

Sistemas de Aquisição, Processamento e Armazenamento de Dados

¹L. M. V. Serrano, ²C. J. O. P. J. Alcobia, ³M. L. O. S. Mateus, ⁴M. C. G. Silva

¹ Dep. de Engenharia Mecânica, Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Leiria, Inst. Politécnico de Leiria

² Dep. de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Inst. Politécnico de Coimbra

³ ADAI - Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial

⁴ Dep. de Engenharia Mecânica, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

RESUMO

Hoje em dia, com a evolução crescente dos computadores, os sistemas automáticos de aquisição de dados baseados nos computadores tornou-se o modo mais popular para o desenvolvimento deste tipo de sistemas. Estes sistemas permitem definir o tipo de sinais de aquisição, a velocidade de aquisição, visualização, armazenamento, processamento dos dados e o controlo de processos.

Nesta comunicação apresenta-se uma breve introdução aos elementos funcionais de um sistema de aquisição de dados e seguidamente exemplifica-se através de dois casos práticos, sistemas de aquisição desenvolvidos pelos autores, cujo software de aquisição utilizado foi o TestPoint. De entre diversas plataformas existentes no mercado para o desenvolvimento de sistemas de aquisição, o TestPoint é uma ferramenta que possibilita a execução destas funções para o utilizador, disponibilizando uma série de objectos pré-definidos que permitem, efectuar as tarefas anteriormente mencionadas.

Palavras-chave: Sistemas de aquisição, vibrações, ensaios de motores, TestPoint.

1. INTRODUÇÃO

Actualmente o computador, pessoal ou industrial, é a plataforma mais utilizada para efectuar sistemas de aquisição, processamento e tratamento de dados bem como o controlo de sistemas. Entre as principais razões para a sua popularidade pode destacar-se o baixo custo, a flexibilidade, a facilidade de utilização e o seu desempenho.

Os sistemas de aquisição de dados através do recurso aos computadores permitem a sua visualização, armazenamento e controlo de diversas grandezas tais como seja a pressão, o caudal, a temperatura, etc.

Até ao aparecimento dos computadores, a aquisição de dados e monitorização de processos era efectuado através de sistemas de armazenamento específicos ou controladores lógicos programáveis. Hoje em dia, através do recurso de diversos softwares é possível criar ambientes de trabalho bastante atractivos em diversos tipos de aplicações, tais como: aplicações laboratoriais de aquisição de dados e controlo de processos, controlo de processos industriais, monitorização de condições ambientais, medições em geral, etc. Assim, é possível construir sistemas de aquisição de dados adaptados especificamente às necessidades do nosso laboratório, permitindo obter um sistema personalizado e economicamente vantajoso.

Nesta comunicação vai ser feita uma pequena abordagem acerca dos fundamentos básicos dos sistemas de aquisição de dados e de seguida apresentam-se dois exemplos práticos de sistemas desenvolvidos pelos autores.

2. SISTEMAS DE AQUISIÇÃO DE DADOS

2.1. Definição

A aquisição de dados, através do recurso aos computadores pessoais ou industriais, é o processo pelo qual um fenómeno físico real é transformado num sinal eléctrico proporcional e convertido num formato digital para posterior visualização, armazenamento, processamento e análise.

Em muitas aplicações existentes, a aquisição de dados não se fica apenas na aquisição, mas também compreende acções de controlo sobre os sistemas em causa. O controlo corresponde ao processo pelo qual os sinais digitais provenientes dos computadores são convertidos em sinais apropriados para actuar em diversos equipamentos de controlo: actuadores, relés, válvulas moduladores, etc.

2.2. Elementos funcionais dos sistemas de aquisição

Na figura 1 apresentam-se os elementos funcionais de um sistema de aquisição. Nela estão indicados os sensores e transdutores, os cabos de ligação, o condicionamento de sinal, o equipamento de aquisição, o computador e o software de aquisição. Cada elemento funcional vai afectar a exactidão do sistema total de medição e a correcta recolha dos dados do processo físico que se pretende monitorizar. De seguida vai abordar-se de uma forma resumida as principais funções de cada um destes elementos.

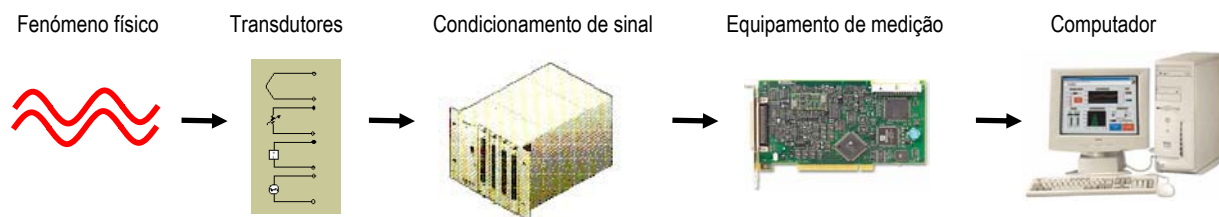


Figura 1 – Diagrama funcional de um sistema de aquisição baseado num computador pessoal.

2.2.1. Sensores e transdutores

Os sensores e transdutores fornecem a ligação directa entre o mundo real e o sistema de aquisição de dados convertendo sinais de grandezas físicas em sinais eléctricos (tensões ou correntes) apropriados para os condicionadores de sinais e/ou os equipamento de aquisição de dados.

Actualmente, existem praticamente transdutores disponíveis para a medição de todas as grandezas físicas existentes. Por exemplo: para a medição de temperaturas existem os termopares, as termoresistências, termistores e a junção de semi-condutores, que convertem a temperatura do meio com o qual estão em contacto num sinal analógico proporcional; para a medição do caudal, existem, entre outros, os medidores de caudal de turbina que geram um sinal quadrado cuja frequência depende da velocidade do escoamento; para a medição de tensões, existem as células de carga; para a medição de pressão, existem diversos tipos de transdutores de pressão; etc.

Em todos eles, o sinal eléctrico produzido é proporcional à quantidade física que se pretende medir de acordo com uma relação prévia estabelecida, existindo diversas gamas quer em termos do seu campo de medida, quer da amplitude do sinal de saída, sensibilidade, estabilidade, linearidade, etc.

Existem sensores intrusivos e não intrusivos, ou seja, aqueles que interferem com o meio de medida e os que não interferem com o meio de medida, respectivamente. Como exemplo podem referir-se os já anteriormente mencionados medidores de caudal de turbina que são inseridos no escoamento e os medidores de caudal por ultrassons que não são intrusivos.

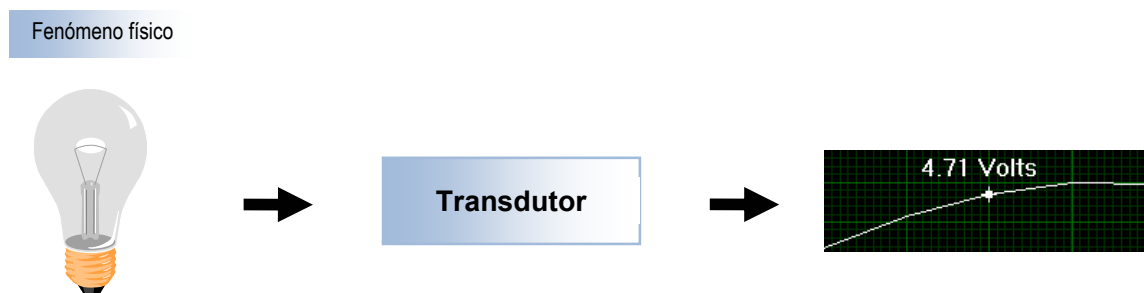


Figura 2 – Esquema de um transdutor eléctrico.

2.2.2. Cabos de ligação

Os cabos de ligação representam a ligação física entre os transdutores e os sensores até aos condicionadores de sinais e/ou equipamentos de aquisição de dados. Os cabos de ligação, quando o condicionador de sinal e/ou o sistema de aquisição é fisicamente afastado do computador, também fornecem a ligação física entre estes equipamentos e o computador. Nestas situações estes cabos são vulgarmente designados como cabos de comunicação tal como sucede na comunicação RS-232, RS-485, USB, etc.

Em muitos dos sistemas de aquisição de dados, os cabos de ligação e comunicação representam o maior componente de todo o sistema, podendo tornar o sistema sensível a ruído externo. Este componente passivo dos sistemas de aquisição é muitas vezes negligenciado durante o desenvolvimento dos sistemas, tornando-se uma importante fonte de erro e incerteza.

2.2.3. Condicionamento de sinal

Os sinais eléctricos gerados nos sensores e transdutores muitas vezes necessitam de ser convertidos numa forma apropriada para o equipamento de aquisição, particularmente para o conversor analógico-digital (A/D), que converte sinais eléctricos em códigos digitais que podem ser processados e armazenados pelos computadores. O condicionamento de sinal também é o elemento funcional responsável pela alimentação de energia, essencial para que muitos transdutores possam operar.

As principais tarefas do condicionamento de sinal são: filtragem, amplificação, linearização, isolamento e alimentação.

Na figura 3, apresenta-se um exemplo de condicionamento de sinal consistindo na amplificação do sinal eléctrico original e sua filtragem para eliminar o ruído eléctrico.



Figura 3 – Exemplo de condicionamento de sinal: amplificação e filtragem.

2.2.4. Equipamento de medição

O hardware de medição é o responsável pelas entradas e saídas de sinais na cadeia de medida. Assim, ele pode executar qualquer uma das seguintes funções:

- . entrada, processamento e conversão para o formato digital, usando conversores digitais (AD), de sinais analógicos provenientes do meio de medição. Os dados após convertidos são transferidos para o computador para visualização, armazenamento ou análise;
- . entrada de sinais digitais que contêm informação acerca dum sistema ou processo;
- . processamento, conversão para um formato analógico, utilizando conversores analógicos (DA) de sinais digitais do computador para controlo de processos;
- . saída de sinais de controlo digitais.

O equipamento de aquisição de dados existe em diversas plataformas provenientes de diversos fabricantes podendo dividir-se em placas de inserção que são ligadas directamente no interior dos computadores e sistemas exteriores de comunicação. Na opção entre este tipo de equipamentos existem vantagens e desvantagens, sendo a sua selecção feita com base em diversos parâmetros, tais como: a capacidade de expansão, o ruído eléctrico, o preço, as taxas de aquisição pretendidas, a possibilidade de configurar individualmente cada sinal, etc.

2.2.5. Software de medição

O equipamento de aquisição de dados não funciona sem software, pois é o software que transforma o sistema numa aquisição completa de dados, visualização e controlo de sistemas.

As aplicações desenvolvidas são executadas no computador sobre um sistema operativo que pode permitir apenas que uma aplicação seja executada independentemente como é o DOS, ou em sistemas operativos como o Windows, Unix, OS2, que permitem que mais do que uma aplicação seja executada simultaneamente.

Existem diversos tipos de softwares disponíveis para efectuar aquisição de dados, desde os específicos para determinadas aplicações a plataformas de desenvolvimento de aplicações de alto nível e baixo nível. Neste trabalho vão ser apresentados dois sistemas, cujo software de desenvolvimento assentou na plataforma comercial de desenvolvimento de sistemas de aquisição TestPoint. Este tipo de ferramentas apresentam um enquadramento gráfico previamente definido, permitindo desenvolver programas para adquirir os sinais recebidos pelo equipamento de aquisição, transformando-os para as grandezas pretendidas, seja temperatura, seja pressão ou outra.

O Testpoint é uma plataforma de desenvolvimento bastante acessível do ponto de vista do utilizador, disponibilizando ao utilizador diversas possibilidades para tratar os dados provenientes da placa de aquisição. Assim, é possível visualizar os dados no monitor, armazená-los em memória e accionar sinais de saída para acções de controlo.

O desenvolvimento de programas utilizando o TestPoint ou outros programas similares funcionam também sob o formato da possibilidade de abertura de janelas conforme a vulgarização deste sistema. É possível criar várias formas de apresentação dos valores medidos, quer em termos de valor absoluto, quer em termos de gráficos ou tabelas.

2.2.6. Computador

O computador utilizado pode influenciar de modo preponderante a velocidade à qual se pretende adquirir os dados e como tal a precisão, processamento e armazenamento dos dados.

Existem diversos factores na arquitectura do computador que afectam os parâmetros referidos anteriormente, tais como seja o tipo de processador, as placas de expansão disponíveis (ISA ou PCI), tempo de acesso ao disco duro, utilização de Acesso Directo à Memória (DMA), etc. Estes tornam-se extremamente relevantes quando se

pretendem efectuar leituras com elevadas transferência de dados, como seja ao nível da acústica ou das vibrações com elevadas frequências, não sendo particularmente decisivos em medições que apresentam variações de baixa frequência.

3. EXEMPLOS DE SISTEMAS DE AQUISIÇÃO

3.1. Sistema de automatização de um banco de ensaios de motores

3.1.1. Objectivo

Foi desenvolvido no Laboratório da Aerodinâmica Industrial (LAI) em parceria com a empresa COFAP um banco de ensaio de motores com a instalação de todos os equipamentos necessários para o efeito e o desenvolvimento de um sistema automático de aquisição e controlo de dados, de forma a controlar o funcionamento dos ensaios e permitir a aquisição e armazenamento dos dados relativos à resposta do motor em teste.

A realização de ensaios em motores de combustão interna pressupõe a rápida e eficaz alteração ao regime do motor sob teste e garantir a fiabilidade dos dados recolhidos, permitindo aferir correctamente acerca do seu desempenho. Como tal, a realização de ensaios em motores fica claramente beneficiada quando realizada através de um sistema automatizado que permita a aquisição de dados e o controlo do processo de realização de ensaios, podendo evidenciar-se as seguintes razões para tal:

- necessidade de registo de um grande número de parâmetros;
- existência de situações em que as taxas de aquisição têm que ser elevadas, pelo que a leitura e o registo de dados efectuados pelo operador não conseguem cumprir os parâmetros pretendidos;
- existência de fenómenos onde ocorram oscilações de alta frequência, pelo que o cálculo e registo de valores médios tem de ser feito de forma automática;
- em alguns ciclos de ensaio, as actuações necessárias nas fases de mudança de passo são múltiplas e simultâneas, o que inviabiliza a sua correcta execução por um só operador;
- o operador não tem que estar inteiramente vigilante do ensaio e registo dos valores.

3.1.2. Sistema de aquisição e controlo

Para o controlo e aquisição de dados foi necessário implementar toda a ligação de cabos permitindo o transporte dos sinais eléctricos correspondentes às variáveis consideradas importantes, como as várias temperaturas e pressões, o binário, a velocidade de rotação, o consumo de combustível e o Blow-by.

Deste modo instalaram-se sensores e transdutores ligando-os a um equipamento de aquisição, para permitir a leitura destes dados e posterior tratamento e armazenamento por parte do computador. Para uma maior organização de todos os cabos de ligação, tornando possível a monitorização de todas as informações e a centralização dos vários sistemas de controlo, optou-se pela utilização de um móvel que fazia a ligação entre o computador e o banco de ensaios. O equipamento de medição consiste numa carta de inserção no computador, vulgarmente designada de placa de aquisição.

O móvel, anteriormente referido, facilitou a organização de todo o sistema eléctrico instalado, uma vez que a partir dele se pôde comunicar com toda a instrumentação colocada no banco de ensaios, apresentando ainda a vantagem de ter disponíveis, no painel traseiro, todos os sinais analógicos com variação entre os 0 e os 10 volt, viabilizando a sua transmissão para o equipamento de aquisição.

Na figura 4 apresenta-se um esquema de todo o sistema e medição utilizado no banco de ensaios de motores.

Relativamente ao controlo do banco de ensaios, verificou-se ser necessário enviar os sinais correspondentes às mudanças de regime, ou seja sinais com os pontos de funcionamento do freio e do motor, implicando as alterações de regime necessárias com valores impostos de velocidade, de binário ou de ambas, permitindo que estes se deslocassem na curva de funcionamento desejada. Para tal, foi utilizado o controlador do freio e o controlador do acelerador do motor. A partir do computador seria possível enviar, através das saídas digitais-analógicas da placa de aquisição, sinais em tensão correspondentes aos valores de velocidade e binário pretendidos, bem como sinais

digitais para o controlador do freio para que este promovesse a mudança de funcionamento relativamente ao modo de funcionamento: binário constante ou velocidade constante.

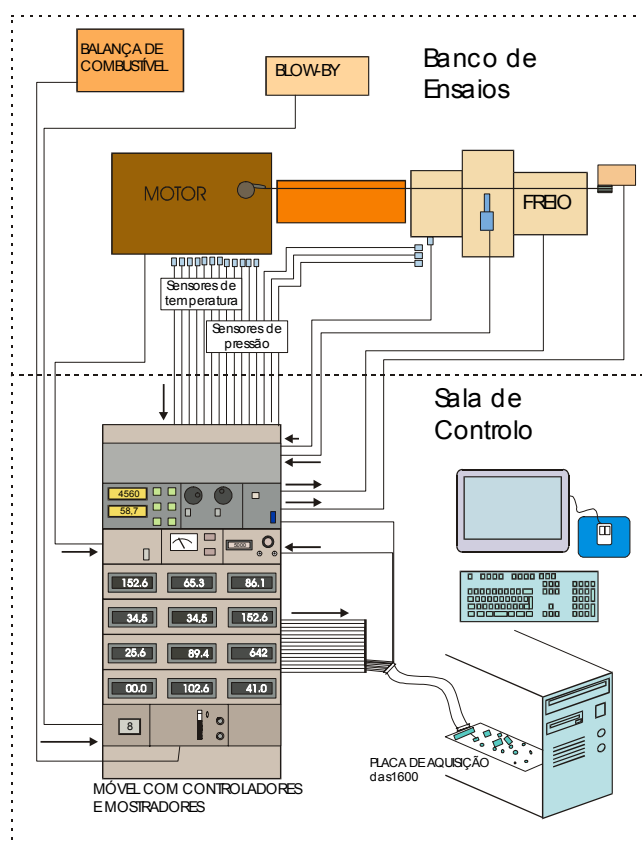


Figura 4 – Esquema do circuito de aquisição e controlo do banco de ensaios de motores.

Para controlar o acelerador do motor, desenvolveu-se um sistema baseado num circuito comparador que utiliza um sinal em tensão, correspondente ao valor da velocidade real lida no sensor instalado no freio e um outro sinal em tensão, proporcional ao valor de velocidade de rotação pretendida. Este circuito permite corrigir o valor da velocidade de rotação do motor, através da geração de um sinal em frequência (onda quadrada), proporcional à diferença entre aquelas duas tensões, que vai alimentar um motor de passo mecanicamente ligado ao acelerador do motor, permitindo acelerar o motor ou desacelerá-lo, dependendo da comparação e da diferença entre o valor de velocidade imposto e o valor real lido no sensor. Este controlador, tem uma particularidade importante no funcionamento do banco de ensaios, que é a forma como se dá a aproximação dos valores da velocidade, uma vez que a velocidade do motor de passo é tanto maior quanto mais distante estiver a velocidade real da pretendida, dado que a frequência do trem de impulsos com que é alimentado o motor de passo, é proporcional à tensão de erro. Na figura 5 representa-se um esquema do circuito de controlo desenvolvido.

Este princípio de funcionamento permite uma resposta adequada por parte do motor que está a ser ensaiado, dado que, devido ao atraso normal dessa resposta, poderiam facilmente ocorrer perdas de controlo do motor, o que é evitado através deste modo de funcionamento que apresenta claramente maior estabilidade.

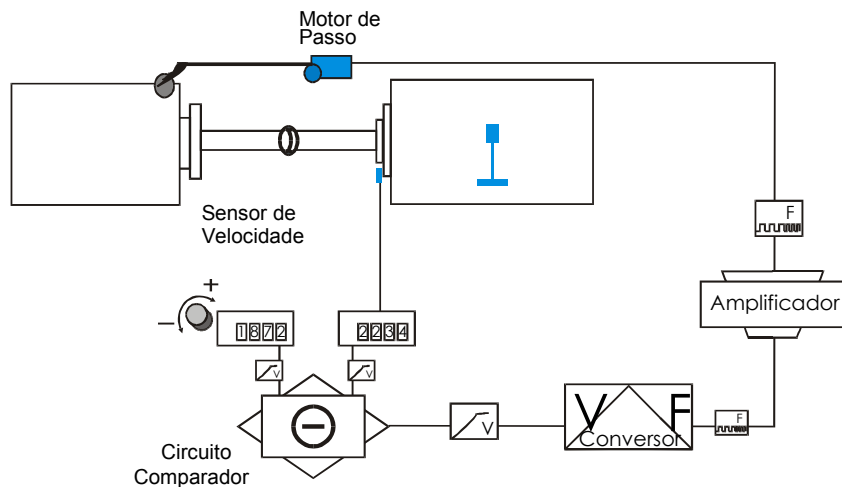


Figura 5 – Esquema representativo do circuito de controlo da velocidade de rotação do motor.

3.1.3. Programa de computador

Tal como anteriormente referido, desenvolveu-se na plataforma TestPoint, o programa de computador, a que se deu o nome de “SABEM” (Sistema de Automatização do Banco de Ensaio de Motores), que se inicia através de uma janela de apresentação, que é seguida de uma outra janela a que se deu o nome de “Definições do Motor” (cf. figura 6). Esta janela apresenta dois quadros: um deles destinado à introdução dos dados relativos ao motor, como marca, denominação comercial, binário máximo, velocidade de rotação máxima, potência máxima, combustível utilizado, bem como outras características do motor.

FICHA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO MOTOR	
Marca	RENAULT
Denominação	D7F
Potência Máxima [KW]	45
Binário Máximo [N.m]	92
Rotação Máxima [rpm]	6100
Tipo de Combustível	Gasolina\chu
Cilindrada [cm3]	1149
Rotação Relanti [rpm]	650
Curso [mm]	76.8
Diâmetro do Cilindro [mm]	69
Nº de Cilindros	4
Ciclo (Diesel ou Otto)	Otto
Taxa de Compressão	0

Valores de Alarme (máximos)	
Temperatura Óleo [°C]	145
Temperatura Água Sai Motor [°C]	96
Temperatura do Combustível [°C]	41
Temperatura Gases Escape [°C]	850
Pressão Óleo [bar]	4
Pressão Combustível [bar]	3.1

TIPO DE ENSAIO	
C E	Ciclo Europa
Cal	Calibração
C D	Curva Desempenho
C A	Ciclo Amaciamento

Figura 6 – Janela de preenchimento das características do motor.

Nesta janela existe um quadrado mais escuro que pretende evidenciar a necessidade para o preenchimento dos valores correspondentes aos máximos admissíveis de funcionamento do motor. Estes dados de valores máximos de funcionamento, servirão mais adiante no desenvolvimento do programa de controlo, para estabelecer os limites de

situações de alarme. Ainda neste quadro podem encontrar-se dois botões destinados ao auxílio no preenchimento dos dados, podendo num deles armazenar-se os dados que se introduzem por forma a que estes possam vir a ser utilizados em ensaios posteriores, através da utilização do outro botão intitulado “Abrir dados do Motor”. No outro quadro podem encontrar-se quatro botões que permitem a selecção do tipo de ensaio que se pretenda desenvolver (ciclo Europa, ciclo de rodagem, curvas características e calibração do sistema).

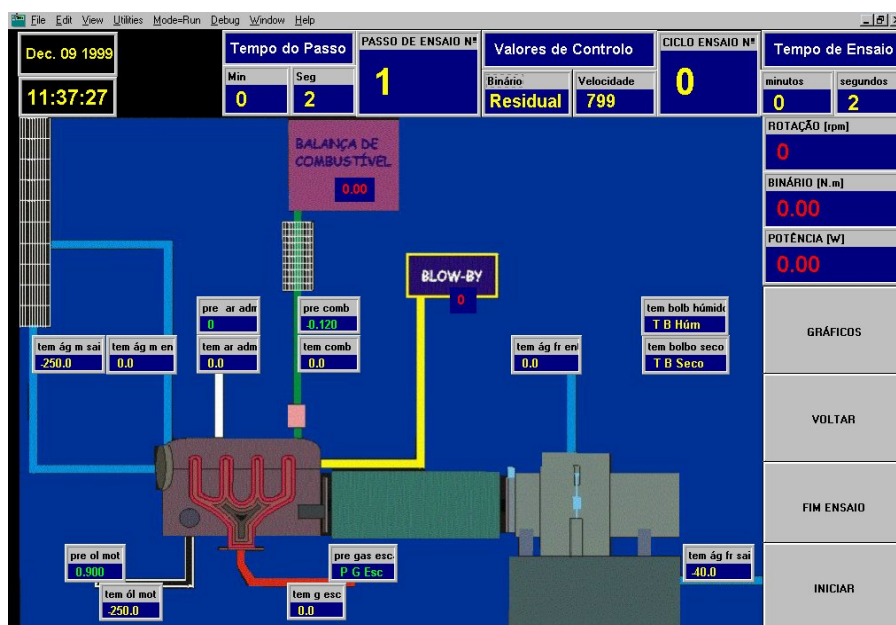


Figura 7 – Janela de visualização de todos os dados referentes ao decorrer do ensaio.

Após a escolha do tipo de ensaio a realizar, aparece a janela principal onde se podem visualizar os vários parâmetros de funcionamento: temperaturas, pressões, binário, velocidade de rotação, potência, tempo de ensaio, tempo real, número do passo de ensaio e tempo de passo decorrido e regime imposto através dos valores de controlo para binário e velocidade de rotação (cf. figura 7). Além dos mostradores, podem ainda identificar-se quatro botões que permitem dar início a outras tantas acções. Assim pode ser escolhido o botão VOLTAR que permite recuar à janela anterior para possíveis alterações, o botão INICIAR que permite dar início ao ciclo de controlo e aquisição propriamente dito. Também está disponível um botão de FIM ENSAIO, que permite finalizar um dado ensaio permitindo ainda a de visualização dos gráficos disponíveis através da selecção do botão GRÁFICOS.

A escolha do botão INICIAR, que serve de sinal para o início do ensaio, obriga a uma série de acções que, reguladas pelo tempo, vão impondo ao motor e ao freio o regime adequado com a especificação da norma de ensaio. Além disso, permite a monitorização dos valores correspondentes às variáveis que se pretendam em valor absoluto através da sua visualização num gráfico, permitindo a visualização dos parâmetros de controlo do ensaio e ainda o armazenamento, para cada passo do ciclo de ensaio, dos valores médios de todas as variáveis do ensaio.

Foram efectuados dois ensaios em condições semelhantes e controlados. Um pelo operador e outro, pelo sistema automático, cujos resultados se apresentam na figura 8. Observando os gráficos apresentados são notórios os melhoramentos introduzidos pelo sistema automatizado, bem visível no seguimento das linhas de controlo que são muito mais perfeitas no caso do controlo automático.

O sistema desenvolvido mostrou que consegue melhorar os tempos de resposta, uma vez que o intervalo de tempo entre a mudança de regime imposta e o consequente seguimento por parte do motor, é manifestamente menor do que no caso do controlo manual.

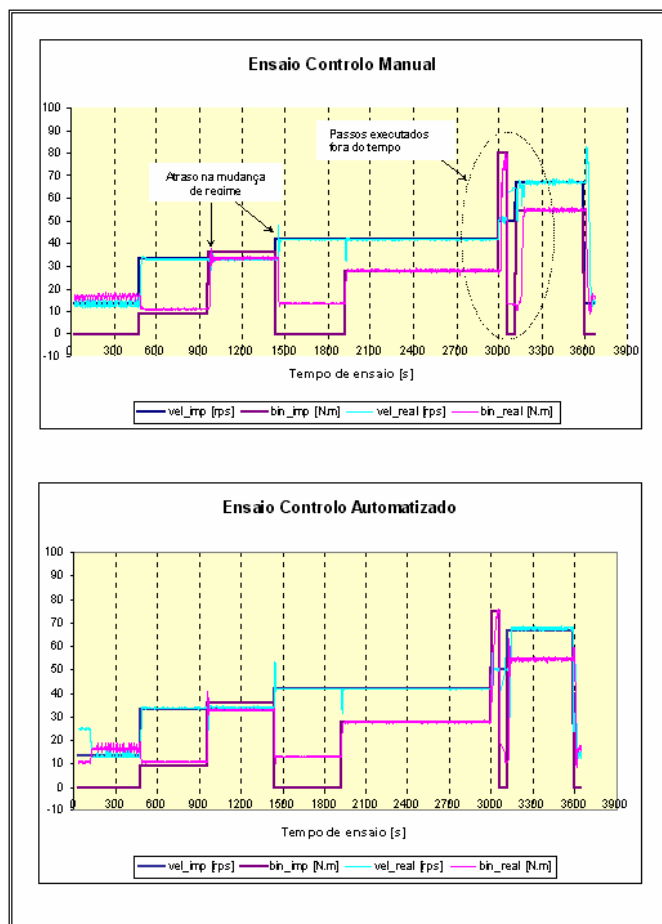


Figura 8 – Janela de visualização de todos os dados referentes ao decorrer do ensaio.

A experiência anterior na realização de vários ciclos realizados sem o sistema automático agora utilizado, revela que é impossível realizar os ensaios sempre da mesma forma uma vez que, devido à necessidade de anotar os dados, e à urgência de fazer a mudança de regime num espaço de tempo bastante curto, implica a inexistência de qualquer possibilidade de cumprir as tarefas nos tempos certos, com a agravante de se cometerem alguns erros devido à tentativa, algumas vezes frustrada, de se fazer tudo bem e depressa.

3.2. Sistema de aquisição e análise das vibrações

3.2.1. Objectivos e sistema de medição

Apresenta-se nesta secção outro exemplo de um sistema de aquisição de dados desenvolvido pelos autores e cujo objectivo é a medição e o tratamento de dados relativos às vibrações induzidas no corpo humano de acordo com a norma ISO 2631/1 [2], em especial para avaliar o conforto no interior de veículos, bem como com outros critérios de avaliação. De seguida, descreve-se o equipamento desenvolvido, a sua calibração e a realização de diversos testes efectuados com a finalidade de analisar a funcionalidade do mesmo.

Os parâmetros a ter em conta para a análise das vibrações no corpo humano estão indicados na norma ISO 2631- parte 1. A norma define os métodos de medição a utilizar para vibrações periódicas, aleatórias e transitórias aplicadas a todo o corpo humano, indicando os principais factores a combinar para a determinação do nível de exposição às vibrações. A gama de frequências abrangida é de 0,5 a 80 Hz na análise dos riscos de saúde, do conforto e da percepção das vibrações, e de 0,1 a 0,5 Hz para avaliar o enjoo.

O modo como as vibrações afectam a saúde, o conforto, a percepção e o enjoo depende da sua frequência, sendo, por isso, utilizados diferentes factores de ponderação na análise das mesmas. Diferentes eixos têm diferentes factores de ponderação. A norma define, em função dos três eixos ortogonais, dois factores de ponderação (w_k e w_d) relativos à saúde, conforto e percepção. Outros factores de ponderação estão consagrados, nomeadamente para a situação de enjoo (w_f) e para situações especiais com factores adicionais (w_e , w_c e w_f). No anexo A da referida norma apresentam-se as expressões matemáticas que permitem obter as curvas de ponderação em função da frequência da vibração. O corpo humano apresenta picos de sensibilidade em função da frequência da vibração consoante a aceleração seja na direcção z (4 - 10 Hz) ou nas direcções x e y (0,5 - 2 Hz).

O sistema de aquisição, que se esquematiza na figura 9, baseia-se num computador pessoal portátil equipado com uma placa de conversão analógica-digital PCMCIA à qual está ligado um condicionador do sinal proveniente de um acelerómetro piezoeléctrico triaxial. O sinal adquirido é armazenado e posteriormente tratado com software desenvolvido para o efeito.

Nos testes efectuados, como elementos sensores primários utilizaram-se dois acelerómetros piezoeléctricos triaxiais Brüel & Kjær, do tipo 4322 designados por sensor A e B. As sensibilidades axiais de um destes sensores, de acordo com as especificações do fabricante, estão indicadas na tabela 1.

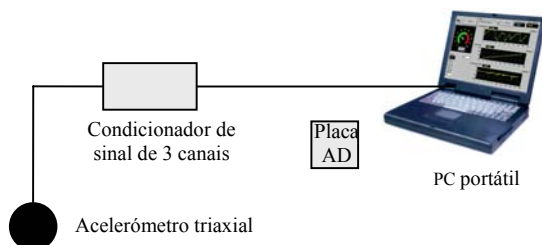


Figura 9 – Janela de visualização de todos os dados referentes ao decorrer do ensaio.

Eixo	x	y	z	Unidades
Sensibilidade de carga (159,2 Hz)	1,001	1,008	1,014	pC/ms ⁻²
Sensibilidade de carga (1,25 Hz)	1,054	1,061	1,068	pC/ms ⁻²

Tabela 1 - Sensibilidades do acelerómetro triaxial da Brüel & Kjær do tipo 4322 (sensor A).

A saída do sensor é ligada a um sistema de condicionamento de sinal desenvolvido para o efeito e que é composto por três canais iguais, cuja saída se destina a ser ligada à referida placa de aquisição instalada no computador. Cada canal do sistema de condicionamento é composto por dois estágios distintos de amplificação. O estágio de entrada corresponde a um amplificador de carga, cuja função é transformar em tensão o sinal de carga correspondente à saída dos acelerómetros. Esta função é assegurada por um circuito integrado do tipo AD 549, o qual possui uma impedância de entrada da ordem de $10^{13} \Omega$ e uma corrente de polarização de entrada, tipicamente, de 100 fA. O circuito implementado possui uma frequência de corte de 160 Hz, que é claramente superior à frequência máxima do sinal que se pretende analisar. A saída do amplificador de carga é ligado ao segundo estágio, constituído por um amplificador de instrumentação de precisão, do tipo AD 524. Para ser possível uma boa adaptação da amplitude dos sinais de tensão correspondentes à vibração, é possível seleccionar quatro valores de ganho diferentes: 1, 10, 100 ou 1000. Para além do ganho, é também possível regular o valor do desvio de zero na entrada e na saída, através de simples potenciómetros multipista.

Cada um dos três canais do sistema de condicionamento é alimentado por um conversor DC/DC cuja saída é de ± 15 volt, o que, para além de possibilitar a alimentação de energia dos circuitos de cada canal, garante um melhor isolamento entre os três canais.

Todo o conjunto, correspondente aos três eixos, encontra-se montado nas respectivas placas de circuito impresso, feitas em fibra “epoxy”, devidamente encerradas no interior de uma caixa metálica o que lhe confere uma elevado grau de imunidade a ruídos eléctricos induzidos.

Destinando-se este sistema a ser utilizado para a medição das vibrações no interior de veículos pesados e ligeiros, é possível alimentá-lo directamente de uma bateria ou de uma tomada do veículo, em virtude de a sua alimentação poder ser feita com uma tensão contínua compreendida entre 9 e 28 volt.

3.2.2. Programa de computador

Tal como no exemplo descrito anteriormente, foi escrito um programa de computador no programa comercial de desenvolvimento de aplicações TestPoint que permite ao utilizador controlar todos os parâmetros relevantes de aquisição, tais como: a frequência de varrimento dos canais, o início e o fim da aquisição, etc. Este programa divide-se em duas partes fundamentais: uma de aquisição e armazenamento do sinal e outra de tratamento dos dados.

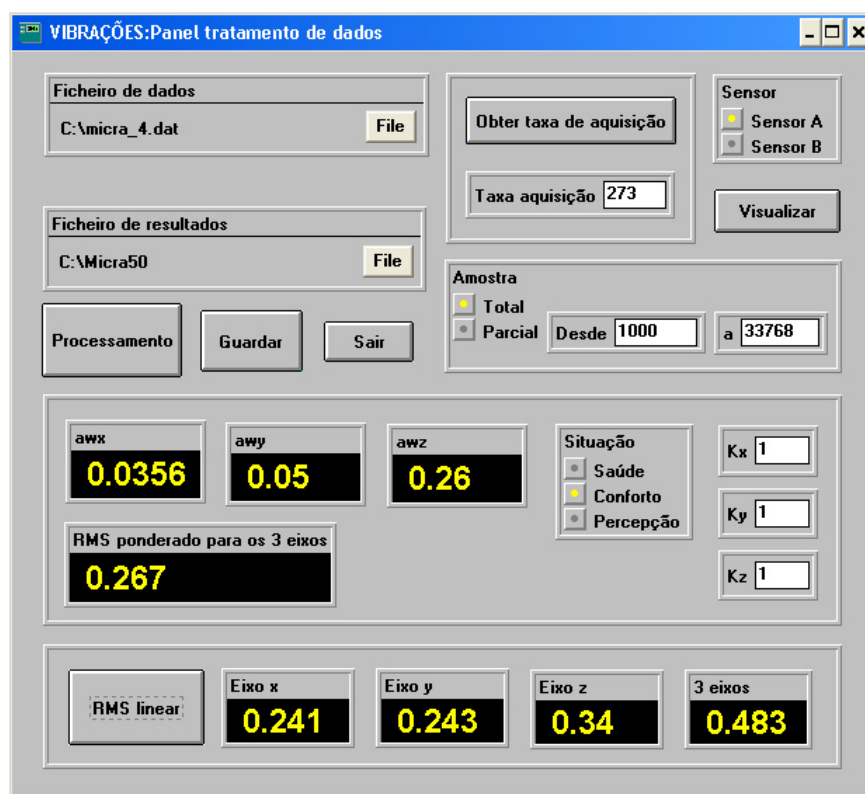


Figura 10 – Janela de visualização de todos os dados referentes ao decorrer do ensaio.

Para a aquisição e armazenamento do sinal eléctrico proveniente do condicionador de sinal é apenas necessário atribuir um nome ao ficheiro onde serão registadas as leituras e definir a taxa de aquisição que deve ser escolhida com algum cuidado. Na escolha da taxa de aquisição é necessário ter em conta o teorema de Nyquist, que diz que “a taxa de aquisição de um sistema que está a adquirir um sinal deve ter uma frequência pelo menos dupla da frequência mais elevada do referido sinal”. Para sinais de vibração no corpo humano, uma frequência de aquisição de 160 amostras/segundo é suficiente, dado que a gama de vibrações a considerar situa-se, de acordo com a norma ISO 2631, dos 0,1 aos 80 Hz. Para além deste teorema deve-se ter em conta o algoritmo da Transformada Rápida de Fourier (FFT), utilizado para filtrar o sinal, que utiliza séries com a dimensão de potência de base dois [3]. Logo, se

a série de dados a tratar não tiver esta dimensão, o algoritmo de cálculo adiciona zeros até alcançar uma dimensão correspondente a uma potência de base dois, o que alterará de forma considerável o resultado final.

Atendendo ao supra exposto, deve ter-se em consideração o tempo de aquisição, e escolher, em função deste, uma taxa de aquisição que permita que os dados recolhidos tenham uma dimensão igual ou ligeiramente inferior a uma potência de base dois.

Na figura 10 apresenta-se uma imagem da interface gráfica do programa de tratamento de dados. Para proceder ao tratamento, o utilizador tem de aceder ao ficheiro de dados. Este ficheiro, quando gerado por uma aquisição deste programa, tem registado a data, a hora de início da leitura e a taxa de aquisição. Assim, deve-se obter a taxa de aquisição daquele ficheiro, pressionando o botão criado para o efeito. Em virtude da existência de dois sensores primários, cada um com diferentes rectas de calibração, no programa é possível definir qual dos acelerómetros foi utilizado na aquisição.

O utilizador pode ainda escolher a situação que pretende analisar (saúde, conforto ou percepção). Os factores de ponderação estão, para cada caso, definidos no programa, podendo no entanto, o utilizador definir outros valores. Caso se pretenda guardar os resultados, é necessário atribuir o nome ao ficheiro de resultados.

Quando a amostra a tratar tem uma dimensão pequena, o erro no cálculo dos valores ponderados poderá ser elevado, não fazendo sentido o seu cálculo, podendo retirara-se simplesmente o valor de RMS linear.

No programa desenvolvido é possível visualizar graficamente os dados, o que permite tomar uma decisão sobre a dimensão da amostra que se quer tratar. O programa permite que se opte por fazer um tratamento de toda a amostra ou apenas de uma parte seleccionada.

O processamento do sinal consiste em primeiro lugar na leitura do ficheiro, separando o sinal de cada um dos três eixos. Este sinal, valor em tensão, é convertido para um valor de aceleração instantânea, através da recta de calibração determinada para cada eixo, consoante o acelerómetro definido pelo utilizador. A etapa seguinte, a mais crítica e demorada, consiste em fazer passar, para cada eixo, o sinal por filtros de banda passante iguais às bandas de terço de oitava. Como entre 0,5 e 80 Hz há 23 bandas de terço de oitava, obtêm-se 23×3 sinais. Seguidamente é calculado o RMS do sinal de cada uma das bandas. Depois do cálculo destes, obtém-se a aceleração ponderada, para cada eixo, em função do RMS e do factor de ponderação de cada banda. Finalmente, calcula-se o valor da vibração total, em função da aceleração ponderada de cada eixo e dos factores de ponderação.

Os valores da aceleração ponderada de cada eixo e da vibração total são apresentados pelo programa. Depois do processamento concluído, podem-se alterar os factores de multiplicação e/ou a situação em análise.

3.2.3. Calibração do sistema

Para a calibração do sistema utilizou-se uma máquina de ensaios de fadiga (cf. figura 11), onde foi possível gerar um movimento oscilatório de amplitude e frequência constantes, tendo-se obtido as rectas de calibração do sistema para os três eixos ortogonais de cada um dos sensores primários.

A referida máquina permite, através de um LVDT (“Linear Variable Differential Transformer”), medir o deslocamento imposto ao acelerómetro, previamente fixado. O sinal seleccionado para calibrar o sistema de aquisição foi o correspondente a um deslocamento harmónico simples.

Em virtude dos acelerómetros tri-axiais utilizados medirem as acelerações nas três direcções ortogonais, calibraram-se cada um dos seus eixos independentemente.

Foram feitas leituras em diversas frequências de forma a testar a independência do sistema em relação à frequência de oscilação. As frequências utilizadas e as respectivas amplitudes de oscilação estão indicadas na tabela 2.



Figura 11 – Janela de visualização de todos os dados referentes ao decorrer do ensaio.

Convém referir que, apesar das frequências de utilização do sistema de acordo com a ISO 2631 serem de 0,5 a 80 Hz, apenas foi possível utilizar na calibração uma frequência máxima de 30 Hz em função das características da máquina disponível.

Frequência [Hz]	1	5	15	30
Amplitude [mm]	2,5	1,5	0,75	0,15
	2,0	1,2	0,60	0,12
	1,5	0,9	0,45	0,09
	1,0	0,6	0,30	0,06
	0,5	0,3	0,15	0,03

Tabela 2 – Frequências e amplitudes de calibração.

Na figura 12 representam-se os sinais das saídas em tensão do acelerómetro e do LVDT durante um dos ensaios de calibração realizados.

O sinal do LVDT é relativo ao deslocamento, enquanto que o sinal do acelerómetro é relativo à aceleração, pelo que, como seria de esperar, os sinais apresentaram um desfaseamento de 180° .

O processamento do sinal do LVDT consistiu em determinar a amplitude média do sinal em tensão, convertendo essa amplitude, através do valor da sensibilidade estática do LVDT (0,015 m/V), no correspondente valor de deslocamento médio obtendo assim o valor da aceleração linear máxima.

Para o sinal do acelerómetro apenas se determinou a média das amplitudes máximas do sinal em tensão, ou seja o pico do sinal.

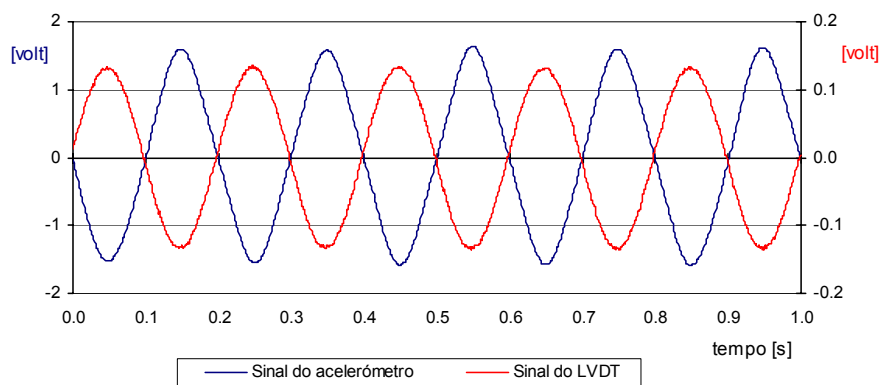


Figura 12 – Sinal do acelerómetro vs. sinal do LVDT.

Com os valores da aceleração linear máxima imposta na máquina e da amplitude do sinal do acelerómetro obtiveram-se as rectas de calibração para cada um dos eixos. Na figura 13 está representada uma das rectas de calibração, no caso para o eixo y do sensor A.

Na tabela 3, apresentam-se os valores da sensibilidade estática e do coeficiente de correlação para os três eixos de ambos os sensores.

Sensor	Eixo	Sensibilidade estática	Factor de correlação
A	x	1,057	0,999
	y	1,070	0,997
	z	9,524	0,999
B	x	1,039	0,999
	y	1,075	0,999
	z	9,630	0,987

Tabela 3 - Sensibilidade estática e factor de correlação do sistema.

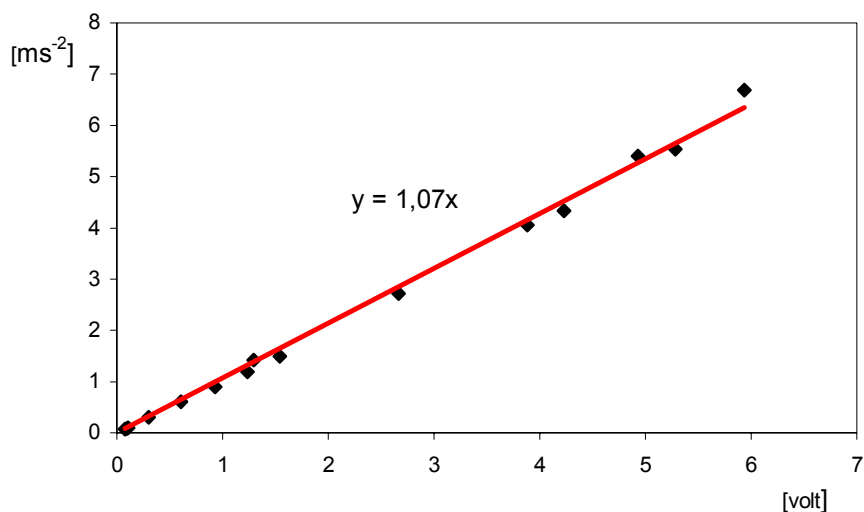


Figura 13 – Recta de calibração para o eixo y do sensor primário A.

3.2.4. Ensaio comparativo

Efectuou-se um ensaio comparativo do sistema desenvolvido com um outro sistema baseado num sonómetro Brüel & Kjær que analisa as vibrações do corpo humano de acordo com a versão anterior (1985) da norma ISO 2631 [4]. Assim, no software do sistema desenvolvido pelos autores foram introduzidos os factores de ponderação em frequência que eram utilizados na versão de 1985.

O objectivo deste ensaio foi verificar a concordância da resposta dos dois sistemas.

O ensaio foi realizado na máquina de ensaios de fadiga, impondo uma frequência e amplitude de oscilação constante ao acelerómetro (sensor A). Os valores da aceleração para cada eixo e o correspondente valor total foram adquiridos e analisados através dos dois sistemas. Tal como durante os ensaios realizados durante a calibração adquiriu-se o sinal do LVDT da própria máquina por forma a confirmar o sinal de aceleração imposto. O tempo de aquisição de cada uma das leituras foi de vinte segundos.

As frequências e amplitudes impostas, bem como a aceleração total equivalente obtida pelos dois sistemas de medida, estão indicadas na tabela 4.

Da análise dos dados obtidos pode-se verificar que existe uma boa concordância entre os valores medidos por ambos os sistemas de leitura.

Freq. [Hz]	Amplitude [mm]	Aceleração BK2231 [ms^{-2}]	Aceleração Sistema [ms^{-2}]	Dif. [%]
10	1,04	2,22	2,33	4,7
	0,54	1,15	1,20	4,2
5	1,73	1,29	1,21	6,6
	0,87	0,65	0,61	6,6

Tabela 4 – Resultados do ensaio comparativo.

4. CONCLUSÕES

Apresentaram-se os elementos constituintes de um sistema de aquisição, processamento e armazenamento de dados baseado nos computadores pessoais e as suas principais funções neste tipo de sistema de medida.

Quer no exemplo do sistema de aquisição e controlo do banco de ensaio de motores, quer no sistema de aquisição e processamento das vibrações no corpo humano, foram descritos os principais componentes desenvolvidos e utilizados nos referidos sistemas de medição, desde os elementos sensores e transdutores até ao elemento final da cadeia de medição, o software de medição desenvolvido. Em ambos os exemplos foi elaborado um programa de computador no programa comercial de desenvolvimento de aplicações TestPoint.

As vantagens de desenvolver este tipo de sistemas de aquisição, processamento e armazenamento de dados, apesar de nalgumas aplicações existirem soluções comerciais com o mesmo intuito são evidentes. Assim, para além de se estudar o fenómeno físico em causa, permitindo adquirir um conhecimento profundo do objecto da medição e do processo de medição, fica-se com uma noção clara de como ele funciona, o que permite resolver rapidamente qualquer problema que possa surgir, facilitando também a análise de anomalias que ocorram durante o processo de medição.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Park, J., Mackay, S., *Practical Data Acquisition for Instrumentation and Control Systems*, Elsevier, 2003 (ISBN: 07506 57960).
- [2] ISO 2631, *Mechanical vibration and shock - evaluation of human exposure to whole-body vibration*, Geneva: International Standard Organization, 1997.
- [3] Bendat, J. S., *Random data - analysis and measurement procedures*, John Wiley & Sons, 1986 (ISBN: 0 471-04000-2).
- [4] ISO 2631, *Mechanical vibration and shock - evaluation of human exposure to whole-body vibration*, Geneva: International Standard Organization, 1985.
- [5] Plint, M., Martyr, A., *Engine Testing*, Butterworth Heinemann, 1999 (ISBN: 0 7506 4021 9).