



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL
MESTRADO ACADÊMICO

LUIS GABRIEL GUANABARA KELER GESTEIRA

SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS BASEADO EM LABVIEW PARA UM
DINAMÔMETRO DE CHASSI

Salvador
2014

LUIS GABRIEL GUANABARA KELER GESTEIRA

**SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS BASEADO EM LABVIEW PARA UM
DINAMÔMETRO DE CHASSI**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Industrial da Universidade Federal da Bahia como requisito para conclusão do Mestrado Acadêmico.

Orientador: Prof. Dr. Ednildo Andrade Torres

Coorientador: Prof. Dr. Iuri Muniz Pepe

Salvador

2014

G393 Gesteira, Luis Gabriel Guanabara Keler.

Sistema de aquisição de dados baseado em LabVIEW
para um dinamômetro de chassi – Salvador, 2014.

83f. : il. color.

Orientador: Prof. Ednildo Andrade Torres.

Co-orientador: Prof. Iuri Muniz Pepe

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal da Bahia.
Escola Politécnica, 2014.

1. Veículos a motor. 2. Sistema de dados – aquisição. 3.
Dinamômetro I. Torres, Ednildo Andrade. II. Pepe, Iuri Muniz.
III. Universidade Federal da Bahia. IV. Título.

CDD: 629.24

TERMO DE APROVAÇÃO

LUIS GABRIEL GUANABARA KELER GESTEIRA

SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS BASEADO EM LABVIEW PARA UM DINAMÔMETRO DE CHASSI

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Industrial da Universidade Federal da Bahia como requisito para conclusão do Mestrado Acadêmico.

Prof. Dr. Ednildo Andrade Torres (Orientador)

Universidade Federal da Bahia

Prof. Dr. Iuri Muniz Pepe (Coorientador)

Universidade Federal da Bahia

Prof. Dr. Júlio Mendes da Silva (Examinador Interno)

Universidade Federal da Bahia

Prof. Dr. Vitor Pinheiro Ferreira (Examinador Externo)

Universidade Federal do Recôncavo Baiano

Salvador, 11 de março de 2014

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Dr. Ednildo Andrade Torres, pela orientação sempre pertinente, coerente e lúcida, que permitiram encontrar o rumo correto e o destino alcançado por este trabalho.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Iuri Muniz Pepe pelos ensinamentos e experiências transmitidas, por ceder o Laboratório de Propriedades Óticas (LAPO) para o meu estudo e pesquisa e pela sua grande contribuição para o sucesso deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Francisco Moreno Gómez pela receptividade, orientação e suporte durante o meu intercâmbio na Espanha, por abrir as portas do Laboratório de Motores (LAM) da Universidade de Zaragoza para a minha pesquisa.

À Universidade Federal da Bahia (UFBA), ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Industrial (PEI) e todos os seus respectivos funcionários, por todo o apoio e confiança depositados a mim.

Aos amigos Antonio Gabriel Souza Almeida e José Altino Alves de Menezes, por estarem sempre disponíveis a me ajudar em todos os momentos de necessidade e Tito Britto Santos e Jeferson Tondo Alves, por compartilharem do mesmo programa de pós-graduação, sempre unidos e se ajudando reciprocamente.

Ao meu Pai, por vivenciar todo o desenvolvimento deste trabalho e lutar juntamente comigo para a conclusão do mesmo. À minha Mãe, Irmã e todos os meus familiares, verdadeiras motivações, não só para o desenvolvimento e conclusão do meu mestrado, mas para toda a vida.

À minha namorada, Ornela Vendruscolo, por todo amor e compreensão e a todas as pessoas que aqui deixei de citar, mas que de alguma forma contribuíram para o meu sucesso.

RESUMO

Considerando a temática atual de sustentabilidade ambiental e sabendo-se que o veículo automotivo é um dos meios de transporte mais importantes e com maior impacto na sociedade, é essencial testar estes veículos a fim de quantificar parâmetros pertinentes. Desta forma, possibilita-se o aumento de desempenho e a redução dos danos ambientais provocados pelo uso recorrente deste meio de transporte.

No sentido de tornar mais eficaz um dinamômetro de veículos automotivos, nesta dissertação foi desenvolvido um sistema de aquisição de dados para aplicação em um antigo dinamômetro de chassi Bosch FLA 203 do Laboratório de Motores da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia que avalia torque e potência mecânica de veículos automotivos.

Primeiramente, uma revisão da literatura sobre dinamômetros e sistemas de aquisição de dados é apresentada. Em seguida, são detalhados os materiais e métodos, isto é, as características do Laboratório de Motores da instituição, o projeto, desenvolvimento e montagem do *hardware* e a elaboração do *software* em LabVIEW do sistema de aquisição de dados.

Ao final, o sistema de aquisição de dados foi simulado e validado. A curva do sistema de aquisição de dados seguiu a tendência da curva do dinamômetro Bosch FLA 203, entretanto, superestimou os valores da potência mecânica. O erro entre os dados de ambos os sistemas de aquisição de dados foi de aproximadamente $\pm 10\%$, o qual foi aceitável para validação do sistema.

Considera-se que este sistema será uma ferramenta fundamental para o avanço da pesquisa atual com veículos automotivos, utilizando diferentes misturas de biocombustíveis, realizadas pelo Laboratório de Motores.

Palavras-chave: veículos automotivos, dinamômetro de chassi, sistema de aquisição de dados.

ABSTRACT

Regarding the environmental sustainability and the fact that the automotive vehicle is one of the most important transportation facilities with high impact on the modern society, it is essential to test these vehicles in order to quantify relevant parameters. Thus provides the possibility of performance growth and the environmental damage reduction caused by its recurrent use.

In order to improve an automotive vehicle dynamometer, a data acquisition system was developed in this dissertation to be used in an old Bosch FLA 203 chassis dynamometer placed on the Engine Lab at the Polytechnic School of the Federal University of Bahia, which evaluates automotive vehicles torque and mechanical power.

First of all, a literature review on dynamometers and data acquisition systems is presented. Then the data acquisition system materials and methods are detailed, i.e., the Institute Engine Lab features, the hardware project, development and assembly and the LabVIEW software programming.

Finally, the data acquisition system was simulated and validated. The data acquisition system graph followed the trend of the Bosch FLA 203 dynamometer graph; however, it has overestimated the mechanical power. The error between the data from both data acquisition systems was approximately $\pm 10\%$, which was acceptable to validate the system.

This system will be a key tool to improve the current automotive vehicles research using different biofuel blends performed by the Engine Lab.

Keywords: automotive vehicles, chassis dynamometer, data acquisition system, software.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Princípio de funcionamento de um freio dinamométrico.	18
Figura 2:	Sistema de controle automatizado para medir e registrar dados de teste em um dinamômetro de chassi.	22
Figura 3:	Representação de uma célula dinamométrica composta de diversos sistemas auxiliares.	24
Figura 4:	Curvas características dos motores ou veículos automotivos.	25
Figura 5:	Dinamômetro de chassi Bosch FLA 203 do Laboratório de Motores. (a) Rolos inerciais. (b) Sistema de controle e aquisição de dados. (c) Freio de corrente de Foucault e célula de carga.	35
Figura 6:	Ford Ranger XLT 4x4 Diesel do Laboratório de Motores.	37
Figura 7:	Diagrama de blocos do <i>hardware</i> do sistema de aquisição de dados.	38
Figura 8:	<i>Hardware</i> do sistema de aquisição de dados. (a) Vista frontal do gabinete. (b) Detalhe interno do gabinete.	38
Figura 9:	Sensor indutivo utilizado para medição da velocidade dos rolos inerciais do dinamômetro de chassi.	39
Figura 10:	Montagem do conjunto sensor indutivo e disco circular com oito parafusos utilizados para medição da velocidade dos rolos inerciais.	40
Figura 11:	Célula de carga utilizada para medição do torque dos veículos automotivos no dinamômetro de chassi.	41
Figura 12:	Esquema elétrico de ligação da célula de carga.	42
Figura 13:	Montagem da célula de carga para medição do torque dos veículos automotivos.	43
Figura 14:	Conversor de frequência-tensão utilizado para condicionar o sinal de saída do sensor indutivo.	44
Figura 15:	Esquema elétrico de ligação do conversor de frequência-tensão.	45
Figura 16:	Circuito típico de conversão de frequência-tensão utilizando o chip LM231.	46
Figura 17:	Amplificador de tensão utilizado para condicionar a saída elétrica da célula de carga.	47
Figura 18:	Esquema elétrico de ligação do amplificador de tensão.	48

Figura 19:	Circuito típico de amplificação de tensão utilizando o chip de 16 pinos INA125.	49
Figura 20:	Dispositivo DAQ NI USB-6008 utilizado para adquirir os sinais de medição.	50
Figura 21:	Diagrama de blocos dos dispositivos DAQ NI USB-6008/6009.	51
Figura 22:	Diagrama funcional das entradas analógicas dos dispositivos DAQ NI USB-6008/6009.	52
Figura 23:	Diagrama funcional da entrada analógica diferencial flutuante dos dispositivos DAQ NI USB-6008/6009.	52
Figura 24:	Diagrama funcional da entrada analógica diferencial referenciado ao terra dos dispositivos DAQ NI USB-6008/6009.	53
Figura 25:	Diagrama de blocos de parte do código fonte do <i>software</i> desenvolvido em LabVIEW.	55
Figura 26:	Painel frontal da janela inicial do <i>software</i>	56
Figura 27:	Painel frontal da janela de calibração do <i>software</i>	57
Figura 28:	Painel frontal da janela de configuração do <i>software</i>	58
Figura 29:	Painel frontal da janela de ensaio do <i>software</i>	59
Figura 30:	Painel frontal da janela de gráficos do <i>software</i>	60
Figura 31:	Aparato experimental da simulação. (a) PC. (b) DAC.	62
Figura 32:	Simulação do sistema DAQ. Em preto a curva produzida pelo DAC e em vermelho a aquisição de dados do sistema DAQ.	63
Figura 33:	Teste de qualidade do sistema DAQ.	64
Figura 34:	Gráfico do desvio da velocidade dos rolos inerciais.	66
Figura 35:	Curvas de potência produzidas pelo sistema de aquisição de dados Bosch FLA 203.	68
Figura 36:	Curvas de potência do sistema de aquisição de dados Bosch FLA 203 no OriginPro 8.	69
Figura 37:	Curvas de potência da roda e potência dissipada do sistema DAQ no OriginPro 8.	71
Figura 38:	Comparação entre as curvas do Bosch FLA 203 e do sistema DAQ.	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Ficha técnica das principais características do sensor indutivo da Metaltex.	39
Tabela 2:	Ficha técnica das principais características da célula de carga da Tede- a-Huntleigh.	41

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ABDI	–	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABNT	–	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADC	–	Analog-to-Digital Converter
CF	–	Correction Factor
DAC	–	Digital-to-Analog Converter
DAQ	–	Data Acquisition
DIN	–	Deutsches Institut für Normung
IEA	–	International Energy Agency
ISO	–	International Organization for Standardization
JIS	–	Japanese Industrial Standard
NI	–	National Instruments
PC	–	Personal Computer
PM	–	Ponto Morto
SAE	–	Society of Automotive Engineers
VI	–	Virtual Instrument
α	–	Aceleração angular (rad/s^2)
b	–	Braço de alavanca (m)
E	–	Erro (%)
F	–	Força (N)
I	–	Momento de inércia (kg.m^2)
n	–	Frequência de rotação (Hz ou RPM)
P	–	Potência em condição atmosférica local (W)
P_0	–	Potência em condição atmosférica de referência (W)
p	–	Pressão atmosférica local (kPa)
p_0	–	Pressão atmosférica de referência (kPa)
p_v	–	Pressão de vapor local (kPa)
p_{v0}	–	Pressão de vapor de referência (kPa)
R	–	Resolução (mV)
T	–	Torque (N.m)
T	–	Temperatura local (K)
T_0	–	Temperatura de referência (K)

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
1. JUSTIFICATIVA	14
1.1 OBJETIVO GERAL	15
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	15
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2. DINAMÔMETROS	17
2.1 TIPOS DE DINAMÔMETROS	17
2.1.1. Quanto ao princípio de funcionamento	17
2.1.2. Quanto à construção	21
2.2 CURVAS CARACTERÍSTICAS	24
2.3 FATORES DE CORREÇÃO DE POTÊNCIA	25
2.3.1. DIN 70020	26
2.3.2. ISO 1585	26
2.4 APLICAÇÕES DE DINAMÔMETROS	28
3. SISTEMAS DE AQUISIÇÃO DE DADOS	29
3.1 COMPONENTES DE UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS	30
3.1.1. Sensor	30
3.1.2. Condicionador de sinal	30
3.1.3. Dispositivo de aquisição de dados	30
3.1.4. Software	30
3.2 TIPOS DE SISTEMAS DE AQUISIÇÃO DE DADOS	31
3.3 APLICAÇÕES DE SISTEMAS DE AQUISIÇÃO DE DADOS	31
MATERIAIS E MÉTODOS	34
4. LABORATÓRIO DE MOTORES DA UFBA	34
4.1 O DINAMÔMETRO DE CHASSI	34
4.1.1. Análise dinâmica	36
4.1.2. Análise estática	36
4.2 VEÍCULO AUTOMOTIVO	36
5. HARDWARE	37
5.1 SENSORES	39
5.1.1. Sensor de pulsos	39
5.1.2. Célula de carga	40
5.2 CONDICIONADORES DE SINAL	43
5.2.1. Conversor de frequência-tensão	43
5.2.2. Amplificador de tensão	46
5.3 DISPOSITIVO DE AQUISIÇÃO DE DADOS	49
5.3.1. Entradas analógicas	51
6. SOFTWARE	54
6.1 INÍCIO	56

6.2	CALIBRAÇÃO	56
6.3	CONFIGURAÇÃO.....	57
6.4	ENSAIO.....	58
6.5	GRÁFICOS	59
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....		61
7.	SIMULAÇÃO DO SISTEMA DAQ	61
7.1	APARATO EXPERIMENTAL	62
7.2	AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS.....	62
8.	VALIDAÇÃO DO SISTEMA DAQ.....	64
8.1	VELOCIDADE DOS ROLOS INERCIAIS	65
8.2	INÉRCIA DO DINAMÔMETRO DE CHASSI.....	67
8.3	AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS.....	68
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....		74
9.	CONCLUSÕES.....	74
9.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	75
REFERÊNCIAS		76
APÊNDICE.....		82

INTRODUÇÃO

1. JUSTIFICATIVA

Estudos da International Energy Agency (IEA) de 2009 mostram que o transporte é responsável por 19% do uso global da energia e 23% das emissões de CO₂ e que esses valores provavelmente aumentarão no futuro. Ainda de acordo com esses estudos, o uso da energia no transporte e as emissões de CO₂ são projetados para aumentar em quase 50% em 2030 e acima dos 80% até 2050.

O veículo automotivo é um dos meios de transporte mais importantes e com maior impacto na sociedade atual. A busca por veículos mais econômicos e ecologicamente corretos, a preocupação mundial com as mudanças climáticas, as questões de sustentabilidade e a severa legislação atual, demonstram a importância desses temas como fator preponderante para o direcionamento do desenvolvimento tecnológico. Ressaltando o peso destes temas no mercado de automóveis e na indústria automobilística nos próximos anos no Brasil e em todo o mundo (ABDI, 2009).

Neste cenário fica patente a necessidade de poder realizar testes nos veículos, seja nos novos modelos ou em modelos mais antigos que necessitem retrabalho corretivo, a fim de quantificar parâmetros pertinentes e permitir posteriores estudos relacionados a desempenho, eficiência, taxa de emissões de gases poluentes, consumo de combustíveis, combustíveis alternativos, entre outras linhas de investigação.

No sentido de tornar mais eficaz um dinamômetro de veículos automotivos, nesta dissertação foi desenvolvido um sistema de aquisição de dados, baseado em LabVIEW, para aplicação em um antigo dinamômetro de chassi Bosch FLA 203. Este equipamento, comprado há mais de 10 anos, não é mais capaz de fornecer dados de testes em um formato numérico manipulável, pois todas as suas interfaces de saída de

dados estão atualmente com algum tipo de avaria e a manutenção e o reparo das mesmas foi descontinuado pelo fabricante.

Considera-se que este sistema será uma ferramenta fundamental para o avanço da pesquisa atual com veículos automotivos, utilizando diferentes misturas de biocombustíveis, realizadas pelo Laboratório de Motores da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia.

1.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo geral desenvolver um sistema de aquisição de dados, baseado em LabVIEW, para tornar mais eficaz o uso do dinamômetro de chassi Bosch FLA 203 do Laboratório de Motores da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia que avalia torque e potência mecânica de veículos automotivos.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

São objetivos específicos deste trabalho de pesquisa:

- 1) Projetar, desenvolver e montar um *hardware* para a aquisição de dados do dinamômetro de chassi.
- 2) Elaborar um *software* em LabVIEW para comunicação com o usuário do dinamômetro de chassi.
- 3) Realizar uma simulação computacional para avaliar o sistema de aquisição de dados desenvolvido desprovido de ruídos eletromagnéticos.
- 4) Validar o sistema desenvolvido através da comparação entre os dados obtidos por ambos os sistemas de aquisição de dados.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O primeiro capítulo apresenta a introdução, isto é, a justificativa e os principais objetivos desta dissertação de mestrado. O segundo capítulo explora a fundamentação

teórica sobre dinamômetros e sistemas de aquisição de dados. No terceiro capítulo são detalhados os materiais e métodos, isto é, as características do Laboratório de Motores da Universidade Federal da Bahia, o desenvolvimento e montagem do *hardware* e a elaboração do *software* do sistema de aquisição de dados. O quarto capítulo apresenta os principais resultados e discussão da simulação e validação do sistema desenvolvido. No quinto capítulo são feitas as considerações finais através das conclusões e sugestões para trabalhos futuros. Por fim, no sexto capítulo encontram-se as referências utilizadas neste trabalho e no sétimo capítulo o apêndice.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2. DINAMÔMETROS

Os testes em laboratórios de motores são indispensáveis, tanto do ponto de vista da pesquisa, quanto no que diz respeito à docência, ao controle de qualidade, ao processo de homologação, entre outros (MUÑOZ *et al.*, 2008). O dinamômetro é o elemento mais importante de um laboratório de motores, pois é uma ferramenta poderosa que permite a determinação de torque e potência mecânica, além de dados de consumo de combustível, taxas de emissões de gases de combustão, entre outros parâmetros (BETTES *et al.*, 2008).

Os parâmetros mais utilizados para a análise do comportamento mecânico de um motor ou veículo automotivo, do ponto de vista de desempenho, são o torque e a potência mecânica. A potência é obtida a partir da determinação do torque, medido diretamente pelo dinamômetro, e/ou da velocidade de rotação, medida por um tacômetro incorporado aos dinamômetros. A quantificação destes parâmetros é feita durante os testes e visualizada na forma de curvas características (MUÑOZ *et al.*, 2008).

2.1 TIPOS DE DINAMÔMETROS

2.1.1. *Quanto ao princípio de funcionamento*

Existem dois tipos de dinamômetros usados para medir as características dos motores ou veículos automotivos, os dotados de freios dinamométricos e os dinamômetros inerciais. Os primeiros medem o torque e a potência mecânica usando uma célula de carga e são geralmente aplicados para medições de cunho científico. Por outro lado, os dinamômetros inerciais determinam estes mesmos parâmetros pela medição da potência e do torque entregues a cilindros de inércia, sendo usualmente utilizados em aplicações mais técnicas (MARTINS, 2006).

a) Freio dinamométrico

Um freio dinamométrico, como pode ser visto na Figura 1, consiste em um rotor acoplado ao volante do motor, ou às rodas do veículo automotivo, e um estator apoiado em rolamentos, solidário a uma célula de carga, disposta no extremo de um braço de alavanca (b). Este dispositivo serve para medir a força (F) necessária a se contrapor a força gerada pelo motor, ou pelo veículo, de forma à forçar a parada do movimento motor. O produto da força pelo comprimento do braço de alavanca fornece o torque, que multiplicado pela velocidade de rotação resulta na potência mecânica (MARTINS, 2006).

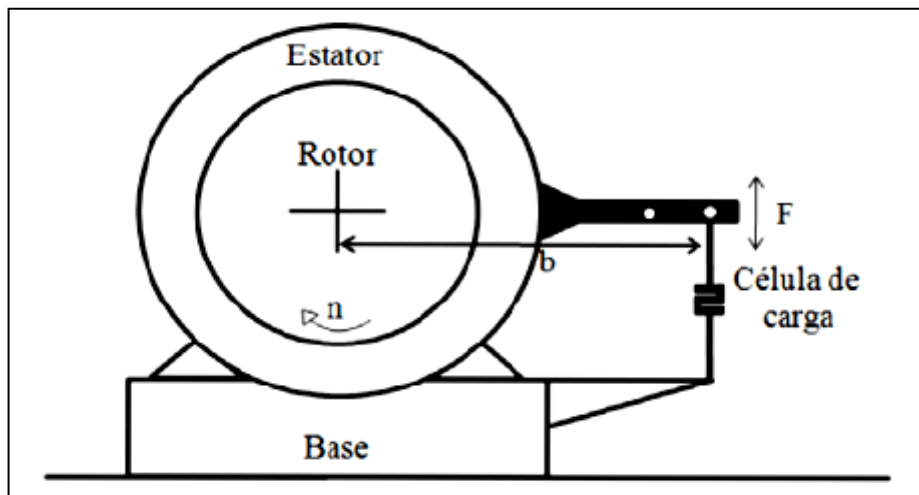


Figura 1: Princípio de funcionamento de um freio dinamométrico.

Fonte: (FIORESE *et al.*, 2012)

A partir da Equação 1, utilizando a notação usada na Figura 1, é possível obter o torque do motor ou veículo submetido a um teste com um freio dinamométrico.

$$T = F \cdot b \quad (1)$$

Onde:

T → Torque (N.m)

F → Força (N)

b → Braço de alavanca (m)

A partir da Equação 2, por sua vez, é possível determinar a potência mecânica gerada por um motor, ou veículo, e dissipada pelo freio dinamométrico durante um teste.

$$P = T \cdot 2\pi \cdot n \quad (2)$$

Onde:

P → Potência (W)

T → Torque (N.m)

n → Frequência de rotação (Hz ou RPM)

Este tipo de dinamômetro pode dissipar a potência do veículo de diferentes formas, ou seja, o freio pode ser eletrodinâmico, hidráulico ou de fricção. A carga do dissipador de potência pode ser variada por um controlador, que é capaz de operar com o veículo em velocidade constante ou acelerado (BETTES *et al.*, 2008).

b) Dinamômetro de inércia

Os dinamômetros de inércia consistem de massas inerciais, comumente cilindros com inércia conhecida, que são submetidas à força motriz do motor, ou veículo ensaiado. O motor pode estar diretamente acoplado ao dinamômetro através do seu volante, ou o veículo pode ser montado com suas rodas motrizes postas diretamente sobre os cilindros de inércia. Neste caso, são também determinadas a inércia do sistema de transmissão e a inércia das rodas (MARTINS, 2006).

Os dinamômetros de inércia são utilizados em motores ou veículos que podem desenvolver rápidas acelerações. São vantajosos por serem fáceis de usar, por não necessitarem de controle e resfriamento adicional. Proporcionam curvas de torque e potência mecânica em poucos segundos (MARTINS, 2006).

Medindo-se a velocidade angular, uma vez conhecido o momento de inércia do conjunto, o torque pode ser calculado pelo produto do momento de inércia e da aceleração angular (primeira derivada da velocidade angular). A potência é obtida a partir do produto do torque pela velocidade angular (MUÑOZ *et al.*, 2008).

A partir da Equação 3, obtém-se o torque do motor, ou do veículo, submetido a um teste com um dinamômetro de inércia.

$$T = I \cdot \alpha \quad (3)$$

Onde:

$T \rightarrow$ Torque (N.m)

$I \rightarrow$ Momento de inércia ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$)

$\alpha \rightarrow$ Aceleração angular (rad/s^2)

A partir da Equação 4, analogamente ao freio dinamométrico, é possível determinar a potência mecânica desenvolvida por um motor ou veículo e dissipada pelo dinamômetro de inércia durante um teste.

$$P = T \cdot 2\pi \cdot n \quad (4)$$

Onde:

$P \rightarrow$ Potência (W)

$T \rightarrow$ Torque (N.m)

$n \rightarrow$ Frequência de rotação (Hz ou RPM)

Este tipo de dinamômetro não é capaz de medir potência mecânica em velocidade constante ou simular condições de rodagem. Outra limitação, que impede que os dados produzidos no dinamômetro sejam estendidos ao mundo real, reside no fato de que a inércia do veículo automotivo deve ser assumida como constante. Contudo, um veículo em campo tem inércia variável devido a sua aerodinâmica, resistência à rolagem e

partes girantes, mesmo sabendo que o peso total do veículo permanece constante (BETTES *et al.*, 2008).

2.1.2. Quanto à construção

Existem dois tipos principais de dinamômetros, a célula dinamométrica, acionada diretamente pelo volante do motor, e o dinamômetro de chassi, acionado pelas rodas do veículo automotivo. Nos dois casos, dinamômetros ou freios dinamométricos permitem uma precisa medição da potência mecânica (BETTES *et al.*, 2008). Além do mais, dinamômetros de chassi e células dinamométricas são tecnologias maduras que devem permanecer como as principais fontes de dados experimentais de motores e veículos nos próximos anos (FRANCO *et al.* 2013).

a) Dinamômetro de chassi

Este equipamento serve para avaliar o desempenho dos veículos, porém, esta tarefa pode se tornar complexa quando se considera os mais variados fatores ambientais, como: a velocidade e a direção do vento, a temperatura, a subida e a descida de ladeiras, entre outros. A presença de cada um destes fatores representa diferentes desafios que podem ser superados com o uso de um dinamômetro de chassi, o qual é um dispositivo capaz de medir diretamente as forças que atuam nas rodas de um veículo automotivo. Além disso, alguns dinamômetros de chassi modernos são controlados por computador, o que os torna capaz de simular a condução sob condições reais (WAGER *et al.*, 2014).

Para que esse tipo de dinamômetro funcione, as rodas de acionamento do veículo devem ser posicionadas na parte superior de um rolo, que, durante o funcionamento, é utilizado para dissipar e medir a potência mecânica fornecida pelas rodas do veículo (BETTES *et al.*, 2008). O rolo resiste à força das rodas graças a um freio dinamométrico (elétrico, hidráulico ou de fricção) ou dinamômetro de inércia (BETTES, 2010).

Dinamômetros de chassi que operam com freios dinamométricos são instrumentados para medir torque e velocidade de rotação do rolo, enquanto que, dinamômetros de inércia devem ser instrumentados para medir somente velocidade de rotação e não

medem o torque, sendo a potência e o torque obtidos através da relação entre potência, torque e velocidade (BETTES *et al.*, 2008).

A Figura 2 mostra um exemplo de uso de um dinamômetro de chassi com um sistema de aquisição de dados para medir e registrar os dados de teste. Em algumas configurações mais complexas, um sistema de controle assume a condução do veículo, usando o acelerador e atuadores de freio e, em outras aplicações, um motorista realiza as ações de condução durante o teste (NI, 2009).

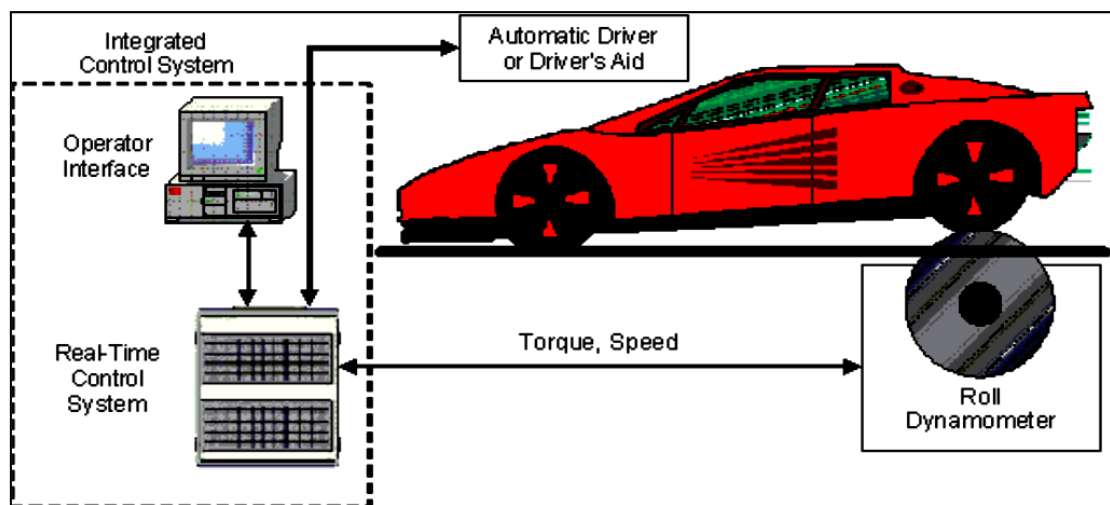


Figura 2: Sistema de controle automatizado para medir e registrar dados de teste em um dinamômetro de chassi.

Fonte: (NI, 2009)

Os testes em veículos automotivos são normalmente realizados em dinamômetros de chassi, pois o ambiente é estável, com clima controlado e livre de trânsito. Apesar de esses testes serem realizados segundo procedimentos estáveis, permitindo a comparações entre veículos, eles nem sempre refletem as condições das estradas reais, ou como os veículos irão se comportar na prática. Variáveis como ladeiras, resistência do ar, temperaturas, superfícies de estrada, condições de tráfego e padrões de condução afetam o desempenho dos veículos (WAGER *et al.*, 2014).

b) Célula dinamométrica

O aumento da complexidade dos procedimentos de testes, para satisfazer as normas vigentes, tem exigido maior sofisticação dos dinamômetros de bancada e, por conseguinte dos laboratórios de motores. Assim, hoje é indispensável o controle de parâmetros tais como: temperatura, pressão, umidade, velocidade, entre outros. Estes novos laboratórios, conhecidos como célula dinamométrica, são extremamente dependentes de avançados equipamentos de teste e instrumentos de medição, e somente desta forma conseguem cumprir os requisitos da legislação local e internacional (ATKINS, 2009).

Os sistemas que devem ser instalados em uma célula dinamométrica incluem itens como: sistema de ventilação, sistema de tratamento do ar, estação de água gelada e sistema de condicionamento de combustível, lubrificante, água de arrefecimento e gases de combustão. Outros acessórios que devem ser considerados são: sistema de ar comprimido, sistema de eliminação de gases, quadro de energia elétrica, sistema de emergência e alarme, entre outros (ATKINS, 2009).

Em um dinamômetro de bancada, o eixo do dinamômetro é conectado diretamente ao volante do motor. Portanto, esse dinamômetro mede a potência do volante do motor, desta forma, não há perdas devido à transmissão que possam influenciar os resultados (FRANCO *et al.* 2013). Além disso, esse tipo de dinamômetro é, em sua grande maioria, do tipo freio dinamométrico (elétrico ou hidráulico) e poucos são do tipo dinamômetro de inércia (BETTES *et al.*, 2008).

A Figura 3 mostra uma célula dinamométrica composta de sistemas capazes de controlar parâmetros como: combustível, água de arrefecimento, óleo do motor, potência elétrica, além de outros sistemas que são ligados ao motor. Tais outros sistemas possuem seus próprios parâmetros controlados, tais como: temperatura, pressão e vazão. A célula dinamométrica também inclui travas de segurança para ancoramento dos motores testados. Além disso, o motor é instrumentado com sensores que fornecem informações sobre as condições internas de funcionamento. O controlador

do ensaio faz variar a posição do acelerador e gerencia o funcionamento dos demais sistemas (NI, 2009).

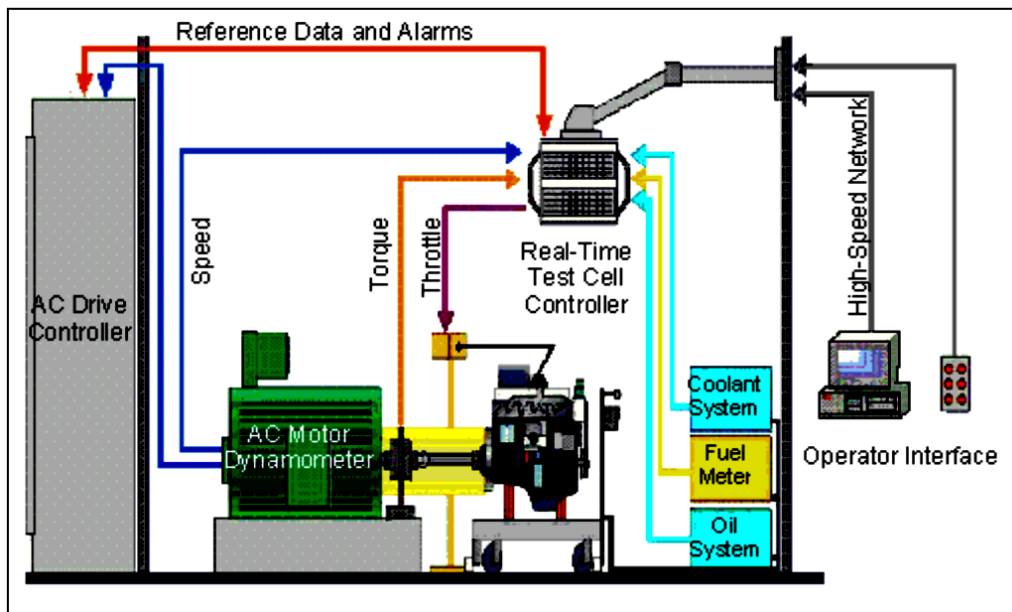


Figura 3: Representação de uma célula dinâmométrica composta de diversos sistemas auxiliares.

Fonte: (NI, 2009)

2.2 CURVAS CARACTERÍSTICAS

O torque e a potência mecânica de um motor ou veículo automotivo são representados por suas curvas características. Essas curvas mostram a variação do torque e da potência em função da velocidade de rotação e são geradas a partir de testes dinâmométricos a carga constante, isto é, com a borboleta completamente aberta. Durante o ensaio é obtido o torque resistente do dinamômetro, que corresponde ao torque do motor, e a potência é calculada a partir deste parâmetro (MARTINS, 2006).

A Figura 4 apresenta um exemplo das curvas características de torque (curva em azul) e potência mecânica (curva em vermelho) de motores ou veículos automotivos, em função da velocidade de rotação.

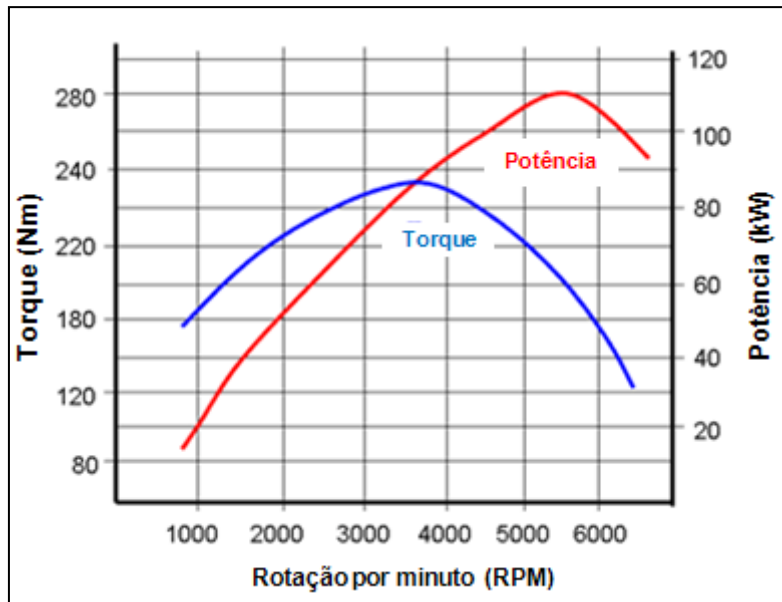


Figura 4: Curvas características dos motores ou veículos automotivos.

Fonte: (GURGEL, 2013)

2.3 FATORES DE CORREÇÃO DE POTÊNCIA

A pressão, a temperatura e a umidade do ar ambiente podem fazer variar a potência de um motor ou veículo automotivo. Fatores de correção devem ser utilizados para que seja possível comparar motores que foram testados em diferentes condições (MARTINS, 2006).

O desempenho de um motor, especificado pelo fabricante, pode apresentar valores divergentes quando testado sob condições atmosféricas diferentes daquela em que os dados do fabricante foram avaliados (SODRÉ *et al.*, 2003).

De forma a correlacionar o desempenho do motor medido em diferentes condições ambientais, fatores de correção da potência são propostos por diferentes normas de diferentes instituições. Esses fatores de correção podem ser utilizados para estimar os parâmetros de desempenho dos motores, potência mecânica e torque, a partir de qualquer condição atmosférica (SODRÉ *et al.*, 2003).

No entanto, os muitos fatores de correção disponíveis geralmente levam a resultados divergentes para uma mesma condição atmosférica considerada, devendo ser utilizado um único fator de correção para comparação de diferentes resultados (SODRÉ *et al.*, 2003). As duas principais instituições que estabelecem os fatores de correção de potência mais utilizados atualmente são:

2.3.1. DIN 70020

Este método de correção de potência para motores de ignição por centelha, recomendado pela norma DIN 70020 (DIN, 1986 apud SODRÉ *et al.*, 2003), não leva em conta mudanças na umidade do ar. Estabelece a condição atmosférica de referência $p_0 = 101,325$ kPa e $T_0 = 293$ K e é definido da seguinte forma:

$$CF = \frac{P_0}{P} = \left(\frac{p_0}{p}\right) \cdot \left(\frac{T}{T_0}\right)^{0,5} \quad (5)$$

Onde:

CF → *Correction Factor*

P → Potência em condição atmosférica local (W)

P_0 → Potência em condição atmosférica de referência (W)

p → Pressão atmosférica local (kPa)

p_0 → Pressão atmosférica de referência (kPa)

T → Temperatura local (K)

T_0 → Temperatura de referência (K)

2.3.2. ISO 1585

Este método é definido pela ISO 1585 (ISO, 1992 apud SODRÉ *et al.*, 2003), sendo também é adotado pela EEC 80/1269 (EEC, 1988) e pela NBR 1585 (ABNT, 1996). A condição ambiental de referência é $p_0 = 100,0$ kPa, $T_0 = 298$ K e $p_{v0} = 1,0$ kPa. Este fator de correção é recomendado para utilização no intervalo de 80,0-100,0 kPa e de 288-308 K e é definido da seguinte forma para motores de ignição por centelha:

$$CF = \frac{P_0}{P} = \left[\left(\frac{p_0 - p_{v0}}{p - p_v} \right) \right]^{1,2} \cdot \left(\frac{T}{T_0} \right)^{0,6} \quad (6)$$

Onde:

CF → *Correction Factor*

P → Potência em condição atmosférica local (W)

P₀ → Potência em condição atmosférica de referência (W)

p → Pressão atmosférica local (kPa)

p₀ → Pressão atmosférica de referência (kPa)

p_v → Pressão de vapor local (kPa)

p_{v0} → Pressão de vapor de referência (kPa)

T → Temperatura local (K)

T₀ → Temperatura de referência (K)

Para motores de ignição por compressão, esse fator de correção é recomendado para o intervalo entre 80,0 e 100,0 kPa e de 283 a 313 K, sendo definido por:

$$CF = \frac{P_0}{P} = \left[\left(\frac{p_0 - p_{v0}}{p - p_v} \right) \right] \cdot \left(\frac{T}{T_0} \right)^{0,7} \quad (7)$$

Onde:

CF → *Correction Factor*

P → Potência em condição atmosférica local (W)

P₀ → Potência em condição atmosférica de referência (W)

p → Pressão atmosférica local (kPa)

p₀ → Pressão atmosférica de referência (kPa)

p_v → Pressão de vapor local (kPa)

p_{v0} → Pressão de vapor de referência (kPa)

T → Temperatura local (K)

T₀ → Temperatura de referência (K)

2.4 APLICAÇÕES DE DINAMÔMETROS

Os testes em motores ou veículos automotivos desempenham um papel significativo na indústria automotiva e um considerável esforço é feito para se realizar esses testes nas mais diversas condições (PYTKA *et al.*, 2011). O dinamômetro é um equipamento capaz de simular condições reais de rodagem e realizar os mais variados testes requeridos para avaliação de motores ou veículos. Na literatura é possível encontrar grande número de aplicações de dinamômetros, exemplos de aplicações são apresentados a seguir.

Em 2010, Nakashima *et al.* mediram pela primeira vez a reatividade do OH dos gases de escape dos veículos a gasolina, em nove diferentes condições de condução, com um dinamômetro de chassi, no Instituto Nacional de Estudos Ambientais do Japão. Desta forma, apresentando a aplicação dos dinamômetros de chassi na avaliação das emissões de gases de combustão dos veículos automotivos.

Em 2012, estudos realizados sobre o processo de combustão de misturas de etanol hidratado e gasolina, em motor 1,4 L *Flex*, e o impacto sobre o consumo de biodiesel em motores de ônibus, simulando o uso normal desse veículo em um circuito urbano e não urbano, para diferentes rotações e cargas aplicadas, foram investigados também através de testes dinamométricos por Melo *et al.* e Serrano *et al.* respectivamente.

Outro estudo sobre emissões, realizado em veículos leves movidos a gasolina, durante testes conduzidos em dinamômetro de chassi com ciclos de rodagem predefinidos, foi feita por Li *et al.* em 2013. Ainda neste mesmo ano, Subramanian *et al.* publicaram uma avaliação comparativa, também através de testes em um dinamômetro de chassi sob determinado ciclo de rodagem, entre a taxa de emissões e a economia de combustível de um veículo de ignição por centelha movido com biogás, enriquecido com metano e gás natural comprimido.

A fim de estudar o comportamento de algumas amostras de gasolina, caracterizadas por um elevado índice de octanagem, foi realizado por Cerri *et al.*, também em 2013, um estudo em uma célula dinamométrica para entender como cada amostras de combustível pode melhorar o desempenho de um motor de ignição por centelha para carros de passeio modernos.

Mais recentemente, em 2014, Zhou *et al.* avaliou o desempenho de um motor a diesel de ignição por compressão para serviços pesados, operando com biocombustíveis derivados da lignina, com o auxílio de um dinamômetro. Portanto, exemplificando assim mais uma das aplicações dos dinamômetros, isto é, a avaliação do desempenho dos veículos automotivos.

3. SISTEMAS DE AQUISIÇÃO DE DADOS

Para se avaliar um motor ou veículo automotivo, deve ser possível comparar o desempenho dos mesmos, logo, um sistema de aquisição de dados (DAQ) é requerido para tal função (ATKINS, 2009). A aquisição, validação, manipulação, visualização e armazenamento dos dados deve ser uma das principais preocupações de um laboratório de motores (ASAD *et al.*, 2011).

A confiabilidade dos dados de um teste está diretamente relacionada com a precisão e exatidão dos instrumentos utilizados nas medições. Um sistema de aquisição de dados, preciso e exato, é uma combinação da qualidade do dispositivo DAQ, dos sensores, do circuito de condicionamento de sinais e da qualidade da calibração de cada um dos instrumentos que o compõem (ASAD *et al.*, 2011). Para garantir uma boa medição é mandatório que os instrumentos utilizados sejam devidamente calibrados antes dos experimentos (RYU, 2013).

3.1 COMPONENTES DE UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

3.1.1. Sensor

Também chamados de transdutor, converte um fenômeno físico em um sinal elétrico mensurável (termopar, microfone, extensômetro, etc) (NI, 2013).

3.1.2. Condicionador de sinal

Modificam as características elétricas do sinal analógico, gerado pelos sensores, para uma forma mais adequada à entrada do sistema de aquisição de dados (amplificação, atenuação, filtragem e isolamento) (NI, 2013).

3.1.3. Dispositivo de aquisição de dados

Converte um sinal analógico em uma palavra digital ou numérica de forma que um computador possa interpretá-la e armazená-la. Usualmente este dispositivo é dotado de um conversor analógico-digital (ADC) e um barramento de comunicação (USB, PCI, PCI Express, Ethernet, etc). Na prática, apesar dos sinais analógicos variarem continuamente ao longo do tempo, os dados convertidos em palavras numéricas só podem ser tomados periodicamente, ou seja, amostrados a uma taxa predefinida. Essas palavras, transferidas para um computador, podem ser então armazenadas. A justaposição da informação obtida pela sequência de amostras discretas permite reconstruir a forma do sinal elétrico original (NI, 2013).

3.1.4. Software

É uma estrutura numérica baseada em comandos, instruções lógicas e funções matemáticas, que garante um diálogo com o usuário, controla a operação do dispositivo de aquisição de dados, cria janelas de visualização e armazena os dados adquiridos. Usualmente esse código de programação é executado em um computador pessoal (PC) (NI, 2013).

3.2 TIPOS DE SISTEMAS DE AQUISIÇÃO DE DADOS

Os sistemas de aquisição de dados, normalmente utilizados em dinamômetros, podem ser de dois tipos, comerciais “caixa-preta” ou personalizados. Comparando esses dois sistemas, percebemos que o segundo oferece, não só uma elevada flexibilidade no ajuste dos parâmetros de operação (frequência de registro, taxa de amostragem, etc), mas também permite fácil adaptação a diferentes testes (ASAD *et al.*, 2011).

3.3 APLICAÇÕES DE SISTEMAS DE AQUISIÇÃO DE DADOS

É perceptível que os testes em motores ou veículos automotivos foram, consideravelmente, aperfeiçoados nas últimas décadas. Passando de uma tarefa de medição puramente mecânica, a um reino interdisciplinar incorporando engenharias mecânica, eletrônica, de computação, entre outras. Desta forma, a instrumentação de um motor moderno inclui uma ampla gama de sensores, gerando uma variedade de sinais elétricos e se comunicando através de diversos protocolos (tensão e corrente analógicas, pulsos de entrada e saída digitais, pulsos de entrada e saída TTL, sinais PWM, protocolo RS-232, protocolo GPIB, etc) (ASAD *et al.*, 2011). Na literatura, é encontrado um grande número de aplicações de sistemas de aquisição de dados, como pode ser visto abaixo.

As comparações de desempenho entre um motor de combustão interna a gasolina de um Volkswagen Polo 1,4 L, convertido para funcionar com hidrogênio, são descritas por Sopena *et al.* em 2010. A bancada de teste foi adaptada para trabalhar com hidrogênio e foi utilizado um dinamômetro de corrente de Foucault. O dispositivo de aquisição de dados utilizado foi o Ni-CompacDAQ da National Instruments, com três módulos de medição de até oito canais, permitindo a aquisição, em tempo real, dos sinais dos principais sensores e atuadores do motor e armazenando-os em um computador operando com o *software* LabVIEW.

Singh et al., em 2011, desenvolveram uma instrumentação computadorizada de alta precisão para um trator de 50 kW, a fim de monitorar e registrar dados de desempenho em campo. A instrumentação consistiu em um sistema de aquisição de dados com taxa de amostragem de 100 Hz e resolução de 16 bits, para adquirir a velocidade de avanço, a velocidade da roda traseira e o consumo de combustível do trator. Foi dada atenção especial à resolução dos transdutores, a precisão e a taxa de amostragem. Os resultados mostraram uma alta precisão para os transdutores e o sistema de aquisição de dados em operações de campo.

Para avaliar um motor marítimo diesel de grande porte, operando sob carregamento e com diferentes proporções de propano ou de misturas de etanol-água, misturados no tubo de admissão de ar, foram apresentados dois trabalhos por Goldsworthy em 2012 e 2013, respectivamente. O LabVIEW foi utilizado como *software* do sistema de aquisição de dados. Dois dispositivos de aquisição de dados da National Instruments foram utilizados: um dispositivo de baixa velocidade para os parâmetros que são estáveis, em uma determinada condição de operação e um dispositivo de alta velocidade para a aquisição dos sinais de pressão do cilindro, os pulsos de tensão da injeção e o ângulo do virabrequim. O dispositivo de alta velocidade permitiu 200 000 amostras por segundo para cada canal, o que permite a amostragem em alta velocidade.

Os efeitos do tempo de injeção sobre a combustão e as emissões características de um motor de ignição por compressão, operando com um sistema de dois combustíveis (biodiesel e gás natural comprimido), foram investigados por Ryu em 2013. O biodiesel produzido a partir de óleo vegetal foi utilizado para inflamar o gás natural comprimido, principal combustível deste estudo. Foram utilizados um dispositivo de aquisição de dados e o *software* LabVIEW, ambos da National Instruments. Os resultados mostram que o desempenho do motor, com dois combustíveis, é menor do que com um combustível único, mas pode ser melhorado com o ajuste do tempo de injeção.

Estudos experimentais sobre o efeito do tempo de injeção em um motor de ignição por centelha, usando injeção dupla de n-butanol e gasolina na admissão do motor, foram realizados por Venugopal *et al.* em 2014. O motor foi totalmente instrumentado para a medição de desempenho, emissões e parâmetros de combustão e foi acoplado a um

dinamômetro de corrente de Foucault. Um controlador para o motor foi desenvolvido em laboratório, utilizando um *hardware* da National Instruments, juntamente com um *software* em LabVIEW e ambos foram usados para controlar o tempo de injeção e a quantidade de combustível injetado (largura do pulso de sinal dado aos injetores).

Em 2014, Wager *et al.* relata um estudo com um sistema de aquisição de dados utilizado para investigar o efeito das marchas sobre o consumo de energia e a autonomia de dois veículos do fabricante Ford modelo Focus, convertidos a veículos elétricos, um com câmbio automático e o outro com câmbio manual. Neste trabalho foram realizados testes em um dinamômetro de chassi controlado via computador e em um ambiente de acordo com as normas internacionais. Foi implementada uma instrumentação para medir a corrente e a tensão elétrica do banco de baterias e a distância percorrida durante o experimento. Foi programado, instalado e calibrado um sistema de aquisição de dados para adquirir os seguintes dados: data e hora, tensão da bateria principal do veículo (V), corrente de carregamento da bateria principal (-A), corrente de descarga da bateria principal (+A), temperatura do controlador do motor ($^{\circ}\text{C}$), estado da luz de freio (*on/off*) e pressão do pé no pedal do freio (kg). Para tanto, foi utilizado um dispositivo de aquisição de dados e um *software* de comunicação com o usuário, ambos da National Instruments. O *software* LabVIEW foi utilizado para converter, mostrar e registrar os dados dos testes com os veículos automotivos ensaiados. A taxa de amostragem utilizada foi de 500 Hz, com dados armazenados em um ficheiro de texto a cada segundo, com uma média de 1 180 pontos. O consumo de energia dos dois automóveis, em diferentes marchas, foi medido em ciclos de rodagem idênticos. Os resultados dos testes mostraram que a medição em apenas dois ciclos de rodagem, consecutivos, pode conduzir a erro, devido a um maior atrito no trem de transmissão ainda frio.

MATERIAIS E MÉTODOS

4. LABORATÓRIO DE MOTORES DA UFBA

O Laboratório de Motores da Universidade Federal da Bahia dispõe de diversos equipamentos próprios, utilizados para avaliar motores ou veículos automotivos. Para a execução deste trabalho foram utilizados o dinamômetro de chassi Bosch FLA 203 e o veículo Ranger XLT 4x4, de fabricação Ford. Foi seguido o procedimento padrão de condução requerido pelo dinamômetro de chassi do laboratório para avaliação do desempenho de veículos automotivos.

4.1 O DINAMÔMETRO DE CHASSI

O dinamômetro de chassi utilizado é do fabricante Bosch, modelo FLA 203, com velocidade máxima de teste de 270 km/h e potência máxima suportada de 400 kW. Esse dinamômetro possui dois rolos inerciais idênticos (diâmetro de 318 mm e comprimento de 2 200 mm), um freio de corrente de Foucault, uma célula de carga e um sistema de controle e aquisição de dados. Ademais, o mesmo é instrumentado para avaliar as condições ambientais locais (BOSCH, 2001).

Este equipamento de medição é capaz de avaliar com uma incerteza de $\pm 0,5\% + 2 \text{ kW}$ a potência mecânica desenvolvida nas rodas dos veículos automotivos, a potência dissipada devido ao atrito e a potência do motor (potência da roda somada à potência dissipada). Esta última pode ser corrigida de acordo com as normas DIN 70020 ou EEC 80/1269. Além disso, é possível realizar testes de tração, simulação de condução, verificação do velocímetro do veículo, determinação da distância percorrida, entre outros (BOSCH, 2001).

A Figura 5 apresenta o dinamômetro de chassi Bosch FLA 203 da Escola Politécnica da UFBA. A Figura 5(a) destaca a região na qual o veículo é posicionado, ou seja, sobre os

rolos inerciais. Por sua vez, a Figura 5(b) destaca o sistema de controle e aquisição de dados deste equipamento, que, como já mencionado, encontra-se com algumas avarias. E, a Figura 5(c) indica a posição do freio de corrente de Foucault e da célula de carga.

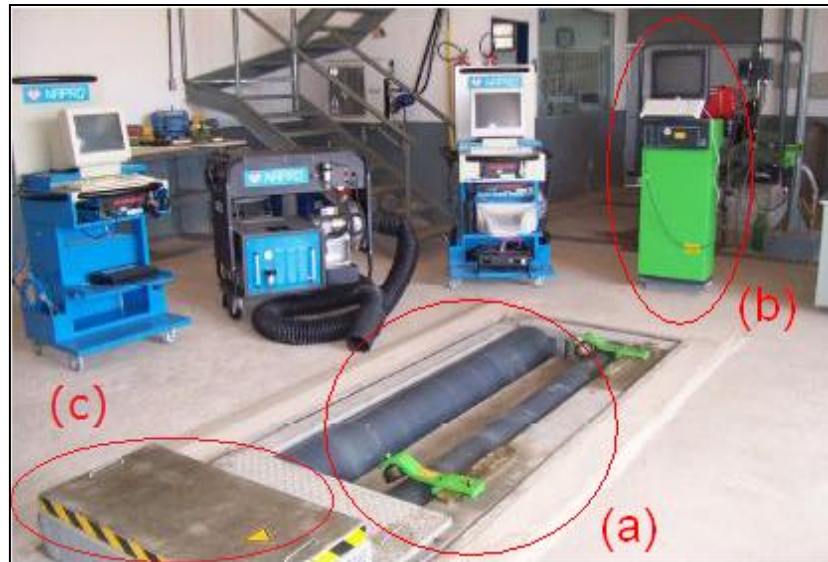


Figura 5. Dinamômetro de chassi Bosch FLA 203 do Laboratório de Motores. (a) Rolos inerciais. (b) Sistema de controle e aquisição de dados. (c) Freio de corrente de Foucault e célula de carga.

Os testes em dinamômetros de chassi são realizados em regime transiente, de acordo com as condições de operação e condução às quais os veículos são submetidos cotidianamente. Possuem a vantagem de apresentar resultados finais semelhantes ao comportamento real do veículo, já que as condições de testes são próximas às condições reais de operação (SANTOS, 2007).

As potências de um veículo automotivo podem ser determinadas de duas formas pelo dinamômetro de chassi, isto é, através de uma análise estática ou dinâmica. Contudo, diferenças podem existir entre potências obtidas em ambas as formas, pois às condições térmicas encontradas em cada ensaio são diferentes (BOSCH, 2001). Os procedimentos para avaliação das potências dos veículos submetidos à testes no dinamômetro de chassi Bosch FLA 203 são descritos abaixo:

4.1.1. Análise dinâmica

Para determinação da potência da roda através da análise dinâmica do dinamômetro de chassi, o veículo automotivo é acelerado desenvolvendo as quatro primeiras marchas sob aceleração máxima e o sistema de controle e aquisição de dados mede a velocidade dos rolos inerciais. Neste caso, utilizando-se o princípio do dinamômetro de inércia, a potência da roda pode ser determinada através da aceleração dos rolos (BOSCH, 2001).

Em seguida, o motor é desengatado, em ponto morto (PM), e os rolos são desacelerados até a sua parada total devido aos arrastos de rolagem, transmissão, rolamentos e todos os elementos de acionamento do veículo ainda engatados. Desta forma, a potência dissipada pode ser determinada. A potência da roda somada à potência dissipada é igual à potência do motor (BOSCH, 2001).

4.1.2. Análise estática

Para determinação da potência da roda através da análise estática do dinamômetro de chassi, o veículo acelera os rolos inércias contra a resistência (travagem) do freio de corrente de Foucault. Durante o teste, o sistema de controle e aquisição de dados controla o freio dinamométrico com base nos parâmetros de velocidade ou tração, definidos em *software*. Sendo assim, a célula de carga mede o torque dos veículos automotivos e, sabendo-se a velocidade, a potência da roda é determinada (BOSCH, 2001).

4.2 VEÍCULO AUTOMOTIVO

Foi utilizado um veículo automotivo de motor de combustão interna de ignição por compressão (Ciclo Diesel), com 4 cilindros, refrigerado a ar e com 135 cv de potência mecânica nominal, modelo Ranger XLT 4x4, fabricado em 2002 pelo fabricante Ford (Figura 6). O veículo foi doado pelo fabricante e concedido pela Escola Politécnica da UFBA para realização dos ensaios.



Figura 6. Ford Ranger XLT 4x4 Diesel do Laboratório de Motores.

5. HARDWARE

O *hardware* compreende a parte física do sistema de aquisição de dados. Para medição da potência dos veículos automotivos, submetidos aos testes realizados no dinamômetro de chassi Bosch FLA 203, foram especificados os sensores, os condicionadores de sinal e o dispositivo DAQ para composição do sistema de aquisição de dados. O diagrama de blocos do *hardware* é mostrado na Figura 7.

Durante esta etapa, foi adquirido e instalado no dinamômetro de chassi um sensor de pulsos para medição da velocidade dos rolos inerciais e realizada uma derivação do sinal da célula de carga do próprio dinamômetro para medição do torque do veículo. Além disso, foram especificados condicionadores de sinal para converter os sinais do sensor de pulsos e da célula de carga em formatos manipuláveis pelo sistema DAQ. Por fim, um dispositivo DAQ de comunicação com o PC, via protocolo USB, foi adquirido.

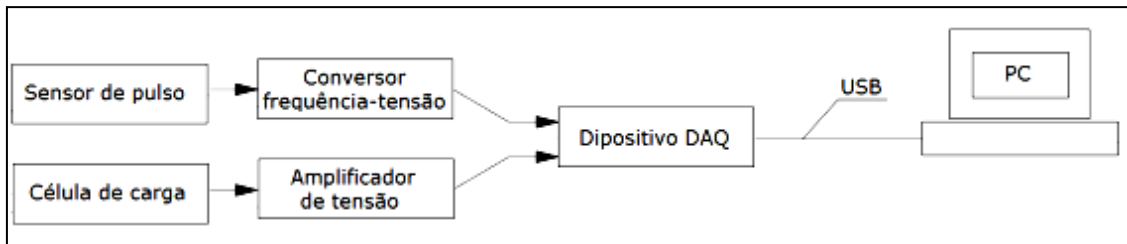


Figura 7. Diagrama de blocos do *hardware* do sistema de aquisição de dados.

Entretanto, para o perfeito funcionamento e a comunicação desses componentes, requiere-se a montagem de um aparato bem mais complexo, composto de: quadro elétrico, fonte de alimentação, fusíveis, conectores, interruptores, entre outros. Os componentes que compõem o *hardware* do sistema DAQ, podem ser vistos na Figura 8. A Figura 8(a) apresenta a vista frontal do gabinete da instrumentação e a Figura 8(b), por sua vez, consiste no detalhe do gabinete aberto, mostrando as ligações entre os componentes utilizados para a aquisição de dados.

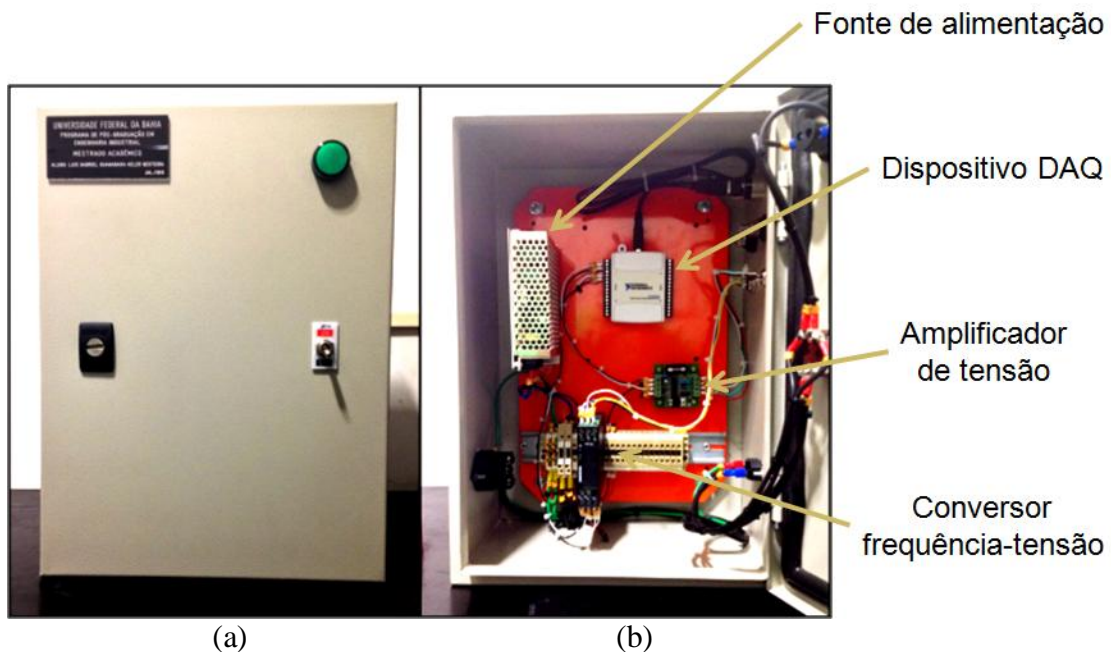


Figura 8. *Hardware* do sistema de aquisição de dados. (a) Vista frontal do gabinete. (b) Detalhe interno do gabinete.

5.1 SENSORES

5.1.1. Sensor de pulsos

Na análise dinâmica e estática do dinamômetro de chassi Bosch FLA 203 foi utilizada, para medição da velocidade dos rolos inerciais, um sensor do tipo indutivo do fabricante Metaltex. Este sensor é um dispositivo de fácil instalação, funcionamento estável, robusto e confiável (visto na Figura 9). A ficha técnica do sensor indutivo utilizado é mostrada no Tabela 1.



Figura 9. Sensor indutivo utilizado para medição da velocidade dos rolos inerciais do dinamômetro de chassi.

Fonte: (METALTEX, 2013)

Tabela 1. Ficha técnica das principais características do sensor indutivo da Metaltex.

SENSOR INDUTIVO	
Tipo	PSC18-5NF
Conexão	Cabo
Diâmetro	18 mm
Distância sensora	5 mm
Sinal de saída	NPN
Lógica	NF
Montagem	Faceado
Alimentação	10~30 Vcc
Frequência máxima	600 Hz

Este sensor se baseia no princípio da autoindução e detecta materiais ferromagnéticos sem tocá-los. Quando este sensor se move na proximidade de um objeto ferromagnético, seu campo magnético é alterado e um pulso elétrico é então gerado. Em seguida este pulso é percebido por um circuito de detecção, sempre que esse evento se repetir (FRADEN, 2004).

A fim de minimizar a margem de erro na determinação da velocidade dos rolos inerciais foi utilizado um disco circular composto de oito parafusos de material ferromagnético. Desta forma, ao invés de se produzir um só pulso por revolução, o sensor indutivo fornece, a cada rotação, oito pulsos elétricos. A montagem do conjunto sensor indutivo e disco circular munido de parafusos no rolo é vista na Figura 10.

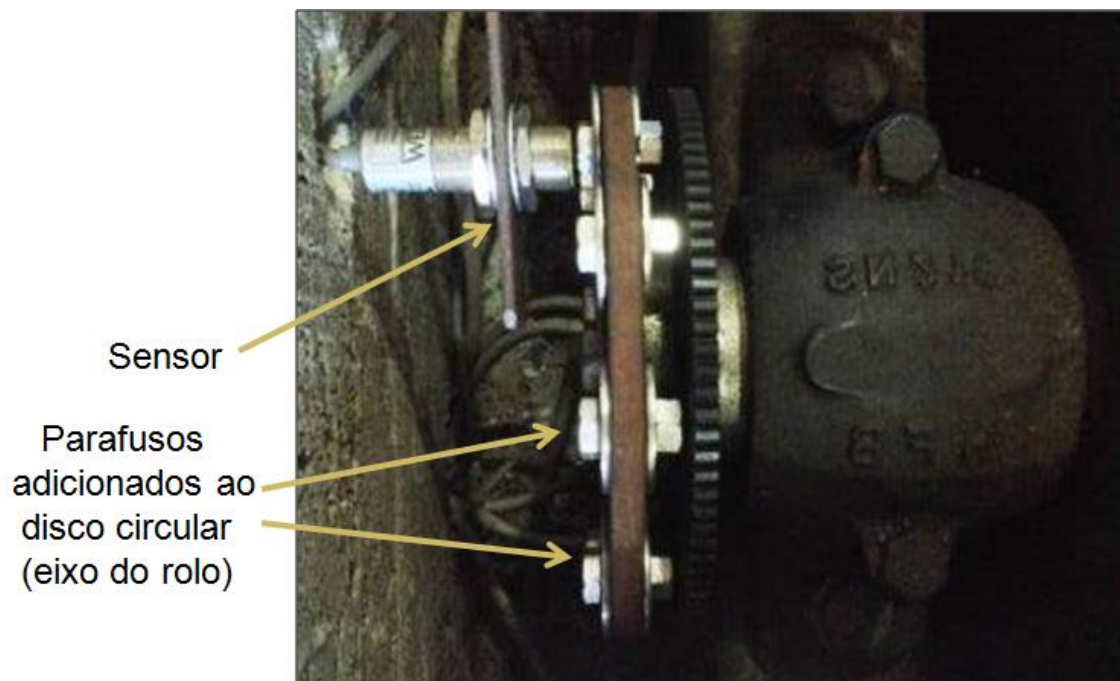


Figura 10. Montagem do conjunto sensor indutivo e disco circular com oito parafusos utilizados para medição da velocidade dos rolos inerciais.

5.1.2. Célula de carga

Para a análise estática do dinamômetro de chassi Bosch FLA 203 foi utilizada, na medição do torque do veículo automotivo, a própria célula de carga do dinamômetro,

fabricada pela Tedeo-Huntleigh. Para tanto, foi feita uma derivação no cabo deste sensor de maneira a coletar seu sinal elétrico de saída.

A célula de carga do dinamômetro de chassi (vista na Figura 11) é do tipo de flexão, fabricada em aço inoxidável, hermeticamente selada contra umidade, o que a permite trabalhar em ambientes hostis, mantendo suas especificações técnicas. A alta precisão deste sensor o torna adequado para aplicações como: balanças, dinamômetros, entre outras (TEDEA-HUNTLEIGH, 2011). A ficha técnica deste sensor é mostrada no Tabela 2:



Figura 11. Célula de carga utilizada para medição do torque dos veículos automotivos no dinamômetro de chassi.

Fonte: (TEDEA-HUNTLEIGH, 2011)

Tabela 2. Ficha técnica das principais características da célula de carga da Tedeo-Huntleigh.

CÉLULA DE CARGA	
Modelo	355
Conexão	Cabo
Capacidade	200 kg
Saída	2 mV/V
Tipo	Flexão
Montagem	Balanço
Alimentação	10 Vcc

A célula de carga é um sensor quantitativo utilizado na medição de força, convertendo esta grandeza física em um sinal elétrico. O princípio de funcionamento deste

dispositivo baseia-se em quatro extensômetros, isto é, um dispositivo de resistência elástica, cuja resistência é função da sua deformação. Os extensômetros podem ser dispostos ao longo de diferentes eixos e são ligados a um circuito em ponte de Wheatstone, cujo mínimo desbalanceio, da ordem de milivolts, pode ser detectado (FRADEN, 2004).

Portanto, este sensor apresenta dois fios de entrada referentes à alimentação da ponte de Wheatstone, dois fios de saída de sinal equivalente ao desbalanceio da ponte e dois fios adicionais com função de verificar a tensão que atinge a célula de carga, desta forma, é realizada a compensação das alterações na resistência devido às mudanças de temperatura. A Figura 12 apresenta o esquema elétrico de ligação desse tipo de sensor.

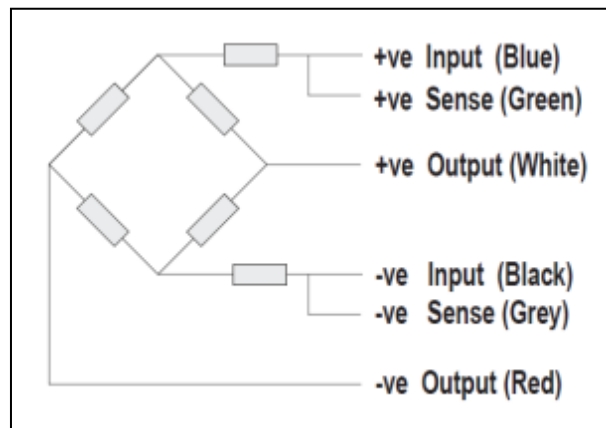


Figura 12. Esquema elétrico de ligação da célula de carga.

Fonte: (TEDEA-HUNTLEIGH, 2011)

A fim de medir o torque do veículo automotivo submetido à resistência provocada pela atuação do freio de corrente de Foucault do dinamômetro de chassi, a célula de carga é mecanicamente conectada ao freio através de um braço de alavanca. Desta forma, durante a frenagem o braço de alavanca sofre pequenos deslocamentos que são sentidos pela célula de carga como uma força. O produto da força pelo braço de alavanca fornece o torque do veículo. A montagem deste sensor é vista na Figura 13.

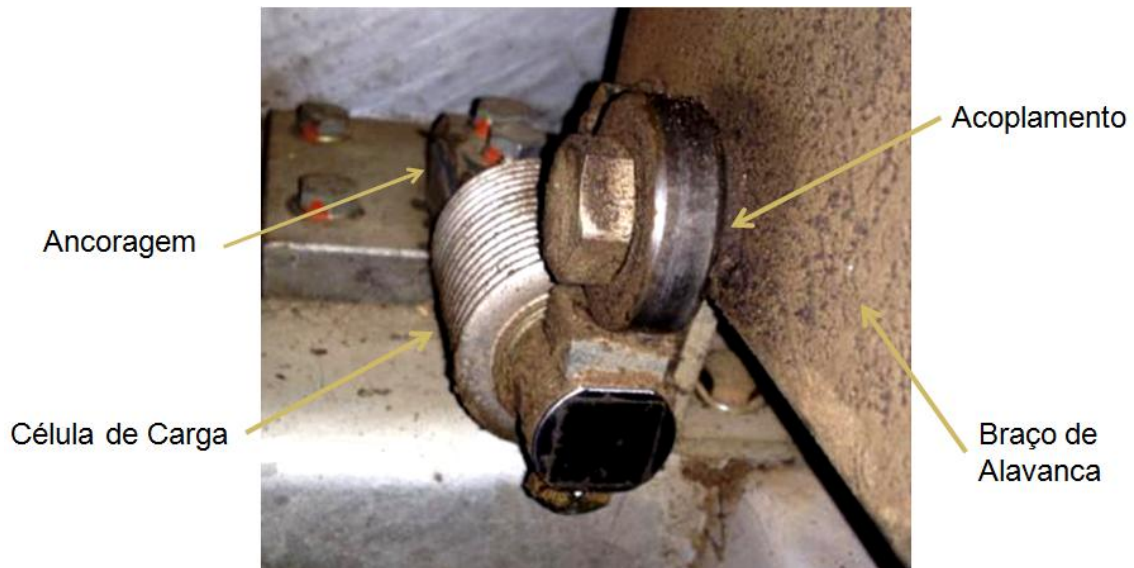


Figura 13. Montagem da célula de carga para medição do torque dos veículos automotivos.

5.2 CONDICIONADORES DE SINAL

Os sinais elétricos provenientes dos sensores, ou seja, do mundo real, podem ser ruidosos demais ou demasiadamente perigosos para serem medidos diretamente pelo sistema de aquisição de dados. Os circuitos de condicionamento colocam o sinal em um formato adequado para a entrada de um sistema DAQ. Esses circuitos podem incluir amplificação, atenuação, filtragem e isolamento ou podem ser projetados para a medição de tipos de sensores específicos (NI, 2013).

5.2.1. *Conversor de frequência-tensão*

Todos os modernos dinamômetros disponíveis no mercado medem internamente a velocidade de rotação dos motores ou veículos automotivos. Este parâmetro é medido por um sistema robusto e confiável composto por uma roda dentada e um sensor de pulsos, que detecta a passagem de fendas, ressaltos ou obstáculos (MARTYR *et al.*, 2012).

Uma vez que foi adquirido e instalado um sensor de pulsos do tipo indutivo, para medição da velocidade dos rolos inerciais do dinamômetro de chassi Bosch FLA 203,

uma possibilidade de condicionamento do sinal deste sensor é o uso de um conversor de frequência-tensão (ver Figura 14). Este circuito converte o sinal pulsado em um sinal analógico de tensão, compatível com a entrada do sistema DAQ. Um conversor comercialmente disponível do fabricante Brodersen foi utilizado para realizar tal tarefa.



Figura 14. Conversor de frequência-tensão utilizado para condicionar o sinal de saída do sensor indutivo.

Fonte: (BRODERSEN, 2013)

Este condicionador de sinal conta o número de pulsos emitidos e, através de um cronômetro interno, estima a frequência de entrada. Esta frequência é então convertida em uma tensão elétrica de saída entre os valores de 0-10 V, que correspondem a uma faixa de frequência que pode ser selecionada por um interruptor rotativo. Sabendo-se que a cada rotação dos rolos inerciais do dinamômetro de chassi oito pulsos são emitidos, então a velocidade dos rolos é a divisão do valor do sinal de saída por oito.

Como visto no esquema elétrico de ligação do conversor de frequência-tensão da Brodersen na Figura 15, o sensor indutivo pode ser conectado diretamente à entrada do mesmo, sendo inclusive alimentado pelo próprio conversor. Ademais, é possível ajustar o *offset* e o ganho do sinal elétrico de saída e a alimentação do conversor pode ser de 24-48 Vca/Vcc ou 115-230 Vca.

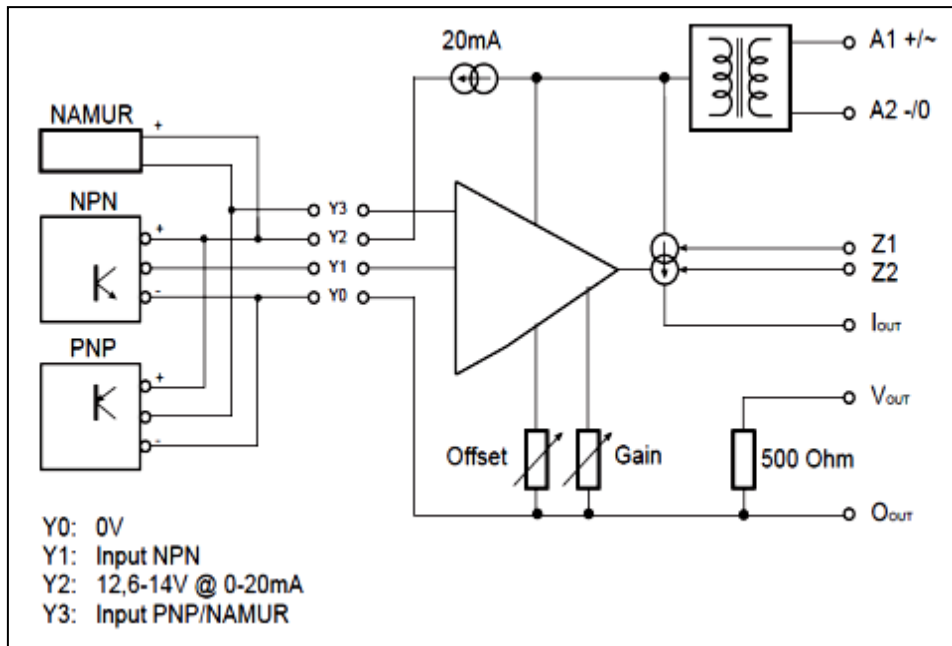


Figura 15. Esquema elétrico de ligação do conversor de frequência-tensão.

Fonte: (BRODERSEN, 2013)

De forma a aumentar a precisão do conversor de frequência-tensão, foi selecionada a faixa de frequência de 0-1 kHz, pois é a faixa que melhor se ajusta à faixa de frequência de operação do dinamômetro de chassi Bosch FLA 203. Conforme mencionado, a velocidade máxima admissível no dinamômetro é de 270 km/h, o que, considerando o perímetro dos rolos inerciais, fornece uma faixa de frequência de 0-75 Hz. Entretanto, o sensor indutivo gera oito pulsos por volta, logo, a faixa de frequência admissível é de 0-600 Hz, a qual melhor acomodada na faixa de frequência selecionada.

Um circuito típico de conversão de frequência-tensão pode ser desenvolvido, por exemplo, utilizando o chip LM231 da Texas Instruments (visto na Figura 16). Estes circuitos são projetados para a conversão de frequência-tensão de alta precisão, sendo sua saída uma tensão proporcional à frequência dos pulsos de entrada. Nestas aplicações, a frequência dos pulsos é diferenciada por um filtro RC (resistor-capacitor) e a engenharia deste filtro permite a obtenção de um tempo de resposta da tensão de saída do conversor maior ou menor a depender da aplicação (TI, 2013).

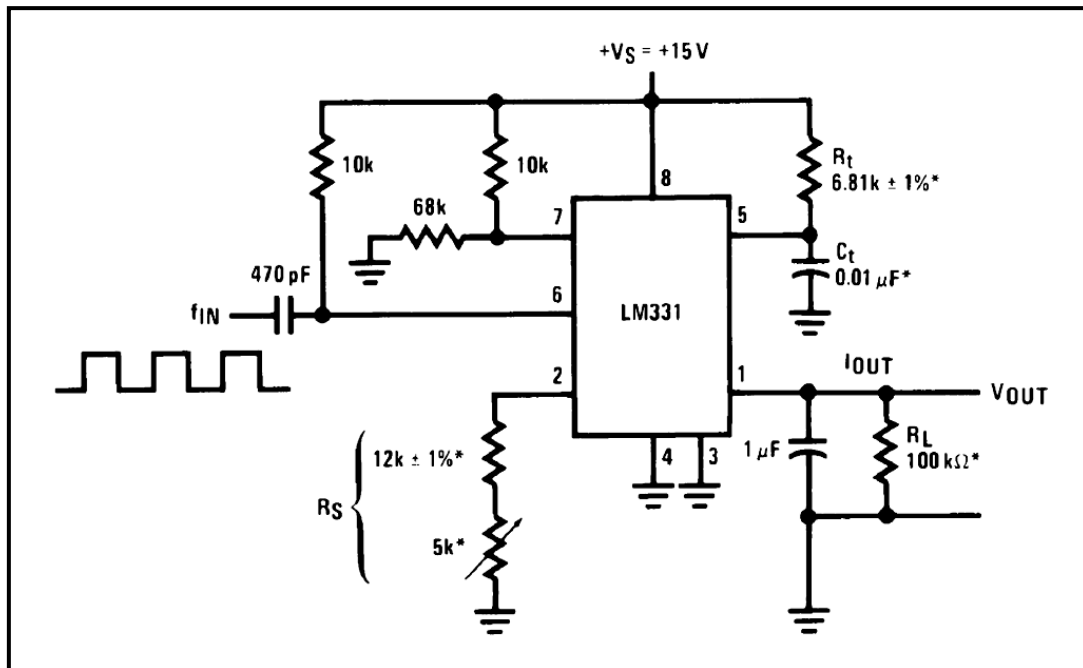


Figura 16. Circuito típico de conversão de frequência-tensão utilizando o chip LM231.

Fonte: (TI, 2013)

5.2.2. Amplificador de tensão

Como visto anteriormente, foi aproveitada a célula de carga do dinamômetro de chassi Bosch FLA 203 para medição do torque dos veículos automotivos. Entretanto, este sensor necessita de um condicionamento do sinal através de um amplificador de tensão (ver Figura 17) para tornar este sinal compatível com a entrada do sistema DAQ. Um amplificador comercialmente disponível do fabricante Dexter foi utilizado para realizar tal tarefa.



Figura 17. Amplificador de tensão utilizado para condicionar a saída elétrica da célula de carga.

Fonte: (DEXTER, 2013)

Um amplificador de tensão é fundamental para condicionar os sinais de saída de células de carga, pois estes sensores apresentam ganho da ordem de 2 mV/V, isto é, aplicando-se 10 V de alimentação resulta em 20 mV de fundo de escala, valor insuficiente para ser lido pela entrada do dispositivo DAQ.

O amplificador de tensão do fabricante Dexter possui fonte estabilizada de 10 V para alimentar a célula de carga e amplificador diferencial com ganho de 500. Portanto, sua faixa de sinal de saída excursiona de 0-10 V, que é adequada à entrada do dispositivo DAQ, e sua alimentação pode ser qualquer tensão contínua e estabilizada entre 15-30 Vcc.

A Figura 18 mostra o esquema elétrico de ligação do amplificador de tensão. Como pode ser visto, a placa do amplificador possui dois conectores, um para conexão à célula de carga (Ponte de Wheatstone) e outro para conexão à entrada analógica do dispositivo DAQ e à alimentação.

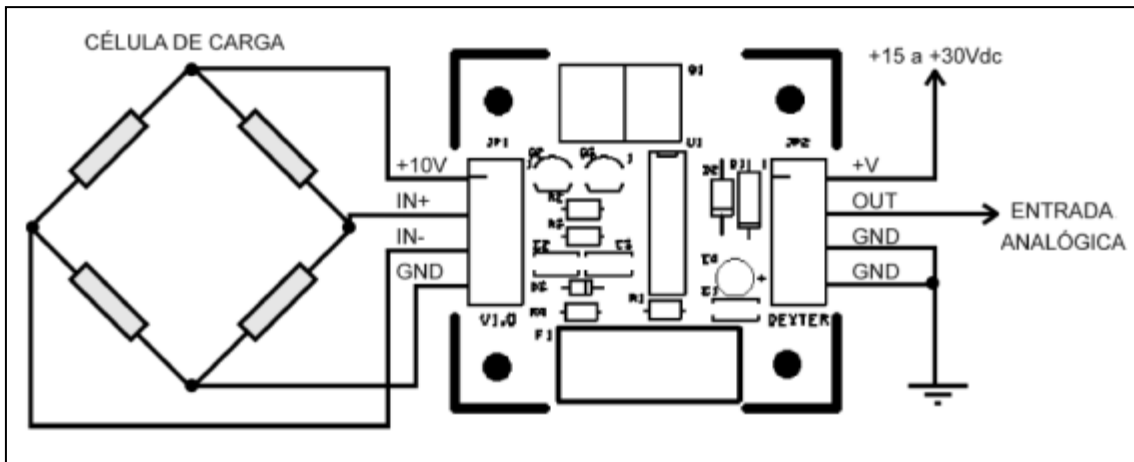


Figura 18. Esquema elétrico de ligação do amplificador de tensão.

Fonte: (DEXTER, 2013)

O condicionador de sinal da Dexter utiliza o chip de 16 pinos INA125 fabricado pela Burr-Brown para amplificação de tensão. Este chip de baixa potência e alta precisão permite excitação completa da ponte de Wheatstone em um único circuito integrado. Uma simples resistência externa define qualquer ganho entre 4 e 10 000 e a tensão de referência é ajustável (2,5 V, 5 V ou 10 V), permitindo a utilização de uma variedade de sensores. O circuito típico de amplificação de tensão utilizando o INA125 pode ser visto na Figura 19 (BURR-BROWN, 1998).

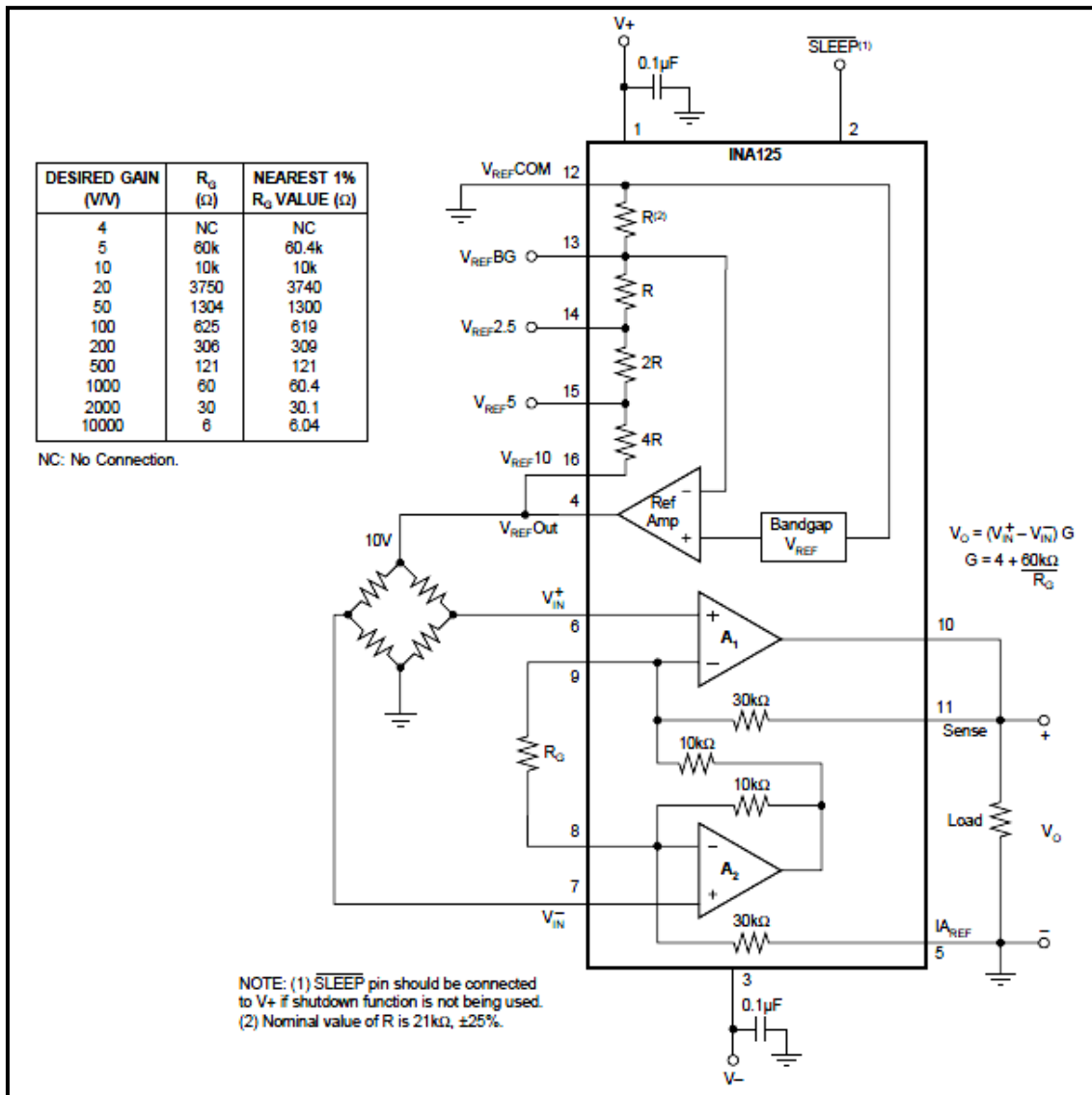


Figura 19. Circuito típico de amplificação de tensão utilizando o chip de 16 pinos INA125.

Fonte: (BURR-BROWN, 1998)

5.3 DISPOSITIVO DE AQUISIÇÃO DE DADOS

O dispositivo de aquisição de dados atua como a interface entre o computador e os sinais medidos do mundo exterior. Ele digitaliza os sinais analógicos de entrada, de forma que o PC possa lê-los ou interpretá-los. Os três componentes principais encontrados em um dispositivo DAQ usados para medir um sinal de entrada são: os circuitos eletrônicos internos de condicionamento de sinal, o ADC e o barramento de comunicação com o computador (NI, 2013).

O dispositivo DAQ selecionado para aquisição de dados do dinamômetro de chassi Bosch FLA 203 foi do fabricante National Instruments modelo NI USB-6008 (ver Figura 20). Este dispositivo é caracterizado por ser de baixo custo, dimensões pequenas, medições rápidas e aplicações complexas (NI, 2013).



Figura 20. Dispositivo DAQ NI USB-6008 utilizado para aquistar os sinais de medição.

Fonte: (NI, 2013)

O diagrama de bloco dos principais componentes dos dispositivos DAQ NI USB-6008 e 6009 pode ser visto na Figura 21. Portanto, o modelo 6008 é composto de quatro entradas analógicas diferenciais de 12 bits cada ou oito entradas analógicas *single-ended* de 11 bits cada e taxa de amostragem compartilhada de 10 000 Hz, duas saídas analógicas de 12 bits e taxa de amostragem compartilhada de 150 Hz, 12 entradas e saídas digitais, contador de 32 bits e uma porta USB. Ademais, este dispositivo é compatível com o *software* LabVIEW (NI, 2012).

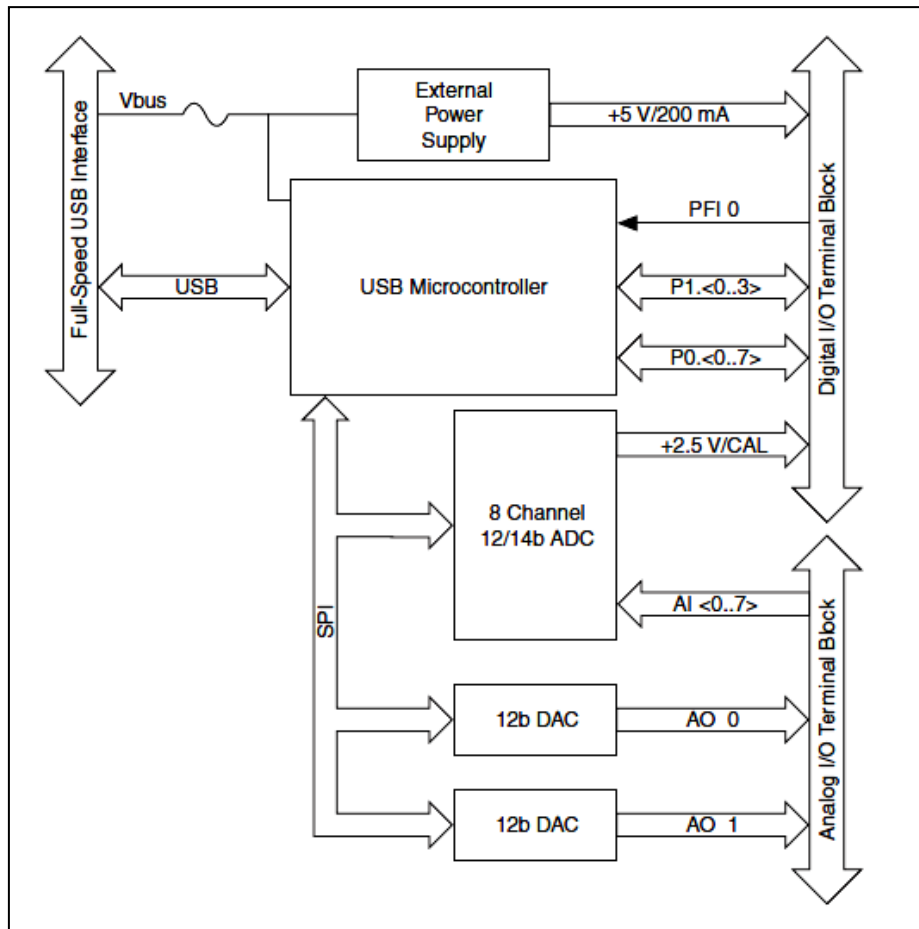


Figura 21. Diagrama de blocos dos dispositivos DAQ NI USB-6008/6009.

Fonte: (NI, 2012)

5.3.1. Entradas analógicas

A Figura 22 apresenta o diagrama funcional das entradas analógicas dos dispositivos DAQ NI USB-6008 e 6009. O multiplexador (MUX) envia os sinais das entradas analógicas, uma por vez, ao amplificador de ganho programável (PGA). Este, por sua vez, proporciona ganhos automáticos, calculado com base no intervalo de tensão selecionado via *software*, de 1, 2, 4, 5, 8, 10, 16 ou 20 quando configurado para medições diferenciais e de 1 quando configurado para medições *single-ended*. O conversor analógico-digital (ADC) digitaliza o sinal analógico de entrada em digital. E, o *first-in-first-out* (FIFO) armazena dados durante as aquisições para garantir que nenhum dado seja perdido.

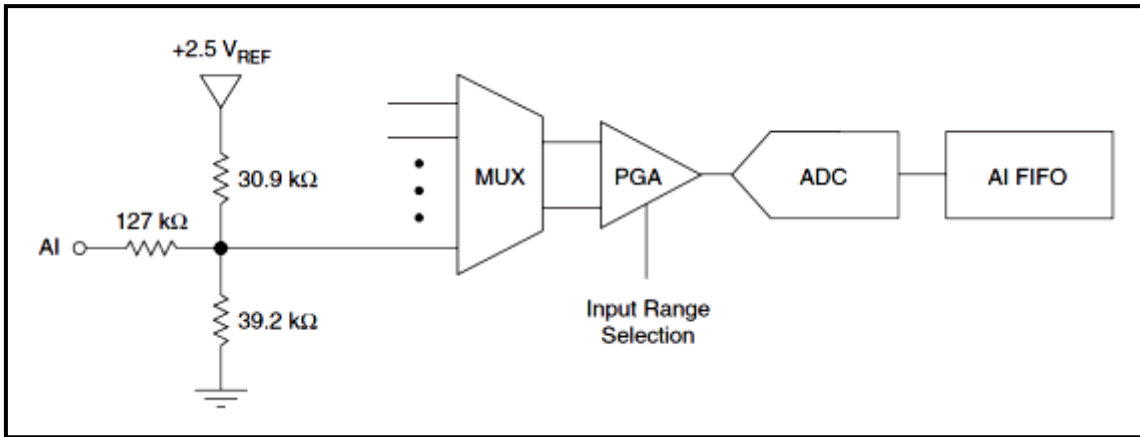


Figura 22. Diagrama funcional das entradas analógicas dos dispositivos DAQ NI USB-6008/6009.

Fonte: (NI, 2012)

a) Velocidade dos rolos inerciais

Para medição da velocidade dos rolos inerciais do dinamômetro de chassi Bosch FLA 203 foram utilizados um sensor indutivo e um conversor de frequência-tensão. O sinal de saída deste conversor é do tipo diferencial flutuante, isto é, possui uma referência independente para cada entrada do dispositivo DAQ, sem ser conectado ao terra do sistema (ver Figura 23). Este sinal garante uma alta precisão e baixo ruído (NI, 2012).

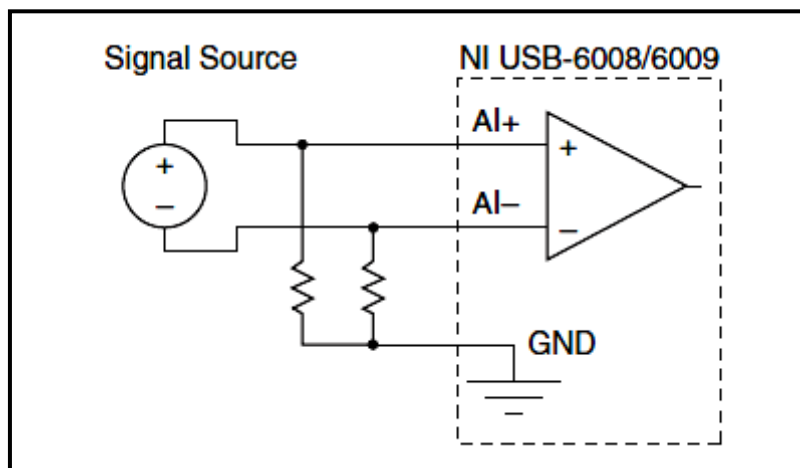


Figura 23. Diagrama funcional da entrada analógica diferencial flutuante dos dispositivos DAQ NI USB-6008/6009.

Fonte: (NI, 2012)

b) Torque dos veículos automotivos

Para medição do torque dos veículos automotivos submetidos a testes no dinamômetro de chassi Bosch FLA 203 foram utilizados uma célula de carga e um amplificador de tensão. O sinal de saída deste conversor é do tipo diferencial referenciado ao terra, isto é, possui uma referência independente para cada entrada do dispositivo DAQ, contudo, é conectado ao terra do sistema (ver Figura 24). Este sinal também garante uma alta precisão e baixo ruído (NI, 2012).

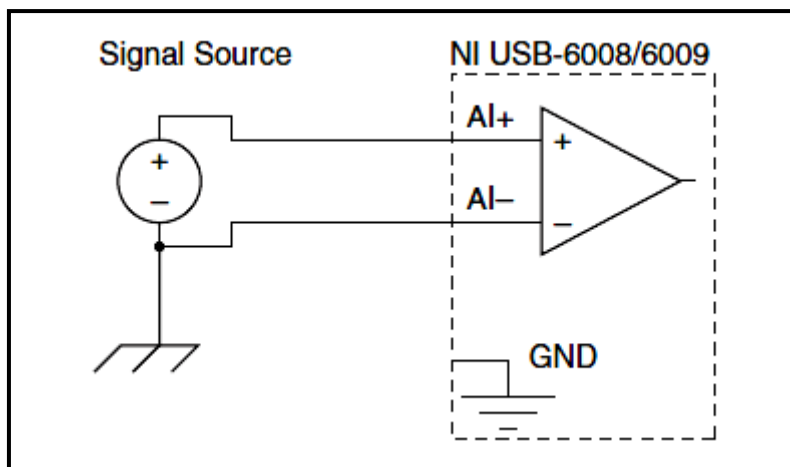


Figura 24. Diagrama funcional da entrada analógica diferencial referenciado ao terra dos dispositivos DAQ NI USB-6008/6009.

Fonte: (NI, 2012)

Sabendo-se que o conversor de frequência-tensão e o amplificador de tensão fornecem um sinal de saída de 0-10 V e que as entradas diferenciais do dispositivo DAQ são de 12 bits. A resolução (menor variação de tensão detectável) dos sinais analógicos da velocidade dos rolos inerciais e do torque dos veículos automotivos é dada por:

$$R = \frac{10}{2^{12}} = 2,4 \text{ mV} \quad (8)$$

Onde:

R → Resolução (mV)

Resolução é apenas uma indicação da sensibilidade do dispositivo DAQ. Quanto maior a resolução, maior o número de divisões em que a faixa do sinal será representada, sendo assim, quanto maior a resolução, mais sensível é este dispositivo em relação às variações de tensão em uma mesma faixa de entrada (NI, 2011).

6. SOFTWARE

O *software* para coletar os dados experimentais dos testes do dinamômetro de chassi Bosch FLA 203 da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia foi desenvolvido no LabVIEW 2012 SP1, versão para estudantes, de fabricação National Instruments. Este *software* é uma plataforma de programação gráfica que oferece integração com o dispositivo DAQ NI USB-6008, através do protocolo de comunicação USB, possibilitando total controle dos testes a partir de um PC.

O LabVIEW é um ambiente de programação gráfica poderoso e versátil, desenvolvido especialmente para facilitar o controle de instrumentos usados em testes, onde é feita a aquisição e análise dos dados produzidos nesses ensaios (WANG *et al.*, 2012).

Este *software* possibilita a interação entre o computador e o usuário, no que tange a ação de aquisição de dados, análise e apresentação dos dados de medição. É um ambiente de programação destinado ao desenvolvimento de aplicações com funções personalizadas para automatizar um dispositivo DAQ, executar algoritmos de processamento de sinais e exibir interfaces de usuário (NI, 2013).

Portanto, o LabVIEW é uma escolha inteligente para manipular dados brutos coletados com o dispositivo DAQ e criar uma aplicação para cada fim específico, em função da demanda do usuário. Além disso, este *software* possui algumas características que o tornam uma boa escolha em um ambiente de automação, isto é: comunicação de rede simples, protocolos de comunicação comuns (USB, GPIB, etc), conjuntos de ferramentas poderosas para o controle de processos e processamento de dados, fácil e rápida construção de interface com o usuário e ambiente de execução de código eficiente (WANG *et al.*, 2012).

Graças a sua extensa biblioteca de funções, o LabVIEW executa as mais diversas tarefas experimentais em um ambiente de programação gráfica baseado em um fluxograma intuitivo de blocos funcionais, eliminando a necessidade de digitação de linhas de códigos, baseado em caracteres. Ademais, contém um aplicativo de biblioteca específica para aquisição, processamento e análise de dados, exibição de resultados e armazenamento (NI, 2013).

Os aplicativos criados com o LabVIEW são chamados de instrumentos virtuais (VIs). Qualquer VI é composto de duas partes: o diagrama de blocos e o painel frontal. O código fonte de um VI é criado através da linguagem de programação gráfica G (NI, 2009), escrita na janela de programação *diagrama de blocos* (ver Figura 25) e a interface do usuário com o VI é feita através da janela *painel frontal* (ver Figuras 26, 27, 28, 29 e 30).

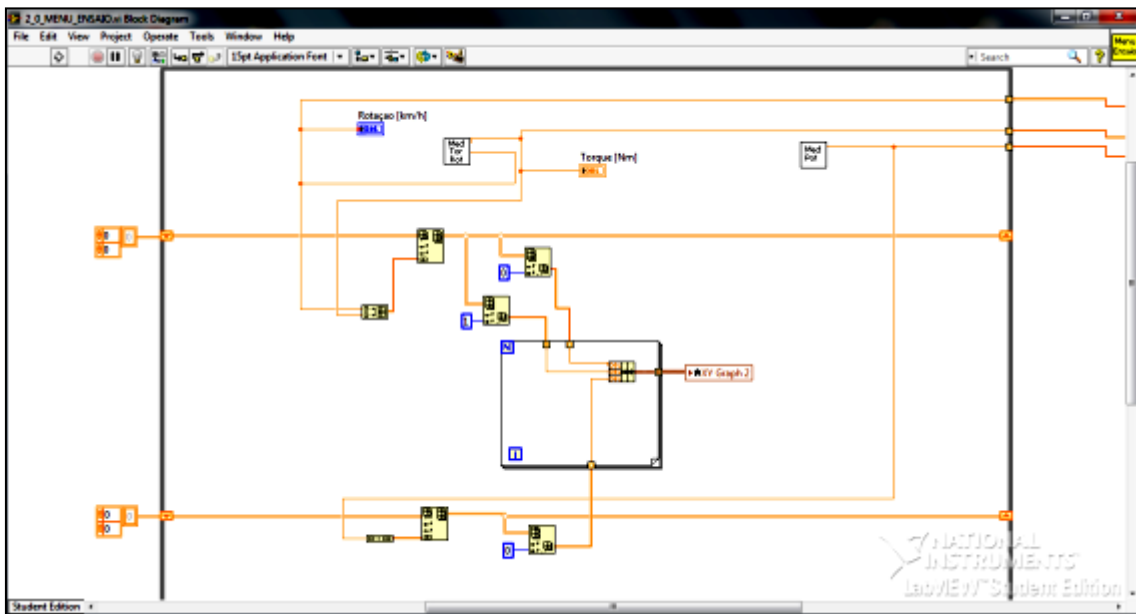


Figura 25. Diagrama de blocos de parte do código fonte do *software* desenvolvido em LabVIEW.

6.1 INÍCIO

A janela inicial (ver na Figura 26) de diálogo com o usuário do *software* é a primeira interface que aparece ao se executar o aplicativo. Essa janela exibe os nomes das instituições que acolhem o projeto: UFBA e PEI, os botões destinados ao acesso às demais janelas de diálogo (calibração, configuração, ensaio e gráficos) e o botão *sair*, que leva à finalização do aplicativo.

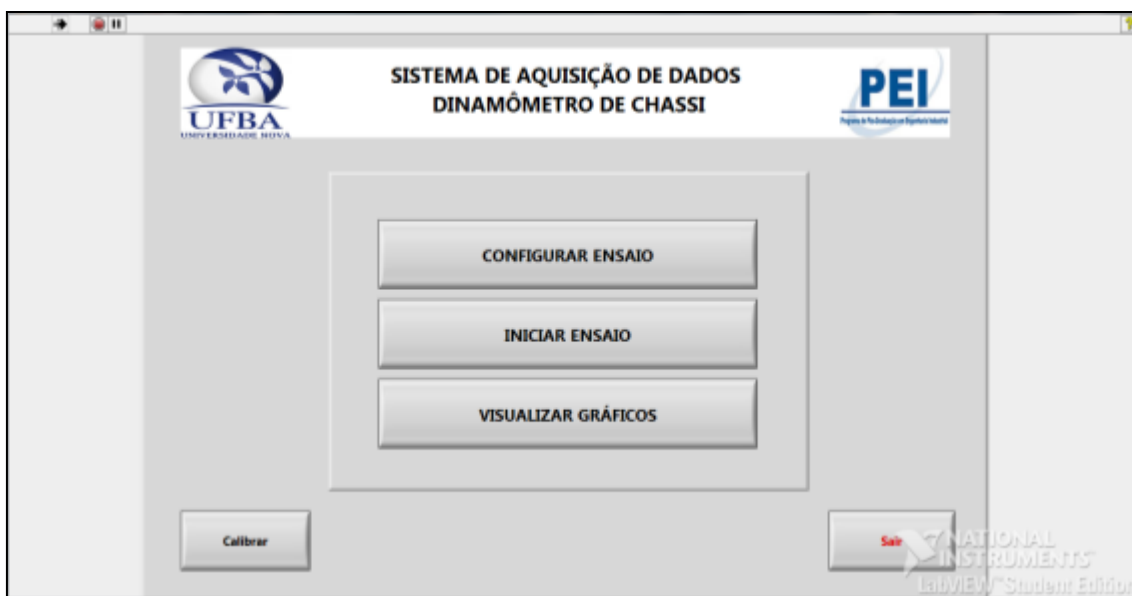


Figura 26. Painel frontal da janela inicial do *software*.

6.2 CALIBRAÇÃO

A janela de calibração (ver Figura 27) permite a calibração da célula de carga (sensor de torque do veículo automotivo). Esta janela permite realizar o ajuste do zero desse sensor em tempo real, evitando assim erros sistemáticos e minimizando variações devido às condições operacionais.

A janela mostra o valor medido no exato momento (indicador *valor atual*) e permite o ajuste do zero em tempo real (botão seletor *correção*). A programação dessa janela inclui o carregamento e salvamento automático de um arquivo de texto de *backup* da

última calibração realizada evitando que o usuário tenha que calibrar o sistema toda vez que necessitar utilizá-lo, bastando calibrá-lo durante a primeira utilização.



Figura 27. Painel frontal da janela de calibração do *software*.

6.3 CONFIGURAÇÃO

A janela de configuração (ver Figura 28) permite a configuração dos diferentes parâmetros requeridos para a execução dos ensaios. Na aba dados do usuário é possível cadastrar o nome do operador, o local de realização dos testes e o nome da pasta de trabalho para armazenamento dos dados no PC. A data e a hora são computadas automaticamente a cada alteração realizada pelo usuário. A aba de condições atmosféricas permite entrar com a temperatura, a pressão atmosférica e a umidade do local de realização dos testes. A aba de configuração do ensaio é responsável pela seleção do tipo do motor a ser testado (Ciclo Otto ou Ciclo Diesel), além de possibilitar a definição da norma que será utilizada para cálculo do fator de correção de potência. Por questão de tempo e disponibilidade só foi cadastrada, até o momento, a norma ABNT NBR 1585.

As informações dessa janela são salvas em variáveis do tipo globais, que são mantidas durante todo o funcionamento do *software*. Porém, toda vez que o *software* for reinicializado é obrigatório um novo preenchimento da configuração do ensaio antes da realização do primeiro teste. Para os demais testes a configuração permanece a mesma, caso o usuário não a altere por vontade própria.

DADOS DO USUÁRIO	
Nome	
Data	16/12/2003
Hora	23:00:00
Local	

PASTA DE TRABALHO

C:\

CONDIÇÕES AMBIENTAIS	
Temperatura Ambiente	°C
Pressão Atmosférica	hPa
Umidade Relativa	%

DADOS DO ENSAIO

MOTOR DIESEL

NBR 1585

Finalizar

Figura 28. Painel frontal da janela de configuração do *software*.

6.4 ENSAIO

A janela de ensaio (ver Figura 29) é intertravada com a calibração do sensor de torque do veículo automotivo, desta forma, caso o sistema ainda não tenha sido calibrado, uma mensagem de erro será exibida e o usuário deverá voltar à janela de calibração para realizar essa tarefa.

Nessa janela é possível visualizar a execução do teste de análise dinâmica ou estática, em tempo real, a uma taxa de amostragem de 10 Hz, de forma a fornecer um número de pontos limitados e facilitar o manuseio dos dados, sem, contudo, perder a fidelidade do sinal amostrado.

Os mostradores individuais *Torque* e *Velocidade* permitem a visualização do ensaio dinâmico e estático pela manipulação matemática dos sinais analógicos da célula de carga e do sensor indutivo (torque do veículo automotivo e velocidade dos rolos inerciais, respectivamente) de 0-10 V para as unidades apropriadas.

A área delimitada para traçado das curvas características dos veículos automotivos permite a visualização do ensaio dinâmico pela manipulação matemática do sinal analógico de entrada do sensor indutivo (velocidade dos rolos inerciais) para obtenção das curvas de potência dos veículos (roda, dissipada e motor). Nesta janela é ainda possível alternar a unidade de potência entre o sistema internacional e o sistema inglês de unidades, isto é, kW ou cv, respectivamente.

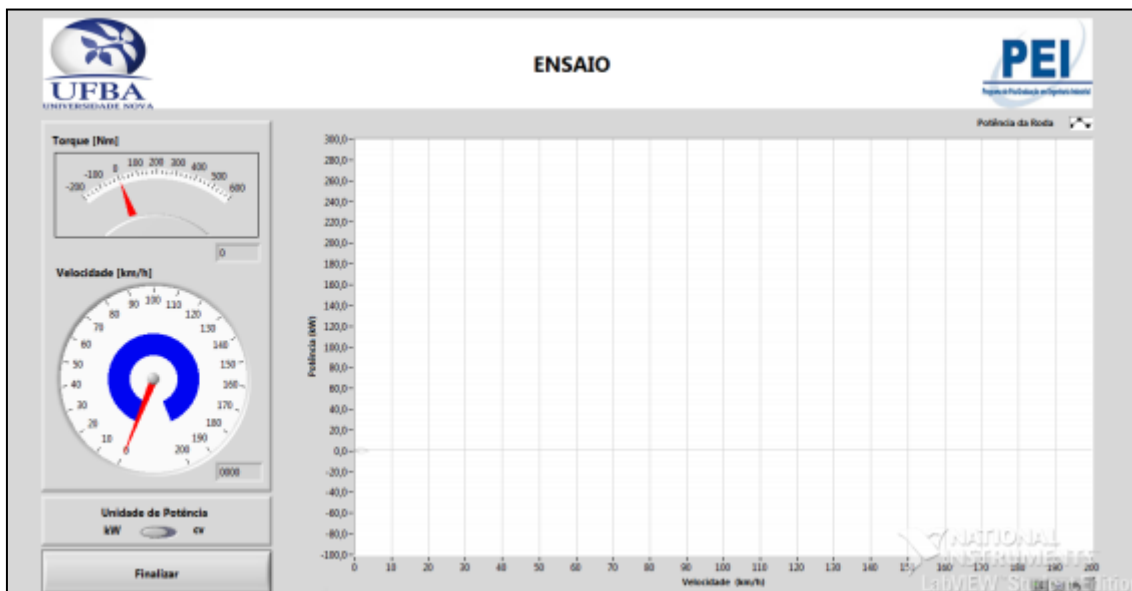


Figura 29. Painel frontal da janela de ensaio do *software*.

6.5 GRÁFICOS

A janela de gráficos (ver Figura 30) apresenta as potências obtidas durante o ensaio. É possível salvar os dados em arquivo de texto e os gráficos em formato de imagem para análises posteriores ou armazenamento em banco de dados. Nesta janela, também é possível alternar a unidade de potência entre o sistema internacional e o sistema inglês de unidades, isto é, kW ou cv, respectivamente.

Como resultado do ensaio estático, o mostrador **Potência Máxima** apresenta a máxima potência da roda obtida durante este ensaio e a respectiva velocidade do veículo. E, como resultado do ensaio dinâmico, a área delimitada para traçado das curvas características dos veículos automotivos apresenta as curvas de potência (roda, dissipada e motor), levantadas durante este ensaio, e o mostrador **Potência Máxima** apresenta os valores máximos das potências, a respectiva velocidade do veículo e o fator de correção de potência aplicado à potência do motor.

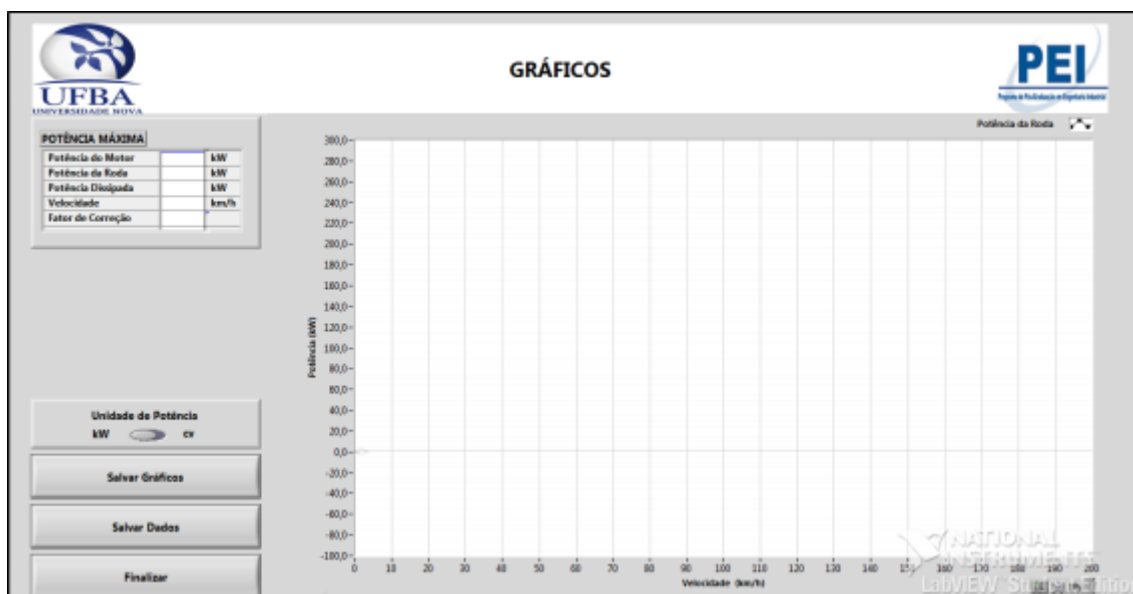


Figura 30. Painel frontal da janela de gráficos do software.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

7. SIMULAÇÃO DO SISTEMA DAQ

As exigências experimentais demonstraram que o uso preciso e exato da instrumentação em um dinamômetro de chassi é um desafio. A interação entre a instrumentação, as interferências elétricas e os vários computadores presentes no laboratório geram e induzem ruído eletromagnético, levando a erros de medição que podem ser difíceis de quantificar ou de evitar (WAGER *et al.*, 2014).

A fim de avaliar o sistema de aquisição de dados de maneira o mais independente possível, ao invés de utilizar os sinais analógicos provenientes da célula de carga e do sensor indutivo instalados no dinamômetro de chassi Bosch FLA 203, que estão associados ao ruído eletromagnético próprio a esses sensores, foi desenvolvida uma simulação numérica do sinal analógico de interesse.

Desta forma, foi reproduzido o sinal da velocidade dos rolos inerciais do dinamômetro de chassi puro (desprovido da componente ruído), a partir de um conjunto de duas equações matemáticas, sem que houvesse necessidade do conhecimento prévio da inércia do conjunto. Em seguida, os valores numéricos, que são soluções das equações utilizadas, foram convertidos em tensão por um conversor digital-analógico (DAC), para então ser adquirido pelo sistema DAQ.

Os valores numéricos da simulação, resultantes do cálculo, usando as expressões matemáticas, e salvos em um arquivo de texto, puderam ser comparados com os valores numéricos do sistema DAQ, resultantes do processo de aquisição do sinal de tensão gerado por simulação, e avaliados os erros associados a estes valores.

7.1 APARATO EXPERIMENTAL

O *hardware* empregado no teste com sinal simulado de tensão consistiu de um PC e do DAC. Foi escrito e executado no PC um *software* em linguagem de programação *Basic* (vide apêndice) para reproduzir numericamente a velocidade dos rolos inerciais do dinamômetro de chassi Bosch FLA 203. Pela porta RS-232 foi feita a comunicação dos valores calculados no PC com o DAC, que converte sinais numéricos digitais em níveis analógicos de tensão. Na Figura 31(a) é apresentado o PC utilizado na simulação, enquanto que a Figura 31(b) mostra a placa DAC com seus respectivos circuitos eletrônicos.

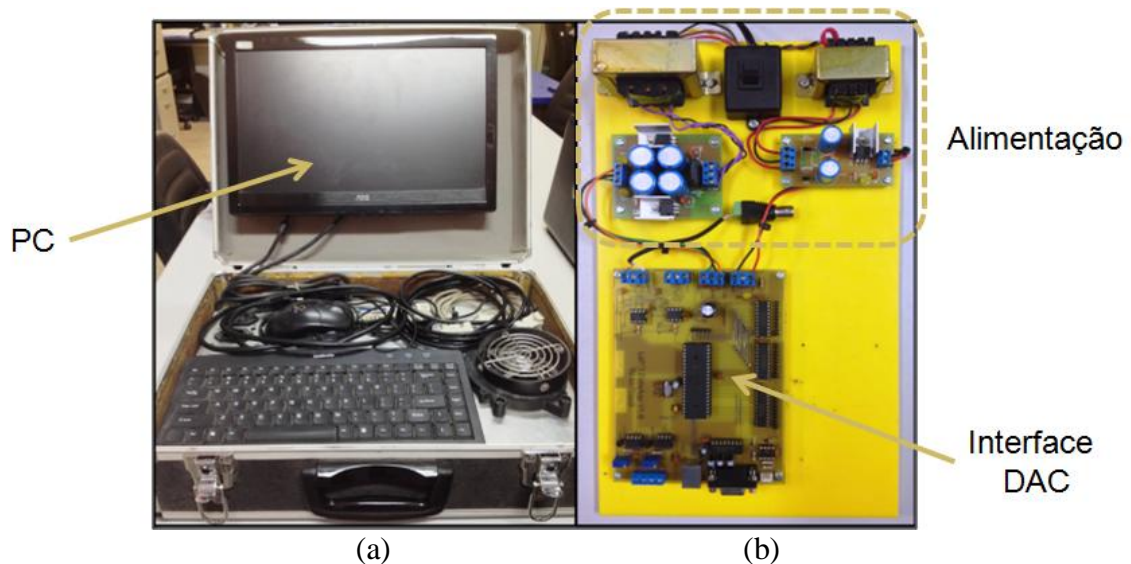


Figura 31. Aparato experimental da simulação. (a) PC. (b) DAC.

7.2 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

A simulação pôde avaliar a qualidade do sistema DAQ através da comparação entre os sinais analógicos gerados pelo cálculo numérico e os dados adquiridos pelo sistema DAQ. A Figura 32 apresenta as curvas produzidas durante a simulação, isto é, em preto está representada a curva produzida pelo cálculo numérico e gerada pelo DAC, variando de 1 a 9 volts, e em vermelho é apresentado o resultado da aquisição de dados.

Da curva produzida pelo sistema DAQ pode-se inferir algumas considerações. Inicialmente, os dados são convertidos sem nenhum problema, mostrando um ajuste perfeito dos dados adquiridos com o sinal simulado. Em seguida, na região 1, é perceptível um desvio das curvas causados provavelmente por um certo atraso devido a células RC (resistor-capacitor) utilizadas como filtros internos nos diferentes circuitos eletrônicos. Finalmente, os erros encontrados na região 2 e 3 supõe-se ser um erro de não linearidade integral e diferencial característico de ADC's e DAC's.

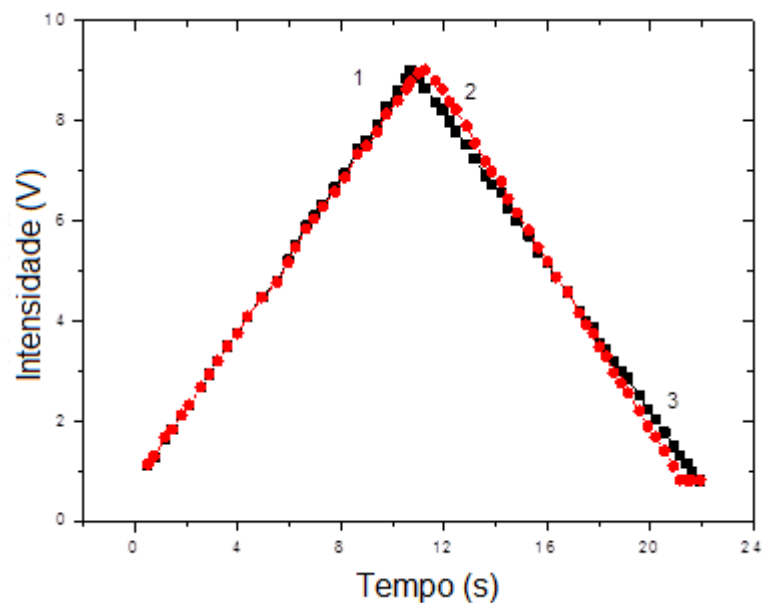


Figura 32. Simulação do sistema DAQ. Em preto a curva produzida pelo DAC e em vermelho a aquisição de dados do sistema DAQ.

A Figura 33 mostra a análise da qualidade dos dados adquiridos. De acordo com o gráfico, o sistema DAQ desenvolvido tem erro de $\pm 3\%$, que corresponde a não linearidade integral e diferencial majorada pela combinação do ADC do sistema DAQ e do DAC utilizado na simulação. Apesar do erro, verifica-se que o sistema desenvolvido (DAQ) foi capaz de adquirir sinais analógicos, converter em sinais digitais e se comunicar com o PC no qual o *software* foi instalado.

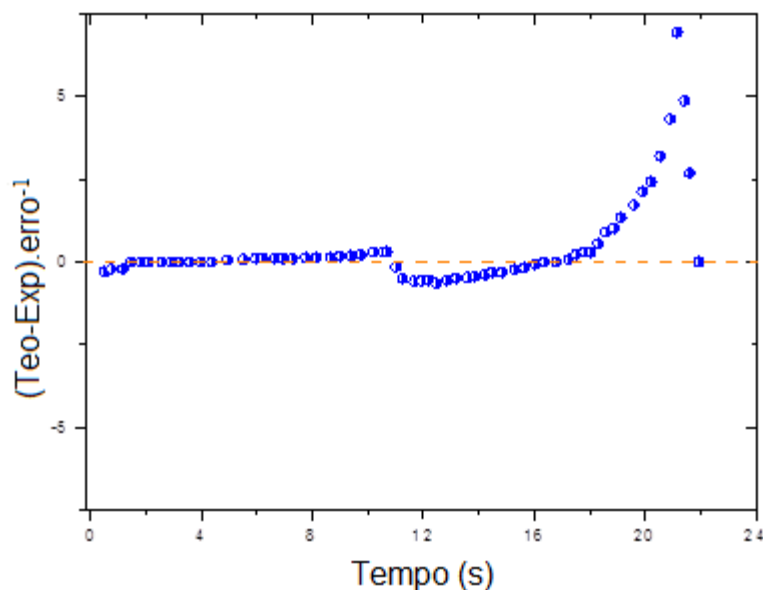


Figura 33. Teste de qualidade do sistema DAQ.

8. VALIDAÇÃO DO SISTEMA DAQ

Segundo a literatura, a comparação entre dados de dois ou mais dinamômetros devem ser realizadas considerando os dinamômetros calibrados, nas mesmas condições ambientais e operacionais e submetidos aos mesmos procedimentos de teste (BETTES *et al.*, 2008).

De modo a validar o sistema DAQ, considerando a sua condição mais crítica, ao invés de utilizar os sinais analógicos derivados do cabo da célula de carga, do próprio dinamômetro de chassi Bosch FLA 203, instalada e calibrada pelo fabricante, foram utilizados os sinais analógicos do sensor de pulsos, adaptado ao dinamômetro.

Os sinais analógicos do sensor indutivo, condicionados pelo conversor de frequência-tensão antes de ser adquirido pelo dispositivo DAQ, fornece a velocidade dos rolos inerciais do dinamômetro de chassi.

Os dinamômetros de chassi que operam por inércia (análise dinâmica) são instrumentados para medir somente a velocidade dos rolos inerciais, sendo a potência obtida a partir do perfil de aceleração. Além disso, uma exata medida da inércia do

dinamômetro se faz necessária para uma exata avaliação da potência mecânica do veículo (BETTES *et al.*, 2008).

Desta forma, se faz necessária a validação da velocidade dos rolos inerciais e a determinação do valor mais provável da inércia do dinamômetro de chassi ante a validação do sistema DAQ. Ao final, são comparadas as curvas da análise dinâmica simplificada do veículo automotivo (somente potência da roda e potência dissipada) adquiridas pelo sistema de aquisição de dados do dinamômetro de chassi Bosch FLA 203 e pelo sistema DAQ.

8.1 VELOCIDADE DOS ROLOS INERCIAIS

Para medição da velocidade dos rolos inerciais do dinamômetro de chassi Bosch FLA 203 foram instalados e calibrados um sensor indutivo e um conversor de frequência-tensão, conforme descritos anteriormente.

A norma ABNT NBR 1585 exige que os valores medidos de velocidade estejam dentro de uma variação máxima que não comprometa a confiabilidade dos resultados. Sendo assim, a rotação selecionada para o motor não deve variar mais do que $\pm 1\%$ ou ± 10 RPM, ou aquele limite que for maior, durante um período mínimo de um minuto. Da interpretação da norma, percebe-se que velocidades dos rolos inerciais abaixo de 1 000 RPM não devem desviar-se mais do que ± 10 RPM e velocidades acima de 1 000 RPM, não devem desviar-se mais do que $\pm 1\%$.

Para validação da velocidade dos rolos inerciais foram tomadas quatro medidas de velocidade (primeira, segunda, terceira e quarta marchas) por um período mínimo de um minuto, sem acelerar o veículo e submetendo-o somente à carga do próprio dinamômetro de forma a manter a velocidade constante. Em seguida, foram calculadas as médias e os desvios para as velocidades em cada marcha e traçado o gráfico mostrado na Figura 34 no *software* OriginPro 8.

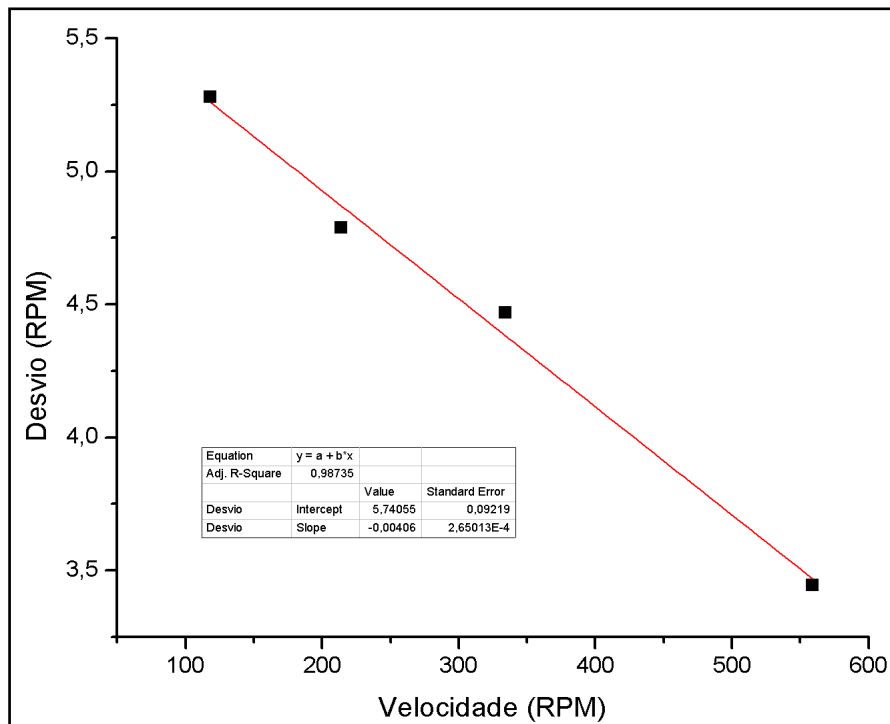


Figura 34. Gráfico do desvio da velocidade dos rolos inerciais.

Como pode ser visto no gráfico, o desvio diminui à medida que a velocidade aumenta, pois o erro da não contagem de um pulso elétrico se torna insignificante com o aumento da velocidade e consideravelmente significativo à medida que a velocidade do sensor de pulsos diminui.

Para valores abaixo de 1 000 RPM, o desvio atende ao valor preconizado na norma, pois sua pior condição é para as baixas velocidades, e, ainda assim, o desvio é de $\pm 5,74$ RPM (velocidade tendendo a zero). Para valores de velocidade acima de 1 000 RPM, o desvio também permanece inferior ao valor estabelecido pela norma, pois o desvio diminui com o aumento da velocidade.

A partir deste mesmo gráfico é possível estimar a incerteza média desta grandeza em $\pm 1\%$ e a incerteza para uma dada velocidade pela Equação 11 abaixo:

$$E = \frac{-0,00406 \cdot n + 5,74055}{n} \quad (9)$$

Onde:

E → Erro (%)

n → Frequência de rotação (Hz ou RPM)

8.2 INÉRCIA DO DINAMÔMETRO DE CHASSI

Para se determinar a potência mecânica exata do veículo automotivo e, assim, poder fazer comparações entre resultados obtidos com outros dinamômetros, a inércia do conjunto deve ser conhecida com exatidão. Alguns fabricantes de dinamômetros indicam o valor deste parâmetro, que pretende ser aproximado do peso do veículo (incluindo o motorista) (BETTES *et al.*, 2008).

Sem o valor correspondente à inércia do dinamômetro de chassi da Escola Politécnica da UFBA, os valores obtidos pelo sistema DAQ diferem consideravelmente dos valores apresentados pelo sistema de aquisição de dados do dinamômetro Bosch FLA 203, pois a inércia é uma constante utilizada como calibre para que os dados adquiridos, a partir da medida da velocidade dos rolos inerciais, possam ser convertidos em valores de potência.

O valor mais provável da inércia do dinamômetro foi determinado através da divisão entre os valores obtidos com o dinamômetro de chassi Bosch FLA 203 e os respectivos valores aquisitados pelo sistema DAQ desenvolvido. Em seguida foi feita a média desses quocientes e encontrado o desvio deste parâmetro. O valor de inércia obtido com o seu respectivo erro pode ser visto abaixo:

$$I = 17,6 \pm 6,3 \text{ kg}\cdot\text{m}^2 \quad (10)$$

Onde:

I → Momento de inércia ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$)

8.3 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

A fim de comparar os valores numéricos e a tendência das curvas obtidas a partir dos dois sistemas de aquisição de dados em estudo foi realizado um teste veicular no dinamômetro de chassi, com medições simultâneas de ambos os sistemas de aquisição de dados.

A Figura 35 apresenta o gráfico produzido pelo dinamômetro de chassi Bosch FLA 203. A curva em verde representa a potência da roda (região positiva) e a potência dissipada (região negativa). Já a curva em roxo representa a potência do motor (soma das potências da roda e dissipada). Os detalhes da potência podem ser visualizados na tabela disposta no canto superior esquerdo, isto é, o valor de potência máxima do motor e a respectiva velocidade, a potência na roda e a potência dissipada, a temperatura e a pressão local, o fator de correção de potência utilizado, entre outras informações.

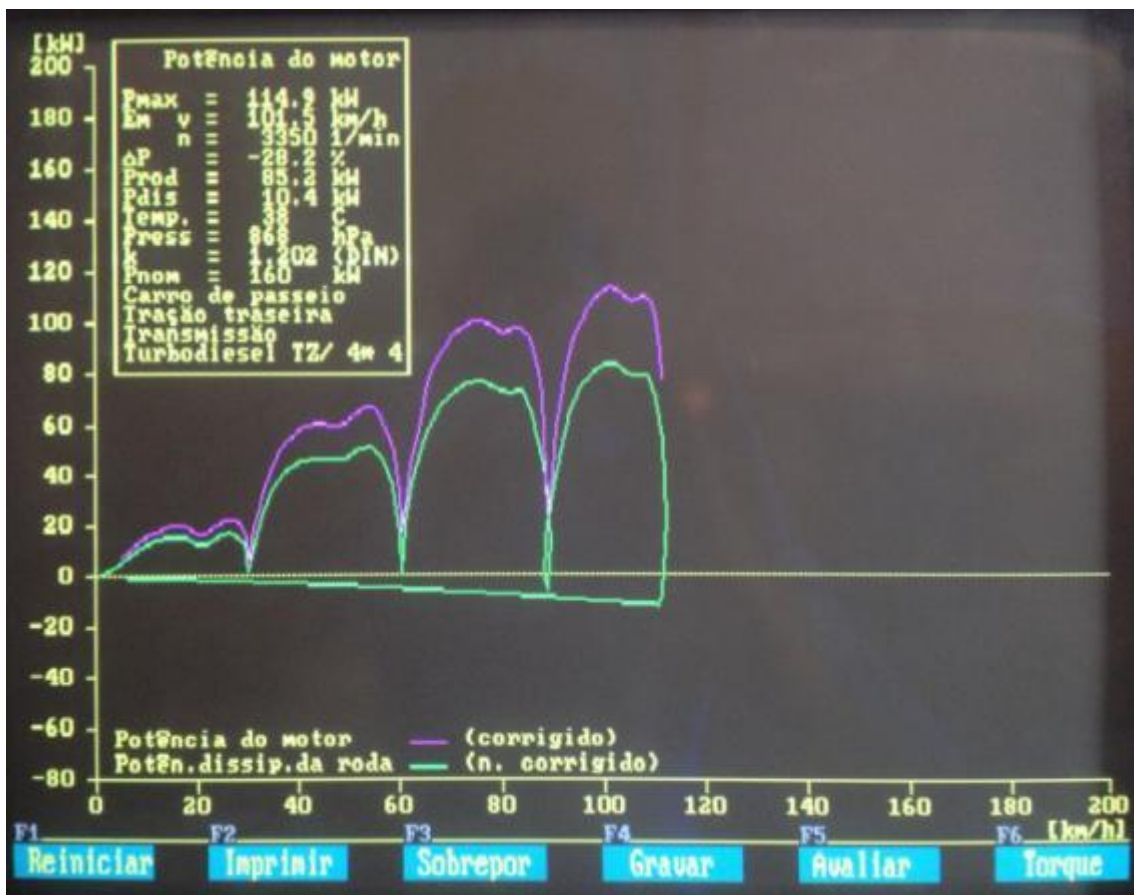


Figura 35. Curvas de potência produzidas pelo sistema de aquisição de dados Bosch FLA 203.

Apesar da relevância desses resultados, este gráfico só pode ser visualizado, pois, conforme mencionado anteriormente, todas as interfaces de saída de dados do dinamômetro de chassi Bosch FLA 203 estão atualmente com algum tipo de avaria, não permitindo mais a saída de dados em um formato numérico manipulável. Desta forma, foi realizado um procedimento manual de levantamento de mais de 300 pontos da curva de potência da roda e potência dissipada produzida por este sistema e, em seguida, esses pontos foram plotados no *software* OriginPro 8, desprezando a curva de potência do motor. A Figura 36 apresenta essas curvas transcritas para o OriginPro 8.

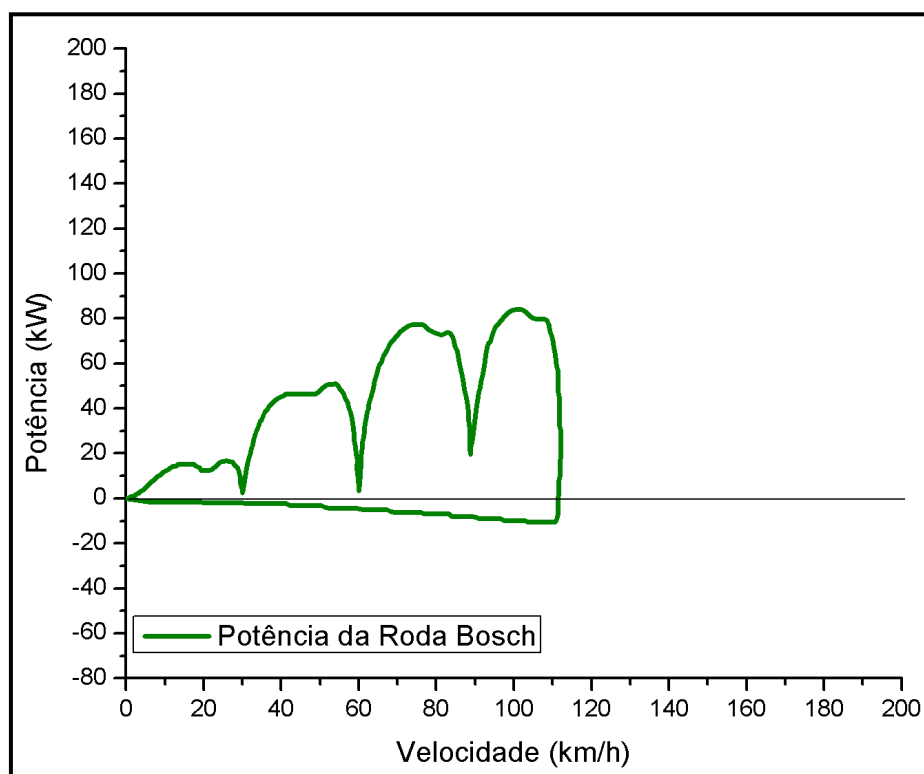


Figura 36. Curvas de potência do sistema de aquisição de dados Bosch FLA 203 no OriginPro 8.

O gráfico do sistema DAQ foi obtido indiretamente a partir da velocidade dos rolos inerciais, da inércia do dinamômetro de chassi e da devida manipulação matemática destes parâmetros. Primeiramente, é feita a aquisição dos dados de velocidade dos rolos em função do tempo do ensaio. Em seguida, esses dados são derivados de forma a se obter o perfil de aceleração. Por fim, conhecida a inércia do dinamômetro de chassi,

calcula-se a potência da roda e a potência dissipada do veículo automotivo utilizando a Equação 11, obtida a partir das Equações 3 e 4 descritas anteriormente:

$$P = I \cdot \alpha \cdot 2\pi \cdot n \quad (11)$$

Onde:

$P \rightarrow$ Potência (W)

$I \rightarrow$ Momento de inércia ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$)

$\alpha \rightarrow$ Aceleração angular (rad/s^2)

$n \rightarrow$ Frequência de rotação (Hz ou RPM)

A Figura 37 apresenta a curva de potência da roda e potência dissipada obtida através do sistema DAQ e traçadas no *software* OriginPro 8. Percebe-se que o sistema DAQ possui maior sensibilidade quando comparado com o sistema de aquisição de dados da Bosch, acredita-se que este último tenha sofrido um processo de alisamento da sua curva.

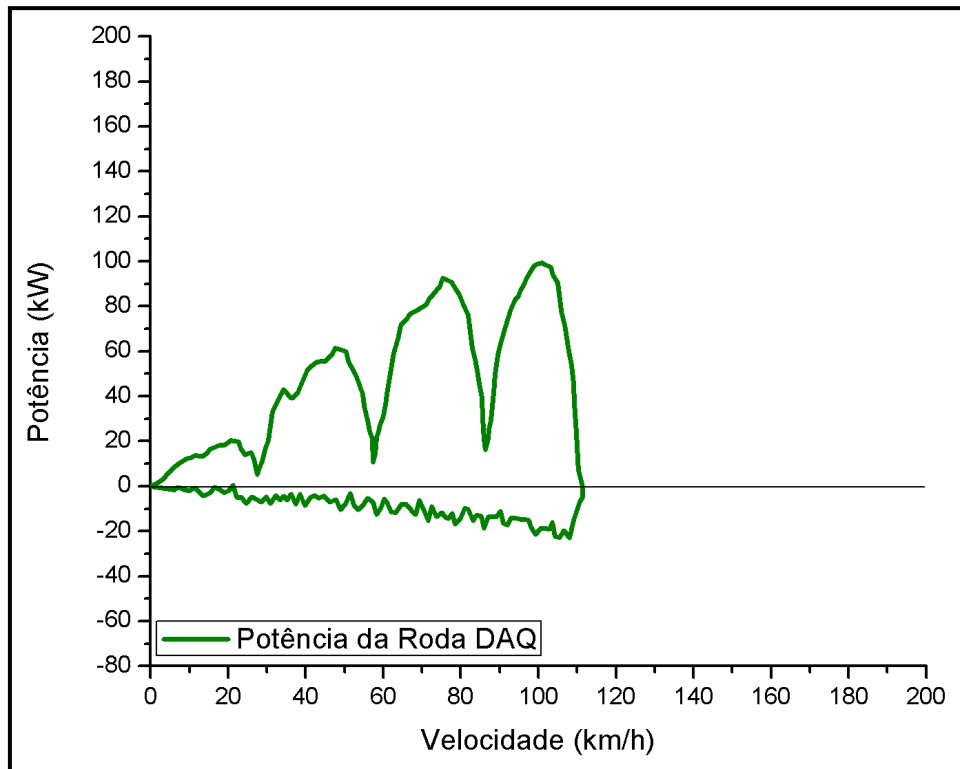


Figura 37. Curvas de potência da roda e potência dissipada do sistema DAQ no OriginPro 8.

Lembrando que os dados que compõem as curvas do sistema Bosch e do sistema DAQ foram tomadas durante o mesmo ensaio e sob as mesmas condições atmosféricas, então a comparação entre as duas curvas é aceitável como forma de validação do sistema DAQ. A Figura 38 apresenta a comparação visual dessas curvas.

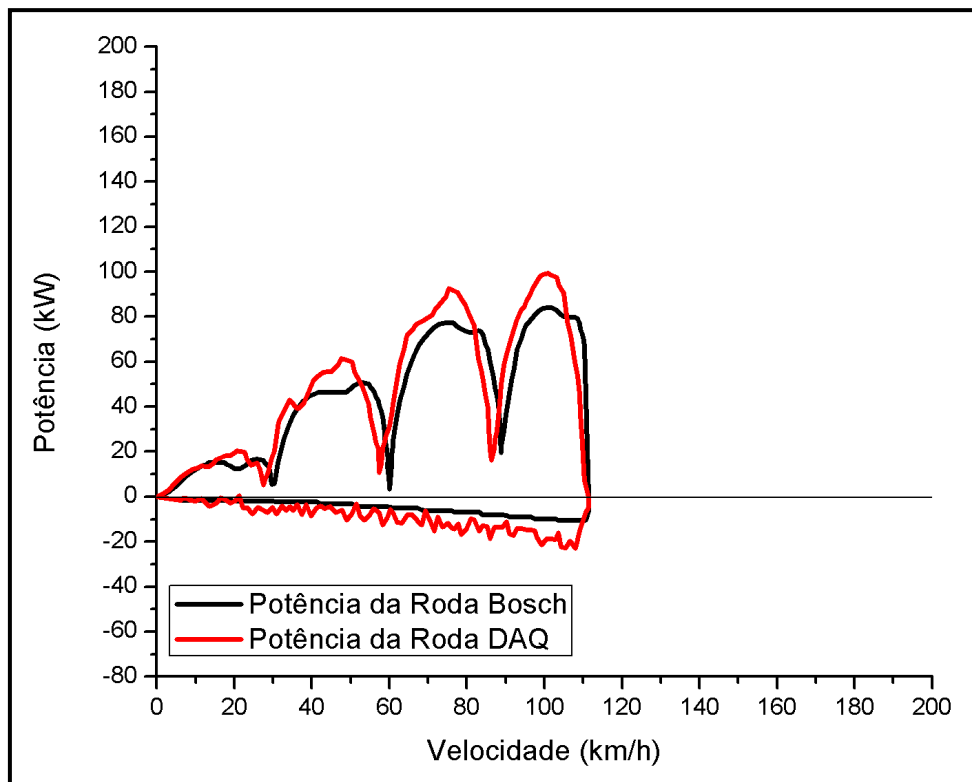


Figura 38. Comparação entre as curvas do Bosch FLA 203 e do sistema DAQ.

Pode-se inferir que as curvas do dinamômetro de chassi Bosch FLA 203 (em preto) e do sistema DAQ (em vermelho) seguem a mesma tendência, porém nota-se que a curva do sistema DAQ superestima os valores apresentados pelo sistema Bosch.

Percebe-se que essa superestimação é provocada pela introdução de alguns erros. O tempo de resposta da tensão de saída do conversor de frequência-tensão, determinado pelo seu filtro RC (resistor-capacitor), provoca um atraso na aquisição dos dados de aproximadamente 4 segundos, o que defasa os dados e amplifica o erro. Foi verificado que o erro de $\pm 1\%$ da velocidade dos rolos inerciais é propagado durante o cálculo da potência mecânica. Além disso, a região de troca de marchas (quedas acentuadas na curva de potência da roda) introduz grandes discrepâncias na medida da inércia do dinamômetro. Por fim, acredita-se que os dados adquiridos pelo sistema Bosch tenham sofrido um processo de alisamento da sua curva, procedimento que não foi realizado nos dados adquiridos pelo sistema DAQ.

Por fim, de modo a validar o sistema DAQ de maneira menos subjetiva, foi realizada uma análise quantitativa do erro entre os dados de ambos os sistemas de aquisição de dados. Da comparação destes valores foi encontrado o erro de $\pm 10\%$, valor este que foi aceitável para validação do sistema DAQ.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

9. CONCLUSÕES

Foi projetado, desenvolvido e montado um *hardware* para a aquisição de dados do dinamômetro de chassi Bosch FLA 203. Neste intuito, foram especificados sensores, condicionadores de sinal e um dispositivo DAQ.

Foi elaborado um *software* em LabVIEW 2012 SP1, versão para estudantes, de fabricação National Instruments para integração com o *hardware* na aquisição de dados e comunicação com o usuário do dinamômetro de chassi Bosch FLA 203.

Da simulação verificou-se que o sistema DAQ foi capaz de adquirir sinais analógicos, converter em sinais digitais e se comunicar com o *software*. Desta forma, viabilizando a continuação do trabalho.

Na validação do sistema de aquisição de dados verificou-se que o erro da velocidade de rotação do rolo atendeu à norma ABNT NBR 1585, pois a sua pior condição encontrou-se abaixo do valor estabelecido pela mesma e sua incerteza média foi de $\pm 1\%$. Foi determinado o valor da inércia do dinamômetro de chassi e seu respectivo erro através de um procedimento estatístico.

A curva do sistema DAQ seguiu a tendência da curva do sistema Bosch FLA 203, entretanto, percebeu-se que a curva do sistema DAQ superestima os valores da potência mecânica. Essa superestimação é provocada pela introdução de alguns erros, tais quais: o tempo de resposta da tensão de saída do conversor de frequência-tensão que defasa os dados em 4 segundos e amplifica o erro, o erro de $\pm 1\%$ da velocidade dos rolos inerciais que é propagado, a região de troca de marchas introduz grandes discrepâncias na medida da inércia e o alisamento da sua curva do sistema Bosch. O erro entre os dados de ambos os sistemas de aquisição de dados foi de $\pm 10\%$, valor este que validou o sistema DAQ.

9.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se a utilização de um conversor de frequência-tensão com menor tempo de resposta, de modo a reduzir o atraso entre os dados de ambos os sistemas de aquisição de dados. Outra opção seria a utilização de um tacômetro de alta precisão com saída analógica proporcional à velocidade.

Acredita-se que os dados aquisitados pelo sistema Bosch tenham sofrido um processo de alisamento da sua curva, portanto, uma boa prática seria a aplicação deste mesmo procedimento nos dados aquisitados pelo sistema DAQ. Desta forma, o gráfico do sistema DAQ tomaria uma forma mais suave, a qual se assemelharia ao gráfico obtido pelo sistema Bosch.

Por motivos de demanda do laboratório, que é compartilhado com outros estudantes da instituição, não foi possível a realização de um número considerável de ensaios no dinamômetro de chassi Bosch FLA 203. Portanto, sugere-se a realização de mais ensaios a fim de se levantar um número maior de dados para obtenção de um valor mais confiável da inércia.

Recomenda-se a validação também da análise estática do dinamômetro de chassi, pois esta importante análise foi desprezada neste trabalho. Além disso, sugere-se a automação da aceleração do veículo de forma a possibilitar testes mais estáveis e controlados.

É interessante a aplicação deste sistema nas pesquisas atuais com diferentes veículos automotivos operando com álcool, gasolina, misturas de biocombustíveis e GNV realizadas no Laboratório de Motores da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia. Permitindo também a interação com analisadores de emissões de gases poluentes, de consumo de combustíveis, entre outros equipamentos.

REFERÊNCIAS

ABDI. Estudo Prospectivo Setorial Automotivo – Relatório de Perspectivas. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. Brasília, Brasil, 2009.

ABNT. Veículos rodoviários - Código de ensaio de motores - Potência líquida efetiva. NBR/ISO 1585, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1996.

ASAD, U.; KUMAR, R.; HAN, X.; ZHENG, M. Precise instrumentation of a diesel single-cylinder research engine. *Measurement*. Vol. 44, p.1261–78, 2011.

ATKINS, R. D. *An Introduction to Engine Testing and Development*. SAE International, 2009.

BETTES, H.; HANCOCK, B. *Dyno testing and tuning*, North Branch: CarTech, 2008.

BETTES, H. A Quick View of Chassis Dynamometer Testing. *Engine Professional*. Vol. Apr-Jun, p.34–9, 2010.

BRODERSEN. PXF-20 Frequency to Analogue Converter. *Catálogo Técnico*. Disponível em: <http://www.brodersencontrols.com> [acesso 18.05.13].

BOSCH. Test Bench for Function and Power Analysis – FLA 203. *Manual do Usuário*, Alemanha, 2001.

BURR-BROWN. Instrumentation Amplifier with Precision Voltage Reference INA125. *Catálogo Técnico*, 1998.

CERRI, T.; D'ERRICO, G.; ONORATI, A. Experimental investigations on high octane number gasoline formulations for internal combustion engines. *Fuel*. Vol. 111, p.305–15, 2013.

DEXTER. Amplificador para Célula de Carga. Catálogo Técnico. Disponível em: <http://www.dexter.ind.br> [acesso 18.05.13].

EEC. Commission Directive 88/195/EEC – Approximation of laws, Internal market, Technical barriers. European Economic Community, 1988.

FIGLIANO, D. A.; DALLMEYER, A. U.; ROMANO, L. N.; SCHLOSSER, J. F.; MACHADO, P. R. M. Desempenho de um motor de trator agrícola em bancada dinamométrica com biodiesel de óleo de frango e misturas binárias com óleo diesel. *Ciência Rural*, Vol.42, n.4, p.660-6, Santa Maria, Brasil, 2012.

FRADEN, J. Handbook of modern sensors: physics, designs, and applications. 3rd ed, Springer, San Diego, USA, 2004.

FRANCO, V.; KOUSOULIDOU, M.; MUNTEAN, M.; NTZIACHRISTOS, L.; HAUSBERGER, S.; DILARA, P. Road vehicle emission factors development: A review. *Atmospheric Environment*. Vol. 70, p.84–97, 2013.

GOLDSWORTHY, L. Fumigation of a heavy duty common rail marine diesel engine with ethanol–water mixtures. *Experimental Thermal and Fluid Science*. Vol. 47, p.48–59, 2013.

GOLDSWORTHY, L. Combustion behaviour of a heavy duty common rail marine Diesel engine fumigated with propane. *Experimental Thermal and Fluid Science*. Vol. 42, p.93–106, 2012.

GURGEL, E. Torque ou Potência?. Disponível em: <http://www.clubedocarroeletrico.com.br> [acesso 20.12.13].

IEA. Transport energy and CO2: moving toward sustainability. International Energy Agency. Paris, France, 2009.

LI, T.; CHEN, X.; YAN, Z. Comparison of fine particles emissions of light-duty gasoline vehicles from chassis dynamometer tests and on-road measurements. *Atmospheric Environment*. Vol. 68, p.82–91, 2013.

MARTINS, J. Motores de combustão interna. Publindústria, Porto, Portugal, 2006.

MARTYR, A. J.; PLINT, M. A. Engine Testing – The Design, Building, Modification and Use of Powertrain Test Facilities. 4 ed. Elsevier, USA, 2012.

MELO, T. C. C. de; MACHADO, G. B.; BELCHIOR C. R. P.; COLAÇO, M. J.; BARROS, J. E. M.; OLIVEIRA, E. J. de; OLIVEIRA, D. G. de. Hydrous ethanol–gasoline blends – Combustion and emission investigations on a Flex-Fuel engine. *Fuel*. Vol. 97, p.796–804, 2012.

METALTEX. Sensores indutivos/Inductive sensors. Catálogo Técnico. Disponível em: <http://www.metaltex.com.br> [acesso 17.12.13].

MUÑOZ, M.R.; GÓMEZ, F.M.; ROY, J.F. M. Motores alternativos de combustión interna. 2 ed, Presas Universitarias de Zaragoza, Zaragoza, España, 2008.

NAKASHIMA, Y.; KAMEI, N.; KOBAYASHI, S.; KAJII, Y. Total OH reactivity and VOC analyses for gasoline vehicular exhaust with a chassis dynamometer. *Atmospheric Environment*. Vol. 44, p.468–75, 2010.

NI. Achieve Flexibility in Your Automotive Dynamometer Applications. National Instruments. Tutorial, 2009.

NI. Introduction to G Programming. National Instruments. Tutorial, 2009.

NI. Glossário Técnico de Aquisição de Dados. National Instruments. Tutorial, 2011.

NI. User Guide and Specifications – NI USB-6008/6009. National Instruments. Manual do Usuário, 2012.

NI. LabVIEW System Design Software. National Instruments. Disponível em: <http://www.ni.com/labview>. [acesso 09.12.13].

NI. What Is Data Acquisition?. National Instruments. Disponível em: <http://www.ni.com/data-acquisition>. [acesso 09.12.13].

PYTKA, J. A.; TARKOWSKI, P.; FIJAŁKOWSKI, S.; BUDZYN'SKI, P.; DAŁBROWSKI, J.; KUPICZ, W.; PYTKA, P. An instrumented vehicle for offroad dynamics testing. *Journal of Terramechanics*. Vol. 48, p.384–95, 2011.

RYU, K. Effects of pilot injection timing on the combustion and emissions characteristics in a diesel engine using biodiesel–CNG dual fuel. *Applied Energy*. Vol. 111, p.721–30, 2013.

SANTOS, D. C. Análise de desempenho e de emissões gasosas da queima de biodiesel em um motor de combustão interna de ignição por compressão. Dissertação de Mestrado – UFBA, Salvador, 2007.

SERRANO, L. M. V.; CÂMARA, R. M. O.; CARREIRA, V. J. R.; SILVA, M. C. G. da. Performance study about biodiesel impact on buses engines using dynamometer tests and fleet consumption data. *Energy Conversion and Management*. Vol. 60, p.2–9, 2012.

SINGH, C. D.; SINGH, R.C. Computerized instrumentation system for monitoring the tractor performance in the field. *Journal of Terramechanics*. Vol. 48, p.333–8, 2011.

SODRÉ, J. R.; SOARES, S. M. C. Comparison of Engine Power Correction Factors for Varying Atmospheric Conditions. *J. of the Braz. Soc. of Mech. Sci. & Eng.* Vol. XXV, p.279–85, 2003.

SOPENA, C.; DIÉGUEZ, P.M.; SÁINZ, D.; URROZ, J.C.; GUEL BENZU, E.; GANDÍA, L.M. Conversion of a commercial spark ignition engine to run on hydrogen: Performance comparison using hydrogen and gasoline. *International Journal of Hydrogen Energy.* Vol. 35, p.1420–9, 2010.

SUBRAMANIAN, K.A.; MATHAD, V.C.; VIJAY, V.K.; SUBBARAO, P.M.V. Comparative evaluation of emission and fuel economy of an automotive spark ignition vehicle fuelled with methane enriched biogas and CNG using chassis dynamometer. *Applied Energy.* Vol. 105, p.17–29, 2013.

TEDEA-HUNTLEIGH. Welded, Hermetically Sealed Load Cell. *Catálogo Técnico,* 2011.

TI. LM231 Precision Voltage-to-Frequency Converters. Texas Instruments. *Catálogo Técnico,* 2013.

VENUGOPAL, T.; RAMESH, A. Experimental studies on the effect of injection timing in a SI engine using dual injection of n-butanol and gasoline in the intake port. *Fuel.* Vol. 115, p.295–305, 2014.

WAGER, G.; MCHENRY, M. P.; WHALE, J.; BRÄUNL, T. Testing energy efficiency and driving range of electric vehicles in relation to gear selection. *Renewable Energy.* Vol. 62, p.303–12, 2014.

WANG, L.; TAN, Y.; CUI, X.; CUI, H. The Application of LabVIEW in Data Acquisition System of Solar Absorption Refrigerator. *Energy Procedia.* Vol. 16, p.1496–1502, 2012.

ZHOU, L.; BOOT, M. D.; JOHANSSON, B. H.; REIJNDERS, J. J. E. Performance of lignin derived aromatic oxygenates in a heavy-duty diesel engine. *Fuel*. Vol. 115, p.469–78, 2014.

APÊNDICE

Código fonte do *software* em linguagem de programação Basic:

```
REM *****INÍCIO DA SIMULAÇÃO*****
```

```
CLS
```

```
6800 OPEN "com1: 9600,n,8,1,rs,cs,ds" FOR RANDOM AS #11
```

```
PRINT #11, "C"; 500
```

```
CLOSE #11
```

```
6700
```

```
LOCATE 8, 10: PRINT "Simulação de Dinamômetro"
```

```
LOCATE 16, 10: PRINT "Aperte <g> para iniciar ou <s> para parar"
```

```
6600 I$ = INKEY$
```

```
IF I$ = "g" GOTO 10000 ELSE GOTO 6600
```

```
10000
```

```
OPEN "com1: 9600,n,8,1,rs,cs,ds" FOR RANDOM AS #11
```

```
FOR a = 0 TO 500
```

```
PRINT #11, "C"; a
```

```
d$ = INKEY$
```

```

        IF d$ = "s" GOTO 6700

NEXT a

FOR b = 0 TO 500

PRINT #11, "C"; 500 - b

        d$ = INKEY$

        IF d$ = "s" GOTO 6700

NEXT b

CLOSE #11

FOR r = 1 TO 100
LOCATE 20, 10: PRINT "FIM DA SIMULAÇÃO"
FOR ty = 1 TO 10000: NEXT ty
LOCATE 20, 10: PRINT "          "
FOR ty = 1 TO 10000: NEXT ty
NEXT r

GOTO 6800

REM *****FIM DA SIMULAÇÃO*****

```