

**UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA ARQUITETURA E URBANISMO**  
**PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**FERRAMENTA COMPUTACIONAL COMO AGENTE FACILITADOR  
DA ENGENHARIA DE PRODUTO NA INDÚSTRIA  
AUTOMOBILÍSTICA**

**ADRIANO SOARES DE BARROS**

**ORIENTADOR: PROF. DR. FERNANDO CELSO DE CAMPOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Faculdade de Engenharia Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Metodista de Piracicaba – UNIMEP, como requisito para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Produção.

**SANTA BÁRBARA D'OESTE**

**2007**

**ANÁLISE E MINERAÇÃO DE DADOS PARA NVH COMO AGENTE  
FACILITADOR DA ENGENHARIA DE PRODUTO NA INDÚSTRIA  
AUTOMOBILÍSTICA**

**ADRIANO SOARES DE BARROS**

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada, em 26 de fevereiro de 2007,  
pela Banca Examinadora constituída pelos Professores:



Prof. Dr. Fernando Celso de Campos

Presidente e Orientador

UNIMEP



Prof. Dr. Milton Vieira Júnior

UNIMEP



Prof. Dr. Edson Walmir Cazarini

USP

## **Agradecimentos**

Agradeço ao meu orientador Fernando Celso, principalmente pela amizade e pelo profissionalismo que tanto me ajudou no sucesso deste projeto.

Aos meus pais Aristides e Terezinha pelo esforço em tornar os meus estudos viáveis e a minha esposa Valdeli e minha filha Adriana pela paciência comigo até o término do projeto.

BARROS, Adriano Soares. **Ferramenta Computacional Como Agente Facilitador da Engenharia de Produto na Indústria Automobilística**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara D'Oeste (SP).

### **Resumo**

Quando se pensa em um carro, a idéia é de um veículo pouco poluente e com formas alternativas de combustível. A indústria automotiva tem procurado atender a estas demandas, além de demonstrar que os carros serão bastante silenciosos. As montadoras precisam desenvolver os automóveis rapidamente e com qualidade, devido ao alto nível de concorrência existente, pois, existem muitos produtos disponíveis ao consumidor final no mercado atualmente. Devido a estas necessidades criou-se uma área na engenharia, chamada pela sigla NVH (*Noise/Vibration/Harshness* – Ruído/Vibração/Conforto) que tem como objetivo reduzir os ruídos e vibração dos automóveis. Atualmente existem várias ferramentas para tratamento de dados gerados pelos testes de NVH, mas, há a necessidade de se aplicar ferramentas como o KDD (*Knowledge Discovery and Data Mining*) de forma que o profissional possa analisar e tomar decisões com maior precisão e rapidez a partir dos dados fornecidos pelos equipamentos de aquisição de dados, proporcionando diferencial competitivo no desenvolvimento de produtos em relação aos concorrentes. Nesta dissertação discute-se a viabilidade da criação de uma ferramenta computacional que dê suporte ao processo de KDD para dados de NVH, mostrando uma pesquisa experimental de uma montadora que obteve ganhos competitivos aplicando fases do processo de KDD sobre o processo de análise de dados de NVH.

Palavras-Chave: Ruído, Vibração, Automação, Sensores, Indústria Automotiva.

BARROS, Adriano Soares. **Computational Tool as Facility Agent For Product Engineering In Automotive Industry**, 2007. Dissertation (Majoring in Production Engineering) – College of Engineering, Architecture and Urbanism. Methodist University of Piracicaba, Campus de Santa Barbara D'Oeste.

#### Abstract

When a car is projected, the objective is develop a low pollutant vehicle and alternative combustible forms usage. The automotive industry has researching to attend these demands, the cars will be too quietness. The automakers need to develop vehicles fatly and with quality, due the high competitiveness, in fact, actually the offer of vehicle in the market is high.

Due these necessities an engineering area was created, this area acronym is NVH (Noise/Vibration/Harshness) which objective is develop and improve the noise and vibration in vehicles. Actually exist some NVH data test treatment tools, but, KDD (Knowledge Data Discovery) tool is need to enable more accurate data analysis, providing decisions more fast and exact from data acquisition equipments acquired data, enabling a competitive differential on the product development among concurrent. This dissertation discuss the computational tool creation with KDD process utilization on NVH data, showing the study developed in an automaker gauging competitive gains with the KDD process utilization on the NVH data analysis process.

Keywords – Noise, Vibration, Automation, Sensors, Automotive Industry

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>I</b>
<b>LISTA DE QUADROS.....</b>	<b>III</b>
<b>LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....</b>	<b>IV</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 OBJETIVOS.....	2
1.2 JUSTIFICATIVAS PARA O TEMA.....	3
1.3 PANORAMA GERAL DA PESQUISA: METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS.....	5
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	8
<b>2 INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA BRASILEIRA .....</b>	<b>9</b>
2.1 PEQUENO HISTÓRICO.....	10
2.2 PROTECIONISMO DO GOVERNO MILITAR .....	11
2.3 GLOBALIZAÇÃO.....	12
2.3.1 <i>Conseqüências do mercado globalizado na indústria automobilística.....</i>	<i>14</i>
2.4 EXPORTAÇÃO DE VEÍCULOS.....	16
2.5 ENGENHARIA DE PRODUTO: VISÃO GERAL .....	17
2.5.1 <i>Etapas da engenharia de produto .....</i>	<i>19</i>
2.5.2 <i>Engenharia de produto para indústria automotiva.....</i>	<i>21</i>
2.5.3 <i>Ferramentas para agilizar o desenvolvimento de produto .....</i>	<i>23</i>
2.5.4 <i>A necessidade do controle de ruídos e vibração no projeto de produto na indústria automotiva.....</i>	<i>25</i>
<b>3 NVH .....</b>	<b>27</b>
3.1 RUÍDO.....	28
3.1.1 <i>Qualidade Sonora .....</i>	<i>29</i>
3.1.2 <i>Decibéis .....</i>	<i>31</i>
3.2 VIBRAÇÃO.....	32
3.3 SENSORES DE NVH .....	36
3.3.1 <i>Acelerômetro .....</i>	<i>37</i>
3.3.2 <i>Microfones.....</i>	<i>39</i>
3.3.3 <i>Tacômetro.....</i>	<i>41</i>
3.4 EXEMPLOS DE TESTE DE NVH.....	41
3.4.1 <i>Exemplo de utilização de acelerômetros.....</i>	<i>42</i>
3.4.2 <i>Exemplo de utilização de microfones .....</i>	<i>43</i>
3.5 PROJETO DE NVH PARA VEÍCULOS .....	45
3.5.1 <i>Normas ambientais .....</i>	<i>47</i>
3.5.2 <i>Ruído de Tráfego.....</i>	<i>49</i>
3.5.3 <i>Fontes de ruídos veiculares .....</i>	<i>51</i>
3.5.4 <i>Exemplo de Curitiba .....</i>	<i>53</i>
<b>4 PROCESSAMENTO DE SINAIS .....</b>	<b>55</b>
4.1 ANÁLISE.....	55
4.2 PROCESSO DE KDD .....	56
4.3 MINERAÇÃO DE DADOS .....	59
4.3.1 <i>Técnicas de Mineração de Dados .....</i>	<i>60</i>
4.3.2 <i>Tarefas Desempenhadas por Técnicas de Mineração de dados .....</i>	<i>63</i>
4.3.3 <i>Algoritmos de Mineração de dados .....</i>	<i>65</i>
4.4 UTILIZAÇÃO DO KDD COMO FERRAMENTA DE SUPORTE AO DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS .....	68

<b>5</b>	<b>FERRAMENTA COMPUTACIONAL PROPOSTA .....</b>	<b>70</b>
5.1	DETALHAMENTO DA FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA AUTOMAÇÃO DA ANÁLISE DE DADOS GERADOS POR EQUIPAMENTOS DE NVH.....	72
5.2	ESTRUTURA DA FERRAMENTA COMPUTACIONAL.....	77
5.3	TELA PRINCIPAL DA FERRAMENTA COMPUTACIONAL .....	78
5.4	MÓDULO “FFT ACELERÔMETRO” .....	80
5.4.1	<i>Fast Fourier Transform (FFT)</i> .....	81
5.5	MÓDULO “FFT MICROFONE” .....	82
5.6	MÓDULO “TERÇO DE OITAVA” .....	84
5.7	MÓDULO “DBB X RPM” .....	86
5.8	MÓDULO “RUN UP – RUN DOWN” .....	87
5.8.1	<i>Análise “Articulation Index”</i> .....	88
5.8.2	<i>Análise “Sones”</i> .....	89
5.8.3	<i>Análise de Vibração</i> .....	90
5.8.4	<i>Análise “Sound Pressure Level”</i> .....	91
5.9	MÓDULO “DBA X TEMPO” .....	91
5.10	GANHOS COM O PROJETO.....	92
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>95</b>
6.1	PROPOSTAS DE PESQUISAS E TRABALHOS FUTUROS .....	97
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>99</b>

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> – Equipamento de aquisição NVH – PROSIG.....	3
<b>Figura 2</b> – Software de análise de dados do PROSIG.....	4
<b>Figura 3</b> – <i>Outline</i> .....	7
<b>Figura 4</b> - Faturamento e participação no PIB Industrial .....	10
<b>Figura 5</b> - Etapas do projeto de produto .....	20
<b>Figura 6</b> – Comparação do campo de audição de um ser humano com um cão e um morcego .....	29
<b>Figura 7</b> - Nível sonoro.....	32
<b>Figura 8</b> – Vibrações no tempo .....	34
<b>Figura 9</b> - Níveis de Vibração.....	35
<b>Figura 10</b> - Exemplos de acelerômetros .....	37
<b>Figura 11</b> – Tipos de Acelerômetro .....	38
<b>Figura 12</b> - Foto ilustrativa de um microfone utilizado para NVH.....	39
<b>Figura 13</b> - Funcionamento interno de um microfone utilizado para NVH .....	39
<b>Figura 14</b> - ilustração do funcionamento interno de um microfone de condensador utilizado para NVH .....	40
<b>Figura 15</b> - Tacômetro digital utilizado para medições de NVH.....	41
<b>Figura 16</b> – Motor instrumentado com acelerômetros .....	42
<b>Figura 17</b> - Medição das vibrações geradas por um eixo giratório .....	43
<b>Figura 18</b> - Cabeça Acústica.....	43
<b>Figura 19</b> - Modelo Sistêmico da Poluição Sonora Urbana .....	49
<b>Figura 20</b> - Ruídos que mais incomodam.....	50
<b>Figura 21</b> - Exemplos de gráficos gerados após a análise dos dados aquisitados .....	55
<b>Figura 22</b> - Obtenção de conhecimento para tomada de decisões .....	57
<b>Figura 23</b> - Fases do processo de KDD .....	58
<b>Figura 24</b> - Ciclo de desenvolvimento de Produto.....	71
<b>Figura 25</b> - Foto do equipamento de aquisição.....	73
<b>Figura 26</b> - Foto de uma peça automotiva instrumentada para medição com o equipamento mostrado na figura 25 .....	73
<b>Figura 27</b> - Amostra dos dados coletados nos acelerômetros mostrados na figura 25 ..	74
<b>Figura 28</b> - Dados tratados em MS-Excel ( processo manual). .....	75
<b>Figura 29</b> - Representação gráfica dos dados tratados (processo manual). .....	76
<b>Figura 30</b> - Sonograma de um trem em movimento .....	76
<b>Figura 31</b> - Ambiente de programação da linguagem VBA.....	77
<b>Figura 32</b> - Tela principal da ferramenta computacional .....	78
Figura 33 – Fluxograma do funcionamento dos módulos .....	80
<b>Figura 34</b> - Dados resultantes de uma análise de FFT Acelerômetro, já tratados pelo processo automatizado.....	81
<b>Figura 35</b> - Representação gráfica dos dados gerados pela análise FFT Acelerômetro (processo automatizado).....	82
<b>Figura 36</b> - Dados gerados pelo processo de análise FFT Microfone - processo automatizado .....	83
<b>Figura 37</b> - Representação gráfica dos dados gerados pela análise FFT Microfone - processo automatizado.....	83
<b>Figura 38</b> – Dados tratados e filtrados para 1/3 de oitava – processo automatizado .....	85

<b>Figura 39</b> - Representação gráfica 1/3 de oitava – processo automatizado.....	85
<b>Figura 40</b> - dados coletados em dBB – processo automatizado .....	86
<b>Figura 41</b> - representação gráfica dos dados em dBB .....	87
<b>Figura 42</b> - Dados coletados em manobra de <i>run-up</i> .....	88
<b>Figura 43</b> - Representação gráfica do AI.....	89
<b>Figura 44</b> - Representação gráfica da análise de <i>Loudness</i> (Sones) .....	90
<b>Figura 45</b> - Análise das vibrações de um veículo em <i>Run-up</i> .....	90
<b>Figura 46</b> Representação gráfica da medição do nível sonoro com base na frequência	91
<b>Figura 47</b> - medição de nível sonoro em um intervalo de tempo.....	92
<b>Figura 48</b> - Representação gráfica da medição do nível sonoro no tempo.....	92

**Lista de Quadros**

<b>Quadro 1</b> – Comparação entre Comunidade Européia (CE) e Brasil – Instrumentos Legais de Gestão de Poluição Sonora Fonte: adaptado de Sousa (2004).....	52
<b>Quadro 2</b> – Tarefas de Mineração de Dados .....	65
<b>Quadro 3</b> – Algoritmos de mineração de dados.....	68
<b>Quadro 4</b> - Estimativas considerando apenas o tempo de organização de dados e geração de gráficos.....	93
<b>Quadro 5</b> - Estimativas considerando apenas o tempo de realização das análises dos resultados .....	93
<b>Quadro 6</b> – <i>Saving</i> estimado por carro testado .....	93

## 1. Introdução

Devido à crise do petróleo, existia e existe ainda uma grande ênfase na descoberta de novas fontes de energia para mover os automóveis. Jee e Jung (2000) citam que, nos anos 80, não havia grandes preocupações com o ruído e vibração que os automóveis produziam e o grande diferencial do mercado de automóveis era a economia de combustível, assim, os automóveis foram se desenvolvendo até o momento que os diversos fabricantes de automóveis chegaram a um nível muito alto de concorrência, pois, estes, fabricam produtos com um nível de consumo de combustível muito parecido, obrigando os fabricantes de automóveis a procurar alternativas (diferenciais) que fizessem com que um comprador escolhesse o produto de uma determinada marca e não de um concorrente. Para El-Essawi e Lin (2004) as pesquisas para descoberta novas fontes de energia ainda estão sendo desenvolvidas e nem sempre podem ser utilizadas como diferencial, então, o conforto que o veículo oferece, ruído baixo ou agradável aos ouvidos, funcionamento preciso e macio acabou se tornando um grande atrativo para os clientes.

Com estas necessidades, segundo Shaw e Moessen *et al.* (2003), criou-se uma área da engenharia, relacionada com a qualidade de produto, chamada pela sigla NVH (*Noise/Vibration/Harshness*) que tem como objetivo controlar ruídos e vibração dos equipamentos de forma que estes se tornem mais atraentes, seguros e confortáveis.

Face às necessidades das empresas do setor automotivo em atender as demandas de controle de NVH, ferramentas de propeção passaram a ser desenvolvidas.

Conforme Jee e Jung (2000) existem diversos sensores que conseguem captar ruídos e vibrações e transformar em pulsos elétricos, estes pulsos elétricos são aquisitados geralmente por um computador que os converte em números decimais em um arquivo do tipo texto.

Uma das ferramentas mais difundidas, o PROSIG, que possui como parte do seu pacote uma ferramenta de análise de dados, tem custo muito elevado, o que inviabiliza sua utilização no *desktop* dos engenheiros da área de

desenvolvimento de produto. A opção de emissão de relatórios no formato TXT constitui uma barreira p/ a utilização do PROSIG de maneira mais efetiva, pois, neste formato a análise de dados, sem tratamento adequado, é muito dificultosa.

Schillemeit e Cucuz (2002) explicam que existe uma grande dificuldade para transformar o grande volume de dados gerados pelos sensores de aquisição de ruído e vibração em um relatório passível de análise por um pesquisador ou engenheiro da área.

Assim se faz necessário uma ferramenta tenha maior possibilidade de acesso pela engenharia de produto, por exemplo, uma ferramenta que gere relatórios em uma das aplicações do pacote MSOffice que é um software de baixo custo e está disponível para os engenheiros de produto e não somente nas estações de aquisição de dados do PROSIG, por exemplo.

Daí a necessidades de se construir rotinas para tratamento, análise e, até mesmo, mineração destes dados. Jönsson e Edström (2001) informam que atualmente existem várias ferramentas para tratamento de dados, mas, há a necessidade de se aplicar ferramentas para mineração destes dados de forma que o profissional que necessite analisar e tomar decisões com bases nos dados fornecidos pelos equipamentos de medição de ruído e vibração o façam com maior precisão e rapidez agilizando o processo de projeto da qualidade do produto que se deseja chegar.

### **1.1 Objetivos**

Esta pesquisa tem como **objetivo geral** desenvolver ferramenta computacional baseada no processo de KDD (*Knowledge Data Discovery*) para suporte à engenharia de produto para indústria automotiva, especificamente na área de NVH, como meio facilitador para análise e tratamento de dados.

Para que o objetivo geral seja atingido alguns **objetivos específicos** foram traçados, a saber:

- Ajustar o processo de KDD à análise de NVH.
- Verificar a **ocorrência de ganhos de produtividade** na área de engenharia de produto após implantação da ferramenta computacional;

## 1.2 Justificativas para o tema

Com a crescente necessidade de novas tecnologias para automação dos testes de desenvolvimento de produto na área automotiva, verificou-se a necessidade da criação de uma ferramenta computacional que ajudasse no desenvolvimento de testes de NVH para a indústria automotiva.

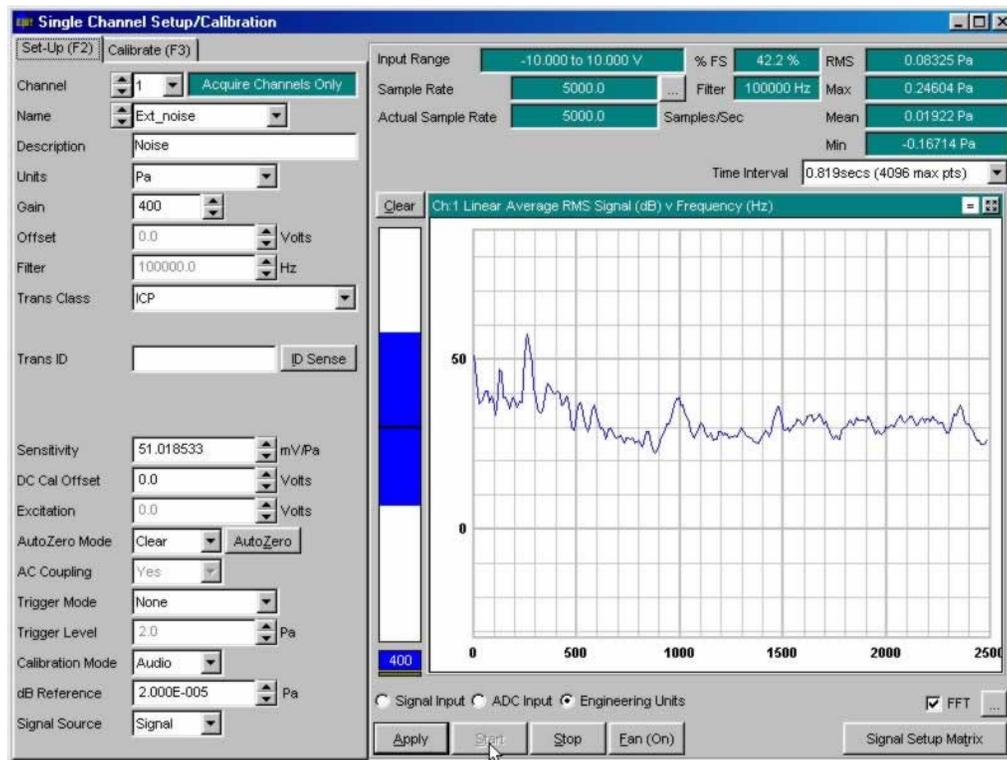
A necessidade da ferramenta computacional nasceu, inicialmente, a partir de um equipamento chamado pela sigla de PROSIG,



**Figura 1** – Equipamento de aquisição NVH – PROSIG  
Fonte: Prosig (2005)

Este equipamento possui ferramentas computacionais para análise das medições, mas, a licença deste *software* é muito cara para que os engenheiros pudessem ter os dados gerados por este software em seu *desktop* o que gerava um alto custo para a companhia, além de não atender a todas as necessidades dos mesmos, devido à falta de recursos para geração de relatórios dos testes para serem enviados para a matriz nos Estados Unidos.

Assim sabendo-se do custo da licença e que o software do equipamento PROSIG fornecia dados em formato TXT a gerência da empresa começou a solicitar que os técnicos gerassem os relatórios com base em dados tratados em Excel para que os engenheiros pudessem analisar os dados gerados, cada um em sua própria máquina agilizando assim o processo de averiguação de problemas de engenharia dos carros em termos de NVH eliminando-se o custo com a licença do *software*.



**Figura 2** – Software de análise de dados do PROSIG.  
Fonte: Prosig (2005)

Os custos com a licença foram eliminados, mas criou-se outro problema, a disponibilidade de técnicos treinados para gerar os relatórios em Excel, sem falar em erros humanos existentes no processo.

Devido a estes problemas, decidiu-se criar uma ferramenta baseada no processo de KDD para realizar automaticamente as tarefas de conversão e tratamento de dados, que os técnicos faziam de maneira manual eliminando-se os inconvenientes de se trabalhar com os dados no formato.txt e permitindo que os engenheiros tivessem seus dados em formato MS-Office® em seu *desktop*.

Nota-se com isto que as empresas de maneira geral podem ganhar muito em competitividade quando estas automatizam tarefas de construção e edição de relatórios, economizando mão de obra e tempo para desenvolvimento de atividades.

Procura-se incentivar a utilização de ferramentas computacionais para melhorar a produtividade de áreas corporativas que exigem o desenvolvimento

de tarefas demoradas, repetitivas e que seguem um mesmo padrão. Estas tarefas podem ser desenvolvidas por programas de computadores e não por operadores humanos.

Evita-se assim o risco de erros por cansaço de operador e desperdício de mão de obra devido ao tempo que se leva para desenvolver estes documentos, podendo-se utilizar esta mão de obra para outras finalidades mais voltadas para a real função do funcionário que neste caso é a realização de testes para NVH.

### **1.3 PANORAMA GERAL DA PESQUISA: METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS**

Para alcançar os objetivos desse trabalho de pesquisa, se realizará procedimento envolvendo inicialmente uma pesquisa bibliográfica e uma pesquisa experimental em situação real.

A pesquisa bibliográfica foi realizada para levantar possibilidades de utilização da ferramenta de KDD em testes de NVH.

A pesquisa experimental em uma situação real da indústria automotiva foi feita para se analisar a viabilidade técnico-operacional da implantação da ferramenta computacional em testes de NVH.

Na fase da pesquisa bibliográfica, se procurará verificar a viabilidade e a necessidade real da implantação da ferramenta de KDD para testes de NVH permitindo a visualização do panorama de software disponível e das necessidades de testes, para que se possam dimensionar as capacidades da ferramenta. Também, na pesquisa bibliográfica procurou-se uma linguagem de programação que se adaptasse à realidade das empresas que realizam testes no Brasil e à atual situação de cortes de despesas que se apresenta no setor automobilístico.

Segundo Severino (2002), a pesquisa bibliográfica deve ser realizada de forma paulatina, ou seja, crescente e excludente daquilo que não é pertinente ao tema central da pesquisa.

Para Lakatos e Marconi (2002) a pesquisa bibliográfica é o levantamento de toda bibliografia já publicada, em formas de livros, revistas, publicações avulsas e imprensa escrita. A finalidade principal é colocar o pesquisador em

contato com tudo que foi escrito sobre o assunto pesquisado, disponibilizando, assim, o reforço na análise de suas pesquisas.

Cruz e Ribeiro (2004) informam que a pesquisa bibliográfica é formada pelas citações das fontes bibliográficas que foram realmente utilizadas no texto da pesquisa.

Analisando o que foi citado por estes autores, esclarece-se que a pesquisa bibliográfica foi realizada de modo paulatino, porém, não foi possível esgotar o assunto citando tudo o que já foi publicado na área; mesmo porque, houve necessidade de se tomar algumas decisões em relação à qualidade do que foi publicado, à pertinência direta com o assunto em tela e os destaques principais foram mencionados ao longo do trabalho com o intuito de corroborar o atingimento dos objetivos desta dissertação.

A partir do arcabouço teórico sobre testes de NVH e da análise do processo de KDD, perseguiu-se o objetivo de desenvolver, a baixo custo, com o máximo de recursos já disponíveis, uma ferramenta computacional que tivesse no seu escopo o mínimo dos requisitos para uma avaliação desta envergadura, e que servisse de suporte ao processo decisório da engenharia de produto.

As definições e encaminhamentos acerca do desenvolvimento dessa ferramenta computacional foi um marco importante nesse processo de pesquisa, pois, necessitava-se de recursos suficientes para que as tarefas todas fossem realizadas satisfatoriamente, com um bom nível de desempenho e confiabilidade, além de oferecer representatividade das qualidades e utilidade da ferramenta de KDD para testes de NVH.

Segundo Gil (2002), a pesquisa experimental é caracterizada pelo estudo de um ou de poucos objetos de maneira que permita o seu amplo e detalhado conhecimento.

Conforme Yin (2001), uma pesquisa experimental pode ser classificada em exploratória, explanatória ou descritiva e pode ser utilizada em muitas situações tais como: política, pesquisa em administração pública, sociologia, estudos organizacionais e gerenciais. Na estratégia de pesquisa experimental, a forma da questão de pesquisa está centrada no “como” e no “por quê”,

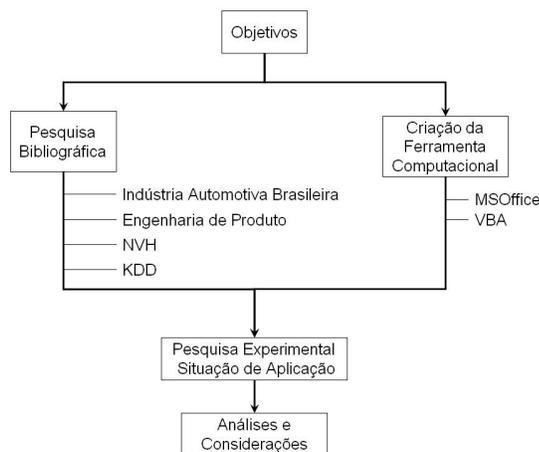
focalizando acontecimentos contemporâneos, não exigindo controle sobre eventos comportamentais.

A partir dessa visão dos autores acerca da pesquisa experimental, optou-se por essa forma de pesquisa que possibilitou a análise teórica e prática do assunto abordado por meio da ferramenta computacional a ser desenvolvida, portanto, isso imprimiu um caráter altamente exploratório, mas apenas com dois objetivos definidos: análise de dados e geração de relatórios.

Essa pesquisa experimental foi realizada em um campo de provas de uma empresa multinacional do ramo automotivo existente na cidade de Tatuí a 150 Km de São Paulo (capital) e focou principalmente a fase de análise de dados provenientes de NVH e a criação de relatórios de testes que são tarefas repetitivas, passíveis de automatização e, segundo a própria empresa, levavam um tempo excessivo desde o seu início até sua conclusão e posterior utilização das informações pelo setor competente da engenharia de produto.

A pesquisa experimental considerou testes de NVH para veículos de passeio, utilitários e caminhões, não levando em consideração testes de NVH realizados em outros tipos de máquinas como tratores e equipamentos industriais.

Para tanto, a figura 3 apresenta uma visão geral desse projeto de pesquisa (*outline*), evidenciando-se as fases de suporte ao atendimento dos objetivos traçados.



**Figura 3 – Outline**

Fonte: Elaborado pelo autor

#### **1.4 Estrutura do trabalho**

O trabalho está estruturado em 6 (seis) capítulos, sendo que o primeiro capítulo é constituído pela introdução, justificativas para o tema, metodologia e procedimentos e a estrutura geral do trabalho.

O segundo capítulo explana sobre a indústria automobilística brasileira desde seu início até os dias atuais, mostrando a evolução da indústria automotiva no Brasil, as necessidades de maior qualidade de seus produtos com o passar do tempo e mostra as fases da engenharia de produto.

O terceiro capítulo mostra a importância do tema Projeto de NVH para veículos, dando-se ênfase na qualidade acústica dos veículos, mostrando que juntamente com a evolução mecânica dos veículos houve também a evolução acústica dos mesmos. Tudo para oferecer maior conforto e competitividade dos produtos. Também neste capítulo são mostrados os sensores utilizados para medições de NVH e dois exemplos de testes de NVH.

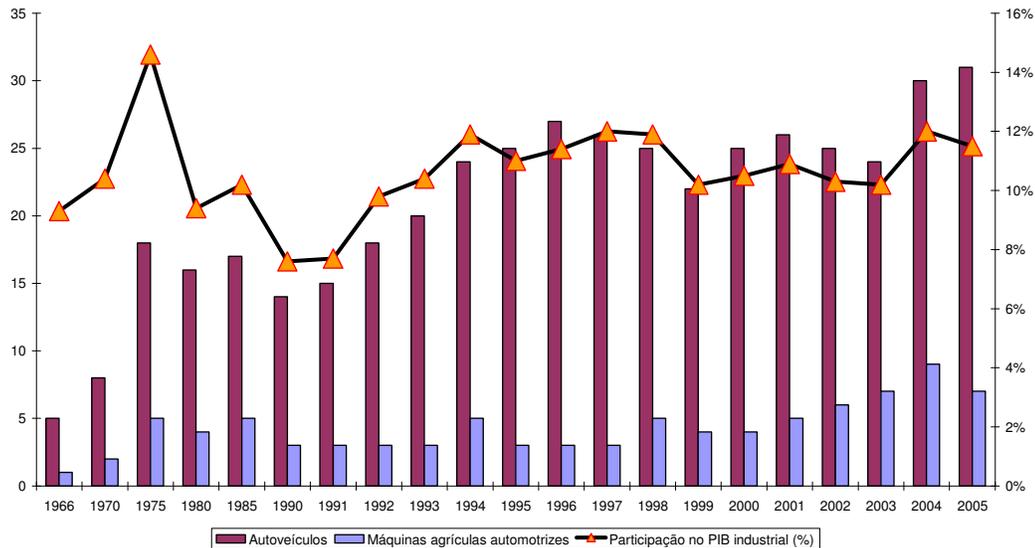
O quarto capítulo mostra as formas de processamento de sinais captados por sensores e as possibilidades de melhoria da qualidade e velocidade da análise destes sinais através de ferramentas de KDD incluindo-se o processo de mineração de dados.

O quinto capítulo mostra uma pesquisa experimental em que a ferramenta de KDD é utilizada para agilizar o processo de análise dados e geração de relatórios para o equipamento PROSIG e os resultados de ganho de produtividade que esta ferramenta possibilitou.

O sexto e último capítulo realiza a conclusão do trabalho permitindo que as impressões e experiências sejam explicadas de forma clara, além de propor desdobramentos para trabalhos futuros.

## 2 Indústria automobilística brasileira

A indústria automobilística é um setor de grande impacto mundial. Conforme OICA (2004), a cada ano, cerca de 60 milhões de veículos são produzidos no mundo, consumindo para isso, de acordo com Arbix e Veiga (2003), mais de um trilhão de dólares e empregando cerca de quatro milhões de trabalhadores de produção direta e cerca de 16 milhões envolvidos em autopeças, vendas e serviços em todo o mundo. ANFAVEA (2005) informa que, especificamente no Brasil, com um total de 48 fábricas, ela representa 13,5% do PIB industrial, gerando 92 mil empregos diretos e com capacidade de produção de 3,2 milhões de veículos por ano resultados significativos para um país de industrialização recente (vide figura 4). Com isso, as decisões do setor automotivo quase sempre tocam nos alicerces das economias nacionais e regionais, interferindo no crescimento econômico, no comércio internacional, na mudança tecnológica, nas exportações, no emprego e na distribuição de renda. Conforme Alvarez *et al.* (2002), a fabricação automotiva foi responsável pela evolução dos sistemas de produção; as formas pelas quais se organizaram a produção e o trabalho humano passam necessariamente pelo eixo central do desenvolvimento dessa indústria, desde a introdução por Henry Ford das esteiras rolantes e postos de trabalho com tarefas, partes e ferramentas repetitivas, dando início à produção em série discutido por Quintella (2000), passando pela produção enxuta e *just in time* da Toyota mostrado no trabalho de Correa (2004). Alvarez *et al.* (2002) citam que o Brasil possui hoje unidades de produção de todos os principais fabricantes de automóveis, sendo o país com maior diversidade de marcas de automóveis produzidas no mundo. Conforme Corrêa (2002), o Brasil ocupa a posição de 12<sup>ª</sup> maior produtor de veículos do mundo e, apesar da ociosidade atual de quase 40%, 1,3 milhão de empregos são gerados em toda a cadeia produtiva, em 200.000 empresas que atuam no setor – de montadoras a lojas de autopeças.



**Figura 4 - Faturamento e participação no PIB Industrial**  
Fonte ANFAVEA (2005)

### **2.1 Pequeno Histórico**

O primeiro carro motorizado, segundo Cunha (2003), chegou ao Brasil em 1891. O importador era um rapaz de dezoito anos chamado Alberto Santos Dumont, que acabava de retornar da França com a família. O automóvel se transformaria na maior mola propulsora da economia mundial. Se em 1891 existia somente um automóvel no Brasil, em 1904, 84 carros já eram registrados na Inspetoria de Veículos. Percebendo o nicho de mercado, a empresa Ford decide em 1919 trazer a empresa ao Brasil.

Conforme Ramos (2003), a primeira linha de montagem e o escritório da empresa foram montados na rua Florêncio de Abreu, centro da cidade de São Paulo.

Em 1925, foi a vez da General Motors do Brasil abrir sua fábrica no bairro paulistano do Ipiranga. Meses depois já circulava o primeiro Chevrolet.

Dois anos depois, a companhia inicia a construção da fábrica de São Caetano do Sul. Nessas alturas, o som das buzinas e o ruído peculiar dos motores já fazem parte do cotidiano.

Estradas foram construídas em todo o Brasil. Ramos (2003) informa ainda que o reflexo dessas iniciativas no aumento da frota de veículos é surpreendente:

entre 1920 e 1939 o número de carros de passeio salta de 5.596 para 43.657 e o de caminhões vai de 222 para 25.858.

Atualmente, o Brasil produz mais de um milhão de veículos por ano.

A Kombi foi o primeiro veículo produzido pela nossa indústria daí para frente outras montadoras começaram a se instalar no Brasil, mas, as peças e componentes ainda eram importados, pois, não havia capacidade de produção da indústria de autopeças, nesta época, para atender as montadoras. Com o aumento da produção de veículos no Brasil a indústria de autopeças começou a se instalar e substituir as importações.

O Brasil chega ao final de 1960, segundo ANFAVEA (2005), com uma população de 65.755.000 habitantes e um total de 321.150 veículos produzidos desde o início da implantação do parque industrial automotivo. Mais de 90% das indústrias de autopeças foram instaladas na Grande São Paulo. E foi no Estado de São Paulo que ficou instalado o maior parque industrial da América Latina, dando um importante impulso para o rápido crescimento econômico paulista.

## **2.2 *Protecionismo do governo militar***

A indústria automobilística, conforme Correa (2004) se acomodou no período da ditadura militar, pois, as importações ainda estão suspensas, o que colocou a indústria automobilista em uma certa "zona de conforto".

A qualidade acabou ficando em segundo plano, as inovações tecnológicas chegavam ao Brasil com dez anos de atraso, tornando a indústria automobilística muito lucrativa para as multinacionais e pouco interessante para o consumidor.

E Mundim *et al.*(2002) informam que neste período os investimentos se escassearam e as montadoras permaneceram por anos repousadas sobre o protecionismo do governo. Com o passar do tempo as montadoras nacionais começaram a se atrasar tanto tecnologicamente que um automóvel novo chegou a ser comparado pelo então presidente Fernando Collor de Melo com carroças motorizadas.

Este fato, conforme Quintella (2000), foi o início da revolução tecnológica da indústria automobilística.

Ramos (2003) acrescenta que a liberação das importações fortificou este sentimento de mudanças pegando não somente a indústria automobilística despreparada, mas, toda a indústria brasileira, provocando sérios problemas com a falta de competitividade e atraso tecnológico.

Um exemplo que pode ser citado por Quintella (2005) é o da indústria têxtil que devido ao atraso tecnológico, máquinas velhas e ineficientes e ao excesso de custos de mão de obra, teve muitas quebras de empresas do setor.

Para não ter a mesma sorte, a indústria automobilística teve que se adaptar ao novo cenário, melhorando a qualidade dos carros nacionais para que estes pudessem ser competitivos com os carros importados que estavam invadindo o Brasil.

A área produtiva, conforme Shaw *et al.* (2003), também teve de se adaptar, implantando robôs e dispensando o excesso de pessoal que a implantação de robôs provocou. Custos foram cortados ao máximo possível.

### **2.3 Globalização**

Guedes e Faria (2002) dizem que a globalização é um processo econômico e social que estabelece uma integração entre os países e as pessoas do mundo todo. Por meio deste processo, as pessoas, os governos e as empresas trocam idéias, realizam transações financeiras e comerciais e espalham aspectos culturais pelos quatro cantos do planeta. O conceito de Aldeia Global se encaixa neste contexto, pois está relacionado com a criação de uma rede de conexões, que deixam as distâncias cada vez mais curtas, facilitando as relações culturais e econômicas de forma rápida e eficiente.

Conforme Thompson (2000) não há uma definição de globalização que seja aceita por todos. A globalização está definitivamente na moda e designa muitas coisas ao mesmo tempo. Há a interligação acelerada dos mercados nacionais, há a possibilidade de movimentar bilhões de dólares pela Internet em alguns segundos, como ocorre nas Bolsas de todo o mundo, há a chamada "terceira revolução tecnológica" (processamento, difusão e transmissão de informações). Os mais entusiastas acham que a globalização define uma nova era da história humana.

Por exemplo, a notícia do assassinato do presidente norte-americano Abraham Lincoln, em 1865, levou 13 dias para cruzar o Atlântico e chegar a Europa. A queda da Bolsa de Valores de Hong Kong (outubro-novembro/97), levou 13 segundos para cair como um raio sobre São Paulo e Tóquio, Nova York e Tel Aviv, Buenos Aires e Frankfurt.

Com a globalização, segundo Kojima (2000), o mercado brasileiro teve a necessidade de colaborar com a indústria automobilística não somente em âmbito nacional, mas também a nível mundial. Os veículos fabricados no Brasil precisam servir como coringas que possam ser rapidamente comercializados em outros países de maneira competitiva. Somente a atualização de modelos antigos não era suficiente para que se tornem competitivos no mercado globalizado, obrigando que os padrões de qualidade se tornem ainda mais exigentes para que os automóveis fabricados aqui no Brasil possam, sem muitas adaptações, ser comercializados rapidamente de acordo com as necessidades do mercado mundial e de acordo com os padrões internacionais de qualidade.

Thompson (2000) afirma que este processo teve início nos séculos XV e XVI com as Grandes Navegações e Descobertas Marítimas. Neste contexto histórico, o homem europeu entrou em contato com povos de outros continentes, estabelecendo relações comerciais e culturais. Porém, a globalização efetivou-se no final do século XX, logo após a queda do socialismo no leste europeu e na União Soviética.

Com os mercados internos saturados, muitas montadoras buscaram conquistar novos mercados consumidores, principalmente dos países recém saídos do socialismo. Suzuki (2002) informa que a concorrência fez com que as empresas utilizassem cada vez mais recursos tecnológicos para baratear os preços e também para estabelecerem contatos comerciais e financeiros de forma rápida e eficiente. Neste contexto, entra a utilização da Internet, das redes de computadores, dos meios de comunicação via satélite etc.

Uma outra característica importante da globalização, citada por Kojima (2000), é a busca pelo barateamento do processo produtivo pelas indústrias. Muitas delas produzem suas mercadorias em vários países com o objetivo de reduzir

os custos. Optam por países nos quais a mão-de-obra, a matéria-prima e a energia são mais baratas. Um automóvel, por exemplo, pode ser projetado nos Estados Unidos, produzido na China, utilizando matéria-prima do Brasil, e comercializado em diversos países do mundo.

Para facilitar as relações econômicas, as instituições financeiras (bancos, casas de câmbio, financeiras) criaram um sistema rápido e eficiente para favorecer a transferência de capital. Investimentos, pagamentos e transferências bancárias podem ser feitas em questão de segundos através da Internet ou de telefone celular.

Dentro deste processo conforme Felbinger e Robey (2001), muitos países juntaram-se e formaram blocos econômicos, cujo objetivo principal é aumentar as relações comerciais entre os membros. Neste contexto, surgiram a União Européia, o Mercosul, a Comecom, o Nafta, o Pacto Andino e a Apec. Estes blocos se fortalecem cada vez mais e já se relacionam entre si. Desta forma, cada país, ao fazer parte de um bloco econômico, consegue mais força nas relações comerciais internacionais.

Com o quadro econômico atual as montadoras instaladas no Brasil não estão concorrendo somente entre si, apenas internamente, mas, também com as outras montadoras espalhadas pelo mundo, pois, os automóveis brasileiros estão sendo exportados e aceitos como sendo de qualidade em outros países, por exemplo, o VW "Santana" que é exportado para a China e está fazendo sucesso por lá.

### 2.3.1 Conseqüências do mercado globalizado na indústria automobilística

Kopp e Holzinger (2003) informam que as montadoras vêm atualizando e aperfeiçoando seus produtos através dos tempos e os padrões de qualidade estão ficando cada vez mais apertados e dentro destes padrões muitos melhoramentos de NVH estão sendo implementados para aumentar a competitividade do modelo no mercado globalizado.

Um exemplo que pode ser citado é a montadora Volkswagen e as diferenças implantadas entre um Fusca e um Golf. Os dois veículos são do mesmo fabricante, mas pertencem a gerações e épocas diferentes. O que pode-se concluir?

No Golf, diversas melhorias podem ser percebidas, em performance e freios, mas, principalmente, as diferenças são sentidas em NVH, pois muitos itens de ruído e vibração foram melhorando a qualidade e conforto do produto.

O motor é um ponto de referência nesta comparação verificando-se a semelhança do funcionamento do fusca com o de uma máquina de costura e o funcionamento preciso e macio do motor que equipa o Golf.

Jee e Jung (2000) dizem que melhorar o pacote de NVH dos automóveis é estratégico para as montadoras, pois, pontos preciosos são ganhos no aspecto de satisfação e fidelidade dos clientes que estão cada vez mais exigentes, principalmente com relação ao conforto.

A competitividade, conforme Silva (2005), tem sido uma das grandes questões empresariais brasileiras na atualidade. As transformações na economia brasileira ocasionadas, por exemplo, pela abertura de mercado e estabilidade monetária fizeram com que as estratégias empresariais se voltassem cada vez mais para a longevidade da empresa. A indústria automobilística é um exemplo de firma que se transformou para acompanhar as mudanças e exigências econômicas de um mercado cada vez mais competitivo.

Castro (2005) afirma que os novos produtos, a serem fabricados no país, deverão contribuir para aumentar as exportações, inclusive para cumprir as metas de exportação e balancear o programa de importação. Ao mesmo tempo, a forte dependência do Brasil, com relação a recursos externos, poderá ser um problema relevante, caso não haja continuidade nos planos de recuperação econômica do Brasil.

Dessa forma, é necessário que se desenvolvam esforços para ampliar a exportação para outros mercados, diminuindo a participação da América Latina nas exportações do Brasil, para que isto se torne realidade são necessários maiores ganhos de competitividade e desenvolvimento de novos produtos, tendo em vista o quadro existente de excesso de capacidade produtiva mundial de automóveis de segmentos tradicionais.

Embora não tão dependente da América Latina e com laços no mercado norte-americano, as perspectivas de exportação de autopeças, segundo Sindipeças (2005), são mais complexas, em função da grande transformação que passa o

mercado automotivo e, também, porque depende da rapidez em que os fornecedores instalados no país se engajem nas famílias de fornecedores mundiais.

As exportações de autopeças, no entanto, podem aumentar em função do esforço que já vem sendo feito por grandes empresas do setor, tanto em termos de exportação como de investimentos para redução de *gap* tecnológico e de produtividade e qualidade, e por grupos estrangeiros, aumentando a produção interna, inclusive para exportação.

Nota-se, conforme Vilas (2005), que para que estes produtos possam ser homologados para fazerem parte de do conjunto de um automóvel voltado para o mercado globalizado, estes produtos precisam passar por diversos testes entre eles de NVH.

#### **2.4 Exportação de veículos**

Quintella (2005) diz que para motoristas mexicanos, alemães, chineses, sul-africanos, indianos e de tantos outros países pelo mundo possam utilizar veículos produzidos no Brasil, a indústria precisa se desdobrar em um investimento contínuo em engenharia e pesquisa.

Consoni (2006) informa que embora as montadoras trabalhem com a perspectiva de produzir carros “globais”, que exijam cada vez menos alterações, a engenharia de produto precisa estar sempre atenta às peculiaridades de cada país.

Por exemplo, uma equipe da Ford foi à Índia para estudar a exportação do Escort. Preocupados com as condições de dirigibilidade nas ruas, notaram uma característica inesperada do trânsito local. Na Índia é comum colocarem até dez pessoas dentro de um carro.

Além disso, o grande número de animais no meio das ruas obriga os motoristas a parar o carro várias vezes no percurso. A engenharia de produto teve de recalibrar toda a suspensão, aceleração e frenagem para que os Escort respondessem a essas situações.

O México, que conforme Quintella (2005) é destino de um a cada três automóveis exportados pelo Brasil, os engenheiros de produto detectaram um hábito recorrente entre os motoristas. A maioria descansa o pé sobre a

embreagem, exigindo da engenharia de produto calibrar o módulo de controle eletrônico do motor, para evitar um desgaste prematuro da embreagem.

Os mexicanos também deram trabalho para a engenharia de produto pelo fato de dirigirem com o pé totalmente afundado no acelerador em algumas rodovias. Independentemente de considerar certo ou errado o excesso de velocidade, isto demandou da engenharia de produto a realização de testes de durabilidade e conforto do veículo em condições de aceleração total e uma calibragem mais agressiva do motor.

Em um exemplo citado por Consoni (2006), na África do Sul, uma equipe de engenheiros detectou a necessidade de reduzir o índice de ruído interno em um veículo que planejava-se exportar para este país. O asfalto utilizado por lá tem uma granulação distinta do brasileiro que causa uma frequência diferente do ruído que obrigou o desenvolvimento de um isolamento reforçado da cabine. Já em países andinos, como Equador e Chile, conforme Guedes e Faria (2002), os motoristas enfrentam estradas com muitas ladeiras o que exige atenção maior com a transmissão. Por serem países que se situam em altitudes elevadas em relação ao nível do mar, com o ar rarefeito, o motor aspira menos ar e é preciso recalibrá-lo para que mantenham o desempenho e não acusem falsas falhas de combustão.

Na Venezuela, por exemplo, o clima quente exige que certos componentes dos motores como a tampa do reservatório, sejam feitas de materiais mais resistentes além de aumentar a potência do sistema de refrigeração do motor. E em países frios, peças com partes de borracha são preparadas para resistirem a baixas temperaturas.

As preferências dos consumidores de outros países, segundo Consoni (2006), também divergem dos brasileiros. Por exemplo, na Índia os clientes preferem acabamento interno em madeira, bancos de couro e transmissão automática.

Não é de hoje que as montadoras brasileiras se desdobram para atender as especificidades do mercado externo.

## ***2.5 Engenharia de produto: visão geral***

O processo de globalização dos negócios, segundo Fleury e Fleury (2003), está acelerando o ritmo de mudanças em termos de como a produção de bens

e serviços está sendo projetada e implementada. Após a concepção universalista e hegemônica de fábricas tayloristas-fordistas de grande escala, altamente integradas, observa-se a emergência de um complexo sistema de novos conceitos e fórmulas para a organização dos negócios em geral e para a função Produção ou Operações em particular.

Para Lima (2004) as empresas globais estão não só se reestruturando segundo uma perspectiva de integração internacional, mas também estão redefinindo suas relações com as empresas em outros países. Temas como *Global Operations Management*, *International Manufacturing* e *International Supply Chain Management* surgem como novas áreas de pesquisa.

O ponto que se pretende chegar, conforme Garcia *et al.* (2004), diz respeito ao posicionamento das empresas e do país nesse novo contexto, caracterizado por redes interorganizacionais internacionais. Para isso, parte-se da idéia de que o mais importante fator na estruturação dessas redes são as competências organizacionais: a participação e a posição de cada empresa é função de suas competências. A posição na rede e a forma pela qual as competências são administradas vão, por sua vez, influenciar as estratégias competitivas.

O desenvolvimento de novos produtos sejam eles automotivos ou de qualquer outro segmento, é complexo, envolvendo diversas etapas que devem ser planejadas, implementadas e controladas de forma a minimizar os riscos de insucesso e, portanto, conforme Mesquita e Alliprandini (2003), deve ser baseado em informações consistentes e objetivas claramente definidas, os quais envolvem diversos interesses e habilidades.

A importância de se estudar o setor automotivo, segundo Mundim *et al.* (2002), prende-se não somente ao seu peso econômico, mas à sua grande força difusora dentro do processo de inovação, pois este é um setor que recebe e transmite inovações tecnológicas e organizacionais em relação aos demais setores industriais. Além disso, um aspecto fundamental, dentro desse quadro de mudanças amplas do setor é o papel da atividade de projeto no sucesso tecnológico e organizacional. Krieger *et al.* (2003) informa que hoje, diante de situações inovadoras, como a introdução de novas tecnologias de processo, de produto ou de novos materiais, as empresas aprendem e ensinam novas

formas de organizar sua produção. E, neste contexto, a contribuição para o sucesso da empresa no ambiente de competição atual é decisiva.

Segundo Correa (2005), produtos e serviços são usualmente a primeira coisa que os clientes vêem em uma empresa, logo, além do mérito intrínseco do projeto de seus produtos e serviços, o desenvolvimento contínuo desses projetos e a criação de projetos totalmente novos também ajudam a definir a posição competitiva de uma organização. Os gerentes de produção nem têm a responsabilidade direta pelo projeto do produto ou serviço, mas sempre têm uma responsabilidade indireta de fornecer as informações e as recomendações das quais depende o sucesso do desenvolvimento do produto ou serviço.

O objetivo de projetar produtos e serviços, segundo Baxter (2003), é satisfazer aos consumidores, atendendo a suas necessidades e expectativas atuais e/ou futuras.

Isto por sua vez melhora a competitividade da organização. Pode-se observar, portanto, que o projeto de produtos e serviços tem seu início com o consumidor e nele termina. Primeiro, a tarefa de marketing é reunir informações dos clientes para compreender e identificar suas necessidades e expectativas e também para procurar possíveis oportunidades de mercado. Com base nisso, a tarefa dos projetistas de produtos e serviços é analisar essas necessidades e expectativas, como interpretadas por marketing, e criar uma especificação para o produto ou serviço. Essa é uma tarefa complexa, que envolve a combinação de muitos aspectos diferentes dos objetivos operacionais de uma empresa. A especificação é então usada como informação de entrada para a operação, que produz e fornece o produto ou serviços aos seus clientes.

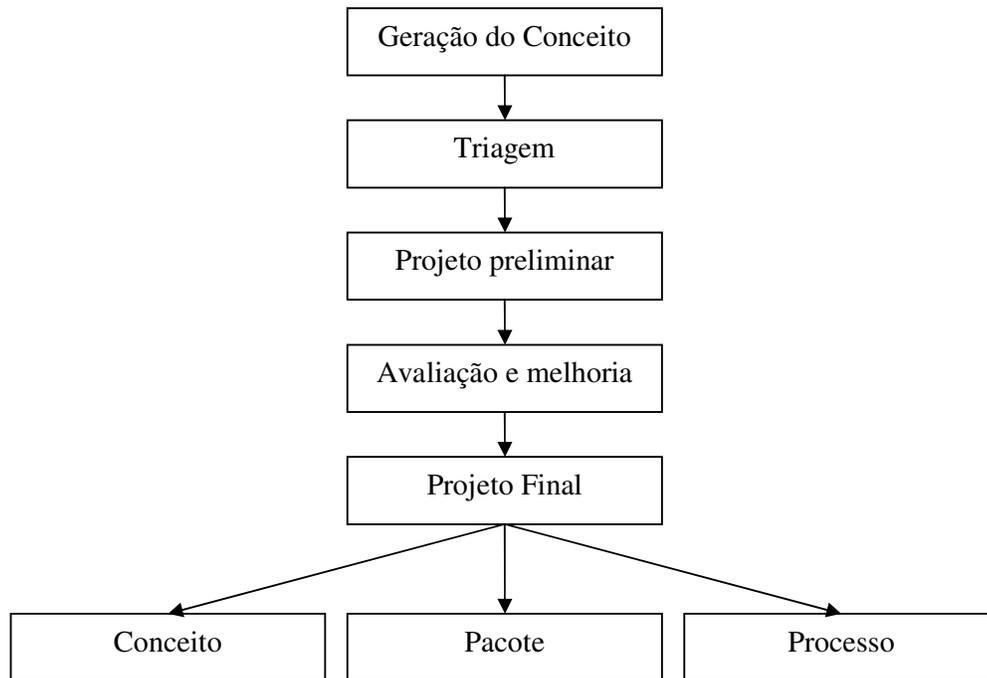
#### 2.5.1 Etapas da engenharia de produto

Pode-se considerar, conforme Quintella (2005), que todos os produtos e serviços têm três etapas de projeto:

- Um conceito – que é um conjunto de benefícios esperados que o consumidor está comprando;
- Um pacote – que é o conjunto de “componentes” que proporcionam os benefícios definidos no conceito;

- O processo – que define a relação entre os componentes dos produtos e serviços.

A figura 5 sintetiza as etapas do projeto de produto explanadas por Quintella (2005) e são discutidas na seqüência.



**Figura 5** - Etapas do projeto de produto  
Fonte Quintella (2005)

Galina (2003) informa ainda que para chegar a este ponto a atividade de projeto deve passar por diversas etapas. Essas formam uma seqüência aproximada, embora na prática os projetistas geralmente circulem ou retrocedam pelas etapas.

Quintella (2005) explica os passos descritos na figura 5:

A etapa da **geração do conceito** começa com a idéia de um produto ou serviço. Essas idéias precisam ser formalizadas, traduzidas em um conceito de produto ou serviço. Os conceitos são então **selecionados (triados)** por diferentes partes da organização, para tentar assegurar que eles serão um incremento significativo ao portfólio de seus produtos/serviços. O resultado desses dois primeiros estágios é um conceito de produto/serviço aceitável e

consensual para todos. O conceito consensado deve ser transformado em um **projeto preliminar** do pacote e do processo.

Esse projeto preliminar então passa por uma etapa de **avaliação e melhoria** para verificar se o conceito pode ser mais bem utilizado. Um projeto consensado pode então ser submetido à elaboração de um **protótipo e projeto final**. Onde o produto será avaliado em suas especificidades para ser atraente para o mercado consumidor onde um dos elementos que serão avaliados aspectos como as qualidades de ruído e vibração que o produto apresenta de forma que este possa oferecer conforto para seus usuários.

O resultado dessa etapa é uma especificação totalmente desenvolvida do produto ou serviço

### 2.5.2 Engenharia de produto para indústria automotiva

Em um ambiente de grande competitividade, internacionalização das operações e rápidas mudanças tecnológicas, segundo Alfaro *et al.* (2006), exige-se das empresas do setor automotivo agilidade, produtividade e alta qualidade, que dependem necessariamente da eficiência e eficácia do processo de desenvolvimento de produtos.

Um desempenho superior deste processo torna-se, então, condição essencial para garantir linhas de produtos atualizadas tecnologicamente e com características de desempenho, custo e distribuição condizentes com o atual nível de exigência dos consumidores. Qiao *et al.* (2005) informa que é importante notar que o desenvolvimento de produtos automotivos deve ter uma abordagem de integração dos vários tipos de sistemas para suportar o projeto e a operação de inúmeras e complexas atividades de engenharia. Ou seja, deve ter uma abordagem multidisciplinar.

Para Fleury e Fleury (2003), este desenvolvimento requer também o trabalho em equipe, a aplicação de práticas simultaneamente e diversos métodos de desenvolvimento, provocando uma intensa e eficiente interação entre diferentes áreas da engenharia, a fim de projetar melhores produtos (automóveis).

Caso contrário, a fragmentação dos conhecimentos destas áreas pode trazer sérias conseqüências para as atividades de projeto, na qual a criatividade do

projetista pode ser limitada pelo seu alto grau de especialização. A tarefa multidisciplinar do desenvolvimento de produtos requer, portanto, profundos conhecimentos das diversas áreas da engenharia, noções gerenciais, visão sistêmica e integrada do negócio e relacionamento interpessoal.

Neste contexto, conforme Lima, (2004) uma das principais dificuldades atuais no gerenciamento integrado do processo de desenvolvimento de produtos automotivos é a existência de poucos profissionais capacitados para atuar eficientemente nesse processo de negócio multifuncional. Buscando minimizar o problema, os profissionais precisam adquirir o aprendizado de novas tecnologias acoplado com a visão integrada do negócio, envolvendo todas as habilidades requeridas neste processo, tais como: pensamento sistêmico, trabalho em equipe e conhecimentos técnicos específicos. Capacitando-os, assim, a trabalhar entre as fronteiras das áreas da engenharia, com o objetivo de identificar e utilizar a correta combinação de tecnologias e conhecimentos que irão prover a melhor solução para o problema de desenvolvimento de veículos em questão.

Para Correa (2004) a definição do produto é decisiva no sucesso do negócio automotivo, envolvendo consideráveis quantias (da ordem de grandeza de bilhão de dólares) e prazos relativamente longos (da ordem de 2 a 4 anos, ou mais); a atividade de projeto recebeu especial atenção, ganhando mesmo prioridade frente a outras atividades de escritório. El-Essawi e Lin (2004) dizem que estações de CAD/CAM/CAE automatizam e integram atividades de projeto de uma empresa e de seus fornecedores.

Compartilhar custos de desenvolvimento de produtos via sua produção em diversos países, segundo Febinguer e Robey (2001), com a crescente integração de fornecedores de primeiro nível já nas primeiras fases de detalhamento de projetos, passa a ser o objetivo perseguido pela estratégia de “carro mundial”, que deu lugar à de plataforma mundial, visando possibilitar adequações e adaptações para mercados com diferentes características. As estratégias de carro e plataforma mundiais, por um lado, levantaram a questão da possibilidade de uma recentralização de atividades de projeto de produto desenvolvidas em países periféricos, recolocando a questão da divisão

internacional do trabalho nessa atividade. Por outro lado, verifica-se que alguns dos projetos de veículos têm tido sua sede em países não centrais da indústria matriz, como é o caso do Brasil, podendo gerar efeitos positivos para o enraizamento local dessa e de outras indústrias, atraindo investimentos novos e conferindo maior importância estratégica para as operações localizadas no Brasil.

As atividades de projeto de produto, conforme Guedes (2002), têm importância ímpar no desenvolvimento econômico, e na cadeia automotiva em particular. Envolvem alto valor agregado, empregos ditos de “qualidade” (ou seja, demandando pessoal com alta escolaridade e remuneração). A realização de projeto de produto tem relação direta com o enraizamento da cadeia produtiva num dado tecido industrial. Na cadeia automotiva, altamente internacionalizada, e passando por transformações estruturais quanto à localização, à divisão do trabalho entre empresas e entre países, contar com atividades significativas – em quantidade e, principalmente, qualidade – de projeto de produto é um sinal presente e prospectivo da relevância do país no contexto da divisão internacional do trabalho.

Para Mundim *et al.* (2002), uma questão latente para países do porte do Brasil em indústria automotiva (mercado, base instalada, engenharia) é a localização das atividades de projeto e desenvolvimento de veículos, bem como as formas de divisão do trabalho entre matrizes e subsidiárias. Quintella (2000) informa que se o conceito estrito de carro mundial está em segundo plano, o conceito vencedor é o de plataformas mundiais que possibilitem adaptações para o atendimento de particularidades de cada mercado. Essas adaptações, variações ou derivativos podem ter sua sede de projeto nos países centrais ou nas subsidiárias concernentes.

### 2.5.3 Ferramentas para agilizar o desenvolvimento de produto

Para facilitar o trabalho de desenvolvimento, segundo Kriegel *et al.* (2003) a Volkswagen utilizou um programa nacional denominado Digital Mock-up, que permite a visualização do veículo antes da sua existência física. Assim, entre a definição final do carro e a sua produção são gastos apenas vinte meses,

tempo curtíssimo quando se fala de indústria automobilística, que às vezes precisa de 36 meses para criar um novo modelo.

Consoni e Quadros (2006) informam que Software semelhante foi criado pela General Motors do Brasil, chamado *Virtual Proving Ground*. Como o próprio nome diz, ele simula no computador todos os testes que podem ser feitos na pista. É possível, por exemplo, fazer um modelo rodar 100.000 quilômetros sem o veículo ainda existir, apenas existindo virtualmente no computador. Os níveis finais de desgaste, consumo, super aquecimento e quebras registrados no computador acabam reproduzindo com fidelidade as condições finais, com uma considerável economia de tempo e dinheiro.

Um teste que poderia consumir seis meses entre montagem e realização na pista pode levar apenas um minuto no computador. Por esses benefícios o software foi adotado na GM também nos Estados Unidos.

Além disto, diversos conceitos facilitadores para a engenharia de produto são aplicados no setor automotivo que marcam a trajetória das montadoras em seu processo evolutivo – notadamente a partir da década de 90 - e que se constituem numa espécie de “pano de fundo” da reconfiguração da engenharia de produto. Dentre os conceitos principais, destacam-se:

- **Desverticalização produtiva e práticas do modelo japonês (*lean production*)** – para Garcia (2004), compreende a transferência de parte das atividades da produção para os fornecedores; decisões do tipo *to buy* (comprar) ao invés de *to make* (fazer); a aplicação de técnicas como *Just in time*, *Kaizen*, Círculos de Controle de Qualidade (CCQ); programas de Gestão de Qualidade Total (*Totality Quality Manager* – TQM); entre outros. (Com a exigência da certificação de qualidade – ISO e QS, por exemplo – como fator qualificador na seleção de fornecedores).

- **Produção modular (modularidade)** – segundo Fleury e Fleury (2003) cria a figura do modulista/sistemista, que passa a ser responsável pela submontagem de módulos e subconjuntos, ficando para a montadora a montagem final do veículo, como é o caso da VW em São José dos Pinhais – PR, da Ford em Camaçari – BA e da GM em Gravataí – RS, cujas plantas industriais estão configuradas como condomínios industriais com a presença de

modulistas/sistemistas no mesmo terreno das montadoras, fornecendo os módulos ou conjuntos diretamente na linha de montagem final dos veículos.

- **Sedes de Projeto** – Krieger *et al.* (2003) explicam que este conceito aproveita as competências locais das subsidiárias e as características da cadeia de fornecedores para descentralizar o desenvolvimento de projetos de determinados veículos (veículos de nicho), como é o caso da GM com o Celta e o Meriva, da FIAT com o Palio, e da VW com o Fox. Todos são modelos projetados no Brasil.

- **Plataforma mundial** – Em lugar do conceito de “carro mundial”, para Correa (2005), este conceito possibilita utilizar uma mesma plataforma para produzir modelos diferentes de veículos (modelo principal e derivados, por exemplo), aumentando a abrangência dos mercados a que se destinam, como é o caso da VW e da Audi, que utilizam a mesma plataforma para produzir os modelos Golf e A3.

Esses temas caracterizam a mudança na engenharia de produto do setor automotivo a partir da década de 90, e são de extrema importância para o sucesso das montadoras neste ambiente competitivo que é o mercado automotivo sendo que a agilização do processo de engenharia de produto é a base destes processos.

#### 2.5.4 A necessidade do controle de ruídos e vibração no projeto de produto na indústria automotiva

A qualidade do ruído e vibração interna de um veículo conforme Genuit (2004) se tornou um fator importante para os engenheiros acústicos há 20 anos, com o início da globalização e conseqüentemente o aumento da concorrência e a necessidade de maior qualidade dos produtos. Conforme os veículos vão ficando mais silenciosos, a sensibilidade do cliente para o conforto acústico também se torna maior. Vilas (2005) exemplifica que se por um lado, nenhum barulho ou vibração incômodos deveria ser notado, por outro lado, a qualidade em termos de durabilidade deve ser respeitada, por exemplo, a transmissão deveria cumprir as expectativas do cliente tanto com respeito à confiabilidade quanto com respeito ao baixo nível de ruído e vibração.

Suzuki (2002) informa que um bom nível de qualidade pode estar em conflito com outros objetivos de uma montadora. O tempo de desenvolvimento de um carro novo tem que ser reduzido e os custos de produção têm que ser o mais baixo possível, o peso total do carro não deve ser aumentado, tudo isto sem qualquer influência negativa na qualidade.

Para o engenheiro acústico é importante saber que tipo de recursos está disponível para que ele possa analisar e descrever o nível de qualidade ideal para um projeto.

Norton (2003) informa que podem ser usados sistemas de medida por equipamentos com múltiplos canais de entrada de dados que permita a gravação de dados acústicos e vibracionais simultaneamente. A combinação de equipamentos de medição de ruídos e vibração e medições subjetivas permitem a determinação de correlações entre a exposição de passageiro a fatores de NVH, medido por intermédio de equipamentos e o julgamento subjetivo resultante.

Este procedimento permite medir a satisfação do cliente em termos de ruído e vibração e que acertos e ajustes sejam feitos para que se possa chegar a maior perfeição possível.

### 3 NVH

McDermott (2004) diz que embora o termo qualidade acústica, ou de NVH, seja muito utilizada atualmente, seu significado é confuso. Pode ser definida qualidade acústica como o grau de satisfação para as exigências individuais feitas em um evento perceptível pelo corpo humano. Qualidade acústica inclui três tipos diferentes de influências variáveis: físicas (intensidade), psicoacústicas (percepção), e psicológicas (avaliação).

Então, Abdel-Rahman (2003) diz que medir qualidade acústica é uma tarefa multidimensional, sendo isto, porque as pessoas classificam os eventos de NVH principalmente levando em consideração experiências, expectativas e atitudes subjetivas. As características acústicas de um veículo fazem parte da identidade do veículo.

Elas influenciam muito significativamente na decisão do cliente. Devido ao estado técnico alcançado muito freqüentemente as melhorias de nível de pressão acústica não são percebidas subjetivamente.

Às vezes os efeitos são até mesmo contrários às características essenciais de um produto, por exemplo, se o nível de ruído e vibração forem significativamente baixos e estes podem não representar o sentimento de poder que um carro esportivo deve passar ao motorista.

Maffra (2003) informa que o som do veículo tem que agir como um fator de identificação apoiando a imagem positiva de um carro. Neste contexto as seguintes características de NVH são úteis:

- 1) primeiramente, ruído e vibração são informativos. Inclui informação de qualidade, funcionalidade, perigo e conforto.
- 2) secundariamente, ruído e vibração insinua uma certa imagem, como luxo, esportividade ou popularidade.
- 3) em terceiro lugar, ruído e vibração pode identificar a marca ou modelo do veículo, semelhante à impressão digital. Neste contexto estas características podem ser usadas para incorporar ao produto aos propósitos que ele deseja alcançar ou então mercado que ele deseja explorar.

Por conseguinte, qualidade acústica é uma parte essencial da qualidade do veículo.

### **3.1 Ruído**

Muito do que se aprende sobre o mundo é por meio do sentido de audição. McDermott (2004) informa que ouvir não é só importante para aprender sobre o mundo, mas também para comunicação entre humanos e com animais. A voz humana é ímpar dentro da sua habilidade para expressar idéias abstratas. Sons dão para animais muitas informações, advertindo de perigo ou informando a proximidade de uma possível presa.

O som, conforme Abdel-Rahman (2003), pode passar informações sobre o tempo como apito de almoço, perigo com o alarme de incêndio ou o apito policial, felicidade ou tristeza com a música, e assim por diante.

Médicos podem escutar a batida do coração dos seus pacientes, os pulmões e o estômago, ajudando no diagnóstico de doenças. Podem-se escutar máquinas ou motores para verificar se precisam de conserto. Podem-se identificar as pessoas pelo som da voz ou o som dos passos delas. Podem-se identificar animais pelos sons deles: pássaros cantando, leões rugindo, insetos zumbindo, e assim por diante.

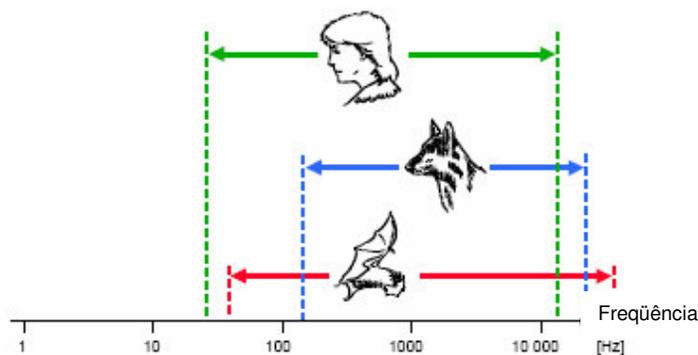
Para Andrade (2004), estudantes podem aprender conceitos técnicos realizando experiências e atividades escolares, podem aprender conceitos de volume sonoro, radiação e ressonância jogando com objetos que vibram e os fazendo vibrar de modos diferentes. Os estudantes aprendem mudar variável em uma experiência e observar as conseqüências das mudanças, eles vão começar a desenvolver experiências e a resolver problema, isso os levará a apreciar o método científico.

Vibrações, ou energia pode ser sentida como uma pulsação. Chan (2006) diz que os cientistas que estudam estas vibrações os interpretam como ondas sonoras e os pintam em gráficos.

Maffra (2003) informa que o som viaja melhor por objetos sólidos porque as moléculas se acoplam mais firmemente e o som não precisa percorrer grandes distâncias para bater contra outra molécula e transmitir as vibrações. O som alcançará uma maior distância através destes materiais sólidos devido a mesma razão.

Há exceções, conforme Chun-Yu e Liao (2006), existem materiais projetados especialmente para serem isolantes acústicos, eles são sólidos, mas são projetados com espaços para servirem como “armadilhas” para as vibrações.

Estudando ondas e a frequência das vibrações McDermott (2004) informa que o ouvido humano não pode ouvir sons em frequências muito altas e muito baixa vibração. Apitos de cachorro são exemplos deste fenômeno: os seres humanos não conseguem ouvir estes apitos, mas os cachorros e alguns outros animais podem ouvi-los. A figura 6 apresenta, para efeito ilustrativo, a comparação do campo de audição de um ser humano, um cão e um morcego.



**Figura 6** – Comparação do campo de audição de um ser humano com um cão e um morcego

Fonte: Ramsayer (2004)

Corrêa (2002) questiona, quando um som é agradável e quando aborrece? Som afetou a comunicação entre as pessoas? O som foi capaz de entreter pessoas? Enfim, todo o mundo pode apreciar a importância do som dentro do seu cotidiano.

### 3.1.1 Qualidade Sonora

Conforme McDermott (2004) o som raramente é apreciado com todas as suas funções. Provê experiências agradáveis como escutar música ou o cantar dos pássaros. Possibilita a comunicação falada e pode alertar ou nos advertir - por exemplo, com o tocar de um telefone, ou uma sirene.

Som também nos permite fazer avaliações de qualidade e diagnósticos como o que é produzido pela atividade das válvulas de um carro, uma roda rangendo ou um murmúrio de coração.

Muito freqüentemente em nossa sociedade moderna, som nos aborrece. Conforme Schillemeit e Cucuz (2002), muitos sons são desagradáveis ou não são desejados - estes são chamados ruídos. Porém, o nível de incômodo não depende somente da qualidade do som, mas também nossa atitude para com ele. Por exemplo, o tipo de música desfrutado por algumas pessoas poderia ser considerado como ruído por outras, especialmente se é alto. Mas som não precisa ser alto para aborrecer. Um chão rangendo, um arranhão em um disco, ou o som intermitente de uma torneira gotejando pode ser tão inoportuno como um trovão. O julgamento de intensidade também dependerá da hora do dia. Por exemplo, um nível mais alto de ruído será mais tolerado durante o dia que à noite.

Som também pode danificar e pode destruir. Genuit (2004) mostra que um estrondo sônico pode quebrar janelas. Mas o caso mais infeliz é quando o som causa danos ao mecanismo delicado projetado para detectá-lo, o ouvido humano.

Som é definido como qualquer variação de pressão que os ouvidos podem perceber.

Ruído é uma parte inevitável da vida cotidiana que a partir do desenvolvimento tecnológico resultou em um aumento do nível de ruído de máquinas, fábricas, tráfego, etc. Kopp e Holzinger (2003) informam que é importante que ações sejam tomadas para redução de ruído, de forma que o ruído não está entre algo que nós temos de aceitar. Com relação a esta busca de redução do ruído, deve-se avaliar o ruído corretamente para que se execute a medida certa. Porém, antes de medir o ruído é importante estar familiarizado com a terminologia e os princípios básicos de medição de ruídos.

Para Maffra (2003), quando som é produzido por uma fonte, transfere-se energia para as moléculas do ar. Assim a energia se esparrama para longe da fonte como se fossem ondulações em uma lagoa. A taxa a qual esta energia flui em uma direção em particular e por uma área em particular é chamada de intensidade.

A energia que é passada ao redor de um ponto particular a fonte dará origem a uma pressão sonora. Intensidade e pressão de som podem ser medidas diretamente por instrumentos chegando-se então a potência do som.

O uso principal da potência sonora, conforme Schillemeit e Cucuz (2002), é para se avaliar a nocividade e o nível de aborrecimento que as fontes de ruído podem provocar.

Maffra (2003) informa que a pressão sonora é medida inicialmente em pascal (Pa). Comparada com a pressão de ar estático, as variações de pressão audíveis, é muito pequeno de aproximadamente 20 mPa ( $10^{-6}$  Pa) para 100 Pa. 20 mPa é o menor som que pode ser ouvido por uma pessoa comum e é então chamada o limiar do ouvir.

Uma pressão de aproximadamente 100 Pa, conforme Moeller (1999), é tão alto que causa dor, e é chamado o limiar de dor. A aplicação direta de balanças lineares, em Pa, para a medida de pressão sonora, conduziria então ao uso de enorme e difícil controle numérico. Adicionalmente, o ouvido não responde linearmente, mas, de forma logarítmica com relação ao estímulo. Por estas razões, foi achado mais prático expressar parâmetros acústicos como uma relação logarítmica do valor medido para um valor de referência - uma relação logarítmica chamada um decibel ou somente dB.

McDermott (2004) informa que a vantagem de usar medidas em dB é clara quando colocada lado a lado com medidas lineares em Pa como mostrada na figura 9. A medida linear com seu grande e de difícil controle é convertidas em números com uma medida muito mais manejável de 0 dB que é o limiar de ouvir até 130 dB que é o limiar de dor.

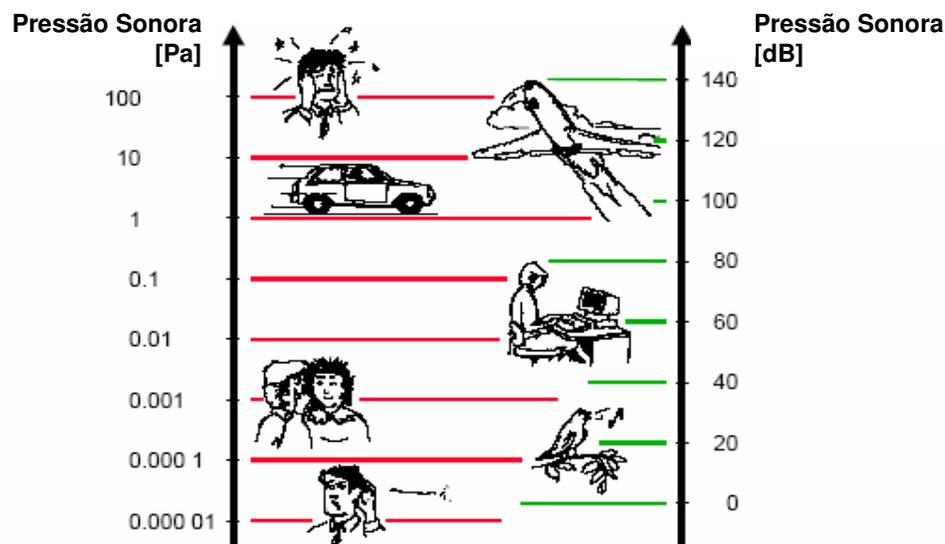
### **3.1.2 Decibéis**

A medida mais comum de um nível sonoro, segundo McDermott (2004) é o Nível de Pressão Sonora, ou NPS, expresso em decibéis, abreviado dB. Decibéis não são unidades como centímetros ou quilogramas, no sentido de que não estão linearmente relacionados a uma grandeza específica.

Na realidade, conforme Norton (2003), decibéis expressam a razão logarítmica entre a potência ou intensidade sonora e uma potência ou intensidade de referência. Potência e intensidade sonoras não são fáceis de medir.

Porém, a pressão sonora é facilmente medida com um medidor de nível sonoro. A pressão sonora pode também ser expressa em dB já que o quadrado da pressão sonora é proporcional à potência ou intensidade sonora.

Para Paz (2005), utiliza-se o dB no lugar da amplitude real do som em unidades de pressão, porque o seu valor logarítmico representa a forma como o ouvido humano interpreta o som, e porque os números são mais facilmente manipuláveis nos cálculos. Segundo Ramsayer (2004), a maioria dos sons está na faixa de 0 a 140 dB, que equivalem a ondas com pressões sonoras de 20 a 200.000.000 micropascal (ou  $2 \times 10^{-10}$  a  $2 \times 10^{-2}$  atm). Para auxiliar na sensação subjetiva de níveis de pressão sonora (em dB), os NPSs aproximados de algumas fontes sonoras comuns são apresentados na Figura 9.



**Figura 7 - Nível sonoro**  
Fonte Brüel e Kjær (1998)

A figura 7 mostra a uma correlação entre a pressão sonora medido em pascais e a pressão sonora medido em decibéis em diversas situações do dia-a-dia de pessoas.

### 3.2 Vibração

Desde que o homem começou a construir máquinas para uso industrial, e, segundo Samir (2000), especialmente desde que iniciou-se o uso de motores para movimentar estas máquinas, engenheiros empenham-se para resolver problemas de redução da vibração gerada pelos motores.

Samir (2006) afirmou que a preocupação com as vibrações que as máquinas produzem se remete ao início da industrialização, quando as pessoas começaram a adoecer devido à exposição à vibração excessiva das máquinas. Desde então, segundo Ziyad e Nader (2005) diversos estudos vêm sendo realizados para evitar problemas de saúde como o que ocorre em operários que utilizam britadeiras. Estes operários são comidos por anemia nas mãos, doença degenerativa que provoca fortes dores nas mãos, problemas para manipular objetos pequenos e de realizar tarefas que exijam precisão como escrever, por exemplo.

Conforme Reed (2002), Vibração é oscilação mecânica sobre uma posição de referência. Vibração é um fenômeno diário, ela é notada em nossas casas, durante transporte e no trabalho. Vibração é normalmente um efeito colateral destrutivo e aborrecedor de um processo, mas, às vezes é gerada intencionalmente para executar uma tarefa.

Vibração é um resultado de forças dinâmicas em máquinas que têm partes Móveis e em estruturas que são conectadas à máquina. Partes diferentes da máquina vibrarão com várias frequências e amplitudes. Reed (2002) informa que a vibração causa folgas e fadiga de materiais. É frequentemente responsável pela quebra da máquina.

Norton (2003) diz que a vibração pode ser gerada intencionalmente em alimentadores de animais, concreto fresco, compactadores, e britadeiras, por exemplo. Vibradores provocam vibração em objetos para testar a resistência deles para funcionar em ambientes que exista vibrações.

Um sistema responderá a uma força com um certo movimento, é o que chama-se mobilidade do sistema. Sabendo-se a força e a mobilidade permite-se calcular a vibração.

Este método, conforme Rust (2003), é usado em análise modal ou em outros métodos para modelar sistemas. Uma vez que o modelo é criado nós podemos calcular sua mobilidade sob efeito de uma força, e assim predizer vibrações em outros locais. Tal modelo em alguns casos é usado para calcular a carga em uma estrutura e predizer fadigas e quebras.

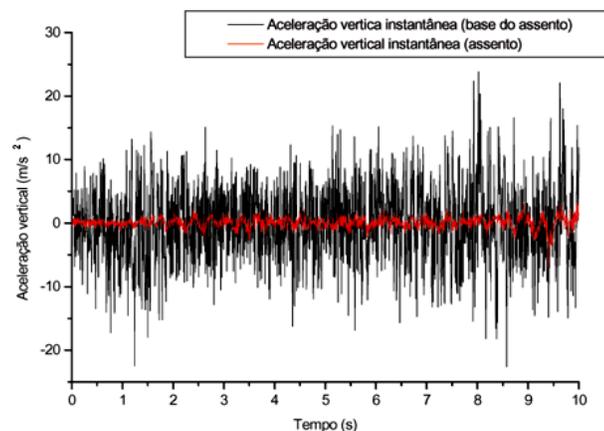
Para Santos (2004), gradualmente, o isolamento e redução da vibração se tornaram uma parte integrante do projeto da máquina, a necessidade de medições e análise da vibração mecânica cresceu com a melhoria da tecnologia e as necessidades de maior durabilidade e segurança destas máquinas.

Durante os últimos 15 a 20 anos, conforme Ro e Baz (2002), uma tecnologia inteiramente nova de medição de vibração foi desenvolvida com o objetivo de investigar a vibração de equipamentos. São os Acelerômetros piezoelétrônicos que são usados para converter movimento vibratório em sinais elétricos.

Seonho *et al.* (2006) informa que a amplitude de vibração que é a característica que descreve a intensidade da vibração, que pode ser quantificada de vários modos. O valor de pico “overall” indica a máxima amplitude da onda, um valor útil, por exemplo, onde o deslocamento vibratório de uma parte da máquina é crítico para se descobrir a tensão máxima que a vibração pode provocar no ponto estudado e com isto pode-se descobrir causas de quebras, incômodos para o usuário e outros aspectos relacionados com o excesso de vibração.

O valor de pico, segundo Silva (2005) é particularmente valioso para indicar o nível de vibrações de curta duração, choques, etc. Mas, o valor de pico mostra um único evento, sem levar em conta o histórico da onda no tempo.

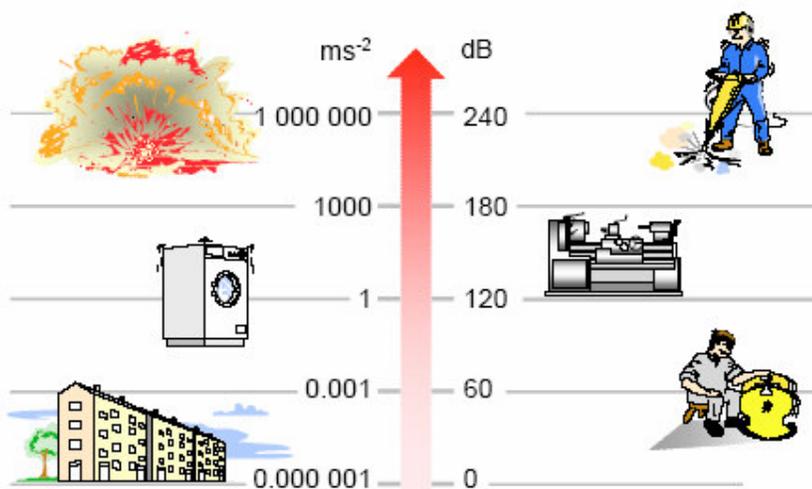
Por outro lado, em equipamentos modernos leva-se a história da onda no tempo em conta, e é considerada de grande interesse prático para eu se possa descobrir a origem do pico de vibração mostrado no ponto estudado.



**Figura 8 – Vibrações no tempo**  
Fonte: Santos (2003)

A figura 8 mostra o gráfico gerado com base nos dados adquiridos por dois acelerômetros mostrando as vibrações transferidas para o usuário de um veículo no período de 10 segundos. Isto é medido para que se possa definir o Root Mean Square (RMS) que é a capacidade máxima de transferência de vibrações do veículo para o seu usuário.

Embora o RMS tenha importância estática no momento que a maior concentração de vibração ocorre, para Sousa (2004), o valor de RMS é a medida mais pertinente no período medido porque dá um valor da frequência que este evento ocorre em um intervalo de tempo, que é diretamente relacionada ao conteúdo de energia, e então as habilidades destrutivas da vibração.



**Figura 9 - Níveis de Vibração**

Fonte: Bruel&kjaer (1998)

Em um exemplo citado por Andrade (2004), quando olha-se para o afinar da vibração de um garfo o que considera-se é a amplitude da onda como o deslocamento físico das pernas do garfo com a posição relativa ao resto do garfo. Além de deslocamento pode-se descrever também o movimento da perna do garfo em termos de sua velocidade e sua aceleração. A forma e período da vibração permanecem o mesmo se considerarmos deslocamento, velocidade ou aceleração. A diferença principal é a frequência e a amplitude da vibração.

Descobrir a aceleração vibratória não deve-se ter somente este parâmetro como referência mas com integradores eletrônicos pode-se converter o sinal de aceleração em velocidade e deslocamento.

Para Chun-Yu e Liao (2006), equipamentos mais modernos para averiguação de vibração são equipados para que meçam todos os três parâmetros. Na qual em uma medição no tempo de uma única faixa de frequência de vibração é feita a escolha de parâmetro.

Isto é importante se o sinal tem componentes formados por muitas frequências. Num exemplo citado por Cordeiro (2005) e ilustrado na figura 9, a medida de deslocamento da vibração dará maior peso a baixa frequência, pois, tenta-se normalmente descobrir problemas com impactos e estes possuem efeitos mais nocivos em baixa frequência e reciprocamente a medida de aceleração darão peso aos níveis mais altos de frequência, pois, seus efeitos mais nocivos, normalmente, ocorrem em nestes níveis de frequência.

Experiências realizadas por Cunha (1998) mostraram que o RMS global avalia a vibração em velocidade medidas na faixa de frequência entre 10 a 1000 Hz dá a melhor indicação da severidade de uma vibração. Uma provável explicação é que um determinado nível de velocidade corresponde a um determinado nível de energia de forma que a vibração de baixa e alta frequência é igualmente destrutiva do ponto de vista de energia destrutiva. Na prática muitas máquinas tem um espectro de velocidade razoavelmente plano e, por exemplo, a vibração repetitiva desta máquina durante um determinado intervalo de tempo pode causar grandes avarias no prédio onde ela está instalada.

### **3.3 Sensores de NVH**

O ruído e vibração, segundo Yangmin *et al.*(2005), somente podem ser medidos se forem adquiridos por sensores eletrônicos que devem ser ligados em computadores que são utilizados para registrar, filtrar e converter os dados adquiridos pelos sensores.

Os dados de NVH não podem ser adquiridos sem sensores, que permitem que as medições possam ser realizadas. Para Zannin e Szeremetta (2006), os sensores são equipamentos muito precisos e sensíveis, necessitando passar

por uma aferição anual, chamada de calibração, para que a veracidade de seus resultados possa ser comprovada por laboratório.

### 3.3.1 Acelerômetro



**Figura 10** - Exemplos de acelerômetros  
Fonte : Grom (2006)

Luo e Zhang (2002) informa que o acelerômetro mede as vibrações geradas pelo equipamento em uma superfície ou objeto de forma que esta possa ser controlada de acordo com as especificações de projeto. Por exemplo, em um automóvel dos dias de hoje é inadmissível que a alavanca de câmbio vibre causando desconforto para quem manuseá-la, o mesmo cuidado deve-se tomar com o volante, bancos e outras peças que têm contato direto com o usuário.

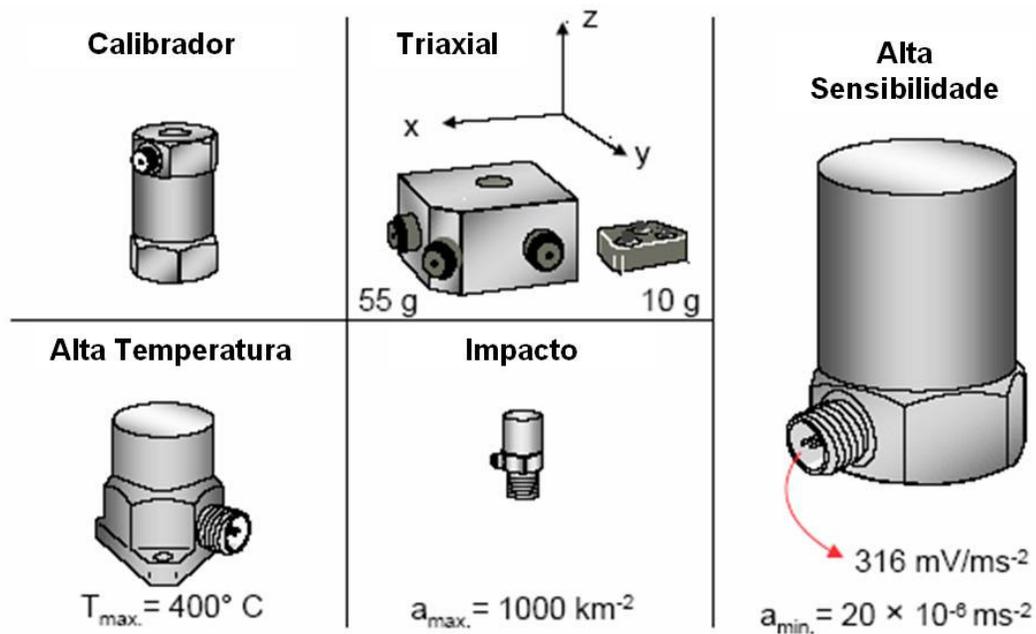
O mesmo cuidado deve ser tomado com relação ao desgaste de componentes de máquinas que podem ficar com folgas devido a constante vibração.

#### 3.3.1.1 Tipos de acelerômetro

A instrumentação é realizada afixando acelerômetros como mostrado na figura 10 em lugares específicos que são definidos pelo engenheiro responsável pelo teste.

Um exemplo é medir as vibrações geradas por um motor, para isto, os acelerômetros são afixados diretamente no motor.

Os tipos de acelerômetros que são utilizados em teste são mostrados na figura 11.



**Figura 11** – Tipos de Acelerômetro  
Fonte: Grom (2006)

Os acelerômetros de calibração, conforme El-Essawi e Lin (2004), são utilizados para sincronizar os outros acelerômetros para que estes meçam as vibrações, por exemplo, de um motor, com base na referência fornecida no acelerômetro de calibração.

O acelerômetro triaxial, para Chan *et al.* (2006), é utilizado para medir o deslocamento tridimensional do equipamento ou peça que pretendemos medir a vibração. Assim ele mede as vibrações ocorridas na área pelos eixos X, Y, e Z. Permitindo que se possa verificar a área de vibração.

Normalmente, conforme Ming *et al.* (2002), se faz necessário à medição de vibrações geradas por um motor em funcionamento, por exemplo, fazendo-se necessário à utilização de acelerômetros próprios para alta temperatura. Estes acelerômetros são projetados para suportar até  $400^{\circ}C$  de temperatura.

O acelerômetro de choque, estudado por Lima (2005), é utilizado para verificar atrito entre peças que pode provocar desgastes de partes e até mesmo quebra por fadiga.

O acelerômetro de alta sensibilidade é utilizado para notar pequenas vibrações e é geralmente utilizado para proporcionar maior suavidade no funcionamento

do equipamento permitindo que até mesmo as vibrações de pequena amplitude possam ser detectadas e sanadas para que o conforto seja maximizado.

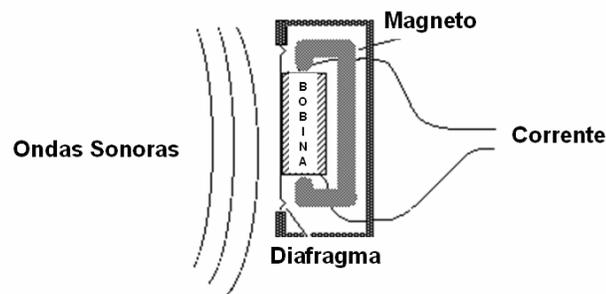
### 3.3.2 Microfones



**Figura 12** - Foto ilustrativa de um microfone utilizado para NVH  
Fonte: Bruel&Kjaer (2006)

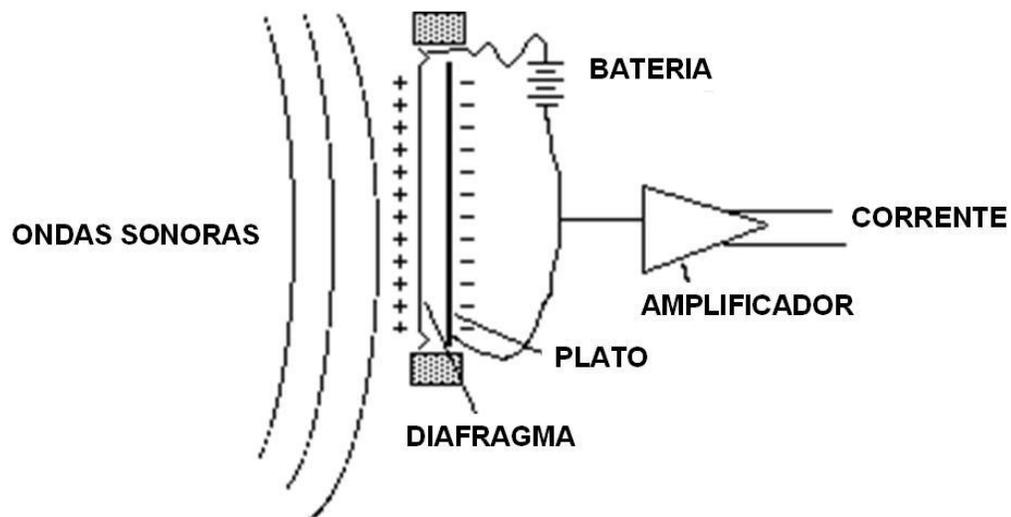
Segundo Calixto (2003), um microfone é um exemplo de transdutor, que é um dispositivo que altera a informação de uma forma para outra (vide figura 12). O microfone transforma informações de pressão do ar em corrente elétrica. Um engenheiro da área de NVH está interessado na precisão desta transformação, um conceito que ele entende como fidelidade do microfone.

Podem ser usadas, conforme Cordeiro (2005), uma variedade de técnicas mecânicas para se construir microfones. Os microfones geralmente encontrados são os magneto-dinâmico, os de condensador variável e os piezoeletrônicos.



**Figura 13** - Funcionamento interno de um microfone utilizado para NVH  
Fonte: Brüel&Kjær (1996)

No magneto-dinâmico, geralmente chamado de microfone dinâmico, vide ilustração na figura 13, ondas sonoras causam movimento de um diafragma metálico fino e um rolo fixo de arame. Cunha (1998) explica que neste tipo de microfone um ímã produz um campo magnético que cerca o rolo, e movimento do rolo dentro deste campo causa a oscilação de voltagem. É importante se lembrar que a corrente é produzida pelo movimento do diafragma, e que a quantia de corrente é determinada pela velocidade daquele movimento. Este tipo de microfone é conhecido como sensível à velocidade.



**Figura 14** - ilustração do funcionamento interno de um microfone de condensador utilizado para NVH  
 Fonte: Brüel&Kjær (1996)

Em um microfone de condensador, (figura 14), conforme Corrêa e Heleno (2002), o diafragma está montado perto de, mas não tocando, um prato rígido. (O prato pode ou não ter buracos) Uma bateria é conectada a ambos os pedaços de metal que produz um potencial elétrico ou carga, entre eles. A corrente é determinada pela voltagem da bateria, a área do diafragma e o prato, e a distância entre os dois. Esta distância muda com os movimentos do diafragma com relação ao som. Quando a distância muda, fluxos atuais no arame como a bateria mantém a carga correta. A quantia de corrente é

essencialmente proporcional ao deslocamento do diafragma, e é tão pequeno que deve ser ampliado eletricamente antes de deixar o microfone.

Conforme Jee e Jung (2000), nos testes para NVH os microfones são instalados em locais específicos para se medir o quanto o ruído do funcionamento da máquina está influenciando o usuário que está na posição de operação da máquina. Desta forma os microfones são utilizados para se evitar que a utilização da máquina se torne incomoda devido ao excesso de ruído que ela produz.

### 3.3.3 Tacômetro



**Figura 15** - Tacômetro digital utilizado para medições de NVH  
Fonte: Grom (2006)

Normalmente a medição do ruído e vibração da máquina, para Luo e Zhang (2002), é atrelada à rotação ou freqüência de funcionamento da máquina. Desta forma geralmente nas operações para levantamento de informações de NVH normalmente se utiliza o tacômetro, vide figura 15, que é o instrumento utilizado para medir a rotação ou a freqüência que a máquina está trabalhando.

### 3.4 Exemplos de teste de NVH

São apresentados exemplos de testes realizados na área de NVH, tentou-se ilustrar medições de vibração de ruído emitidos por automóveis utilizando-se

equipamentos padrão para NVH. Serão exemplificados os testes com utilização de acelerômetros e microfones.

### 3.4.1 Exemplo de utilização de acelerômetros

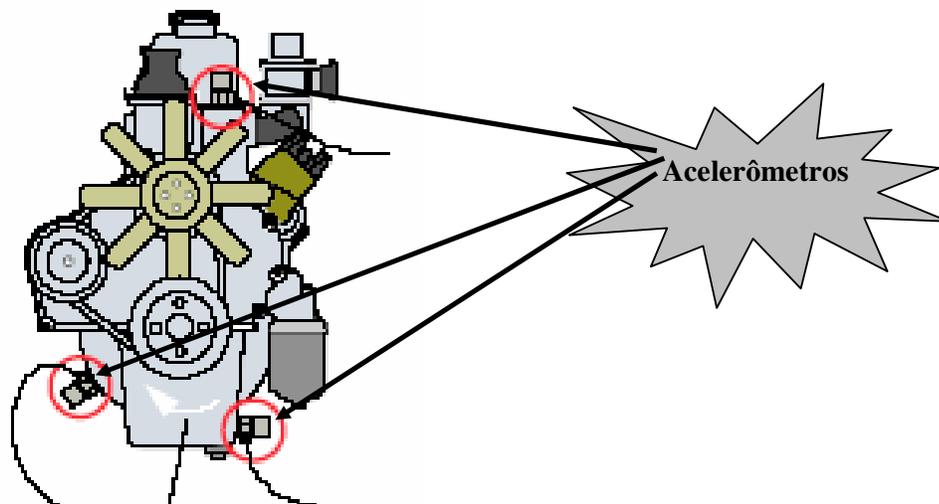
Neste exemplo, citado por Moeller (1999), tenta-se medir as vibrações geradas por um motor em funcionamento.

Para isto utilizaram-se acelerômetros próprios para alta temperatura, pois, o motor estará em funcionamento durante o teste.

Foram instalados acelerômetros em partes pré-definidas pelo engenheiro para pesquisar se o motor está gerando vibrações em excesso podendo comprometer a qualidade do veículo que ele vier a ser instalado.

Normalmente, nestas condições, medem-se as vibrações com o motor instalado em uma bancada de testes.

Uma ilustração da instrumentação feita para rodar o teste é, mostrada na figura 16, mostrando, em destaque, o posicionamento dos acelerômetros nas partes do motor previamente definidas pelo engenheiro.

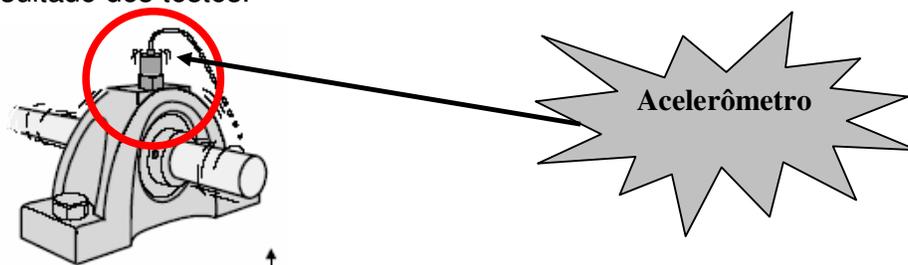


**Figura 16** – Motor instrumentado com acelerômetros  
Fonte: Moeller (1999)

Outro exemplo de utilização de acelerômetro, utilizado por Ro e Baz (2002), é para medir a vibração gerada por um eixo giratório, no qual é instalado um acelerômetro no ponto que se quer pesquisar a geração de vibrações e em seguida mede-se qual a influencia do eixo giratório para no sistema como um todo.

Normalmente o acelerômetro deve ser instalado em uma superfície plana, no caso da figura 17 o ponto mais interessante para medir as vibrações é a parte superior do equipamento.

Normalmente cuidados devem ser tomados quando se está medindo equipamentos elétricos para se evitar problemas com o vazamento de corrente elétrica do equipamento para o acelerômetro, pois isto pode interferir no resultado dos testes.

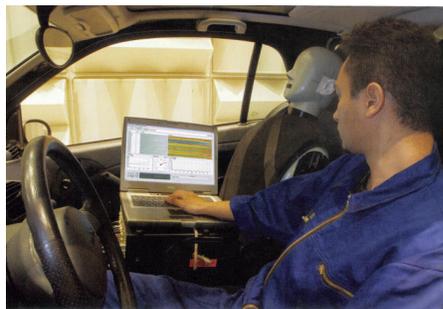


**Figura 17** - Medição das vibrações geradas por um eixo giratório  
Fonte: Adaptada de Moeller (1999)

### 3.4.2 Exemplo de utilização de microfones

Neste exemplo, citado por Sandberg e Jerzy (2002), dois microfones que são instaladas em uma cabeça acústica, mostrada na figura 18, com o objetivo de simular o ouvido humano. Desse modo diversas manobras são executadas medindo-se o incômodo gerado pelo ruído gerado pelos pneus, motor, transmissão, itens de acabamento, entre outros.

Procura-se, neste caso, maximizar o conforto sonoro do passageiro do lado direito do motorista. A cabeça acústica pode ser instalada em qualquer posição nos bancos do veículo inclusive no banco do motorista, logicamente para isto é necessária a realização de adaptações no veículo para a realização das manobras.



**Figura 18** - Cabeça Acústica  
Fonte: Bruel&Kjaer (2006)

A análise e processamento de sinais de audição é uma tarefa complexa que pode ser explicada por Genuit (2004). As avaliações subjetivas são feitas por meio de técnicas de medição da acústica convencional que levam em consideração um único parâmetro, a audição humana.

O ouvido humano, segundo Mcdermontt (2004), possui mecanismos complexos e dependentes para avaliação de qualidade sonora. Uma impressão humana não é determinada somente pelo nível de pressão sonora, mas também por propriedades psicoacústicas como intensidade, agudez e aspereza. Devido ao efeito denominado "*stake*", fatores simultâneos como temperatura, umidade do ar, pressão atmosférica, entre outros, mascaram a audição humana, podendo haver impressões diferentes de um mesmo som.

Para o processamento de sinais, segundo Maffra (2003), o nível de pressão sonora é uma medida que depende da estrutura temporal dos sinais e da distribuição espectral. O procedimento de medição de intensidade sonora leva em conta as distribuições de faixas críticas na audição humana. A intensidade sonora não depende somente do nível de pressão sonora, mas também a composição espectral do som.

Segundo Kopp e Holzinger (2003), a medida de intensidade (unidade: sone) é uma unidade de medida muito próxima da medida correta da audição humana equivalente. Agudez (unidade: acum) depende da composição espectral. Assim, para o processamento de sinais, um som mais agudo é mais aborrecedor que um som grave, uma vez que sons de alta-freqüência prevalecem em comparação com os sons de baixa-freqüência.

As medidas de agudez, conforme Abdel-Rahman *et al.* (2003), são sinais com estrutura temporal forte e é causada por mudanças rápidas de amplitudes e modulações de freqüência e este tipo de sinais são objetos de estudo para que os sinais aquisitados pelos equipamentos de NVH possam chegar ao máximo possível às percepções do ouvido humano. Os maiores problemas ocorrem devido às propriedades de filtragem da orelha exterior do ser humano cada mudança na freqüência resulta em mudanças menos fortes de amplitude do som tornando este menos incômodo e este processo é difícil de se similar em um aparelho de medição de som.

Um sinal modulado, para Calixto (2003), tem uma agudez mais alta e é consideravelmente mais desagradável independente do nível de pressão sonora. Além destas, outras propriedades fisicamente descritíveis são notadas uma vez que a qualidade sonora também é influenciada pelas propriedades da audição humana. Se, por exemplo, duas fontes com um espectro de frequência semelhante são ouvidas ao mesmo tempo, há o mascaramento do som, o sinal mais alto está mascarando o mais baixo e o sinal mais alto é ouvido claramente enquanto o sinal mais baixo é pouco ouvido. Porém, se as composições espectrais dos sons diferem, a audição humana percebe os dois sons claramente.

Outra característica da audição humana, pesquisada por Cordeiro (2005) é a presença de dois canais audíveis conhecido como binaural. Esta característica permite discriminação de espaço essencial para reconhecimento do ambiente em que a pessoa está, junto com audição direcional, seletividade e supressão de barulho. Este binaural é essencial para orientação das pessoas na vida cotidiana, por exemplo, comunicação de fala em um ambiente ruidoso só é possível por binaural assim a pessoa pode discernir qual pessoa está falando com ela.

Para Corrêa e Heleno (2002), a audição humana envolve um processo muito complexo, mas tem memória muito curta não permitindo que os sons possam ser estudados. Daí a necessidade do processamento de sinais para NVH, registrando-se digitalmente os sons, armazenando e reproduzindo um evento posteriormente, pode-se analisar com calma o ruído e repeti-lo quantas vezes forem necessárias e pode-se representar o som de maneira gráfica. Ajudando assim a tornar mais agradáveis os sons emitidos pelas máquinas e equipamentos.

### **3.5 Projeto de NVH para veículos**

Para que a montadora possa sobreviver, principalmente no mercado automotivo de hoje em dia, conforme Alvarez *et al.* (2002), a qualidade dos produtos é de fundamental importância. O consumidor aprendeu a se apegar nos mínimos detalhes para escolher o seu novo carro e um pequeno problema

que ele possa encontrar pode ser um fator decisivo para que este cliente tome a decisão de levar um automóvel de outra marca.

Atualmente, segundo Arbix (2004), existem preocupações com melhoria de desempenho de freios, motor, câmbio, suspensão, entre outros. Uma das preocupações é a qualidade do veículo em termos de ruído e vibrações, de forma que o cliente seja "conquistado" pelo veículo logo que entra nele.

Existem preocupações, por exemplo, com o ruído da batida da porta do veículo, passando o máximo de conforto possível. Passando assim a idéia de confiabilidade, conforto e, sobretudo qualidade de acabamento final e ajuste das peças.

As preocupações, para Guedes e Faria (2002), passam pelo mais óbvio até coisas absurdas como a comodidade de se apertar um botão do painel ou a rugosidade do tecido do banco.

Um exemplo seria o fato de se perceber que o tecido do banco de um carro de luxo da uma determinada marca desfiava a meia-calça da secretária de um dos executivos da montadora. Utilizou-se este fato para substituir o tecido dos bancos do modelo para que estes não mais estragassem as meias-calça das mulheres que viessem a conduzir este veículo.

Norton (2003) diz que a qualidade de NVH tem dado cada vez mais atenção ao termo rigorosidade ou ergonomia. Pois se notou que desde a textura do tecido dos bancos, volante, câmbio, acabamento interno, maçanetas entre outros itens estão se tornando cada vez mais importantes para que um automóvel se torne o predileto de um determinado cliente. Assim os engenheiros de produto estão cada vez mais dando atenção a este tipo de detalhe.

Outros fatores que estão sendo levados em consideração são os fatores ambientais, pois, segundo Kihlman e Kropp (2001), a poluição sonora nas cidades está tornando os automóveis inviáveis em certos casos. Criou-se uma legislação específica sobre ruído e vibrações e hoje em dia um modelo de automóvel para ser comercializado precisa ser homologado.

Para ser homologado o veículo precisa passar por testes básicos de NVH, como emissão de ruído para o meio ambiente e emissão de vibrações de para o meio. Assim, para Kopp e Holzinger (2003), existe uma grande preocupação

dos engenheiros de produto no sentido que os novos modelos passem pela homologação, pois, se estes não passarem não poderão ser comercializados até o momento que os engenheiros façam com que este modelo cumpra as leis ambientais, o que pode levar a grandes prejuízos e atrasos no projeto do modelo, além de problemas com clientes e marketing.

### 3.5.1 Normas ambientais

Atualmente, segundo Andrade (2004), quase metade da população do mundo vive em áreas urbanas. Essa intensa urbanização, associada a uma crescente industrialização e à expansão do sistema de transportes, vem acarretando um aumento da poluição sonora, principalmente nos grandes centros urbanos.

Segundo Kihlman e Kropp (2001), aproximadamente 40% da população é exposta a ruído de tráfego rodoviário com níveis de pressão sonora excedendo a 55 dB(A) no período diurno e 20% exposta a níveis superiores a 65 dB(A). Considerando todas as fontes de ruído de transporte, estima-se que mais da metade da população vivem em zonas nas quais o conforto acústico não é assegurado em suas residências. Durante o período noturno mais de 30% da população é exposta a níveis superiores a 55 dB(A), provocando distúrbios do sono.

Ainda segundo Souza (2004), a poluição sonora também é grave em países em desenvolvimento, sendo causada principalmente pelo ruído de tráfego. No Brasil verifica-se que a população é exposta a níveis de ruído elevado de poluição sonora.

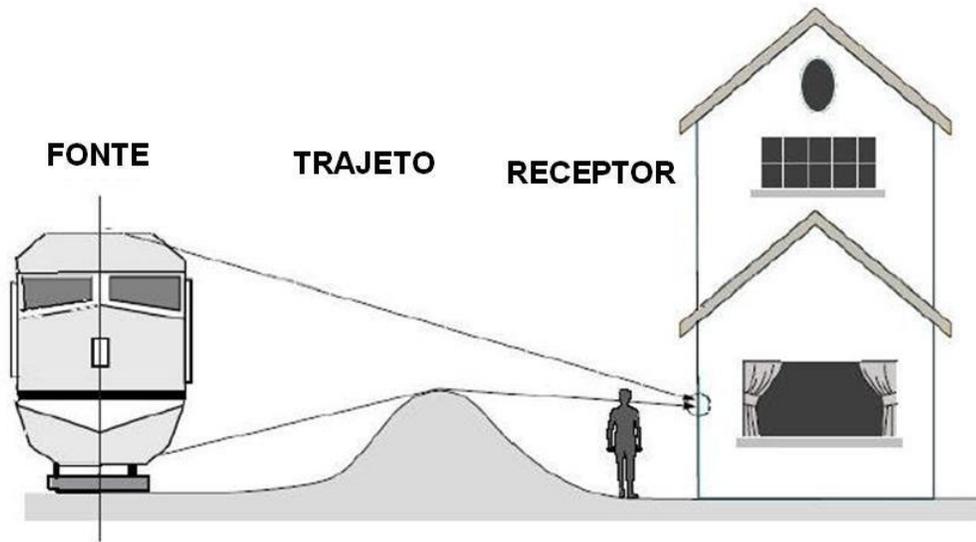
Este aumento da poluição sonora, conforme Kojima (2000), seja em países desenvolvidos ou em desenvolvimento, é insustentável, necessitando que seja reduzido e contido, uma vez que a poluição sonora constitui-se não só em fonte de incômodo à população, mas também, em um problema de saúde pública, que contribui para perda da qualidade de vida da população e a não sustentabilidade das cidades. De acordo com Kihlman e Kropp (2001), isto se deve ao fato que a poluição sonora causa efeitos adversos à saúde humana. Efeitos diretos ou efeitos primários (Ex: incômodo, interferências com a comunicação pela fala, etc.) e efeitos cumulativos ou efeitos secundários e terciários (Ex: estresse, risco de hipertensão e infarto, etc.) -, além de efeitos

sócio-culturais, estéticos e econômicos (Ex: isolamento social, queda da qualidade acústica na vizinhança e depreciação do valor dos imóveis). Observa-se ainda que esta forma de poluição pode afetar adversamente futuras gerações, considerando a degradação dos ambientes residenciais, sociais e de aprendizagem, envolvendo perdas econômicas.

Pelos motivos anteriormente explicitados, é cada vez mais crescente a preocupação mundial em reduzir a poluição sonora e, conseqüentemente, minimizar os efeitos engendrados, por intermédio da adoção de políticas públicas de gestão de poluição sonora. Assim, diversos países e cidades no mundo todo têm adotado essas políticas. A comunidade Européia, por exemplo, adotou recentemente uma política que envolve vinte e cinco países diferentes, estabelecendo metas de curto, médio e longo prazos, a fim de evitar efeitos adversos à saúde da população e preservar áreas ainda tranqüilas.

No Brasil, conforme Alvarez *et al.* (2002), diferentes ações foram implementadas visando a redução da poluição sonora urbana. Dentre essas, o Programa Silêncio, estabelecido em 1990, foi uma iniciativa pioneira de lidar com o problema em nível nacional. Este programa constitui-se em um ponto de partida para a realização de diversas ações, dentre as quais a mais importante foi a elaboração de Resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), assim como de normas técnicas disciplinando as metodologias de medição e avaliação de ruído. Não obstante, percebe-se uma falta de harmonização entre as legislações e regulamentações nos diferentes níveis de ação – Local, Regional ou Nacional, além da não institucionalização de instrumentos que promovam uma gestão eficaz da acústica urbana.

O modelo da figura 19 mostra como o ruído urbano pode chegar até os ouvidos humanos. O som viaja pela cidade sendo desviado por obstáculos como morros e prédios, quase sempre amplificando e concentrando o som emitido pelos veículos.



**Figura 19** - Modelo Sistêmico da Poluição Sonora Urbana  
 Fonte: Adaptado de Zannin e Szeremetta (2006)

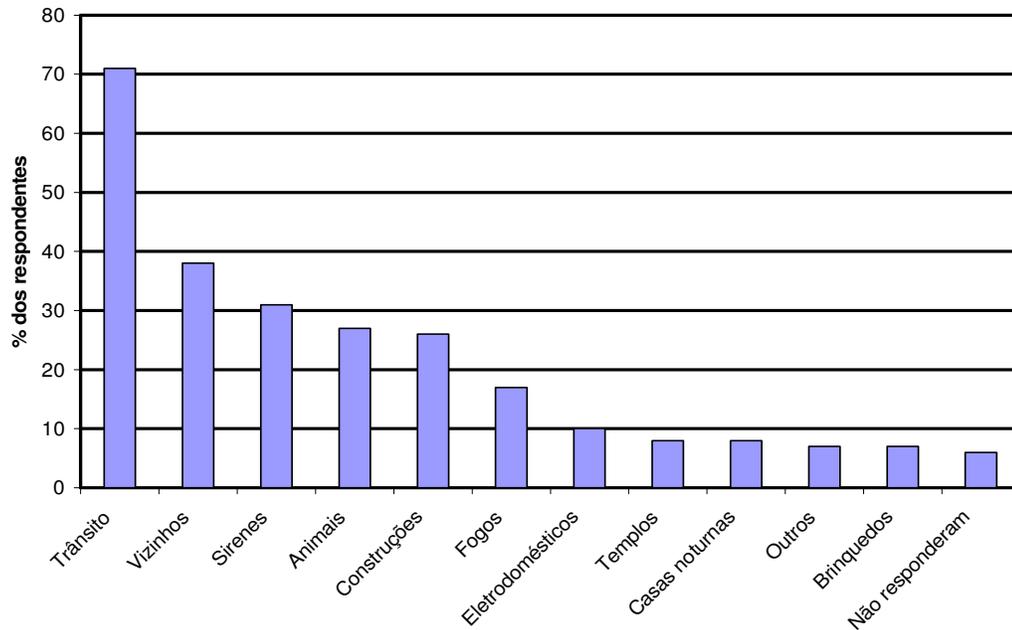
Hoje em dia, conforme Kopp e Holzinger (2003), rígidas normas ambientais estão sendo estipuladas para controlar emissões não somente de gás carbônico, mas também para o controle de poluição sonora emitida por veículos automotores, as ruas das grandes cidades normalmente possuem nível sonoro acima das especificações devido à frota brasileira antiga e sem controle de emissão de ruídos.

A legislação brasileira, conforme Vilas (2005), é específica com relação a nível sonoro e o setor de NVH é primordial para que o automóvel possa ser homologado para circular pelas ruas. Antes da liberação para o lançamento do veículo testes de níveis de emissão de gás carbônico e ruído de passagem são realizados e, assim, se o veículo estiver dentro dos padrões especificados é emitida uma carta habilitando o automóvel para ser vendido.

### 3.5.2 Ruído de Tráfego

O ruído de tráfego rodoviário resulta da contribuição coletiva produzida por fontes individuais – veículos motores (automóveis, caminhões, ônibus e motos), que varia dependendo do tipo e do modo de operação destas fontes, as quais podemos analisar da seguinte forma. A pesquisa de Zannin e Szeremetta (2006) apresenta um gráfico comparativo dos ruídos que mais incomodam, vide

figura 20, nota-se que acima de 70% dos respondentes apontaram o ruído de trânsito como um grande incômodo.



**Figura 20** - Ruídos que mais incomodam

Fonte: Zannin e Szeremetta (2006)

Os automóveis, conforme Kihlman e Kropp (2001), têm grande contribuição na emissão do ruído geral de tráfego devido ao elevado número em circulação, apesar do ruído gerado ser menor do que o da maioria dos outros grupos de veículos. Nos grandes centros urbanos brasileiros esta situação se verifica e provavelmente deve ser agravada, em função da predominância deste sistema de transporte sobre os demais, e da idade da composição da frota, apesar da sua crescente renovação.

Rust (2003) informa ainda que, no Brasil, os caminhões geralmente são movidos por motores a diesel, embora os à gasolina também sejam utilizados. Uma importante característica que os difere é o processo de combustão, fazendo com que os caminhões movidos a diesel tenham maior flutuação de pressão nos cilindros, resultando em níveis de ruído maior. Outra característica é que estes tipos de caminhões alcançam velocidades menores, o que determina uma contribuição maior de ruído de baixa frequência. Como o ruído de baixa frequência se propaga a grandes distâncias no tecido urbano, daí a

necessidade de regulamentação da circulação destes veículos na cidade, principalmente durante a noite.

No Brasil, conforme Vilas (2005), os ônibus são montados sobre chassis de caminhões, fazendo com que sejam tão ruidosos quanto os caminhões. Adicionalmente constituem o principal meio de transporte coletivo nas cidades, agravando a contribuição para o ruído urbano.

As motocicletas emitem níveis de ruído que variam em função das classes desses veículos. As mudanças nos projetos de motos dos últimos anos resultaram em um amplo número de motores com a mesma média de potência dos veículos. Uma pesquisa realizada por Sandberg e Jerzy (2002), sobre ruído emitido pelas motos constatou-se que, em muitos casos, os níveis de ruído gerados por uma aceleração normal podem exceder os níveis gerados por motores a diesel de caminhões pesados, embora a potência mecânica de uma moto seja muito menor do que a de um caminhão.

De acordo com Kihlman e Kropp (2001), a redução nos últimos vinte e cinco anos do ruído emitido por veículos alcançou 10dB – 15 dB. Atualmente, obtém-se o nível limite de 74 dB(A), na condição acelerado, de acordo com o método de teste da Norma ISO 362/1998 “*Acoustics – Measurement of noise emitted accelerating road vehicles – Engineering method*”. Cumpre ressaltar que o valor indicado corresponde ao nível máximo de ruído estabelecido para automóveis, onde se aborda a Diretiva 92/97 CE (CE, 1992<sup>a</sup>) – seção 4.1 – e a Resolução CONAMA 272/2000 (BRASIL, 2000<sup>a</sup>) – seção 4.2.

### 3.5.3 Fontes de ruídos veiculares

O ruído de rolagem, segundo Andrade (2004), é gerado pela interação entre os pneus e a superfície de rolagem da camada de pavimentação da via, dando-se segundo dois mecanismos complexos de naturezas dinâmica e aerodinâmica. Ambos incluem uma série de detalhados mecanismos, além de outros efeitos que podem amplificar ou atenuar o ruído gerado.

Tendo em vista o exposto há necessidade de ser alcançado algum progresso na redução de ruído emitido pelo contato dos pneus com a via. Assim sendo diversas pesquisas têm sido realizadas nos centros de pesquisas de fabricantes de pneus, focadas, principalmente, no desenho das ranhuras dos

pneus. De acordo com Rust (2003), estima-se uma futura redução do ruído emitido em 5 dB(A).

Essencialmente existem dois mecanismos de geração de ruído que são influenciados diretamente pela superfície de rolagem, a saber: a excitação da vibração do pneu causada pelo impacto da rugosidade da estrada e a excitação aerodinâmica ocasionada pelo bombeamento de ar nas ranhuras dos pneus e cavidades da superfície da estrada.

De acordo com Rust (2003), as mais significantes contribuições para a emissão sonora da transmissão de potência podem ser descritas, como a seguir:

- Ruído do motor;
- Ruído do sistema de exaustão;
- Ruído da caixa de marchas;
- Ruído da tomada de ar.

Instrumento Legal Relativo a Ruído	CE	Brasil
Ambiental	2002/49 – estabelece estrutura comum para a avaliação e gestão da exposição ao ruído ambiental procurando harmonizar indicadores e métodos de medição, elaborar mapas estratégicos de ruído disponibilizar informações para o público e traçar planos de ação. Visa situações de longo prazo e, portanto, utiliza indicadores complexos e compostos.	CONAMA 001/1990
Equipamentos utilizados no Exterior	2000/14 – Harmonização das Legislações dos Estados membros relacionadas à emissão sonora no meio ambiente por equipamentos utilizados no exterior	No Brasil, não há legislação similar.
Veículos de quatro rodas e assemelhados	92/97 - Estabelece limites máximos de ruído com o veículo em aceleração e parado	Resolução 252/2000 Resolução 272/2000
Veículos de duas e três rodas	97/24 – Estabelece limites máximos de ruído com o veículo em aceleração e parado	CONAMA 02/93 CONAMA 252/2000
Contato pneus-estrada	2001/43 – Estabelece limites de emissão sonora para o contato pneus-estrada dos veículos a motor e seus reboques.	No Brasil, não há legislação similar.

**Quadro 1** – Comparação entre Comunidade Européia (CE) e Brasil – Instrumentos Legais de Gestão de Poluição Sonora Fonte: adaptado de Sousa (2004)

### 3.5.4 Exemplo de Curitiba

As rodovias que adentram o perímetro urbano de Curitiba cortam na sua maior parte, áreas da cidade classificadas como ZRs e ZS.

Segundo os limites definidos pela lei, nas áreas classificadas como zonas residenciais (ZRs), o limite legal no período diurno é 55 dB(A). Então o nível equivalente médio de ruído de tráfego nestas áreas ultrapassa em média os níveis permitidos pela lei em 18,2 dB(A), à distância de 25 metros.

Já para as chamadas zonas de serviços (ZS), o limite para período diurno é de 70 dB(A). Este nível limite é ultrapassado em média, em 3,1 dB(A), à distância de 25 metros.

Diante dos fatos demonstrados, conclui-se que existe o problema de poluição sonora ambiental causada pelo ruído do tráfego de veículos nas rodovias situadas dentro do perímetro urbano de Curitiba.

A população que reside ou trabalha nestas áreas, sofre os efeitos deste ruído, o que representa riscos à saúde e prejuízo à qualidade de vida. Do ponto de vista técnico, é necessário uma combinação de diversas medidas que busquem reduzir os níveis de ruído tanto na sua geração, como na sua transmissão.

Controlar a geração do ruído significa adotar medidas que leve os veículos a emitirem uma potência sonora menor quando se deslocam por uma rodovia.

Para tanto, podem ser estudadas diversas medidas como:

- A limitação do fluxo de veículos e a redução do percentual de veículos pesados. Para que isto ocorra, será necessário:
  - A conclusão das obras de rodovias de contorno da cidade, em andamento há 10 anos;
  - Melhorias quantitativas e qualitativas do transporte coletivo existente, tais como: qualidade operacional, segurança, rapidez, conforto e baixo custo. Estes fatores constituem-se reais motivos para que a população passe a utilizá-lo com maior intensidade;
  - Implantação de transporte coletivo subterrâneo (metrô);
  - Incentivo ao uso de bicicletas ou caminhadas para o deslocamento em pequenas distâncias;

- A redução do limite permitido de velocidade, principalmente nas proximidades de áreas residenciais, de escolas e de hospitais.
- Propor uma nova legislação, no sentido de reduzir os limites de emissão de ruído veicular determinada pela NBR 8433/84, vinculado a um cronograma de implantação, para que as montadoras de veículos desenvolvam seus produtos para emitirem menor potência sonora.

Já, no entanto, controlar a transmissão do ruído, significa adotar medidas que provoquem maiores perdas da pressão sonora entre a fonte e o receptor, fazendo com que um menor nível de ruído, atinja os ouvidos da população.

Para tanto, podem ser implantados obstáculos intermediários chamados de barreiras acústicas. Estas barreiras acústicas, apesar de serem normalmente construídas de concreto, podem ter seu aspecto visual devidamente ambientado, com a utilização de uma vegetação apropriada que recubra toda a barreira, tornando-a um elemento perfeitamente integrado à paisagem natural, influenciando positivamente até no aspecto psicológico da população.

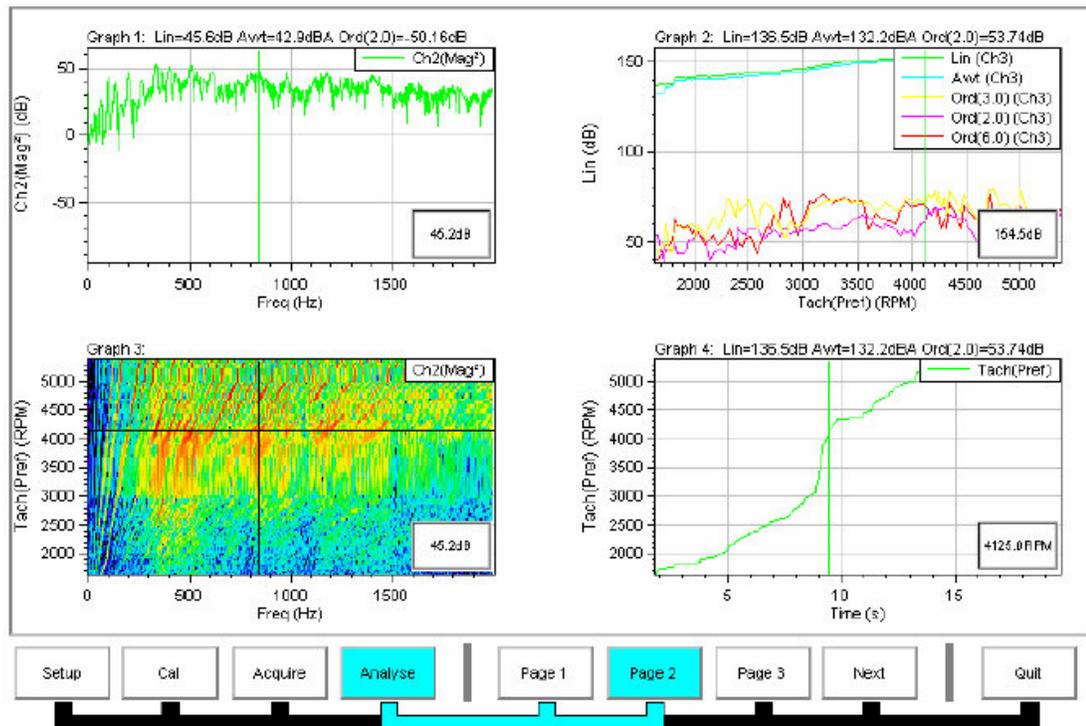
Diversas combinações de ações devem ser estudadas, uma vez que existe a necessidade de redução em torno de 18 dB(A), nas zonas residenciais e 3 dB(A) nas zonas de serviços para que sejam atendidos os limites definidos pela legislação municipal.

Tendo em vista que a legislação municipal fixa valores que não devem ser ultrapassados na divisa de qualquer propriedade particular urbana, e que o tráfego de veículos em vias públicas gera níveis de ruído superiores aos permitidos pela lei, então se deduz que este problema diz respeito ao poder público, que deve mobilizar esforços no sentido do controle deste problema ambiental que afeta a população que vive ou trabalha nas imediações das rodovias que adentram o perímetro urbano de Curitiba.

## 4 Processamento de Sinais

O processamento de sinais é uma das operações que viabilizaram as medições de NVH, pois, anteriormente ao processamento de sinais as aquisições eram feitas através de gravações, os analistas, posteriormente, avaliavam conforme seus gostos a qualidade sonora dos veículos. Esta técnica, conforme Bruel&Kjaer (2006), é muito imprecisa permitindo que erros de avaliação sejam cometidos e veículos cheguem até os seus dono com ruídos e problemas com vibrações, provocando desconforto.

### 4.1 Análise



**Figura 21** - Exemplos de gráficos gerados após a análise dos dados aquisitados

Fonte: Bruel&Kjaer (2006)

A figura 21 mostra alguns gráficos gerados pela análise de NVH os quais ilustram as ferramentas que o engenheiro utiliza para tirar conclusões sobre os

resultados dos testes de NVH. Um gráfico ou outro pode ser ou não usado de acordo com o que se deseja detectar.

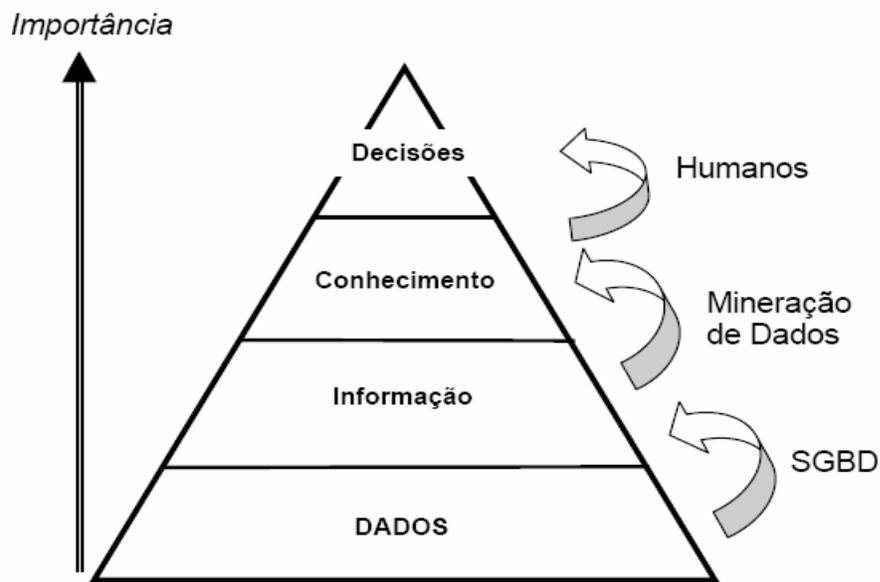
Schillemeit e Cucuz (2002) citam que o processo de análise das informações atualmente é bastante demorado, pois o volume de informações adquiridas pelos sensores geralmente é muito grande e os arquivos gerados são do tipo texto. Para que os dados adquiridos possam ser analisados faz-se necessário a importação dos dados TXT para uma ferramenta que tenha capacidade de organizar e selecionar os dados, gerar relatórios e finalmente criar gráficos para ilustrar as reações do componente testado. Este processo conforme Jönsson e Edström (2001) até poucos anos atrás era feito no papel por meio de anotações de informações em prancheta, começou-se então a se utilizar ferramentas como o excel, matlab ou até mesmo uma ferramenta criada especificamente para agilizar este processo manual, mesmo assim, levam-se semanas para que o relatório com os dados do teste chegue até as mãos do engenheiro responsável para que finalmente ele tome uma posição sobre os resultados do teste.

Nota-se que, conforme Stenti e Moens *et al.* (2004), existem várias tentativas de se agilizar o processo de análise de resultados em NVH mas infelizmente existem poucos experimentos que vinguem devido à complexidade de funcionamento das ferramentas criadas.

#### **4.2 Processo de KDD**

Para Stenti e Moens *et al.* (2004), não é realístico esperar que todos os dados gerados por sensores sejam analisados cuidadosamente por analistas e usuários. O enorme tamanho dos bancos de dados cria a necessidade e a oportunidade para a utilização do processo de Descoberta de Conhecimento em Bancos de Dados (KDD).

O processo de extração de conhecimento a partir de dados é ilustrado na figura 22.



**Figura 22** - Obtenção de conhecimento para tomada de decisões  
 Fonte: Romão (2002)

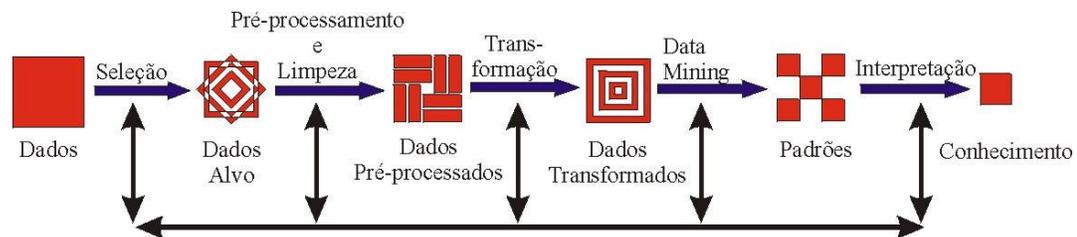
Na base do triângulo estão os dados, os quais tomam o maior volume da memória do computador, e oferecem pouca utilidade estratégica na hora de se tomar decisões. A partir dos dados é possível obter muita informação por meio de aplicativos desenvolvidos para fins específicos ou por intermédio das ferramentas dos Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados (SGBD) que exigem conhecimento das mesmas por parte do analista para se obter o máximo proveito dos dados disponíveis (e em crescimento).

A partir das informações ou dos próprios dados é possível extrair um tipo de informação mais completa, o conhecimento, normalmente mais resumido e em menor quantidade, mas de maior inteligibilidade para se tomar decisões.

Em sua pesquisa, Regev *et al.* (2002) afirmam que o objetivo do processo de KDD é tornar padrões<sup>1</sup> compreensíveis às pessoas, visando facilitar uma melhor interpretação dos dados existentes.

<sup>1</sup> Padrões, segundo Romão (2002), são dados que possuem uma certa semelhança com relação a algum aspecto, como por exemplo: a divisão dos clientes de um banco em baixo, médio e alto risco para empréstimos, de acordo com os antecedentes destes clientes.

Segundo Zhang *et al.* (2003), existem 5 fases no processo de KDD que são organizadas conforme ilustrado na Figura 23. Estas 5 fases são comentadas a seguir.



**Figura 23** - Fases do processo de KDD

Fonte: Campos (2000)

Na fase da **seleção**, estudada por Koko (2002) busca-se identificar o subconjunto de atributos sobre o qual a mineração de dados deverá ocorrer, facilitando o trabalho dos algoritmos responsáveis pela tarefa de mineração de dados.

Os dados utilizados para mineração de dados, geralmente, se formam devido à necessidade de se registrar as transações realizadas durante as atividades diárias da empresa, como por exemplo, atividades de compra e venda de mercadorias, no caso do NVH os dados são formados por medições feitas pelos sensores, principalmente acelerômetros, microfones e tacômetro. Nesse contexto, nem todos os dados armazenados podem interessar ao processo de mineração de dados e, assim, caberá à fase de seleção identificar quais são os dados relevantes.

Para Wolff *et al.* (2006), a fase de **pré-processamento** corresponde a atividades que visam gerar uma representação conveniente dos dados para os algoritmos de mineração de dados. Nesta fase, procura-se fazer as atividades de conversão dos dados provenientes de diferentes fontes, para que estes possam ser lidos e processados por um único sistema gerenciador de banco de dados (SGBD).

A fase de **transformação** é implementada através de um processamento dos dados, visando organizar os dados para facilitar o trabalho realizado pelo algoritmo de mineração de dados. Romão (2002) verificou que essa fase pode

tomar até 80% do tempo necessário para todo o processo de análise, devido às dificuldades de integração de bases de dados com estruturas heterogêneas.

A fase de **data mining** ou mineração de dados, conforme Carvalho (2000), trata-se de um conjunto de técnicas reunidas da Estatística e da Inteligência Artificial (AI) com o objetivo específico de descobrir conhecimento novo, que porventura esteja escondido em grandes massas de dados armazenadas em bancos de dados.

Rodrigues (2001) explica que a mineração de dados procura uma série de padrões escondidos nos dados, freqüentemente envolvendo uma aplicação iterativa e repetitiva de métodos de mineração de dados. Com o auxílio da mineração de dados, pode-se desenvolver aplicações que possam extrair dos bancos de dados informações críticas, com o objetivo de estreitar ainda mais o relacionamento das organizações com seus consumidores finais ou a identificação de problemas da produção, que acabam passando despercebidos.

Na fase de **interpretação das informações**, segundo Carvalho (2000), a informação extraída é analisada em relação ao objetivo de suporte à decisão do usuário final, sendo as melhores informações identificadas e apresentadas. Dessa forma, Guo *et al.* (2004) informam que o propósito do resultado não é somente visualizar (graficamente ou logicamente) o resultado da fase de mineração de dados, mas também filtrar a informação que será apresentada, eliminando possíveis ruídos que poderão surgir no processo. Exemplos de ruídos são informações do tipo “apenas as vacas pariram” ou “todas as cobaias que vieram a morrer bebiam água”, que são consideradas como ruído por serem informações de difícil análise e compreensão pelo usuário, devido ao fato de serem imprecisas.

### **4.3 Mineração de dados**

Dias (2001) informa que durante várias décadas, desde a invenção do primeiro computador, o principal objetivo da utilização do computador é solucionar problemas operacionais da organização. A grande maioria das organizações ainda não possui meios de utilização dos recursos computacionais na tomada de decisão. Apesar da existência de grandes bancos de dados com muitas

informações sobre o negócio da empresa, ainda são encontradas dificuldades na descoberta de conhecimento baseada nessas informações. Essas dificuldades podem estar relacionadas à falta de conhecimento da existência de técnicas de mineração de dados e/ou de ferramentas adequadas.

As técnicas de mineração de dados, discutidas por Fayyad (2002) são aplicadas em sistemas de descoberta de conhecimento em banco de dados com o objetivo de extrair informações estratégicas escondidas em grandes bancos de dados, por meio da pesquisa dessas informações e da determinação de padrões, classificações e associações entre elas.

Segundo Romão (2002), pode-se aplicar Mineração de Dados a qualquer tipo de área (financeira, comercial, medicina, ciências, etc.), desde que se tenham dados disponíveis. De fato, na atualidade há disponibilização de dados, mas falta tradução para conhecimento explícito, o problema é como extrair conhecimento novo a partir de uma enorme quantidade de dados.

“Mineração de dados”, conforme Rodrigues (2001), é um termo mais utilizado por profissionais da área de estatística, analistas de dados e pela comunidade que desenvolve sistemas de informações gerenciais, enquanto KDD tem sido mais utilizado por pesquisadores em IA e aprendizagem de máquina.

Wolff *et al.* (2006) diferencia os termos MD (Mineração de Dados) e KDD destacando que o componente de MD se refere apenas ao meio pelo qual padrões são extraídos e enumerados a partir dos dados, enquanto que KDD envolve a avaliação e interpretação dos padrões para decidir o que é conhecimento e o que não é, incluindo a escolha do esquema de codificação, pré-processamento, amostragem e projeções realizadas antes da etapa de MD, bem como o pós-processamento naturalmente realizado depois da etapa de MD.

#### **4.3.1 Técnicas de Mineração de Dados**

Segundo Fayyad *et al.*(2002), tarefas realizadas por intermédio de técnicas oriundas das áreas de estatística, reconhecimento de padrões, RNA (Rede Neural Artificial), aprendizagem de máquina e banco de dados podem ser enquadradas na fase de MD. Outros campos relacionados são otimização (de

busca), computação paralela e de alto desempenho, modelagem de conhecimento, gerência de incertezas e visualização de dados.

Técnicas de MD utilizam dados históricos para aprendizagem objetivando realizar alguma tarefa específica. Esta tarefa tem como meta responder alguma pergunta particular de interesse do usuário. Portanto, é necessário informar qual problema se deseja resolver.

Romão (2002) destaca que as técnicas de Mineração de Dados visam atender as aplicações de níveis administrativos mais elevados, tais como: marketing (mala direta direcionada), planejamento de estoque, abertura de novas filiais e outras decisões estratégicas. Seguindo a ilustração acima, uma técnica de MD poderia extrair conhecimento do tipo “SE (idade = '[25 a 35] anos') E (profissão = 'advogado') ENTÃO (compra = 'computador')” com uma frequência, por exemplo, de 90%.

Como resultado, o conhecimento obtido poderia ser usado para responder a uma provável pergunta do setor de marketing: Quais os clientes que têm alta probabilidade de comprar computadores?

Para Datta *et al.* (2006), além da área de negócios, MD tem sido também utilizada na área científica (isto é, biologia molecular, modelagem de mudanças climáticas globais, etc.).

Para encontrar respostas, ou extrair conhecimento relevante, existem diversas técnicas de MD disponíveis na literatura. As principais podem ser agrupadas em:

- Indução e/ou Extração de Regras;
- Redes Neurais;
- Algoritmos Evolucionários;
- Técnicas estatísticas (classificadores e redes Bayesianas, etc.); e
- Conjuntos Difusos.

Essas técnicas podem ser aplicadas a diversas tarefas de mineração de dados, tais como: extração de regras de associação, classificação, previsão em geral, determinação e análise de agrupamento, etc.

Seja qual for a tarefa a ser realizada, segundo Wolff *et al.* (2006), a aplicação cega de métodos de MD (chamada na literatura de estatística de “dragagem de

dados”) pode se tornar uma atividade perigosa e conduzir facilmente para a descoberta de padrões absurdos.

A escolha da técnica mais adequada, para Giannella *et al.* (2006), é estratégico saber alguma coisa a respeito do domínio da aplicação de MD: quais são os atributos importantes, quais os relacionamentos possíveis, o que é uma função útil para o usuário, que padrões já são conhecidos e assim por diante.

Os algoritmos de MD diferem primariamente nos critérios utilizados para avaliar o modelo e/ou no método de busca utilizado. Liu *et al.* (2006) advertem que não há critérios estabelecidos para se decidir quais métodos devem ser usados em dada circunstância e que muitas abordagens são aproximações heurísticas para evitar o alto custo de processamento que seria necessário para se encontrar soluções ótimas.

Kargupta *et al.* (2006) identificam três componentes primários em algoritmos de MD:

a) Representação do modelo: é a linguagem utilizada para descrever os padrões a serem descobertos;

b) critério de avaliação do modelo: afirmação quantitativa (ou função de aptidão) da qualidade que um padrão específico possui (um modelo e seus parâmetros) em alcançar as metas do processo de KDD. Modelos preditivos muitas vezes são julgados pela exatidão de previsão medida utilizando algum conjunto de dados de teste. Modelos descritivos podem ser avaliados pela novidade, utilidade e facilidade de compreensão do modelo obtido, além da exatidão;

c) método de busca: é constituído por dois componentes (busca de parâmetros e busca do modelo). Após a escolha da representação e do critério de avaliação do modelo, o problema de MD fica reduzido à tarefa de otimização (encontrar os parâmetros/modelos que satisfaçam o critério de avaliação).

Na busca, o algoritmo deve procurar os parâmetros que otimizem o critério de avaliação do modelo. A busca do modelo ocorre em um processo iterativo externo ao método de busca dos parâmetros.

### 4.3.2 Tarefas Desempenhadas por Técnicas de Mineração de dados

As técnicas de mineração de dados, conforme Datta *et al.* (2006) podem ser aplicadas a tarefas como classificação, estimativa, associação, segmentação e sumarização. Essas tarefas são descritas a seguir.

A tarefa de classificação, segundo Romão (2002), consiste em construir um modelo de algum tipo que possa ser aplicado a dados não classificados visando categorizá-los em classes. Um objeto é examinado e classificado de acordo com uma classe definida.

Romão (2002) considera que a tarefa de classificação pode ser considerada uma tarefa mal definida, indeterminística, que é inevitável pelo fato de envolver predição.

São exemplos de tarefas de classificação: classificar pedidos de créditos como de baixo, médio e alto risco; esclarecer pedidos de seguros fraudulentos; identificar a forma de tratamento na qual um paciente está mais propício a responder, baseando-se em classes de pacientes que respondem bem a determinado tipo de tratamento médico.

A estimativa, estudada por Giannella *et al.* (2006), é usada para definir um valor para alguma variável contínua desconhecida como, por exemplo, receita, altura ou saldo de cartão de crédito. Ela lida com resultados contínuos, enquanto que a classificação lida com resultados discretos. Ela pode ser usada para executar uma tarefa de classificação, convencionando-se que diferentes faixas (intervalos) de valores contínuos correspondem a diferentes classes.

Regressão, definida por Giannella *et al.* (2006), é aprender uma função que mapeia um item de dado para uma variável de predição real estimada

Como exemplos de tarefas de estimativa tem-se: estimar o número de filhos em uma família; estimar a renda total de uma família; estimar o valor em tempo de vida de um cliente; estimar a probabilidade de que um paciente morrerá baseando-se nos resultados de um conjunto de diagnósticos médicos; prever a demanda de um consumidor para um novo produto.

Neste contexto, tarefa é um tipo de problema de descoberta de conhecimento a ser solucionado.

A tarefa de associação, conforme Datta *et al.* (2006) consistem em determinar quais itens tendem a co-ocorrerem (serem adquiridos juntos) em uma mesma transação. O exemplo clássico é determinar quais produtos costumam ser colocado junto em um carrinho de supermercado, daí o termo ‘análise de *market basket*’. As cadeias de varejo usam associação para planejar a disposição dos produtos nas prateleiras das lojas ou em um catálogo, de modo que os itens geralmente adquiridos na mesma compra sejam vistos próximos entre si.

Datta *et al.* (2006) definem a tarefa de associação como uma tarefa bem definida, determinística e relativamente simples, que não envolve predição da mesma forma que a tarefa de classificação”.

Para Romão (2002) A segmentação é um processo de partição de uma população heterogênea em vários subgrupos ou clusters mais homogêneos. Na segmentação, não há classes predefinidas, os registros são agrupados de acordo com a semelhança, o que a diferencia da tarefa de classificação.

Exemplos de segmentação: agrupar os clientes por região do país, agrupar clientes com comportamento de compra similar agrupar seções de usuários Web para prever comportamento futuro de usuário.

Segundo Fayyad *et al.* (2002), a tarefa de sumarização envolve métodos para encontrar uma descrição compacta para um subconjunto de dados. Um simples exemplo desta tarefa poderia ser tabular o significado e desvios padrão para todos os itens de dados. Métodos mais sofisticados envolvem a derivação de regras de sumarização.

As tarefas de mineração de dados descritas nos parágrafos anteriores estão sumarizadas no Quadro 2 para melhorar o entendimento destas tarefas mostrando a descrição e um exemplo práticos de aplicação em empresas de diversos segmentos.

TAREFA	DESCRIÇÃO	EXEMPLOS
Classificação	Constrói um modelo de algum tipo que possa ser aplicado a dados não classificados a fim de categorizá-los em classes	Classificar pedidos de crédito Esclarecer pedidos de seguros fraudulentos. Identificar a melhor forma de tratamento de um paciente
Estimativa (ou regressão)	Usada para definir um valor para alguma variável contínua desconhecida	Estimar o número de filhos ou a renda total de uma família. Estima o valor em tempo de vida de um cliente. Estimar a probabilidade de que um paciente morrerá baseando-se nos resultados de diagnósticos médicos. Prever a demanda de um consumidor para um novo produto.
Associação	Usada para determinar quais itens tendem a co-ocorrerem (serem adquiridos juntos em uma mesma transação)	Determinar quais os produtos costumam ser colocados juntos em um carrinho de supermercado
Segmentação (ou <i>Clustering</i> )	Processo de participação de uma população heterogênea em vários subgrupos ou grupos mais homogêneos	Agrupar clientes por região do país Agrupar clientes com comportamento de compra similar Agrupar seções de usuários <i>Web</i> para prever comportamento futuro de usuário
Sumarização	Envolve métodos para encontrar uma descrição compacta para um subconjunto de dados	Tabular o significado de desvios padrão para todos os itens de dados Derivar regras de síntese

#### **Quadro 2 – Tarefas de Mineração de Dados**

Fonte: Elaborado pelo autor

### **4.3.3 Algoritmos de Mineração de dados**

Dias (2001) afirma que não há uma técnica que resolva todos os problemas de mineração de dados. Diferentes métodos servem para diferentes propósitos, cada método oferece suas vantagens e suas desvantagens. A familiaridade com os algoritmos é necessária para facilitar a escolha de uma delas de acordo com os problemas apresentados. A seguir são descritos os algoritmos de mineração de dados normalmente usadas.

A técnica de descoberta de regras de associação, conforme Liu (2006), estabelece uma correlação estatística entre certos itens de dados em um conjunto de dados.

Uma regra de associação tem a forma geral  $X_1 \wedge \dots \wedge X_n \Rightarrow Y$  [C,S], onde  $X_1, \dots, X_n$  são itens que prevêm a ocorrência de  $Y$  com um grau de confiança  $C$  e com um suporte mínimo de  $S$  e “ $\wedge$ ” denota um operador de conjunção (AND). Um exemplo desta regra pode ser que 90% dos clientes que compram

leite, também compram pão; o percentual de 90% é chamada a confiança da regra. O suporte da regra leite => pão é o número de ocorrências deste conjunto de itens na mesma transação.

A técnica de descoberta de regras de associação é apropriada à tarefa de associação.

Como exemplos de algoritmos que implementam regras de associação tem-se: Apriori, AprioriTid, AprioriHybrid, AIS, SETM e DHP.

Uma árvore de decisão, estudada por Wolff *et al.* (2006), é uma árvore na qual cada nó não terminal representa um teste ou decisão sobre o item de dado considerado. O objetivo principal é separar as classes; tuplas de classes diferentes tendem a ser alocado em subconjuntos diferentes, cada um descrito por regra simples em um ou mais itens de dados. Essas regras podem ser expressas como declarações lógicas, em uma linguagem como SQL, de modo que possam ser aplicadas diretamente a novas tuplas. Kargupta *et al.* (2006) informam que uma das vantagens principais das árvores de decisão é o fato de que o modelo é bem explicável, uma vez que tem a forma de regras explícitas.

A técnica de árvore de decisão, em geral, é apropriada às seguintes tarefas: classificação e regressão.

Alguns exemplos de algoritmos de árvore de decisão são: CART, CHAID, C5.0, Quest, ID-3, SLIQ e SPRINT.

Também conhecido como MBR (*Memory-Based Reasoning* – raciocínio baseado em memória), o raciocínio baseado em casos tem base no método do vizinho mais próximo. O MBR, conforme Rodrigues (2001), procura os vizinhos mais próximos nos exemplos conhecidos e combina seus valores para atribuir valores de classificação ou de previsão. Tenta solucionar um dado problema fazendo uso direto de experiências e soluções passadas. À distância dos vizinhos dá uma medida da exatidão dos resultados.

Na aplicação do MBR, segundo Liu *et al.*(2006), existem quatro passos importantes:

- 1) escolher o conjunto de dados de treinamento;
- 2) determinar a função de distância;

3) escolher o número de vizinhos mais próximos; e 4) determinar a função de combinação.

A técnica de raciocínio baseado em casos é apropriada às seguintes tarefas: classificação e segmentação.

Os seguintes algoritmos implementam a técnica de raciocínio baseado em casos: BIRCH, CLARANS e CLIQUE.

Os algoritmos genéticos, para Campos (2000), são métodos generalizados de busca e otimização que simulam os processos naturais de evolução. Um algoritmo genético é um procedimento iterativo para evoluir uma população de organismos e é usado em mineração de dados para formular hipóteses sobre dependências entre variáveis, na forma de algum formalismo interno.

Os algoritmos genéticos usam os operadores de seleção, cruzamento e mutação para desenvolver sucessivas gerações de soluções. Com a evolução do algoritmo, somente as soluções com maior poder de previsão sobrevivem, até os organismos convergirem em uma solução ideal.

A técnica de algoritmos genéticos é apropriada às tarefas de classificação e segmentação.

Exemplos de algoritmos genéticos: Algoritmo Genético Simples, Genitor e CHC, Algoritmo de Hillis, GA-Nuggets, GA-PVMINER.

As redes neurais, pesquisada por Guo *et al.* (2004) são uma classe especial de sistemas modelados seguindo analogia com o funcionamento do cérebro humano e são formadas de neurônios artificiais conectados de maneira similar aos neurônios do cérebro humano.

Como no cérebro humano, a intensidade de interconexões dos neurônios pode alterar (ou ser alterada por algoritmo de aprendizagem) em resposta a um estímulo ou uma saída obtida que permite a rede aprender.

Uma das principais vantagens das redes neurais é sua variedade de aplicação, mas os seus dados de entrada são difíceis de serem formados e os modelos produzidos por elas são difíceis de entender.

Para Krieger *et al.* (2003), a técnica de redes neurais é apropriada às seguintes tarefas: classificação, estimativa e segmentação.

Exemplos de redes neurais: Perceptron, Rede MLP, Redes de Kohonen, Rede Hopfield, Rede BAM, Redes ART, Rede IAC, Rede LVQ, Rede Counterpropagation, Rede RBF, Rede PNN, Rede Time Delay, Neocognitron, Rede BSB.

O Quadro 3 apresenta um resumo dos algoritmos de mineração de dados aqui descritas.

<b>Algoritmos</b>	<b>Descrição</b>	<b>Tarefas</b>
Descoberta de Regras de Associação	Estabelece uma correlação estatística entre atributos de dados e conjuntos de dados	Associação
Árvores de Decisão	Hierarquização dos dados, baseada em estágios de decisão (nós) e na separação de classes e subconjuntos.	Classificação Regressão
Raciocínio Baseado em casos	Baseado no método do vizinho mais próximo, combina e compara atributos para estabelecer hierarquia e semelhança	Classificação Segmentação
Algoritmos Genéticos	Métodos gerais de busca e otimização, inspirados na Teoria da Evolução, onde a cada nova geração, soluções melhores têm mais chance de ter “descendentes”	Classificação Segmentação
Redes Neurais Artificiais	Modelos inspirados na fisiologia do cérebro, onde o conhecimento é fruto do mapa das conexões neurais e dos pesos dessas conexões	Classificação Segmentação

**Quadro 3** – Algoritmos de mineração de dados

Fonte: Elaborado pelo autor

#### ***4.4 Utilização do KDD como ferramenta de suporte ao desenvolvimento de produtos***

Desenvolver o produto certo na hora certa, para Quintella *et al.* (2005), é um desafio para as montadoras, pois, a criação de um veículo não é uma tarefa simples e nem rápida. Mundim *et al.*(2002) informa que normalmente leva-se de três a quatro anos para que um novo produto seja desenvolvido e posto no mercado, neste meio tempo muitos fatos sociais e econômicos ocorrem.

Por exemplo, a mudança da tendência de mercado, novas modas, novas preferências entre outros. Assim, estas mudanças podem levar à inviabilidade do projeto e o prejuízo que pode chegar a bilhões de dólares.

Para evitar este risco as montadoras têm como objetivo reduzir ao máximo possível o tempo de desenvolvimento do projeto. E assim evitar que mudanças sociais acabem inviabilizando os seus projetos.

Quintella *et al.* (2005) comenta que diversas ferramentas estão sendo utilizadas para que o desenvolvimento de veículos se torne mais rápido mas a área de NVH ainda é recente e as ferramentas para análise de dados e construção de relatórios ainda apresentam um custo elevado provocando aumento dos custos nos novos projetos.

Assim, para se evitar custos, novos métodos, com custo menor, para automatizar processos manuais como a análise de dados de NVH são encarados com otimismo e boa aceitação no desenvolvimento de novos produtos na indústria automotiva.

No ambiente que se apresenta, atualmente de grande competitividade, internacionalização das operações e rápidas mudanças tecnológicas, exige-se das empresas agilidade, produtividade e alta qualidade, que dependem necessariamente da eficiência e eficácia do processo de desenvolvimento de produtos.

Para Shi *et al.* (2002), um desempenho superior deste processo torna-se, então, condição essencial para garantir linhas de produtos atualizadas tecnologicamente e com características de desempenho, custo e distribuição condizentes com o atual nível de exigência dos consumidores.

É importante notar que, segundo Arbix e Veiga (2004), o desenvolvimento de produtos deve ter uma abordagem de integração dos vários tipos de sistemas para suportar o projeto e a operação de inúmeras e complexas atividades de engenharia. Ou seja, deve ter uma abordagem multidisciplinar.

Este desenvolvimento requer também o trabalho em equipe, para Baxter (2003), a aplicação de práticas simultaneamente e diversos métodos de desenvolvimento, provocando uma intensa e eficiente interação entre diferentes áreas da engenharia, a fim de projetar melhores produtos. Caso contrário, a fragmentação dos conhecimentos destas áreas pode trazer sérias conseqüências para as atividades de projeto, nas quais a criatividade do projetista pode ser limitada pelo seu alto grau de especialização.

Para que esta interação ocorra é necessário que os relatórios gerados possam ser acessados em qualquer *desktop* autorizado<sup>2</sup> e em uma aplicação compatível.

## **5 Ferramenta Computacional Proposta**

Com base na revisão, mostrada nos capítulos anteriores, apontou-se tendências e necessidades atuais da indústria automotiva e na situação atual do mercado automotivo, chegou-se à ferramenta para exemplificar a possibilidade de criar ferramentas de baixo custo e grande utilidade para agilizar o setor de engenharia de produto mais especificamente na área de NVH a qual depende diretamente de recursos computacionais para que os dados de teste possam ser adquiridos e tratados.

Notou-se que na empresa, na qual o estudo foi realizado, o pacote MS-Office estava presente em todas as estações e que, a partir do perfil de acesso do engenheiro, poder-se-ia acessar qualquer relatório gerado.

Decidiu-se então gerar uma ferramenta que automatizasse, por meio do processo de KDD, a geração de relatórios para NVH pensando-se em ampliar esta automação para outras áreas da engenharia como motor e câmbio, por exemplo.

O que se pretende é automatizar ao máximo possível a geração de relatórios para NVH aliado ao menor custo possível.

Reed (2002) afirma que, na indústria automotiva, o processo de KDD pode ser utilizado em qualquer fase da engenharia de produto, pois, para o desenvolvimento de qualquer componente automotivo necessita-se de dados e de relatórios de testes.

Portanto, pretende-se aplicar as fases do KDD com foco em automatizar e agilizar o processo de geração de relatórios para NVH, pois, esta área utiliza muitos recursos computacionais, além do que existe grande interesse em criar novas ferramentas de baixo custo, para agilizar as medições de NVH.

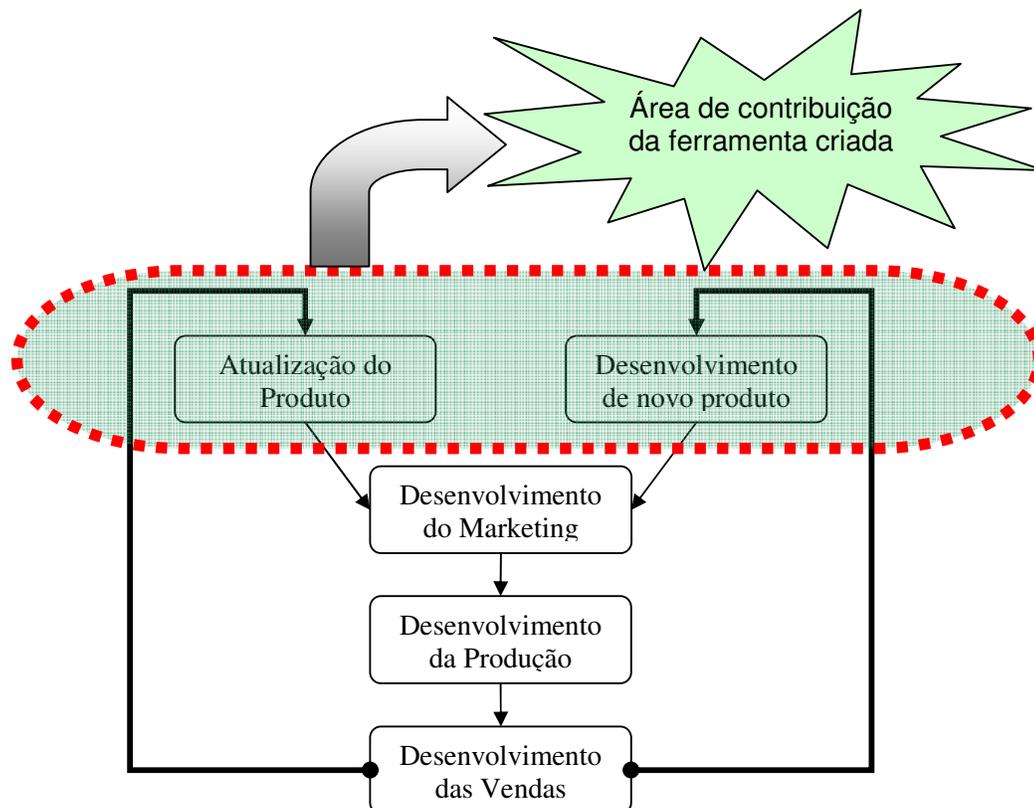
---

<sup>2</sup> *Desktop* autorizado: um terminal de computador, conforme Shi *et al.* (2002), baseado em arquitetura PC, com acesso via perfil de usuário (senha) disponível para a realização de atividades da área de engenharia de produto.

Principalmente nas fases de desenvolvimento de novos produtos e de atualização de produto - cognominado como *facing*<sup>3</sup> - os custos com NVH são muito consideráveis e a redução de custos de projeto de melhoria de produtos impacta principalmente no preço final do produto e conseqüentemente na sua competitividade frente aos seus concorrentes.

Para isto procurou-se focar principalmente estes dois estágios do desenvolvimento de produto para que se possa maximizar os ganhos com o desenvolvimento do software a um custo baixo.

A figura 24 ilustra o ciclo de desenvolvimento de produto da área automotiva e mostra em qual fase do ciclo a ferramenta computacional contribui para aumento da competitividade da indústria automotiva.



**Figura 24** - Ciclo de desenvolvimento de Produto  
Fonte: Adaptado de Mundim *et al.*(2002)

<sup>3</sup> *Facing*: Consoni *et al.* (2006) definem como um evento de *marketing stretching*, ou seja, sobrevida para o projeto do produto traduzindo-se em mudanças estéticas e de acessórios nos automóveis.

### **5.1 Detalhamento da Ferramenta Computacional para automação da análise de dados gerados por equipamentos de NVH**

A ferramenta computacional tem a finalidade de propor uma aplicação de mineração de dados para NVH. A ferramenta computacional realizará as fases do KDD até o tratamento dos dados, após esta fase será necessário a escolha de um algoritmo para mineração dos dados, o que não é o contexto deste trabalho que é apenas mostrar a viabilidade da mineração de dados para NVH, não chegando a ponto de realmente minerar dados.

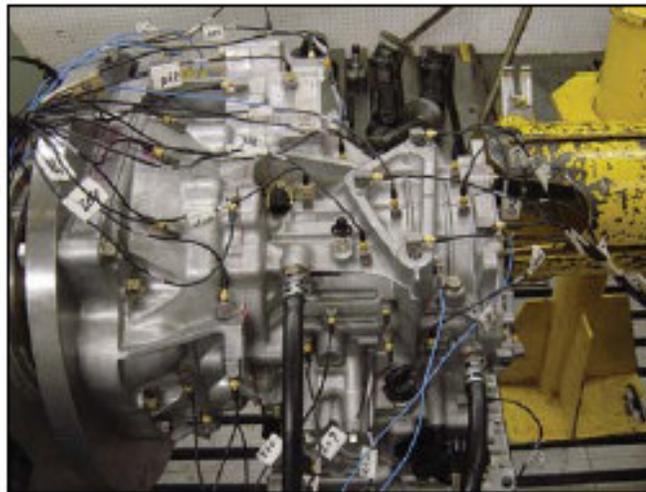
A ferramenta computacional proposta nasceu de uma necessidade da área de NVH, na qual existia um “gargalo” com a geração de relatórios o que cria empecilhos ao processo de tratamento de dados do equipamento que faz aquisições de ruídos e vibração em bancadas de testes de componentes mecânicos. Este equipamento possui um software especialista<sup>4</sup> que traduz os dados aquisitados pelos acelerômetros, microfones e tacômetro, para um formato que possa ser manipulado por usuários comuns. O formato de arquivo que este software exporta é o TXT. A grande dificuldade é justamente a importação, filtragem, ordenação, cálculos estatísticos, geração dos relatórios e geração dos gráficos que são feitos todos no MS-Excel em um processo quase que artesanal, gerando imperfeições principalmente com relação a dificuldade de não se esquecer de importar para o MS-Excel nenhum dos inúmeros arquivos TXT que são gerados para cada canal e para cada corrida. Por exemplo, em uma configuração comum utiliza-se 120 canais e 15 corridas para se realizar um teste, conseqüentemente serão criados 1800 arquivos TXT para cada teste para um equipamento como este mostrado na figuras 25 e para a instrumentação feita conforme a figura 26.

---

<sup>4</sup> Software Especialista um programa de computador, segundo Shi *et al.* (2002), criado especificamente para uma finalidade, tornando inviável a utilização deste software para outros fins se não ao que ele foi criado. O software para controle de tornos CNC é um exemplo de software especialista.



**Figura 25** - Foto do equipamento de aquisição



**Figura 26** - Foto de uma peça automotiva instrumentada para medição com o equipamento mostrado na figura 25

Foram criadas macros em linguagem VBA (*Visual Basic Application*) para MS-Excel. Estas macros substituem o trabalho repetitivo realizado por técnicos em uma área difícil da realização de testes de NVH.

A macro automatiza as tarefas passíveis de automação, mais particularmente a de análise de dados, geração de relatórios e gráficos em MS-Excel, pois, estes processos pertencem ao processo de produção de testes de NVH e normalmente levam um tempo de execução impraticável para os tempos atuais

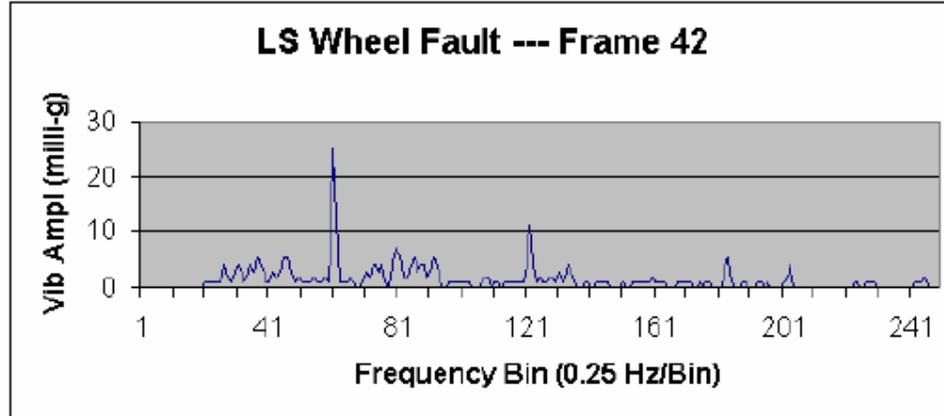


Frame	RPM	OSS	VS	Total Energy	Engine Energy	Drive Energy	Wheel Energy
1	3066	2834	65				
2	3336	2980	67				
3	3386	3054	68				
4	3421	3124	69				
5	3459	3152	70				
6	3434	3188	70				
7	3447	3157	70				
8	2385	3154	70	44	8	0	31
9	2361	3141	70	43	7	0	26
10	2309	3123	69	37	4	3	24
11	2281	3090	69	31	4	3	21
12	2275	3053	68	29	4	0	21
13	2226	3026	68	27	3	0	20

**Figura 28** - Dados tratados em MS-Excel ( processo manual).

Os dados depois de importados para o MS-Excel, filtrados e tratados, tudo isto manualmente, ficam com o aspecto mostrado na figura 28 percebendo-se que o formato original é organizado para que este fique com um aspecto mais apresentável e finalmente filtrado para que se possa analisá-los. Deve-se frisar que para cada corrida<sup>5</sup> cria-se uma planilha como esta. Conseqüentemente cria-se uma planilha apenas para representar os 120 canais medidos pelo aparelho em questão.

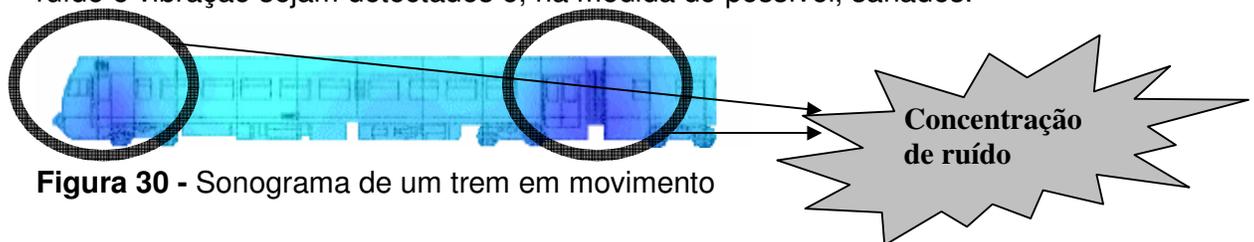
<sup>5</sup> Corrida é a execução de um teste, normalmente realizam-se outros testes iguais para se ter a certeza que os resultados não foram influenciados por outros fatores como temperatura do ambiente e vento. Cada vez que se repete o teste ocorre-se mais uma corrida.



**Figura 29** - Representação gráfica dos dados tratados (processo manual).

Conforme Koko (2002), com os resultados numéricos obtidos cria-se um gráfico como este mostrado na figura 29, por planilha criada, para que estas possam ser analisadas mais facilmente pelo engenheiro.

O resultado final do teste é a criação de uma gravura no formato da máquina testada, mostrada na figura 30 para que os pontos de maior concentração de ruído e vibração sejam detectados e, na medida do possível, sanados.



**Figura 30** - Sonograma de um trem em movimento

Nesta gravura que, segundo o trabalho de Fayyad, *et al.* (2002), mostram-se os pontos de concentração de ruídos e vibração de um trem em movimento, são as áreas próximas aos eixos e rodas, pois, por convenção da área de NVH as regiões mais escuras apresentam maior concentração de ruídos e vibrações.

Fayyad, *et al.* (2002) informam ainda que estas conclusões são tiradas pela análise dos dados, já tratados pelo técnico responsável pelas medições de acelerômetros e microfones instalados em pontos estratégicos da máquina.

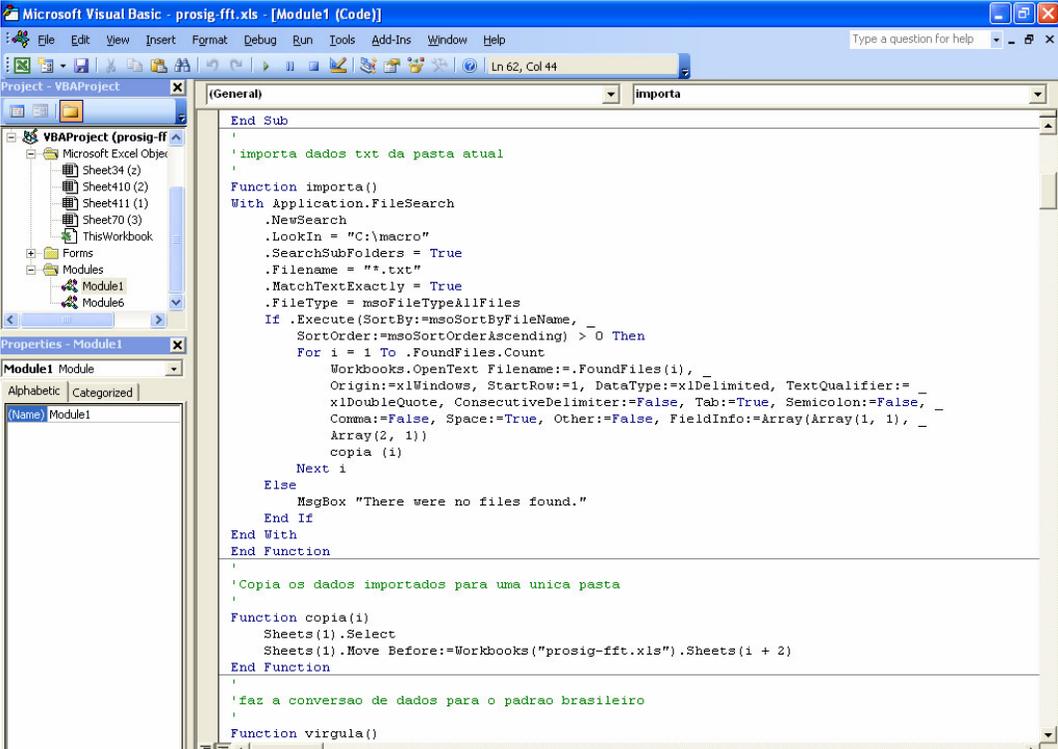
Evidentemente, conforme Koko (2002), o processo de criação destas gravuras faz parte da própria análise dos dados mesmo assim o bom resultado se obtém com dados confiáveis e a última fase do KDD, que é o *data mining*, pode ser

utilizada nestas gravuras para se descobrir, exatamente, as fontes de ruído e vibração, como apresentado, e não apenas uma localização genérica destas fontes.

## 5.2 Estrutura da ferramenta computacional

Para construir a ferramenta computacional foi utilizada a linguagem VBA (interpretada, isto é, uma linguagem que não é executada diretamente pelo computador). Para executar o programa em linguagem VBA, segundo Stein (2001), o computador deverá ler e executar cada linha do programa o que gera maior "lentidão" do sistema.

Mesmo assim a linguagem VBA foi utilizada, pois, era a única que era possível de ser utilizada em qualquer computador da empresa, tendo, para isto, apenas o MS Office instalado no computador. A figura 31 apresenta um ambiente típico de programação da linguagem VBA.



```
Microsoft Visual Basic - prosig-fft.xls - [Module1 (Code)]
Type a question for help

Project - VBAProject
VBAPROJECT (prosig-fft)
  Microsoft Excel Object Model
    Sheet34 (2)
    Sheet410 (2)
    Sheet411 (1)
    Sheet70 (3)
    ThisWorkbook
  Forms
  Modules
    Module1
    Module6

Properties - Module1
Module1 Module
  (Name) Module1

End Sub

'importa dados txt da pasta atual
Function importa()
With Application.FileSearch
  .NewSearch
  .LookIn = "C:\macro"
  .SearchSubFolders = True
  .Filename = "*.txt"
  .MatchTextExactly = True
  .FileType = msoFileTypeAllFiles
  If .Execute(SortBy:=msoSortByFileName, _
    SortOrder:=msoSortOrderAscending) > 0 Then
    For i = 1 To .FoundFiles.Count
      Workbooks.OpenText Filename:=.FoundFiles(i), _
        Origin:=xlWindows, StartRow:=1, DataType:=xlDelimited, TextQualifier:= _
        xlDoubleQuote, ConsecutiveDelimiter:=False, Tab:=True, Semicolon:=False, _
        Comma:=False, Space:=True, Other:=False, FieldInfo:=Array(Array(1, 1), _
        Array(2, 1))
      copia i)
    Next i
  Else
    MsgBox "There were no files found."
  End If
End With
End Function

'Copia os dados importados para uma unica pasta
Function copia(i)
  Sheets(i).Select
  Sheets(i).Move Before:=Workbooks("prosig-fft.xls").Sheets(i + 2)
End Function

'faz a conversao de dados para o padrao brasileiro
Function virgula()
```

Figura 31 - Ambiente de programação da linguagem VBA

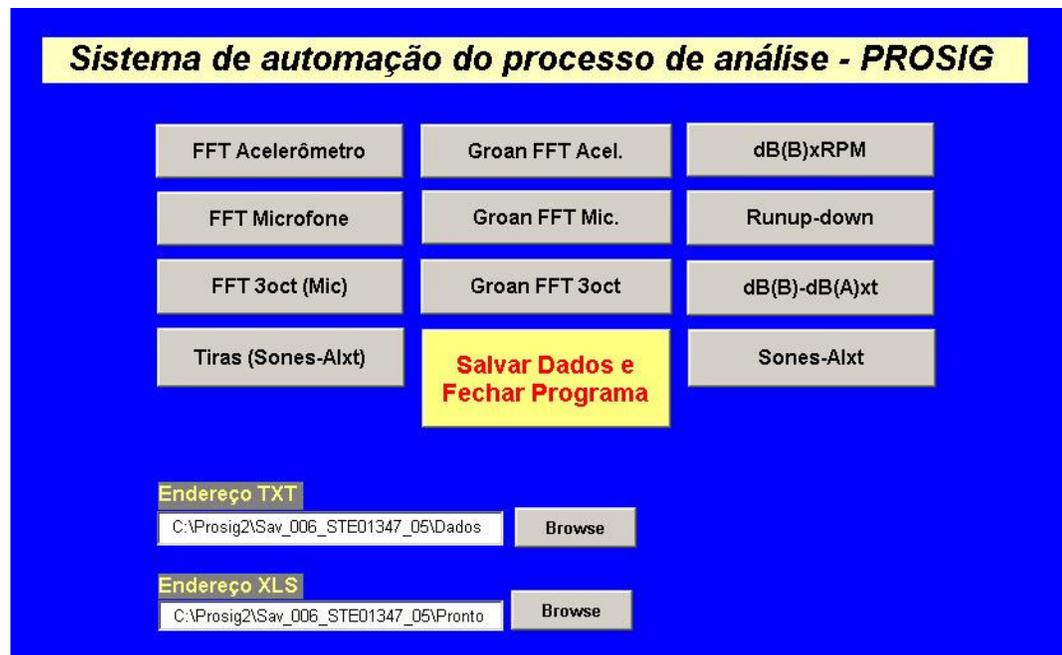
O processamento é todo feito utilizando-se memória e processador para que tempo seja ganho. O MS-Excel é utilizado apenas como um meio de mostrar os resultados dos cálculos e das medições processados pelo VBA.

Os gráficos são gerados automaticamente por intermédio de comandos do VBA para o MS-Excel com os dados existentes em memória e não com os dados da planilha, permitindo sejam elaborados mais rapidamente.

Com exceção da linguagem VBA que, embora seja um pouco mais lenta, toda a ferramenta foi projetada para reduzir ao máximo possível o tempo de processamento fazendo a ferramenta computacional trabalhar com o máximo possível de velocidade de processamento.

Desde o início da construção da ferramenta computacional o propósito foi seguir o processo de KDD permitindo que esta seja uma boa amostra da capacidade desta ferramenta para melhorar a produtividade da área de engenharia de produto na indústria automotiva.

### 5.3 Tela principal da Ferramenta Computacional



**Figura 32** - Tela principal da ferramenta computacional

Esta ferramenta computacional foi denominada Sistema de automação do processo de análise.

A tela principal da ferramenta computacional foi projetada com uma interface bastante amigável para facilitar sua operação sem a necessidade de profundos conhecimentos técnicos da área de informática.

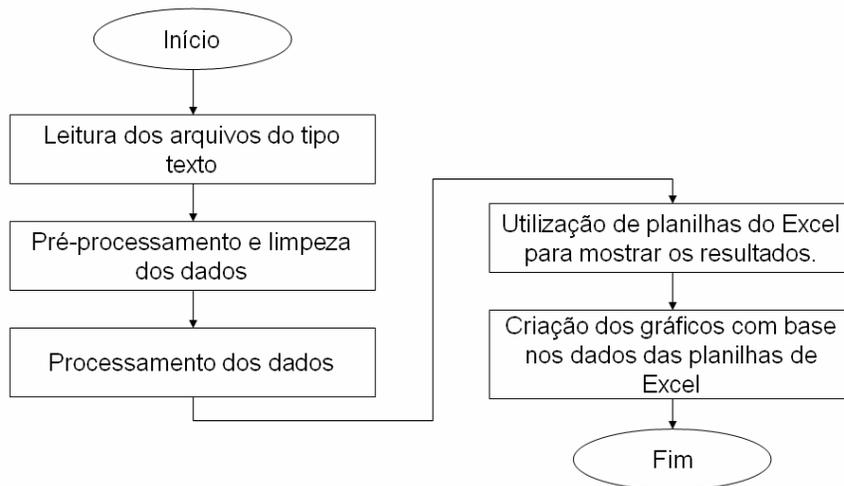
A simplicidade foi um dos fatores mais importantes para o sucesso da automação do processo de análise de dados provenientes de testes de NVH, pois, nem todos técnicos possuíam conhecimento na área de informática suficiente para realização das análises de NVH. Apenas algumas pessoas chave eram aptas a realizar as análises de NVH, provocando atrasos por falta de técnicos habilitados.

Com a implantação da nova ferramenta computacional todos os técnicos foram treinados para operar a ferramenta automatizado permitindo que um maior número de técnicos ficassem aptos a realizar as análises.

O Sistema de Automação do Processo de Análise é composto pelos seguintes módulos de funcionalidades:

- FFT Acelerômetro
- FFT Microfone
- FFT Terço de Oitava
- Tiras Sones, Índice de Articulação no tempo
- DBB no tempo
- Groan FFT Acelerômetro
- Groan FFT Microfone
- Groan FFT Terço de Oitava
- DBB por RPM
- Runup e Rundown
- dBB e dBA no tempo
- Sones, Índice de Articulação no tempo

Basicamente todos os módulos da ferramenta computacional funcionam de maneira semelhante, passando pelas mesmas fases. As fases para análise e apresentação dos resultados são mostradas na figura 33.



**Figura 33** – Fluxograma do funcionamento dos módulos

A seguir, é feito um detalhamento de cada um desses módulos de funcionalidades que figuram na tela principal da ferramenta.

#### **5.4 Módulo “FFT Acelerômetro”**

A transformada de Fourier (TF) é uma das ferramentas matemáticas mais importantes no processamento e análise de imagens. Foi desenvolvida por Jean-Baptiste Fourier em 1807 e tem sido usada para muitas aplicações.

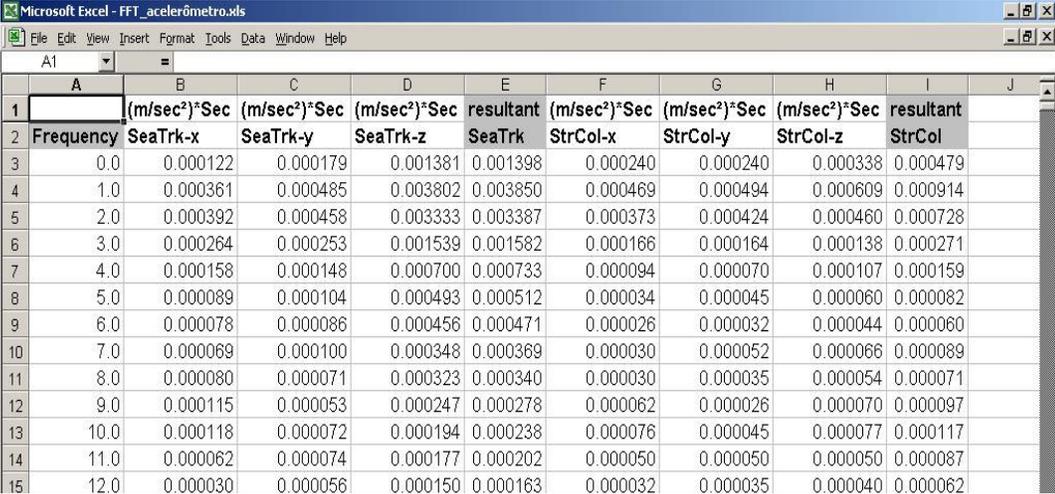
Em função da matemática numérica, pode-se dizer que seu grande boom só se manifestou a partir de 1965 quando Cooley e Tukey criaram um algoritmo para usar com computadores, chamado *Fast Fourier Transform* (FFT), ou seja, transformada de Fourier rápida. Este algoritmo reduz consideravelmente a quantidade necessária de operações matemáticas.

O FFT é utilizado para acelerômetros para se eliminar imperfeições nas medições realizadas por este tipo de equipamento, permitindo que o requisitante do teste possa ter uma visão mais precisa das medições realizadas, eliminando-se ruídos provocados por fatores externos e não interessantes para medição.

Estes fatores externos podem ser vento lateral, imperfeições na pista de testes, entre outros.

### 5.4.1 *Fast Fourier Transform* (FFT).

A TF de uma imagem é apropriada para amostras que têm um aspecto periódico. Katagiri *et al.* (2004) informa que ela é utilizada para eliminar frequências periódicas diferentes daquelas da periodicidade da amostra e que introduzem ruído coerente. Mas a TF pode também introduzir artefatos se não for usada corretamente, especialmente em amostras de aspecto aperiódico. Isto acontece, pois a TF utiliza um algoritmo baseado em funções periódicas. Entretanto, os dados obtidos podem conter diversos componentes de frequências que não têm uma relação inteira com o período básico da TF e, portanto podem ser automaticamente considerados erros e apagados da imagem.

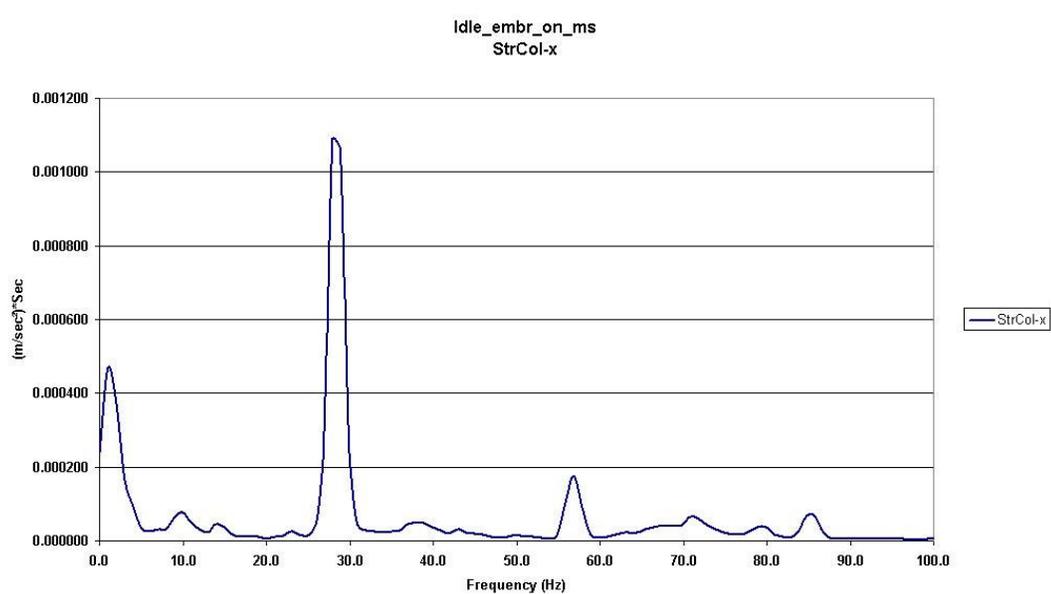


	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1		(m/sec <sup>2</sup> )*Sec	(m/sec <sup>2</sup> )*Sec	(m/sec <sup>2</sup> )*Sec	resultant	(m/sec <sup>2</sup> )*Sec	(m/sec <sup>2</sup> )*Sec	(m/sec <sup>2</sup> )*Sec	resultant	
2	Frequency	SeaTrk-x	SeaTrk-y	SeaTrk-z	SeaTrk	StrCol-x	StrCol-y	StrCol-z	StrCol	
3	0.0	0.000122	0.000179	0.001381	0.001398	0.000240	0.000240	0.000338	0.000479	
4	1.0	0.000361	0.000485	0.003802	0.003850	0.000469	0.000494	0.000609	0.000914	
5	2.0	0.000392	0.000458	0.003333	0.003387	0.000373	0.000424	0.000460	0.000728	
6	3.0	0.000264	0.000253	0.001539	0.001582	0.000166	0.000164	0.000138	0.000271	
7	4.0	0.000158	0.000148	0.000700	0.000733	0.000094	0.000070	0.000107	0.000159	
8	5.0	0.000089	0.000104	0.000493	0.000512	0.000034	0.000045	0.000060	0.000082	
9	6.0	0.000078	0.000086	0.000456	0.000471	0.000026	0.000032	0.000044	0.000060	
10	7.0	0.000069	0.000100	0.000348	0.000369	0.000030	0.000052	0.000066	0.000089	
11	8.0	0.000080	0.000071	0.000323	0.000340	0.000030	0.000035	0.000054	0.000071	
12	9.0	0.000115	0.000053	0.000247	0.000278	0.000062	0.000026	0.000070	0.000097	
13	10.0	0.000118	0.000072	0.000194	0.000238	0.000076	0.000045	0.000077	0.000117	
14	11.0	0.000062	0.000074	0.000177	0.000202	0.000050	0.000050	0.000050	0.000087	
15	12.0	0.000030	0.000056	0.000150	0.000163	0.000032	0.000035	0.000040	0.000062	

**Figura 34** - Dados resultantes de uma análise de FFT Acelerômetro, já tratados pelo processo automatizado

Esta é uma medição baseada em frequência de vibração com unidade de medida em Hertz (Hz). Neste caso, o acelerômetro fornece informações em metros por segundo ao quadrado (m/sec<sup>2</sup>) em três sentidos, X horizontal, Y diagonal e Z vertical.

Com os dados dos três eixos X, Y e Z, é calculado a resultante que é a área da vibração gerada pelo corpo que o acelerômetro foi instalado.



**Figura 35** - Representação gráfica dos dados gerados pela análise FFT Acelerômetro (processo automatizado)

Por exemplo, um experimento (figura 35) procura-se em qual frequência ocorre maior vibração e interpretando-se os dados e o gráfico nota-se que o maior pico de vibração ocorre a 28 hz. Assim podem-se tomar providências para reduzir a vibração do automóvel nesta faixa de frequência.

Sabe-se assim qual é a pior faixa de frequência que ocorre os piores resultados e qual a faixa de frequência se deve atacar para se reduzir a vibração no ponto que está sendo medido.

### 5.5 Módulo “FFT Microfone”

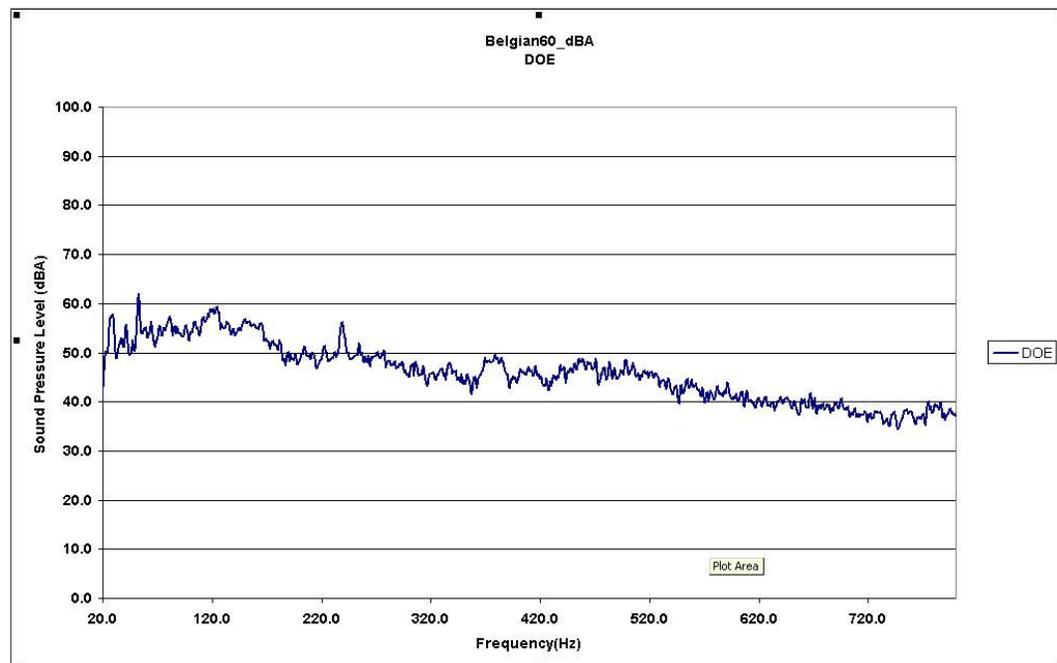
Assim como na análise FFT Acelerômetro, o FFT microfone é utilizado para se eliminar imperfeições nas medições realizadas por microfones, permitindo que o requisitante do teste possa ter uma visão mais precisa das medições realizadas, eliminando-se ruídos provocados por fatores externos e não interessantes para medição.

Os fatores externos podem ser vento lateral, imperfeições no acabamento, imperfeições nos sulcos dos pneus, entre outros.

	A	B	C	D	E
1	dBA				
2		Pa(dB)A		Pa(dB)A	
3	Frequency	DOE	Overall	RSPOE	Overall
4	0.0	0.0	78.9	0.0	80.9
5	1.0	-66.6		-65.7	
6	2.0	-40.5		-40.2	
7	3.0	-26.1		-26.7	
8	4.0	-15.4		-15.6	
9	5.0	-8.5		-7.6	
10	6.0	0.3		0.9	
11	7.0	5.3		5.3	
12	8.0	5.4		6.1	
13	9.0	10.8		10.8	
14	10.0	19.0		20.0	
15	11.0	26.5		27.3	
16	12.0	29.9		30.2	
17	13.0	30.7		30.0	
18	14.0	30.0		28.7	
19	15.0	29.9		25.2	
20	16.0	29.3		25.6	
21	17.0	32.1		27.3	
22	18.0	33.5		29.5	
23	19.0	36.6		33.0	
24	20.0	41.2		34.3	
25	21.0	44.6		37.9	
26	22.0	47.8		40.0	
27	23.0	50.2		42.1	

**Figura 36** - Dados gerados pelo processo de análise FFT Microfone - processo automatizado

Os dados gerados pela análise FFT Microfone são atrelados na frequência em Hz, os dados medidos pelo microfone são fornecidos em pascais. Os dados negativos são ignorados pela ferramenta computacional e o *Overall* é o máximo valor provável de ruído capaz de ser emitida pela fonte medida pelo microfone.



**Figura 37** - Representação gráfica dos dados gerados pela análise FFT Microfone - processo automatizado

Quando analisa-se dados de NVH, normalmente, procura-se picos para verificar qual a frequência que apresenta piores resultados.

As informações de ruído são muito semelhantes e de vez em quando é difícil identificar os picos de concentração de ruído.

O gráfico é uma ferramenta muito importante, pois, fornece uma visão geral dos dados permitindo que quem vai analisar os dados veja não somente um pico, mas os picos existentes em toda a faixa de frequência analisada.

### **5.6 Módulo “Terço de oitava”**

Frequência é um fator importante na maioria das medidas acústicas. O som ocorre quando uma fonte vibratória causa pequenas flutuações no ar; e frequência é a taxa de repetição dessas vibrações.

A frequência é medida em Hertz (Hz), onde 1 Hz = 1 ciclo por segundo. Um jovem, com audição normal pode detectar uma ampla gama de frequências, de aproximadamente 20 a 20000 Hz.

Para lidar com um largo espectro, acústicos geralmente dividem a gama de frequências em seções chamadas de bandas de oitava.

Cada banda de oitava é identificada pela frequência central. Para as bandas de oitavas padrão, estas frequências centrais são: 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 e 8000 Hz. Como pode-se observar, a razão entre sucessivas frequências é de 2:1, assim como uma oitava na música.

Esta característica também está relacionada com a sensibilidade do ouvido com a frequência, na qual uma mudança na frequência é mais facilmente distinguível em frequências baixas do que em altas.

Por exemplo, a variação de 100 para 105 Hz é mais facilmente perceptível do que a variação de 8000 para 8005 Hz. Bandas de oitavas de alta frequência contêm uma gama maior de frequências do que as bandas de oitava de baixa frequência, mas elas são percebidas igualmente, pelo ouvido humano.

Para obter uma informação mais detalhada do espectro sonoro, são frequentemente utilizadas bandas de um terço de oitavas.

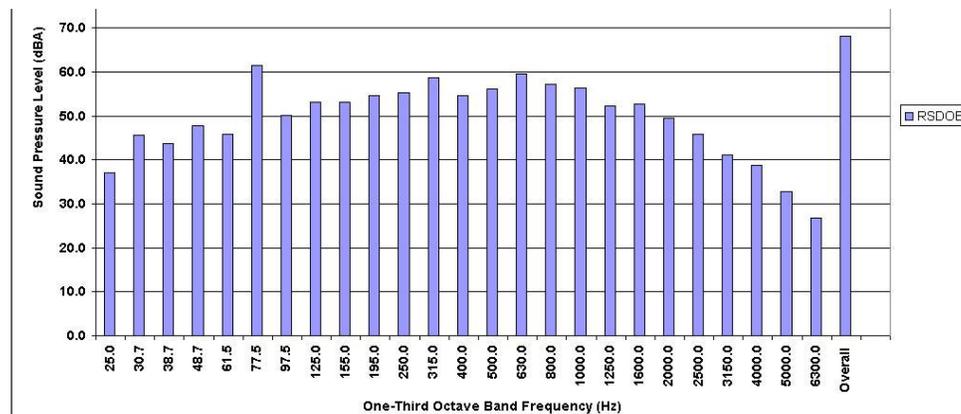
As frequências centrais padronizadas para as bandas de um terço de oitavas são: 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000 Hz, etc.

Note que uma banda de oitava contém a banda de um terço de oitava da frequência central mais as bandas de um terço de oitava adjacentes.

	A	B	C	D
1	dB(A)			
2		Pa(dB)A	Pa(dB)A	
3	Frequency	DOE	RSDOE	
4	25.0	-3.2	36.9	
5	30.7	3.7	45.6	
6	38.7	1.6	43.6	
7	48.7	6.5	47.8	
8	61.5	2.9	45.7	
9	77.5	16.4	61.5	
10	97.5	12.2	50.1	
11	125.0	15.7	53.1	
12	155.0	16.1	53.1	
13	195.0	19.5	54.5	
14	250.0	23.7	55.2	
15	315.0	23.7	58.6	
16	400.0	23.3	54.6	
17	500.0	24.7	56.2	
18	630.0	20.7	59.4	
19	800.0	23.6	57.2	
20	1000.0	23.5	56.2	
21	1250.0	19.6	52.3	
22	1600.0	17.2	52.6	
23	2000.0	14.9	49.5	
24	2500.0	8.0	45.8	
25	3150.0	5.8	41.1	
26	4000.0	4.8	38.7	
27	5000.0	-1.1	32.7	
28	6300.0	-6.4	26.9	
29	Overall	32.9	68.1	

**Figura 38** – Dados tratados e filtrados para 1/3 de oitava – processo automatizado

Os dados apresentados na figura 38 são o resultado da filtragem das informações para que estas forneçam valores em 1/3 de oitava. Este processo era extremamente demorado pelas dificuldades que os técnicos tinham para filtrar as informações e adaptá-las para as frequências de 1/3 de oitava. A figura 39 apresenta uma representação gráfica 1/3 de oitava a partir de um tratamento automatizado dos dados.



**Figura 39** - Representação gráfica 1/3 de oitava – processo automatizado

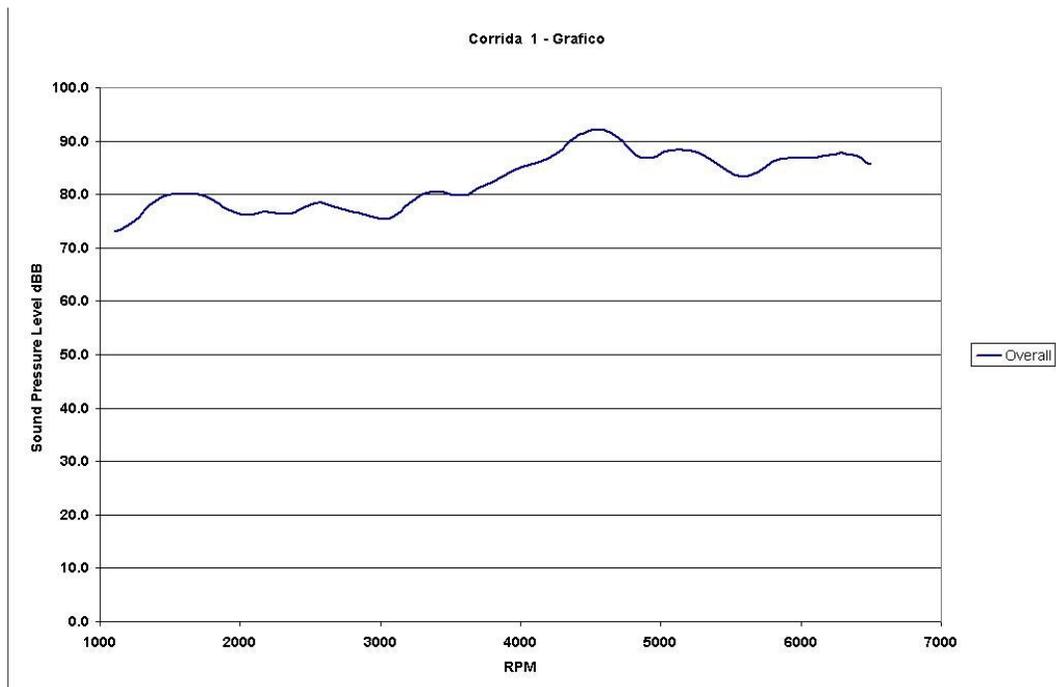
### 5.7 Módulo “DBB x RPM”

O problema básico que se tem de enfrentar é o seguinte: a parte sensível do decibelímetro é um microfone e microfones reagem igualmente a todas as frequências que compõem um som, por outro lado, o ouvido humano reage diferentemente para cada frequência. A saída é se usar correções que variam com as frequências. Visto que a intensidade do som também influencia nossa percepção, tradicionalmente usa-se três escalas de dB corrigidos, chamadas dBA, dBB e dBC e que são aplicadas em níveis de sonoridade distintos:

- A escala dBA é mais adequada para representar a resposta humana para sons de até 55 dB;
- A escala dBB é mais usada para sons fortes, de 55 a 85 dB;
- A escala dBC é mais aplicável a sons muito fortes, acima de 85 dB.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	dBB													
2		Pa(dB)												
3	RPM	0.5(B)	1(B)	1.5(B)	2(B)	2.5(B)	3(B)	3.5(B)	4(B)	4.5(B)	5(B)	5.5(B)	6(B)	6.5(B)
4	1100	31.8	48.3	64.1	69.6	67.4	54.0	67.2	67.7	67.8	64.3	64.6	65.2	65.0
5	1150	33.0	49.8	60.0	70.9	67.4	55.9	66.3	67.0	66.6	64.4	64.8	65.1	65.1
6	1200	33.7	51.0	61.9	72.4	69.0	56.2	64.9	66.5	65.6	65.3	64.3	64.3	64.5
7	1250	34.5	52.4	65.3	73.7	70.2	56.9	65.0	67.4	66.9	65.1	63.1	63.3	63.4
8	1300	37.7	54.0	65.0	74.9	70.7	57.2	66.2	69.3	69.1	66.2	62.6	62.9	62.9
9	1350	41.4	56.9	62.7	76.2	71.7	56.9	68.4	71.0	70.7	64.4	62.5	63.1	62.9
10	1400	43.8	59.1	62.7	77.4	71.7	56.1	70.6	71.9	71.6	65.3	62.8	63.4	62.5
11	1450	45.1	60.0	60.3	78.3	70.5	56.0	70.2	72.2	71.0	63.4	63.7	63.9	63.2
12	1500	45.7	60.9	58.4	78.8	68.2	57.4	69.9	72.2	70.8	65.0	64.7	64.0	64.1
13	1550	46.1	63.0	57.9	78.8	68.7	57.8	70.2	72.2	71.1	64.2	65.1	64.3	63.7
14	1600	46.3	65.6	59.1	78.7	67.1	58.2	69.0	72.4	70.9	63.0	64.4	64.3	63.8
15	1650	46.7	67.2	59.5	78.5	65.5	57.6	68.7	72.7	71.6	63.0	63.3	63.7	61.4
16	1700	47.5	67.4	61.9	78.3	64.3	56.6	70.7	72.6	69.8	61.4	62.8	63.2	61.5
17	1750	48.3	66.2	60.8	78.1	61.9	56.2	70.9	71.7	64.8	60.1	61.9	62.8	62.2
18	1800	48.7	64.2	58.4	77.7	61.6	56.5	69.3	69.9	62.0	60.1	62.4	63.6	63.1
19	1850	49.3	62.7	57.7	76.9	61.6	56.7	66.8	67.6	62.0	60.1	63.3	64.7	64.2
20	1900	50.3	62.6	59.7	75.8	59.0	55.0	63.7	66.1	64.3	60.4	64.3	65.1	64.3
21	1950	50.9	63.2	59.2	74.6	58.5	53.9	61.7	67.2	66.7	60.4	64.4	65.1	63.7
22	2000	50.9	63.7	59.1	73.4	57.1	54.2	61.2	69.2	67.7	59.5	63.7	64.6	62.6
23	2050	51.3	64.0	58.1	72.1	56.4	53.7	63.7	71.0	69.3	59.3	63.2	64.1	62.8
24	2100	52.0	64.0	58.5	71.3	56.9	54.6	65.4	72.4	69.6	58.2	62.1	64.1	63.4
25	2150	52.6	63.5	59.3	70.5	58.2	57.9	66.4	73.2	68.5	57.6	61.8	64.4	63.5
26	2200	52.5	61.9	60.2	69.9	58.3	58.9	68.0	73.4	66.8	57.4	63.4	64.7	63.9
27	2250	51.5	59.6	60.9	69.4	55.0	60.5	68.9	73.1	64.5	56.5	63.4	64.8	62.0
28	2300	51.6	58.1	60.9	68.8	54.6	61.4	69.0	72.4	63.2	56.3	62.4	64.9	62.6
29	2350	52.8	58.5	60.0	68.5	54.7	62.2	68.0	72.0	67.1	56.3	61.5	65.4	64.4
30	2400	54.5	59.8	57.3	68.7	54.5	62.7	66.8	73.0	70.0	56.1	63.3	65.9	64.8
31	2450	56.0	60.5	55.6	68.7	55.8	62.7	66.7	74.6	70.9	56.4	64.2	66.3	63.6

Figura 40 - dados coletados em dBB – processo automatizado



**Figura 41** - representação gráfica dos dados em dBB

A figura 40 apresenta um exemplo de dados em dBB (processo automatizado) e a figura 41 é a representação gráfica desses dados.

### **5.8 Módulo “Run up – Run down”**

A manobra de *Run up* consiste em testar o comportamento do veículo em toda a faixa de rotação do veículo, iniciando-se da velocidade mínima da marcha até a velocidade máxima. Esta operação deve ser repetida em cada marcha do veículo.

Normalmente estes testes são feitos em pista e em cada marcha do veículo. Em termos de periculosidade este é um dos testes de NVH mais arriscados, pois, para se conseguir chegar a explorar todo o range de rotação do motor é necessário grande habilidade do piloto.

O *run down* é o mesmo teste anteriormente citado só que ao contrário, isto é, a manobra se inicia com a velocidade máxima da marcha, retira-se a aceleração e verifica-se a queda da rotação do motor do veículo até que se chegue a rotação mínima do veículo.

A figura 42 ilustra os dados coletados em manobra de run-up.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	RSDOE_1	RSDOE_1.5	RSDOE_2	RSDOE_2.5	RSDOE_3	RSDOE_3.5	RSDOE_4	RSDOE_4.5	RSDOE_5	RSDOE_5.5	RSDOE_6	RSDOE_6.5	RSDOE_7	
2	1(A)	1.5(A)	2(A)	2.5(A)	3(A)	3.5(A)	4(A)	4.5(A)	5(A)	5.5(A)	6(A)	6.5(A)	7(A)	
3	RPM	Pa(dB)	Pa(dB)											
4	1100	13.9	29.5	41.8	40.4	37.5	37.7	45.5	36.2	34.4	35.8	37.6	46.0	47.9
5	1150	17.2	31.0	37.5	38.5	36.4	35.6	40.2	35.1	32.8	35.0	41.1	45.7	44.7
6	1200	16.5	31.0	39.0	39.5	35.0	35.9	43.3	37.8	35.0	35.8	44.5	45.5	42.1
7	1250	17.1	31.2	38.8	41.3	38.0	37.4	44.2	34.1	32.4	40.8	47.9	45.3	39.3
8	1300	22.5	36.6	41.3	37.7	40.0	36.7	43.6	33.9	36.3	42.0	44.2	42.3	38.7
9	1350	21.1	37.4	48.6	37.3	40.7	40.4	41.1	36.4	40.0	47.4	43.9	41.1	39.7
10	1400	26.6	37.7	51.1	37.2	38.7	38.6	40.2	36.4	42.0	43.3	39.1	37.4	37.1
11	1450	28.4	36.1	49.5	37.1	37.9	38.9	35.8	36.7	45.6	46.4	41.1	36.8	40.6
12	1500	31.9	39.6	47.0	37.1	38.5	35.9	36.2	37.6	46.7	41.5	37.0	38.9	41.6
13	1550	30.2	35.3	48.1	36.7	41.2	38.0	39.1	41.6	45.4	39.2	38.7	39.1	40.6
14	1600	33.5	36.6	51.5	37.7	43.2	39.8	41.2	48.8	46.3	41.7	39.1	41.0	40.9
15	1650	34.4	39.1	51.0	37.5	41.2	34.8	42.3	45.3	45.0	37.9	37.7	39.9	43.1
16	1700	37.3	39.9	49.3	37.9	44.5	38.2	45.9	46.0	40.1	37.8	40.1	44.1	43.7
17	1750	41.3	40.0	57.2	41.0	48.1	39.1	48.8	44.5	41.0	37.4	39.4	43.6	42.1
18	1800	32.7	40.5	61.0	35.7	37.9	36.1	48.9	42.8	39.5	35.9	41.3	42.6	39.9
19	1850	36.8	39.9	60.2	37.1	37.9	37.2	49.6	39.5	40.5	39.9	41.0	43.3	40.7
20	1900	34.5	41.0	61.0	38.2	34.9	37.8	50.2	44.6	34.5	36.3	42.8	41.1	40.3
21	1950	35.4	43.5	62.9	37.6	31.6	37.7	49.0	43.6	36.4	37.4	43.1	40.3	40.3
22	2000	36.7	44.9	63.6	36.9	36.0	42.8	47.1	39.6	37.8	39.1	42.0	41.2	43.8
23	2050	36.9	41.4	63.4	37.0	37.2	44.7	45.2	39.3	39.6	39.2	46.3	39.2	42.7
24	2100	37.3	44.8	63.5	35.8	38.2	46.9	44.0	37.7	41.0	43.8	46.2	40.8	41.4
25	2150	34.0	44.4	64.9	36.7	38.0	44.3	44.5	39.5	40.9	41.1	49.1	41.9	35.9
26	2200	44.4	46.2	65.7	36.4	41.9	46.3	43.7	41.7	41.8	40.0	50.6	42.5	38.7
27	2250	35.3	39.8	66.3	35.8	40.2	45.7	42.7	39.1	40.5	39.4	46.3	44.8	39.2
28	2300	36.8	38.2	67.8	36.7	41.0	44.8	41.5	42.1	42.8	39.6	48.6	40.7	39.7
29	2350	37.5	38.7	68.5	36.1	43.6	43.2	43.0	37.7	40.9	39.1	48.8	38.9	40.7
30	2400	39.1	36.2	68.2	34.6	45.7	45.2	44.2	38.9	43.6	41.5	49.1	39.2	44.3
31	2450	37.4	38.1	69.0	36.3	45.3	42.4	46.2	39.1	38.9	40.7	49.8	42.4	46.8
32	2500	41.5	37.6	69.6	37.3	49.8	40.6	44.1	45.5	42.3	41.4	44.2	42.2	45.6
33	2550	41.9	37.8	68.4	39.0	48.9	41.6	41.8	42.4	43.1	43.4	45.7	43.8	45.7
34	2600	45.0	37.7	66.2	40.7	46.9	40.6	44.3	44.7	42.9	42.5	45.2	44.1	45.9
35	2650	42.9	36.8	66.0	38.2	47.6	38.6	45.0	43.2	44.8	43.0	48.3	44.5	47.5
36	2700	43.5	35.7	64.4	40.7	46.7	37.6	42.3	41.9	43.0	40.7	47.9	44.9	46.5
37	2750	47.4	38.5	62.8	45.4	44.1	41.9	42.1	41.5	39.0	40.5	46.2	43.7	46.0
38	2800	43.7	35.5	60.0	42.4	44.2	42.7	46.2	44.5	44.4	38.1	52.7	42.0	43.7

Figura 42 - Dados coletados em manobra de *run-up*

### 5.8.1 Análise “Articulation Index”

Os últimos anos mostraram necessidade da elevação do índice de *Articulation Index* (AI), que é a medida de quanto se consegue escutar realmente quando se está operando uma máquina, equipamento, automóveis entre outros.

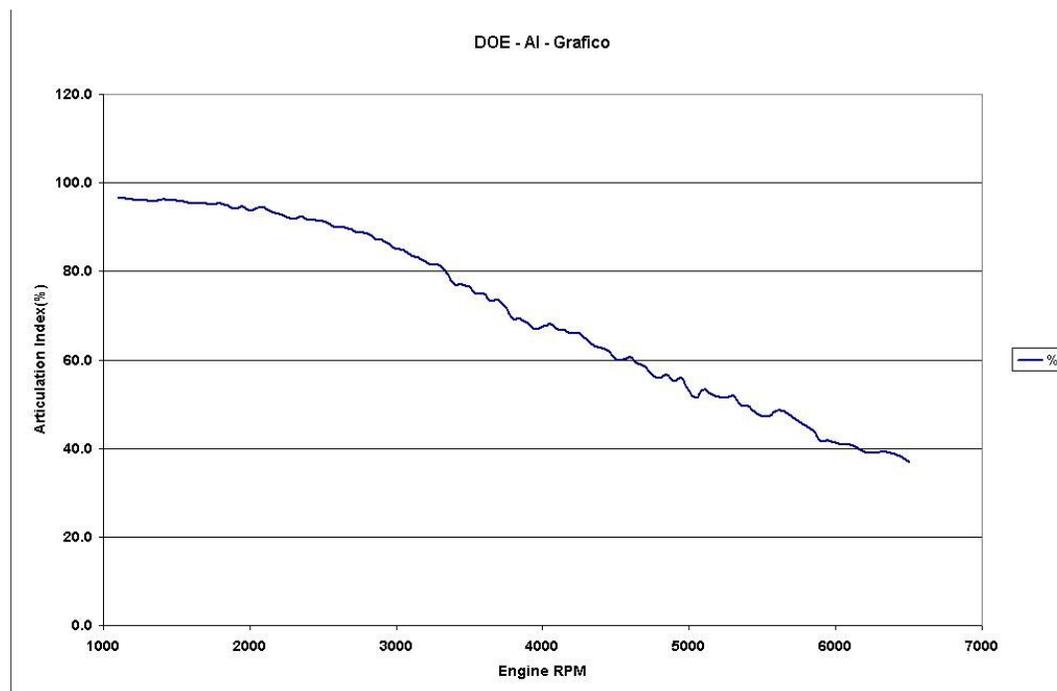
Assim quando se está dirigindo necessita-se escutar o trânsito, tem-se que conversar com outras pessoas dentro do veículo e o AI é a medida de quanto consegue-se escutar de uma conversa.

Até os anos 70 não havia preocupações com a quantidade de ruído que chegava até os ouvidos do usuário de veículos. O resultado disto, surdez de motoristas profissionais.

Hoje testes de AI são obrigatórios para homologação de veículos de passeio e de trabalho.

Um resultado deste trabalho é a proibição da venda de ônibus com motor dianteiro, pois, o ruído produzido pelo motor próximo do motorista provocava problemas auditivos no profissional.

Embora as empresas de ônibus das cidades pequenas não respeitem, isto é lei, e nas cidades maiores, nas quais os sindicatos possuem maior influência, este tipo de veículo foi proibido de ser utilizado.



**Figura 43** - Representação gráfica do AI.

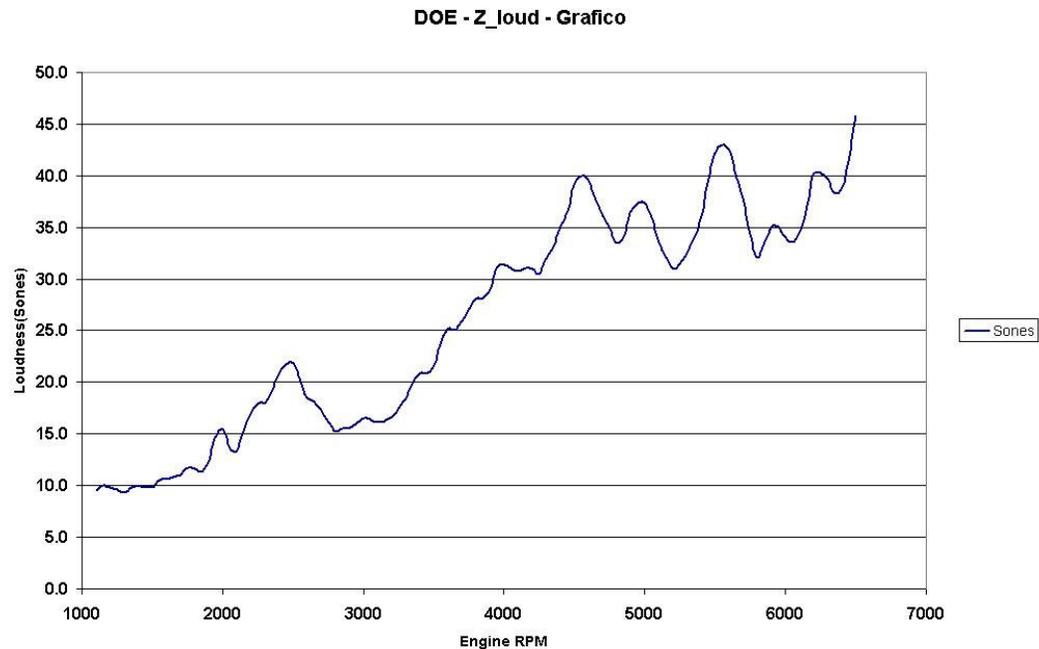
O gráfico, da figura 43, apresenta a capacidade de audição do motorista em cada faixa de rotação do veículo. Deve-se notar que quanto menor a porcentagem, menor a capacidade auditiva do motorista.

Nota-se também que conforme a rotação do veículo sobe, a porcentagem do AI vai reduzindo gradativamente. E, portanto, neste caso, quanto maior a rotação do motor menor a capacidade auditiva do motorista.

### 5.8.2 Análise “Sones”

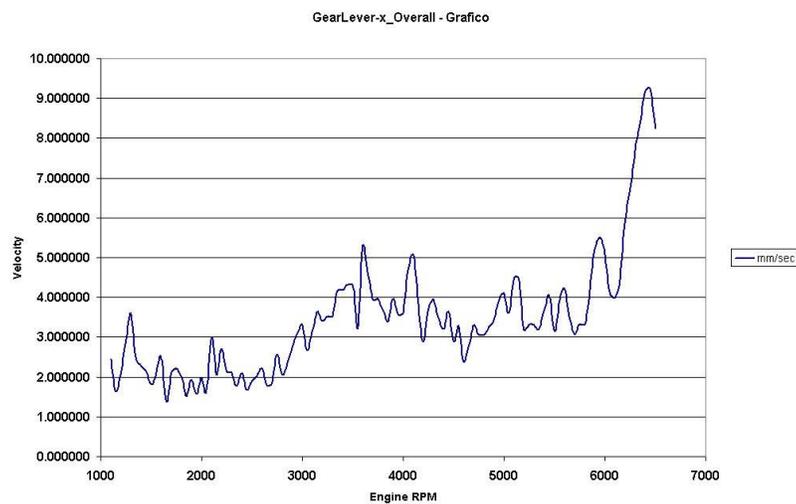
Sones é a percepção da intensidade sonora, por exemplo, por que quando se aumenta os graves e agudos no equalizador temos uma sensação de melhor definição do som de uma música? Por que quando aperta-se a tecla "loudness" de um aparelho de áudio, o som fica mais "presente"? A intensidade sonora, também chamada popularmente de "volume do som", é percebida pelo ouvido humano de acordo com a frequência do som. Som cujas frequências são muito

graves ou muito agudas é percebido pelo ouvido como tendo menos intensidade do que a frequência média, próxima da voz humana.



**Figura 44** - Representação gráfica da análise de *Loudness* (Sones)

### 5.8.3 Análise de Vibração



**Figura 45** - Análise das vibrações de um veículo em *Run-up*

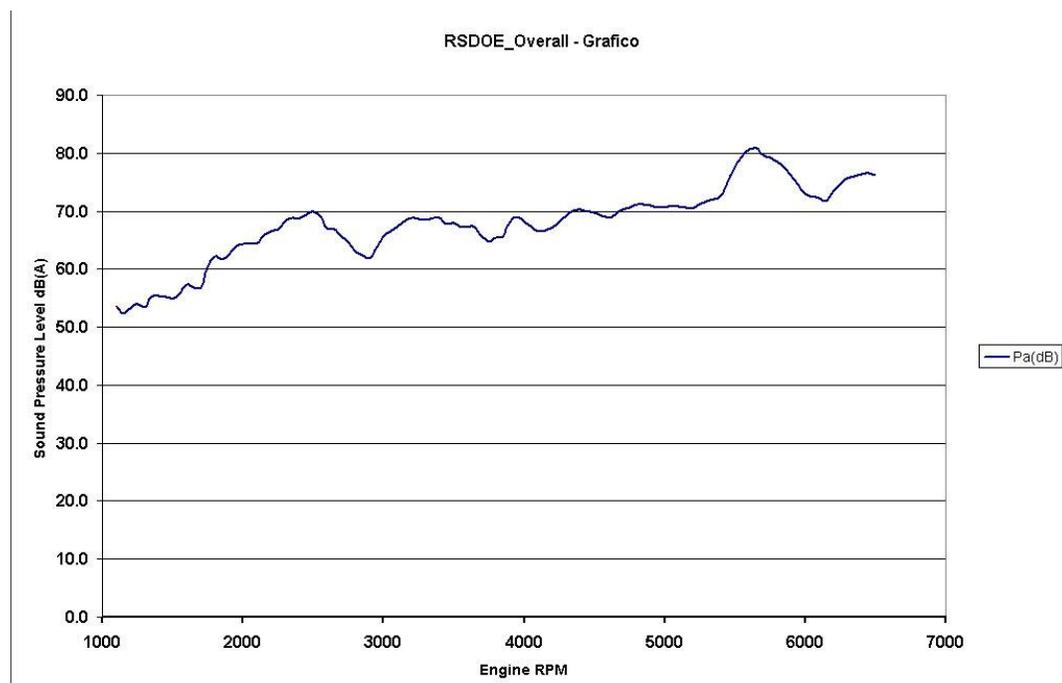
Esta análise mostra o comportamento do veículo permitindo-se saber em qual faixa de rotação apresenta maior concentração de vibrações. A figura 45

apresenta um exemplo de gráfico de análise de vibrações de um veículo em run-up.

#### 5.8.4 Análise “Sound Pressure Level”

Mede-se aqui a pressão sonora propriamente dita, permitindo-se que se possa perceber qual o nível de incômodo do motorista em cada faixa de rotação. Assim pode-se verificar qual faixa de rotação exibe maior volume sonoro e que deve ser trabalhado primeiramente.

A figura 46 apresenta um exemplo de gráfico gerado, pela ferramenta computacional, para medição do nível sonoro com base na frequência.



**Figura 46** Representação gráfica da medição do nível sonoro com base na frequência

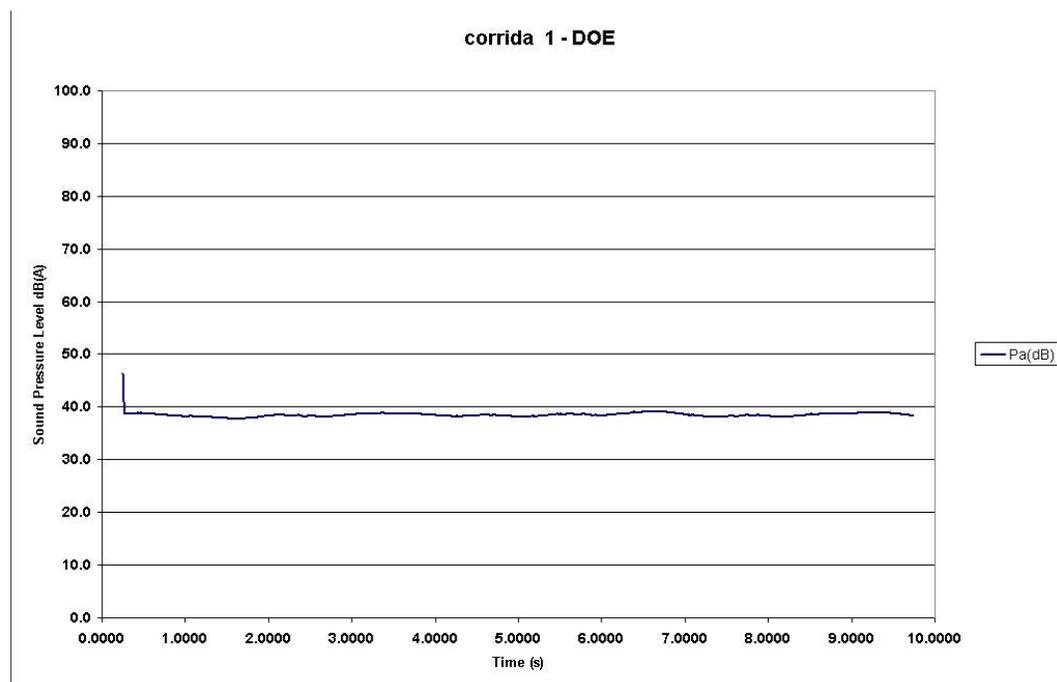
#### 5.9 Módulo “DBA x tempo”

Esta análise mostra o comportamento sonoro do veículo em um determinado intervalo de tempo. Permitindo que se possa medir, por exemplo, o comportamento do veículo em marcha lenta. A figura 47 apresenta os dados analisados de maneira automatizada deste teste de comportamento sonoro em um determinado período de tempo.

A figura 48 representa graficamente os dados adquiridos durante o teste.

	A	B	C	D	E	F	G
1	dBA						
2		corrida 1		corrida 2		corrida 3	
3		DOE	RSDOE	DOE	RSDOE	DOE	RSDOE
4	Time	Pa(dB)	Pa(dB)	Pa(dB)	Pa(dB)	Pa(dB)	Pa(dB)
5	0.2498	46.3	42.9	39.4	43.8	42.2	39.7
6	0.2698	38.6	39.0	38.5	39.1	38.8	39.0
7	0.2899	38.7	39.1	38.4	39.0	38.8	39.1
8	0.3099	38.7	39.1	38.4	39.0	38.8	39.1
9	0.3300	38.7	39.3	38.4	39.0	38.8	39.1
10	0.3500	38.7	39.3	38.4	39.1	38.7	39.1
11	0.3701	38.7	39.4	38.4	39.0	38.9	38.9
12	0.3902	38.8	39.4	38.4	39.1	38.8	38.9
13	0.4102	38.8	39.3	38.4	39.0	38.8	38.7
14	0.4303	38.8	39.4	38.3	39.0	38.8	38.7
15	0.4503	38.7	39.2	38.4	39.0	38.8	38.7
16	0.4704	38.8	39.4	38.3	38.9	38.7	38.7
17	0.4905	38.7	39.4	38.3	39.0	38.7	38.7
18	0.5105	38.8	39.4	38.3	38.9	38.7	38.7
19	0.5306	38.8	39.3	38.3	38.9	38.7	38.8
20	0.5506	38.8	39.3	38.3	38.9	38.7	38.7
21	0.5707	38.7	39.3	38.4	39.0	38.7	38.7

**Figura 47** - medição de nível sonoro em um intervalo de tempo



**Figura 48** - Representação gráfica da medição do nível sonoro no tempo

### 5.10 Ganhos com o projeto

Com o desenvolvimento da ferramenta computacional houve ganhos consideráveis no setor de NVH tanto em relação ao tempo gasto com a organização de dados e geração de gráficos quanto com relação à análise de

dados propriamente dita. Estes ganhos podem ser verificados nos quadros 4 e 5.

	Tempo dispensado, estimativa por pista aquisitada	Tempo economizado, estimativa por pista aquisitada	<i>Saving</i> estimado por teste de NVH para câmbio (R\$/tempo)	<i>Saving</i> estimado por teste de NVH para pneus (R\$/tempo)
<b>Realizando a organização + gráficos manualmente</b>	40 minutos	-	-	-
<b>Realizando a organização + gráficos pelo uso de macros</b>	5 minutos	35 minutos	R\$ 656,25 (525 minutos)	R\$ 918,35 (735 minutos)

**Quadro 4** - Estimativas considerando apenas o tempo de organização de dados e geração de gráficos

Fonte: Elaborado pelo autor

	Tempo dispensado, estimativa por pista aquisitada	Tempo economizado, estimativa por pista aquisitada	<i>Saving</i> estimado por teste de NVH para câmbio (R\$/tempo)	<i>Saving</i> estimado por teste de NVH para pneus (R\$/tempo)
<b>Realizando a análise manualmente</b>	9.5 minutos	-	-	-
<b>Realizando a análise pelo uso de macros do Software</b>	1.5 minutos	8 minutos	R\$ 150,00 (120 min)	R\$ 210,00 (168 min)

**Quadro 5** - Estimativas considerando apenas o tempo de realização das análises dos resultados

Fonte: Elaborado pelo autor

Estes dados foram levantados considerando as análises feitas com medições realizadas em apenas um carro.

Para sabermos as dimensões da economia financeira proporcionada pela ferramenta computacional podemos realizar o seguinte cálculo:

<i>Saving</i> estimado por teste de NVH para câmbio (organização dos dados)	R\$ 656,25
<i>Saving</i> estimado por teste de NVH para pneus (organização dos dados)	R\$ 918,35
<i>Saving</i> estimado por teste de NVH para câmbio (análise dos dados)	R\$ 150,00
<i>Saving</i> estimado por teste de NVH para pneus (análise dos dados)	R\$ 210,00
<b><i>Saving</i> estimado por carro testado</b>	<b>R\$1969,25</b>

**Quadro 6** – *Saving* estimado por carro testado

Fonte: Elaborado pelo autor

Deve-se notar que, normalmente, são realizadas 4 medições por semana nos mais diversos tipos de veículos, portanto as estimativas apresentadas nos quadros 4 e 5 podem ser multiplicadas por 4 (quatro) em relação aos *saving* financeiro e de tempo.

Por mês, em média, poderão ser feitas 16 medições, daí a contribuição direta nos ganhos de produtividade que a ferramenta computacional veio oferecer.

É importante frisar que a equipe de engenheiros que analisava o produto dos testes em manual, antes da existência da ferramenta computacional, era composta por 4 (quatro) profissionais.

Após o desenvolvimento e implantação da ferramenta computacional houve uma mudança sensível no cenário operacional do setor de NVH, ou seja, o uso da mesma agilizou as tarefas e causou um aumento do número de testes semanais realizados de 2 (dois) para 4 (quatro), o dobro.

Esta ferramenta computacional desenvolvida gerou uma redução de, aproximadamente, 75% na utilização de mão-de-obra especializada, permitindo que estes profissionais pudessem ser melhor utilizados em operações que não podem ser automatizadas, tais como: instrumentação e medições em laboratório ou pistas de teste.

As medidas de *saving* foram levantadas pela média de utilização da ferramenta computacional no período de 1 (um) ano.

## 6 Conclusão

O momento histórico presente tem apontado, para todas as instâncias da indústria automotiva, necessidades de aumento de ganho de produtividade via racionalização de recursos e otimizações.

A engenharia de produto, na indústria automotiva, tem um papel preponderante para fazer a ligação entre mercado usuário/consumidor, setor de marketing e os possíveis diferenciais e ganhos de produtividade.

Como área importante dentro da engenharia de produto, o NVH, aponta características e fornece subsídios para os processos decisórios de substituição, ajuste, adequação, otimização, de peças, itens, componentes e conjuntos, dos automóveis em teste.

Portanto esta pesquisa fez um levantamento bibliográfico identificando essas relações no contexto da indústria automotiva brasileira identificando oportunidades de atuação via ganhos de NVH no processo de análises dos dados coletados nos testes.

Uma pesquisa experimental foi feita em uma empresa montadora do setor automotivo brasileiro buscando-se atender à comprovação dos objetivos – geral e específicos – desta pesquisa.

Desenvolveu-se uma ferramenta computacional baseada no processo de KDD para suporte à engenharia de produto na indústria automotiva, especificamente na área de NVH, como meio facilitador para análise e tratamento de dados.

Portanto, o objetivo geral foi atingido pois esta ferramenta computacional está implementada e em intensa utilização.

Destaque-se que para o desenvolvimento desta ferramenta computacional foi definida uma linguagem de programação de baixo custo que é a linguagem VBA, nativa do pacote MS-Office, que está disponível nos terminais de computador da empresa estudada.

Os objetivos macro do KDD para a geração de algoritmo de controle dos dados processados são resumidos em confiabilidade de processamento e a possibilidade de utilização do algoritmo para diversos tipos e tamanhos de dados (portabilidade).

Os objetivos específicos foram satisfeitos pelas seguintes razões:

a) Ajustar o processo de KDD à análise de NVH: como a revisão bibliográfica sobre KDD esclarece e define que, originalmente, este processo foi idealizado para área comercial/marketing tratando dados quantitativos (financeiros e estatísticos) relativos à vendas, receitas entre outros, ajustes se fizeram necessários e foram desenvolvidos de forma que dados de medições de ruído e vibração pudessem ser tratados de maneira semelhante para objetivos diferentes. Enquanto os dados comerciais / de marketing servem para identificação de nichos de mercado os dados de NVH têm como foco identificar “nichos de problemas” para serem atuados.

b) Verificar a ocorrência de ganhos de produtividade na área de engenharia de produto após implantação desta ferramenta computacional: o uso intensivo possibilitou o desenvolvimento de atividades de análise em tempo menor e com maior qualidade do que era realizado anteriormente no processo manual.

Com a utilização dessa ferramenta computacional a produtividade do setor de NVH aumentou consideravelmente conforme cenários de estimativas apresentados no item 5.10 – Ganhos com o projeto.

Conclui-se que a utilização de macros montadas com base no processo de KDD proporciona ganhos de produtividade no desenvolvimento de trabalhos repetitivos no campo de provas da empresa pesquisada, sendo comprovado também este sucesso a partir de que outras áreas vêm solicitando que ações semelhantes sejam desenvolvidas.

A pesquisa experimental permitiu visualizar que as vantagens de se utilizar KDD para processos como geração de relatórios e análise de dados podem ser mostrados na prática.

A velocidade que os testes de NVH eram realizados foram reduzidos de 7 dias úteis para apenas 2 dias úteis, o que provocou ganhos de tempo no desenvolvimento final de produto.

Houve ganhos na qualidade dos relatórios gerados, pois, os riscos de falha humana durante o processo foram minimizados com o novo processo automatizado. Os relatórios foram padronizados, facilitando a leitura e

interpretação realizada pelo engenheiro responsável pelo teste e tornando o trabalho do engenheiro mais seguro.

A produtividade do equipamento PROSIG foi aumentada em cerca de 50% permitindo ganhos de produtividade no setor de NVH como um todo, pois, este recurso é básico para a realização dos testes.

A automação de testes automotivos são muito bem vindos pela indústria automotiva, e esta pesquisa comprovou que os resultados alcançados podem gerar ganhos interessantes (e relevantes) de produtividade ao setor.

### **6.1 Propostas de pesquisas e trabalhos futuros**

Sugere-se que sejam realizados outros trabalhos para automatizar processos para outros testes no setor automotivo.

As macros são ferramentas de produtividade muito úteis, mas ainda com sua utilização pouco explorada, logo, sugere-se o desenvolvimento de pesquisas que mostrem os ganhos da automação de processos por meio desses recursos para agilizar tarefas realizadas nos aplicativos do MS-Office nas mais diversas áreas da engenharia de produção.

O processo de KDD, normalmente é realizado por intermédio de um conjunto de ferramentas computacionais com custos variados entre médio e alto. Sugere-se, também, uma pesquisa que visasse o desenvolvimento de sistemas de baixo custo baseados no processo de KDD para áreas que geram grandes volumes de dados como a de desenvolvimento de produto para outros setores da indústria, permitindo que conhecimento possa ser descoberto tornando a empresa mais competitiva frente a seus concorrentes.

Como a engenharia de produto na indústria automotiva tem outros ramos poderia ser desenvolvida outra ferramenta computacional com base nesta que foi criada para a área de NVH de forma que atuasse em outros equipamentos para a realização de outros tipos de testes, por exemplo: *cooling*, performance, durabilidade, entre outros.

Como o presente trabalho considerou testes de NVH para veículos de passeio, utilitários e caminhões, poder-se-ia pesquisar e explorar testes de NVH realizados em outros tipos de máquinas como tratores e equipamentos industriais.

Outra possibilidade de desdobramento seria agregar novas funcionalidades à ferramenta computacional criada, de modo que ela pudesse tratar dados estatísticos e qualificá-los de acordo com especificações pré-determinadas.

Também, investigar o quanto de aumento de desempenho/produzividade poder-se-ia atingir com o desenvolvimento de outra ferramenta computacional a partir de linguagem de programação não interpretada que gerasse uma versão em código executável.

Criar mecanismos de automação de transferência de dados entre as ferramentas computacionais de testes NVH para o sistema integrado de gestão, em particular, como uma funcionalidade de monitoramento da engenharia de produto.

## Referências Bibliográficas

ABDEL-RAHMAN, E.M.; NAYFEH, A.H.; ZIYAD N.M. **Dynamics and Control of Cranes: A Review**, A Review Journal of Vibration and Control; 9: 863 - 908, 2003

ANDRADE, S.M.M. **Metodologia para a avaliação de impacto ambiental sonoro da construção civil no meio urbano**, Tese, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2004

ANFAVEA, **Anuário Estatístico da Indústria Automobilística Brasileira – 2005**. Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotivos, 2004. Disponível em [www.anfavea.com.br/Anuario.htm](http://www.anfavea.com.br/Anuario.htm) Acessado em 29 junho 2005.

ALFARO, S.C.A.; DREWS, P. **Intelligent systems for welding process automation**. J. Braz. Soc. Mech. Sci. e Eng, vol.28, no.1, p.25-29. ISSN 1678-5878., Mar 2006

ALVAREZ, R.; PROENÇA, A; ANDÉREZ, D. **Rio Automotivo: Elementos da Realidade e Perspectivas de Desenvolvimento**. Rio de Janeiro, SEBRAE/RJ, 2002.

ARBIX, G; VEIGA, J. **A Distribuição de Veículos sob Fogo Cruzado - Em Busca de um Novo Equilíbrio de Poder no Setor Automotivo**. Federação Nacional da Distribuição de Veículos Automotores. A Hora e a Vez dos Distribuidores, 2003. Disponível em <<http://fenabrave.org.br>>. Acesso em 4 setembro 2004.

BARRERO F. **Implementation of a Digital Tachometer for Angular Position and Speed Measurement**, EPE '99 Lausanne, 1999

BAXTER, M. **Projeto de Produto: Guia Prático para o Design de Novos Produtos**. 2a. Edição. São Paulo: Edgard Blüncher, 2003.

BRÜEL&KJÆR **Microphone Handbook**, WORLD HEADQUARTERS: DK-2850 Nærum, Denmark, 1996

BRÜEL&KJÆR **Sound and Vibration Measurement A/S**, Brüel e Kjør Papers BA 7676-12, 1998

BRÜEL&KJÆR **Basic Concepts of Sound**, Brüel e Kjør Papers BA 7666-11, 1998

BRUDEL&KJAER **Advanced Noise Measurement Techniques for New Shinkansen**, Bruel&Kjaer Magazine, Nº 1, 2006

BRUDEL&KJAER , <http://www.bksv.com/75.asp>, acessado em 19 de novembro de 2006

CALIXTO, A. **Modelamento Matemático Da Emissão Sonora Em Rodovias Federais Que Adentram Áreas Urbanas**, Revista de Acústica. Vol. 34. Nos 1 y 2, 2003

CARVALHO, L.A.V. **Data Mining – A Mineração de Dados no Marketing, Medicina, Economia, Engenharia e Admininistração**, 1ª Edição. Rio de Janeiro: Editora Érica, 234p. 2000.

CASTRO, R. L. **Planejamento e Controle da Produção e Estoque: Um Survey com Fornecedores da Cadeia Automobilística Brasileira**, 2005.

CHAN, K. W.; LIAO, W. H.; WANG, M. Y.; CHOY, P. K. **Experimental Studies for Particle Damping on a Bond Arm**, Journal of Vibration and Control, n. 12; p. 297 - 312, 2006

CHUN-YU, L.; LIAO, W.H. **Vibration Control of a Suspension System via a Magnetorheological Fluid Damper**, Journal of Vibration and Control; 8: 527 - 547. , 2002

CONSONI, F.; QUADROS, R. **From adaptation to complete vehicle design: a case study of product development capabilities in a carmaker in Brazil**, International Journal of Technology Management, Volume 36, Number 1-3, 2006

CORDEIRO, R. **Exposição ao ruído ocupacional como fator de risco para acidentes do trabalho**. Rev. Saúde Pública, vol.39, no.3, p.461-466. ISSN 0034-8910, Jun 2005

CORREA, C. **As Dificuldades de Quem Produz Carros**. Revista Exame, edição 827, ano 38, no, 19, São Paulo: Editora Abril. Pág 92-97, 2004

CORRÊA F.; HELENO, R., **Perda auditiva induzida por ruído e hipertensão em condutores de ônibus**. Rev. Saúde Pública, vol.36, no.6, p.693-701. ISSN 0034-8910, 2002

CUNHA, I. A. **Avaliação De Ruído E Vibração Em Motosserra: Resultados Parciais**, Bragantia, vol.57, no.1. ISSN 0006-8705, 1998

CUNHA, R. **Homenagem A Santos Dumont No Cenário Da Aviação**, Cienc. Cult., vol.55, no.3, São Paulo, 2003

DATTA, S.; BHADURI, K.; GIANNELLA, C.; WOLFF, R.; KARGUPTA H. **Distributed Data Mining in Peer-to-Peer Networks**. Invited submission to the IEEE Internet Computing special issue on Distributed Data Mining), Volume 10, No. 4, pp. 18-26, 2006

DIAS, M.M. **Um Modelo De Formalização Do Processo De Desenvolvimento De Sistemas De Descoberta De Conhecimento Em Banco De Dados**, Tese, Universidade Federal de Santa Catarina, 2001

ELIAS, E.A.; BACCHI, O.O.S.; REICHARDT, K. **Exact equations for soil particle-size analysis by gamma-ray attenuation**, Sci. agric., vol.56, no.1, p.93-96. ISSN 0103-9016, 1999

EL-ESSAWI M.; LIN J. Z. **Analytical Predictions and Correlation With Physical Tests for Potential Buzz, Squeak, and Rattle Regions in a Cockpit Assembly**, SAE World Congress Detroit, Michigan March 8-11, 2004

FAYYAD, U.; GRINSTEIN, G.G.; WIERSE, A. **Information Visualization in Data Mining and Knowledge Discovery**, Academic Press, san Diego, CA92101-4495, USA, ISBN 1-55860-689-0, 2002

FELBINGER, C. L.; ROBEY, J. E. **Globalization's Impact on State and Local Policy : the Rise of Regional Cluster-Based Economic Development Strategies**. PolicyStudies Review, Urbana, v. 18, n. 3, p. 64-79, 2001.

FLEURY, A.C.C.; FLEURY M.T.L. **Estratégias competitivas e competências essenciais: perspectivas para a internacionalização da indústria no Brasil**, Gestão e Produção, v.10, n.2, p.129-144, ago. 2003

GALINA, S.V.R. **Desenvolvimento global de produtos: O papel das subsidiárias brasileiras de fornecedores de equipamentos do setor de telecomunicações**, tese, Universidade de São Paulo, 2003

GARCIA, R.; MOTTA, F.G.; AMATO N.J. **An analysis of the characteristics of the governance struture in local production systems and its relations with the global chain**. Gest. Prod., vol.11, no.3, p.343-354. ISSN 0104-530X. , 2004

GENUIT, K. **The sound quality of vehicle interior noise: a challenge for the NVH-engineers**, Int. J. Vehicle Noise and Vibration, Vol. 1, Nos. 1/2, 2004

GIANNELLA, C.; DUTTA, H.; BORNE, K.; WOLFF, R. **Kargupta H. Distributed Data Mining in Astronomy Catalogs**. Special Issue of Concurrency and Computation: Practice and Experience, 2006

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4.ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GROM, **Catálogo de produtos**, [www.grom.com](http://www.grom.com), acessado em novembro de 2006, 2006

GUEDES, A.L.; FARIA, A. **Globalização E Investimento Direto Estrangeiro: Um Estudo Exploratório Da Indústria Automotiva Brasileira**, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 2002

GUO, D.L.; HU, H.Y.; YI, J.Q. **Neural Network Control for a Semi-Active Vehicle Suspension with a Magnetorheological Damper**, Journal of Vibration and Control; cap. 10; p. 461 - 471, 2004.

JEE T.; JUNG S. **Analysis of Structure-borne Noise and Structural Dynamic Modification**, Fisita World Automotive Congress, Seoul, Korea, 2000

JÖNSSON S.; Edström A. **Stiff surprise – coping with surprising discoveries in product development processes**, GRI report, 2001

KARGUPTA, H.; PARK, B.; DUTTA, H. **Orthogonal Decision Trees**. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, volume 18, number 7, pp. 1028-1042, 2006

KATAGIRI, T.; KISE K.; HONDA H.; YUBA T. **Effect of auto-tuning with user's knowledge for numerical software**, Proceedings of the first conference on computing frontiers on Computing frontiers, Ischia, Italy, 2004

KIHLMAN, T.; KROPP, W. **City traffic noise-a local or a global problem?**, INCE, vol. 49, n 4, 2001

KOJIMA, Y. **Mechanical CAE in Automotive Design, R&D Review of Toyota** CRDL Vol. 35 No. 4, 2000

KOKO, B. **Software Simulation Data Management Initiative**, Conference Proceedings for the 3rd Worldwide MSC. Software Aerospace Conference e Technology Showcase, April 8th - 10 th, 2002.

KOPP, G.E.; HOLZINGER, J. L. **Portable NVH Dynamometers**, SAE Noise e Vibration Conference and Exhibition, Michigan, 2003

KRIEGEL, H.P.; PFEIFLE, M.; PÖTKE, M.; RENZ, M.; SEIDL, T. **Spatial Data Management for Virtual Product Development**, Computer Science in Perspective - Essays Dedicated to Thomas Ottmann. Springer LNCS 2598: 216-230, 2003.

LIMA, J.S.S. **Avaliação de alguns fatores ergonômicos nos tratores "Feller-buncher" e "Skidder" utilizados na colheita de madeira**, Rev. Árvore, vol.29, no.2, p.291-298. ISSN 0100-6762, Abr 2005

LIMA, J.C.S. **Um estudo sobre reconfiguração da função compras em empresas do setor automotivo**, tese, Universidade de São Paulo, 2004

LIU, K.; BHADURI, K.; DAS, K.; NGUYEN, P.; KARGUPTA, H. **Client-side Web Mining for Community Formation in Peer-to-Peer Environments**. SIGKDD workshop on web usage and analysis (WebKDD). Philadelphia, Pennsylvania, USA. 2006.

LUO H.; ZHANG G. A. **Post-CMOS Micromachined Lateral Accelerometer**, JOURNAL OF MICROELECTROMECHANICAL SYSTEMS, VOL. 11, NO. 6, 2002

MAFFRA, S. A. R. S. **Propagação de Som em Ambientes Acústicos Virtuais Bidimensionais**, Dissertação de Mestrado, Rio de Janeiro, 2003

MARCONI, M.; LAKATOS, E. M. **Técnicas de Pesquisa** 5.ed. São Paulo: Atlas, 2002.

MCDERMOTT, J. **Sound and the Ear**, MIT OCW, 2004

MESQUITA, M.; ALLIPRANDINI D. H. **Competências essenciais para melhoria contínua da produção: estudo de caso em empresas da indústria de autopeças** Gestão e Produção v.10, n.1, p.17-33, abr. 2003

MING, G.; GUICAI, Z.; DUXU, D.; YANGSHENG, X. **Feature Extraction From Energy Distribution of Stamping Processes Using Wavelet Transform** Journal of Vibration and Control, n. 8; p. 1023 - 1032, 2002

MOELLER, M. J. **NVH CAE Quality Metrics**, SAE Tech. Pap. Ser., No.1999-01-1791, 1999

MUNDIM, A.P.F.; ROZENFELD, H.; AMARAL, D.C.; SILVA S.L.; GUERRERO, V.; HORTA L.C. **Aplicando o cenário de desenvolvimento de produtos em um caso prático de capacitação profissional** v.9, n.1, p.1-16, 2002

NORTON, M. **Fundamentals of Noise and Vibration Analysis for Engineers**, Cambridge University Press, 2003

OICA. **World Motor Vehicle Production by Country**. ORGANISATION

OMAR, F.; KARRAY, F.; BASIR, O.; YU, L. **Autonomous Overhead Crane System Using a Fuzzy Logic Controller** Journal of Vibration and Control, n. 10; p. 1255 - 1270, 2004

PASCAL, B.; MAAROUF, S.; JULES, O. **Convergence Analysis of an Inverse Flexible Manipulator Model Algorithm** Journal of Vibration and Control; 9: 1141 - 1158., 2003

PAZ, E.C.; FERREIRA, A.M.C.; ZANNIN, P.H.T. **Estudo comparativo da percepção do ruído urbano**. Rev. Saúde Pública, vol.39, no.3, p.467-472. ISSN 0034-8910, 2005

PROSIG, **Prosig Catalogue**, [www.prosig.com](http://www.prosig.com), 2005

QIAO, S.; YING, T.; WEI, Y.L.; YUAN, J. **Feature Extraction with Discrete Wavelet Transform for Drill Wear Monitoring**, Journal of Vibration and Control; cap. 11; p. 1375 - 1396, 2005

QUEIRÓZ, M. F. F.; MACIEL, R. H. **Condições de trabalho e automação: o caso do soprador da indústria vidreira**, Rev. Saúde Pública, vol.35, no.1, p.1-9. ISSN 0034-8910, 2001

QUINTELLA, H. **Inovação, Estratégia e Gestão do Produto** – Gestão Total do Produto, Volume 1 – A Produção. Suma Econômica. Rio de Janeiro: Tamas, 2000.

QUINTELLA, H. L. M. M.; ROCHA, H. M.; ALVES, M. F. **Projetos de veículos automotores: fatores críticos de sucesso no lançamento**, Revista Produção, v. 15, n. 3, p. 334-346, 2005

RAMOS M. J. **A Automobilização do Pensamento Selvagem**, Lisboa, Assírio e Alvim, pp. 183-190., 2003

RAMSAYER, K. **Infrasonic Symphony in Science**, News 165, pp26-28, Jan 10, 2004

REED, C. **Applications of Optistruct Optimization to Body in White Design**, Body and trim CAE, 2002

REGEV, Y.; FINKELSTEIN-LANDAU, M.; FELDMAN, R. **Rulebased extraction of experimental evidence in the biomedical domain**, KDD Cup, 2002

RO, J.; BAZ, A. **Vibration Control of Plates Using Self-Sensing Active Constrained Layer Damping Networks** Journal of Vibration and Control; cap 8; 833 - 845 , 2002

RO, J.; BAZ, A. **Optimum Placement and Control of Active Constrained Layer Damping using Modal Strain Energy Approach** Journal of Vibration and Control; cap. 8; p. 861 - 876, 2002

RODRIGUES J. A. F. **Data Mining: Conceitos, Técnicas e Aplicação**, Dissertação, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2001.

ROMÃO, W. **Descoberta De Conhecimento Relevante Em Banco De Dados Sobre Ciência E Tecnologia**, Tese, Universidade de São Paulo, 2002

RUST, A. **Noise Technology status report**, CALM NETWORK, 2003

SAMIR N. Y. **Ruído: Fundamentos e Controle**, NR editora (fax: 0xx-48-232.0826), segunda edição, 700 páginas, 2000.

SANDBERG, U.; JERZY, A. E. **Tire/Road Noise Reference Book**, Informex, Kisa, Sweden, 2002

SANTOS, P. F. **Avaliação dos níveis de vibração vertical no assento de um trator agrícola de pneus utilizando um sistema de aquisição automática de dados**. Rev. Árvore, vol.28, no.3, p.381-386. ISSN 0100-6762, 2004

SANTOS, P. F. **Utilização de um sistema de aquisição automática de dados para avaliação dos níveis de ruído de um trator agrícola de pneus**. Rev. Árvore, vol.28, no.3, p.381-386. ISSN 0100-6762, 2004

SCHILLEMEIT B.; CUCUZ S., **Comparison of Experimental NVH Analysis Techniques on Automotive HVAC Systems**, SAE TECHNICAL PAPER SERIES, 2002

SEONHO, C.; CHAN-YOUNG, P.; YOUNG-HO, P.; SUK-YOON, H. **Topology design optimization of structures at high frequencies using power flow analysis**, Journal of Sound and Vibration, no. 1; p. 206–220, 2006

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. 22.ed. São Paulo: Cortez, 2002

SINDIPEÇAS - **Desempenho do Setor de Autopeças**. São Paulo: Sindicato da Indústria de Componentes para Veículos Automotores, 2005.

SILVA, L. F.; MENDES, R. **Exposição combinada entre ruído e vibração e seus efeitos sobre a audição de trabalhadores**. Rev. Saúde Pública, vol.39, no.1, p.9-17. ISSN 0034-8910, 2005

SHAW C.E.; MOENSSEN D.J.; KOSTUN J.D. **A Correlation Study of Computational Techniques to Model Engine Air Induction System Response Including BEM, FEM and 1D Methods**, SAE TECHNICAL PAPER SERIES, 2003

SHI, M.; EDWIN, D.S.; MENON, R.; SHEN, L.; LIM, J.Y.K.; LOH, H.T. **A machine learning approach for the curation of biomedical literature**, KDD Cup, 2002

SOUSA, D.S. **Instrumentos de Gestão de Poluição Sonora para a Sustentabilidade das Cidades Brasileiras**, Tese, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004

STEIN, L.D. **Network Programming with Perl**, Addison-Wesley Professional, ISBN 0201615711, 2001

STENTI A.; MOENS D.; DESMET W. **Dynamic modeling of car door weather seals: A first outline**, Proceedings of the SAE Noise e Vibration Conference, Traverse City, Michigan, Paper No. 971921, 2004

SUZUKI, S. T. **Gerenciamento Do Processo De Implantação Do Modelo Toyota De Produção Na Célula De Fabricação De Portas: Uma Aplicação De Caso**, Monografia, Universidade de Taubaté, 2002

THOMPSON, G. **Economic Globalization? A Globalizing World? Culture, Economics, Politics**. London : Routledge, 2000.

VILAS, L.H.L. **Panorama Da Certificação Ambiental No Setor Automotivo Brasileiro: Um Cenário Das Empresas Randon**, UNEC, Minas Gerais, 2005

WOLFF, R.; BHADURI, K.; KARGUPTA, H. **Local L2 Thresholding Based Data Mining in Peer-to-Peer Systems**. Proceedings of the SIAM International Conference in Data Mining (SDM 06), Bethesda, Maryland, USA, p. 430-441, 2006

WONG, R.; CHERCHAS, D.B. **Hybrid Constraint Space Dynamics and Control for Robot Manipulators** Journal of Vibration and Control; no. 10: p.1563 - 1584, 2004

YANGMIN, L.; YUGANG, L.; XIAOPING, L. **Active Vibration Control of a Modular Robot Combining a Back-Propagation Neural Network with a**

**Genetic Algorithm**, Journal of Vibration and Control  
doi:10.1177/10775463045578, 2005

YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2001.

ZANNIN, P. H. T.; SZEREMETTA, B. **Evaluation of noise pollution in the Botanical Garden in Curitiba**, Paraná, Brazil. Cad. Saúde Pública. vol. 19, no. 2, 2006

ZHANG C.; ZHANG S. **An Agent-Based Hybrid Framework For Database Mining**, Faculty of InformationTechnology, UTS, Sydney, Australia, 2003

ZIYAD, N.M.; ALI, H. N.; NADER, A. N. S. **Reduction on Quay-side Container Cranes Using Delayed Feedback Controller: Simulations and Experiments**, Journal of Vibration and Control; v.11: p. 1103 - 1122, 2005.