equação para tal. Uma norma ISO (ISO 13325:2003) apresenta um método, que segue abaixo.

$$L(\Theta_{\text{ref}}) = L_m + K(\Theta_{\text{ref}} - \Theta) \text{ (dB)} \quad (2)$$

Onde :

L é o ruído corrigido;

$L_m$  é o ruído medido (dB);

$\Theta$  é a temperatura da rodovia (°C);

$\Theta_{\text{ref}}$  é 20 °C;

K é o coeficiente de correção da temperatura.

Onde K é:

Para pneus classe C1 (carros de passageiros);

K é -0.03 dB/°C se  $\theta > \theta_{\text{ref}}$ ;

K é -0.06 dB/°C se  $\theta < \theta_{\text{ref}}$ ;

Para pneus classe C2 (Caminhões leves e vans);

$K$  é  $-0.02 \text{ dB/}^\circ\text{C}$ ;

Para pneus classe C3 (caminhões pesados);

$K$  é 0.

Os ensaios não devem ser executados se a temperatura do ar for abaixo de  $5 \text{ }^\circ\text{C}$  ou acima de  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Lahtinen *apud* Raitanen (2005) cita que podem ser encontradas outras duas formas de compensação da temperatura em. O primeiro método é em função da temperatura.

$$L = L_m + K\Delta T \text{ [dB]} \quad (3)$$

Onde :

$L$  é o ruído corrigido;

$L_m$  é o ruído medido (dB);

$K$  é a constante da temperatura  $0.08 \text{ dB/}^\circ\text{C}$ ;

$\Delta T$  é a diferença entre a temperatura do ar no momento de gravação do ruído e a temperatura de referencia.

No segundo método, tanto a temperatura do ar como a da rodovia, são levadas em consideração.

$$L = L_m + KR\Delta TR + K\Delta TA \text{ [dB]} \quad (4)$$

Onde,

$L$  é o ruído corrigido;

$L_m$  é o ruído medido (dB);

$KR$  é a constante da temperatura da rodovia  $0.040 \text{ dB/}^\circ\text{C}$ ;

$\Delta TR$  é a diferença entre a temperatura da rodovia e a temperatura de referencia ( $20^\circ\text{C}$ );

$K$  é a constante da temperatura do ar  $0.060 \text{ dB/}^\circ\text{C}$

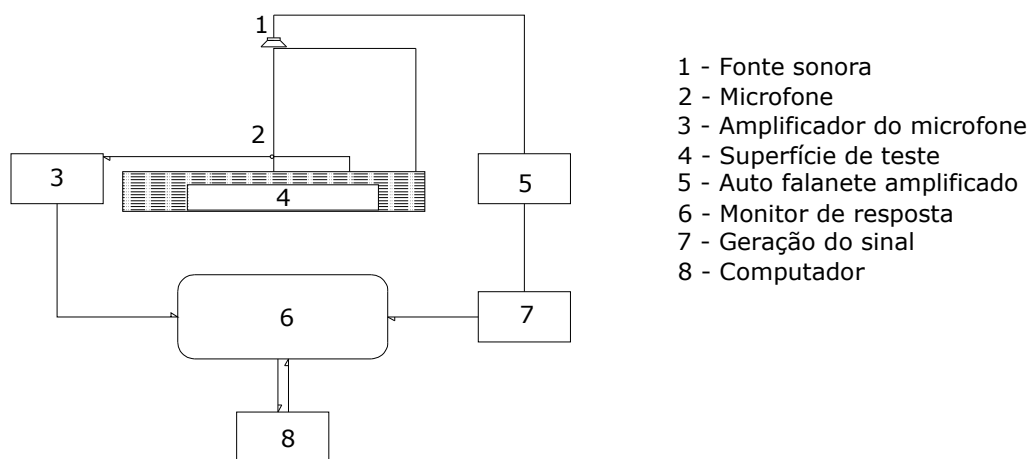
$\Delta TA$  é a diferença entre a temperatura do ar e a temperatura de referência (20°C).

## 2.5 Métodos de análise das propriedades sonoras do pavimento

Por muitas das fontes e dos mecanismos serem dependentes das propriedades acústicas dos pavimentos, a medição destas se torna relevante. É sabido que a correlação entre estas medidas e a desempenho da redução de ruído em pavimentos é complexa e não totalmente compreendida. Diversos métodos de medição estão em estudo, dentre eles os recomendados são:

### 2.5.1 Método de propriedades acústicas

Métodos para a medição das propriedades acústicas incidentes na textura (fluxo tipicamente resistente que pode ser relacionado à absorção acústica) de amostras de campo, um esquema deste pode ser visto na Figura 19.



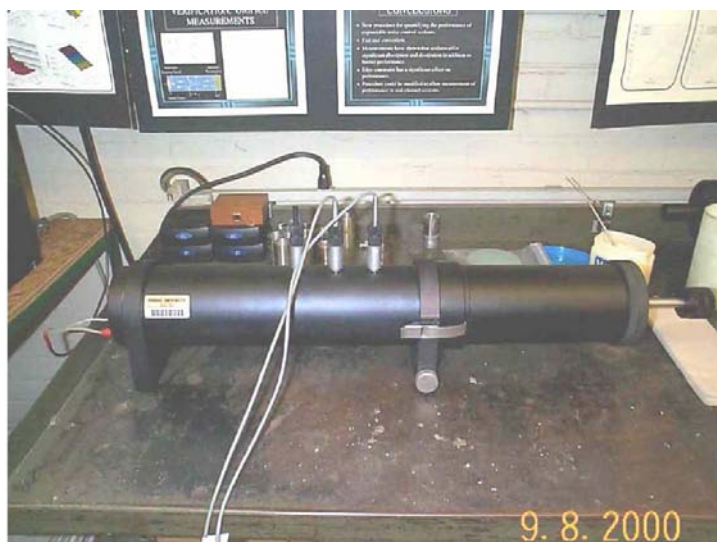
**Figura 19:** Esquema de equipamento *in situ*

Fonte: Bernhard e Wayson (2008).

### 2.5.2 Medições locais em laboratório

Há dois métodos mais conhecidos, o de tubo de impedância com um funcionamento muito parecido com o método *in situ*, e o método TPTA da universidade de Purdue, Indiana, USA.

O tubo de impedância (Figura 20) para ensaios laboratoriais de medição da absorção acústica da amostra, e impedância acústica, utilizando a norma ASTM E – 1050.



**Figura 20:** Tubo de impedância.

Fonte: Garcia *et al* (2002)

O outro método exclusivamente laboratorial seria o ensaio feito (principalmente) pela universidade de Purdue, Indiana, USA, conhecido como *Tyre/Pavement Test Apparatus* (TPTA). Ele consiste em uma sala isolada acusticamente, evitando assim ruído de fundo e a variabilidade climática. Através de um cilindro de aproximadamente 3,60m de diâmetro, com as amostras de 1/6 do diâmetro do cilindro, são colocados dois braços com rodas para simular o tráfego, como pode ser visto na Figura 21. A principal característica deste ensaio é que ele consegue representar o apenas ruído do atrito pneu



pavimento, sem outras fontes. Entretanto é um ensaio caro e que necessita de um equipamento muito particular.



**Figura 21:** *Tyre/Pavement Test Aparatus.*

Fonte: Garcia *et al*, 2002

### **3 METODOLOGIA**

#### **3.1 Classificação do estudo**

Esta pesquisa pode ser classificada como quantitativa e de campo.

#### **3.2 Plano de coleta de dados**

A metodologia da coleta de dados proposta por este trabalho, está descrita detalhadamente no item 2.4.1. Entretanto, algumas variações. Enquanto a norma preconiza que a coleta de dados deve ser feita a 7,5m, foi feita também a 15m e 30m, do eixo da rodovia, o que possibilitou a criação de um perfil de pressão sonora.

A escolha deste método de medição se deu porque trata-se de método consagrado internacionalmente. Ainda, porque buscava-se o ruído de um veículo apenas e este o mais próximo do real.

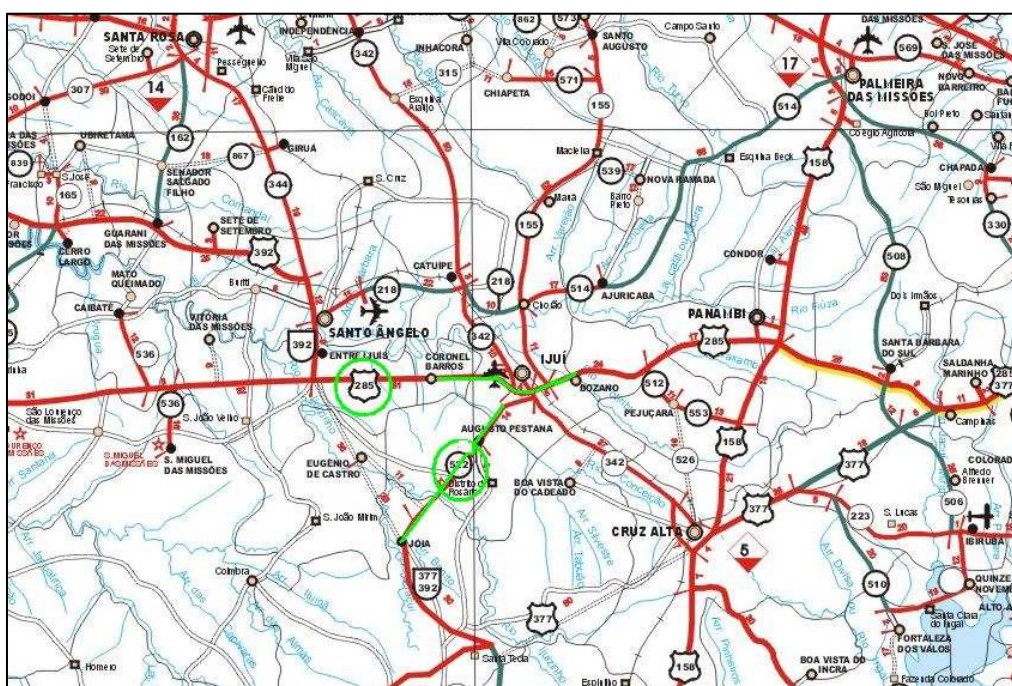
Para coleta de dados foi necessário localizar dois sítios de testes que atendiam aos seguintes requisitos:

→ Ser uma rodovia de importância para região de Ijuí e com tráfego diversificado. Pavimento sem patologias, trecho plano, trecho de no mínimo 130m de

tangente, assim permitindo uma velocidade uniforme e sem picos de ruído, devido a painéis e outros problemas.

→ As adjacências deveriam ser em um nível próximo ao da rodovia. Estas não deveriam ter barreiras acústicas de qualquer espécie, de tal a não haver redução da pressão sonora e também restringindo as reverberação e/ou adsorções sonoras.

Os sítios (Figura 22) escolhidos foram: BR-285 km-459, pavimentada com MICRO no ano 2007 (Figura 23) e RS-522 km-33, rodovia pavimentada com TSD no ano 2004 (Figura 24).



**Figura 22:** Mapa da localização dos sítios em estudo



**Figura 23:** Sítio de estudo BR – 285



**Figura 24:** Sítio de estudo RS – 522

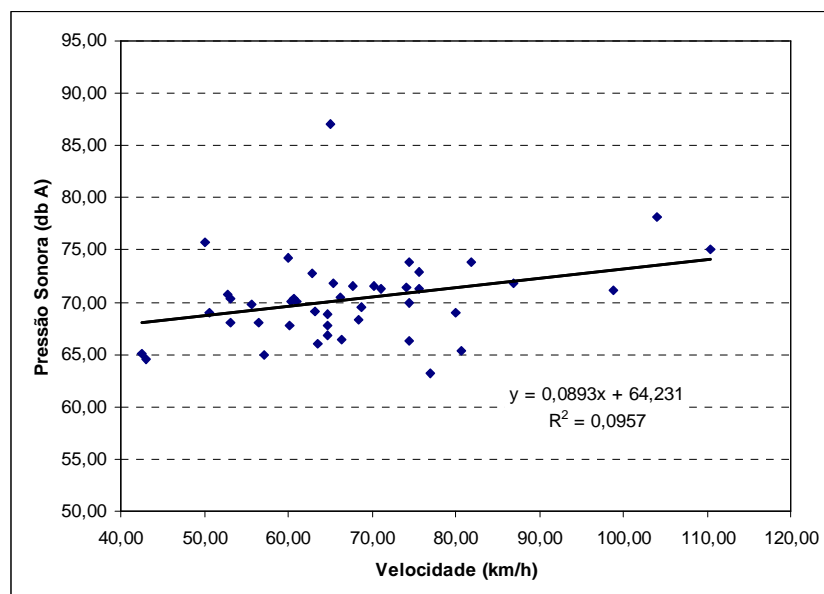
O equipamento a ser usado é equipamento de qualidade e aferido. Sendo um decibelímetro da marca Minipa modelo MSL-1351C (Figura 25), em escala *medium* 50 -100 dB, com resposta rápida (A). Os demais equipamentos foram: trena de 50 metros, cronômetro, termohigrômetro e um tripé para apoiar o decibelímetro na altura preconizada pela norma .



**Figura 25:** Decibelímetro marca Minipa MSL-1351C.

#### 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS

Após a coleta dos dados, eles foram computados no programa *Microsoft EXCEL* (planilha de coleta de dados encontra-se no Anexo 1). Após, foi necessário fazer uma correção da temperatura, utilizando a norma ISO 13325:2003 (explicação detalhada no item 2.4.6 deste trabalho). Com os valores individuais de ruído corrigidos para a temperatura padrão de 20°C, foi possível gerar os gráficos de pressão sonora *versus* velocidade (Figura 26) e, com tais gráficos foi possível encontrar as equações correspondentes a cada tipo de veículo, distância do eixo e pavimento.



**Figura 26:** Pressão sonora *versus* velocidade, para micro revestimento a 15 metros do eixo da via, para veículo tipo 1.

Com a equação gerada a partir dos gráficos da pressão sonora *versus* velocidade para cada tipo de pavimento e distância e veículo (Figura 26), efetuou-se uma regressão linear para buscar o ruído característico para o veículo em estudo, bem como sua velocidade média, conforme o Quadro 1 encontrado no item 2.4.1 desse trabalho. O que resultou na Tabela 02, que nos mostra o ruído de cada tipo de veículo para cada distância para o micro revestimento asfáltico e a Tabela 03, para o TSD.

**Tabela 02:** Ruído para cada tipo de veículo para micro revestimento asfáltico

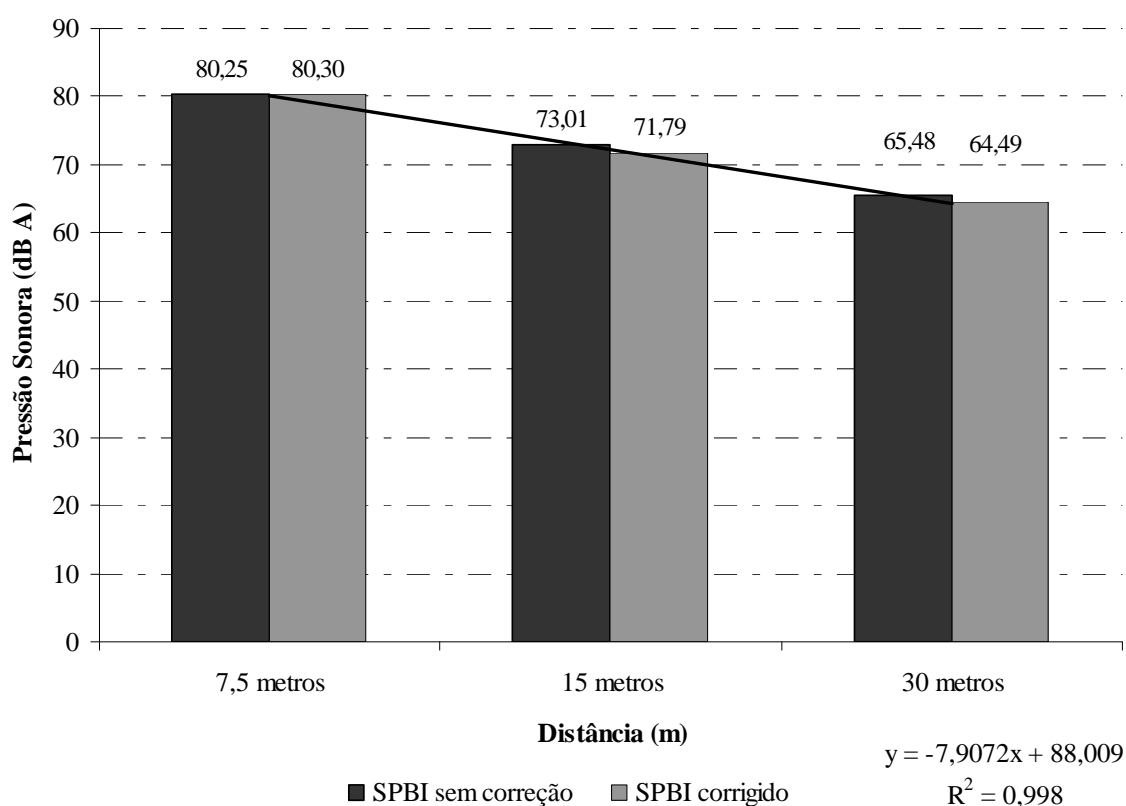
Distância do eixo da rodovia	Tipo de veículo	Quantidade	Velocidade de referência	Ruído sem correção (dB(A))	Ruído com correção (dB(A))
7,5 metros	1	120	80 km/h	78,93	79,03
	2a	47	70 km/h	81,27	81,27
	2b	35	70 km/h	83,88	83,88
15 metros	1	112	80 km/h	71,38	71,44
	2a	33	70 km/h	77,05	68,02
	2b	49	70 km/h	74,51	74,51
30 metros	1	100	80 km/h	63,43	61,16
	2a	44	70 km/h	68,07	68,03
	2b	37	70 km/h	69,59	69,59

**Tabela 03:** Ruído para cada tipo de veículo para Tratamento Superficial Duplo

Distância do eixo da rodovia	Tipo de veículo	Quantidade	Velocidade de referência	Ruído sem correção (dB(A))	Ruído com correção (dB(A))
7,5 metros	1	105	80 km/h	81,10	79,97
	2a	39	70 km/h	83,73	84,24
	2b	45	70 km/h	85,17	85,17
15 metros	1	117	80 km/h	68,50	68,97
	2a	49	70 km/h	75,30	75,64
	2b	37	70 km/h	76,60	76,60
30 metros	1	107	80 km/h	61,57	61,97
	2a	50	70 km/h	65,98	66,24
	2b	35	70 km/h	72,84	72,84

Mediante os resultados obtidos na Tabela 02 e Tabela 03, os valores de ruído com e sem correção foram aplicados na Formula 1, encontrada no item 2.4.1, para cada tipo de pavimento. Com os resultados do SPBI foram gerados os gráficos de pressão sonora *versus* distância.

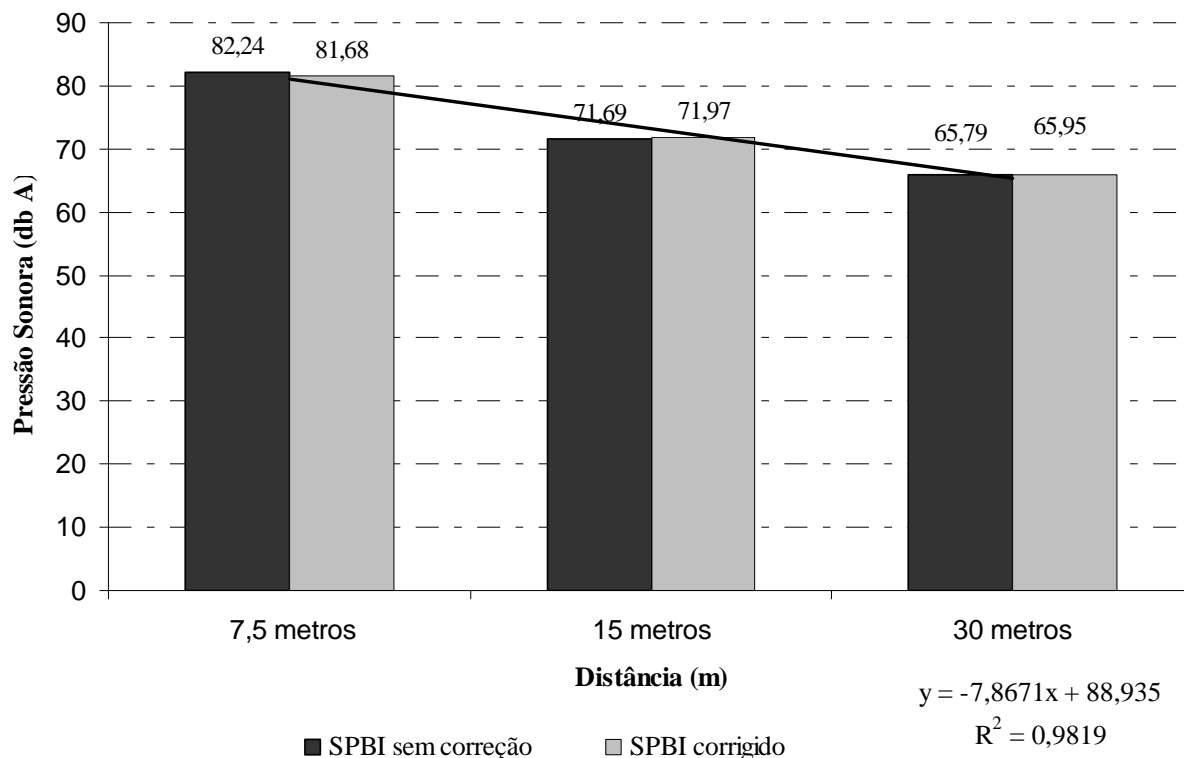
Podemos verificar que existe uma redução no ruído conforme aumentamos a distância, o que pode ser facilmente identificado na Figura 27, correspondente ao micro revestimento e, na Figura 28, correspondente ao TSD.



**Figura 27:** Perfil de influência da poluição sonora para MICRO

A partir disso podemos concluir que, ao distanciarmos as edificações em no mínimo 30 metros do eixo da rodovia obteremos uma redução de até 15,81 decibéis para o micro revestimento asfáltico, o que representa uma redução de 0,70 decibéis por metro de afastamento.

Verificou-se que o TSD também sofre uma redução da pressão sonora conforme nos afastamos do eixo da rodovia. A redução da pressão sonora foi de 15,73 decibéis para um afastamento de 30 metros o que significa uma redução de 0,69 decibéis por metro.



**Figura 28:** Perfil de influência da poluição sonora para TSD

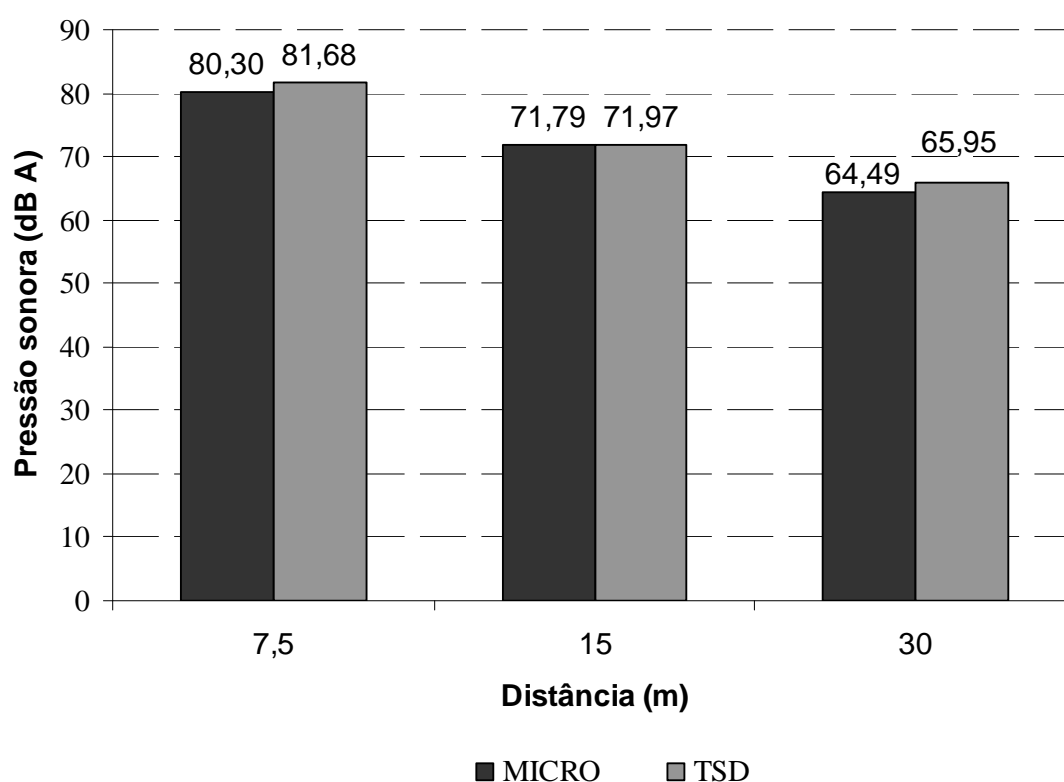
Em alguns casos o ruído corrigido apresentou-se mais alto que o não corrigido e em outros mais baixo. Isso deve-se ao fato de que a Formula 2, encontrada no item 2.4.6, de correção do ruído considerar a temperatura padrão como 20°C, e nos dias de coleta de dados a temperatura variou muito de um dia à outro, estando em certos dias acima e em certos dias abaixo da temperatura padrão. Isto por si só, demonstra a importância de fazermos uma correção da temperatura para haver uma padronização dos valores de ruído.

Pode-se também encontrar a importância da correção da temperatura claramente na Figura 26 e na Figura 27, onde o ruído corrigido está em cinza e a variação chega a



alcançar 1,22 decibéis de diferença aos 15 metros no micro revestimento asfáltico, e de 0,56 decibéis para 7,5 metros no Tratamento Superficial Duplo. Importante perceber que mesmo uma redução ou aumento de 0,56 decibéis é representativa.

A Figura 29 mostra uma comparação entre os dois pavimentos estudados e apresenta uma variação nos valores de ruído que apresentam-se maiores no Tratamento Superficial Duplo, mesmo que por pequena diferença. Isso provavelmente deve-se a textura do revestimento, porém seria necessária uma análise mais focada na variação em questão.



**Figura 29:** Comparação entre os revestimentos

## 5 CONCLUSÕES

A partir dos resultados apresentados verificou-se que o perfil de influência da poluição sonora para ambos os pavimentos limita-se a no mínimo 30 metros do eixo da rodovia, visto que a faixa de domínio para a BR – 285 e para a RS – 522 é de 40 metros do eixo e estas existem para futuras e possíveis ampliações. A distância mínima, se respeitada a lei, estaria garantindo níveis aceitáveis de ruído.

Neste trabalho percebe-se claramente a necessidade e a eficiência de haver uma correção da temperatura, pois assim é possível comparar as pressões sonoras, mesmo que essas tenham sido obtidas em diferentes temperaturas e dias. Resultando em uma maior confiabilidade aos dados e segurança na hora de fazermos uma análise.

Specht *et al* (2007) afirma que se alterarmos o tipo de pavimento poderemos alcançar uma redução de até 5 decibéis, diferença encontrada entre as rodovias revestidas com Concreto de Cimento Portland (CCP) e com uma Camada Porosa de Atrito (CPA), este último que apresentou-se como o pavimento mais silencioso.

Como anteriormente citado neste trabalho, o ruído causa perdas de altíssimas cifras devido a desvalorização imobiliária e gastos com a saúde. Além de causar sérios distúrbios à saúde humana. Por estes motivos, os dados encontrados tornam-se mais do que relevantes.

Se forem tomadas as devidas precauções no projeto e na construção das rodovias, como a escolha correta do pavimento, dando a preferência em certos casos a

pavimentos silenciosos; se as faixas de domínio forem respeitadas e, se possível, a elas acrescido o perfil de influência citado neste trabalho, somado a um material diferente da rodovia, preferencialmente fonoabsorvente, como a grama, além de, onde for possível, também existir alguma arborização, haverá uma redução mais do que significativa do ruído e, conseqüentemente, uma melhoria na qualidade de vida.

### **5.1 Sugestões para trabalhos futuros**

Para trabalhos futuros sugere-se:

→ Ampliar o banco de dados fazendo o SPBI em mais rodovias com diferentes pavimentos;

→ Que se utilize outros métodos de coleta e análise para comparação com SPBI;

→ Verificar a influência de vegetações como barreiras sonoras.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2000) *NBR 10151: Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – procedimento*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1989) *NBR 10830: Acústica – EM EDIFICAÇÕES*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2000) *NBR 10152: Acústica – Níveis de Ruído para Conforto Acústico*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1983) *NBR 7731: Guia de execução de serviços de medição de ruído aéreo e avaliação dos seus efeitos sobre o homem*. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS (2003) *Política Nacional de transportes públicos*. ANTP. São Paulo. 9p.

ASTRANA, C. A. L. (2006) *Estudo da absorção sonora e permeabilidade de concretos asfálticos drenantes*. Florianópolis, Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. 155p.

BARING, J. G. A. *Isolação Sonora de Paredes e Divisórias*, in *A Construção São Paulo*, São Paulo, n. 1937, pp. 19/24, ed. de 25/3/1985.

BROSSEAUD, Y. (2006) *Propriedades das superfícies dos pavimentos em relação à segurança e ao conforto dos usuários*. In: 18<sup>a</sup> Encontro do Asfalto. Anais... Rio de Janeiro. p.01-11.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. (2007) *Pavimentação Asfáltica – formação básica para engenheiros*. Petrobras, Abeda. Rio de Janeiro. 501p.

BERNHARD, R.; WAYSON, R. L. *et al.* *An Introduction to Tire/Pavement Noise of Asphalt Pavement*. 27p. [<http://www.asphaltalliance.com>] (artigo consultado em Abril de 2008).

CARLSON, D. C.; ZHU, H.; XIAO, C. (2003) *Analysis of traffic noise before and after paving with asphalt-rubber*. In: Asphalt Rubber 2003. Anais... Brasília, p.413-428.

BISTAFA, S. R. *Acústica Aplicada ao Controle do Ruído*. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (2006) *Manual de estudos de tráfego*. Publicação IPR723. Rio de Janeiro. 384p.

DIMETRE, R.; *Isolamento em baixa. Estudo aponta queda no isolamento acústico das edificações brasileiras nos últimos séculos*. [<http://cienciahoje.uol.com.br/controlPanel/materia/view/3461>] artigo consultado em Abril de 2008.

FEHRL *Forum of European National Highway Research Laboratories*, portal acessado em maio 2008, [<http://www.fehrl.org/?m=22>]

FERNANDES, J. C. (2002) *O ruído ambiental: Seus efeitos e seu controle*. Faculdade de Engenharia Mecânica da UNESP. Campus de Bauru, São Paulo.

GERGES, S.N.Y. *Ruído: Fundamentos e Controle*. Florianópolis: NR Editora, 2000.

HANSON, D. I.; DONAVON, P.; JAMES, R. (2005) *Tire/pavement noise characteristics for HMA pavements*. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, v.74, p.1-38.

HANSON, D. I.; JAMES, S. J.; NESMITH, C. (2004) *Tire/pavement noise study*. NCAT - National Center for Asphalt Technology. Auburn, report n.04-02. 44p

HOMEM, T. R. (2002) *Comportamento de misturas asfálticas porosas com ligantes modificados por polímeros e adição de fibras*. Porto Alegre. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 111p. [<http://www.afeal.com.br/portal/pagina.php?id=141>] (matéria consultada em Abril 2008)

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 10534-2 (E): *Acoustics – determination of sound absorption coefficient and impedance tubes*. Parte 2. Genebra, 1998. 27p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 11819: *Acoustics – measurement of the influence of road surface on traffic noise*. Parte 1. Genebra, 1997. 31p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 11819: *Acoustics – measurement of the influence of road surface on traffic noise*. Parte 2. Genebra, 1997. 31p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 13472: *Acoustics - measurement of sound absorption properties of road surfaces in situ. Part 1: Extended surface method*. Genebra, 2002. 27p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 362 (E): *Acoustics – measurement of noise emitted by accelerating road vehicles – engineering method*. Genebra, 1998. 18p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 37409: *Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources -- Guidelines for the use of basic standards*. Genebra, 2000. 25p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO/DIS 13325: *Tyres-coast-by-method for measurement of tyre/road sound emission*. Genebra, 2001. 27p.

JANKOVITZ, J.A. *Noções de Isolamento Acústico e Absorção Sonora*. [<http://www.abel-acustica.com.br/Acustica/IsoleAbsor.htm>] (matéria consultada em abril de 2008).

LAMBERT, J. (2000) *Using monetary values of noise for transport policy decisions: current practice and future develops in France*. In: Inter.noise, 29°, Nice, France...p 1-5

LÁO, V. L. E. S. T. (2004) *Estudo comparativo do desempenho acústico de diferentes tipos de revestimento dos pavimentos*. Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado – COPPE/UFRJ. 266p.

MCDONALD, P. *et al* (2008) *Acessing the environmental impact of transport noise using wireless sensor networks*. In: Transports research board 87 °, Washington D.C., EUA

MELLO, J. C. (2001) *Transporte: Presente e Futuro*. In: Reunião Anual de Pavimentação, 33°, Florianópolis, Anais... p.31 – 39.

NASCIMENTO, L. A. H.; LEITE, L. F. M.; LÁO, V.L.E.S.T.; JESUS, G. F. J. (2005) *Pavimentos silenciosos* In: Reunião Anual de Pavimentação, 36°, Curitiba, Anais... p.01 – 12.

RAITANEN, N. (2005) *Measuring of noise and wearing of quiet surfaces*. Helsinque. Tese de Doutorado – Universidade de Tecnologia Helsinque. 96p.

SACRAMENTO COUNTY. (1999) *Report on the status of rubberized asphalt traffic noise reduction in Sacramento County*. Department of Environmental Review and Assessment. Sacramento. [<http://www.rubberpavements.org/library/>] (artigo consultado em Maio de 2000).

SANDEMBERG, U.; EJSMONT, J. (2002) *Tyre/road noise reference book*. Kisa. 640p.

SANDEMBERG, U. (2001) *Tyre/road noise – myths and realities*. In: 2001 International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering. Anais... The Hauge, p.01-22.

SAINTON, A. (1990) Advantages of asphalt rubber binder of porous asphalt concrete. *Transportation Research Record*. Washington, n.1265, p.69-86.

SCHAFFER, R. M. (1977) *The tuning of the World*. Knopf, New York, 382p.

SCOFIELD, L; DONAVAN, P. R. (2003) *Development of Arizona's quiet pavement research program*. In: Asphalt Rubber 2003. Anais... Brasília, p.429-452.

SILENCE (2008). Portal on – line acessado em 10 Maio 2008 [<http://www.silence-ip.org/site/>]

SPECHT, L. P.; KOHLER, R.; KHATCHATOURIAN, O. A.; CALLAI, S. C.; CERATTI, J.A.P. *Avaliação do ruído causado pelo Tráfego de veículos em diferentes rodovias*. In: XXI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. 2007. Anais...Rio de Janeiro.12p.

UNITED STATES DEPARTMENT OF TRANSPORTATION / FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. (1995) *Highway traffic noise analysis and abatement policy and guidance*. Washington, 95p.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE (1999) *Guidelines for Community Noise*. <http://www.who.int/docstore/peh/noise/guidelines2.html>. (consultado em Janeiro de 2008).

ZHU, H.; CARLSON, D. C. (1999) *A spray based crumb rubber technology in highway noise reduction application*. Tempe, 12p. [<http://www.rubberpavements.org/library>] (artigo consultado em Maio de 2000).

# **ANEXO A**

## **Planilha para coleta de dados**





UNIJUI  
 Rua do Comércio 3000  
 Bairro Universitário  
 fone: 0xx 55 3332 0512



<b>Trecho:</b>						
<b>Revestimento</b>						
<b>Data:</b>						
<b>Operador:</b>						
<b>Dist. estacas (m)</b>						
<b>MEDIÇÃO A :</b>	7,5 METROS		15 METROS		30 METROS	
<b>Assinalar a opção</b>						
<b>Horário</b>	<b>Temp. Ar (°C)</b>	<b>Pista</b>	<b>Tempo (s)</b>	<b>Vel (km/h)</b>	<b>Veículo</b>	<b>Ruído (db)</b>