



**UNIVERSIDADE LUTERANA DO BRASIL**  
**PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**



**VINÍCIUS MARCELINO ILHA**

**DINAMÔMETRO EMBARCADO APLICADO EM VEÍCULO**  
**AUTOMOTIVO**

Canoas, Julho de 2009.



**VINÍCIUS MARCELINO ILHA**

**DINAMÔMETRO EMBARCADO APLICADO EM VEÍCULO  
AUTOMOTIVO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Departamento de  
Engenharia Elétrica da ULBRA como um  
dos requisitos obrigatórios para a obtenção  
do grau de Engenheiro Eletricista

**Departamento:**

Engenharia Elétrica

**Área de Concentração**

Instrumentação

**Professor Orientador:**

MSc. Eng. Eletr. Luis Fernando Espinosa Cocian- CREA-RS: 88.866-D

Canoas

2009



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Nome do Autor:** Vinícius Marcelino Ilha

**Matrícula:** 992100792-0

**Título:** Dinamômetro Embarcado Aplicado no Veículo Avus

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da ULBRA como um dos requisitos obrigatórios para a obtenção do grau de Engenheiro Eletricista

**Professor Orientador:**

MSc. Eng. Eletr. Luis Fernando Espinosa Cocian

CREA-RS: 88.866-D

**Banca Avaliadora:**

MSc. Eng. Eletr. Augusto Alexandre Durgante de Mattos

CREA-RS: 88.003-D

Conceito Atribuído (A-B-C-D):

MSc. Eng. Eletr. André Luis Bianchi

CREA-RS: 89.197-D

Conceito Atribuído (A-B-C-D):

**Assinaturas:**

---

Autor  
Vinícius Marcelino Ilha

---

Orientador  
Luis Fernando Espinosa  
Cocian

---

Avaliador  
Augusto Alexandre Durgante de  
Mattos

---

Avaliador  
André Luis Bianchi

Relatório Aprovado em:



## **DEDICATÓRIA**

Dedico aos meus pais e avós, incentivadores e responsáveis pela minha educação e formação como pessoa e profissional.



## **AGRADECIMENTOS**

A todos que colaboraram direta ou indiretamente na elaboração deste trabalho, o meu reconhecimento.

Ao Professor MSc. Luis Fernando Espinosa Cocian pelo estímulo, dedicação e esforço pessoal proporcionado.

Aos colegas Engenheiros Eletricistas Diogo Koenig e José Pedro Piovesan; aos técnicos de laboratório Adroaldo Adão Martins de Lima, André Luis Pôncio, Basílio Hanryluk de Oliveira e Everton Zeppenfeld pelas sugestões e observações valiosas.

E em especial ao Professor Dr. Valner João Brusamarello pelas valiosas contribuições, acadêmicas, profissionais e pessoais, pelas oportunidades oferecidas e dedicação, e principalmente pela confiança na minha pessoa.



## **EPÍGRAFE**

*“A mente que se abre a uma nova idéia jamais voltará ao seu tamanho original.”*

*Albert Einstein*



## RESUMO

MARCELINO ILHA, Vinícius. **Dinamômetro Embarcado Aplicado em Veículo Automotivo**. 67 p. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica - Departamento de Engenharia Elétrica. Universidade Luterana do Brasil. Canoas, RS. 2009.

Neste trabalho se desenvolveu um dispositivo para medir o torque aplicado no raio da roda de um veículo automotivo. O sistema de aquisição de dados através de uma célula de carga tipo coluna, mede a deformação provocada em quatro extensômetros ligados em ponte de Wheatstone, cujo desequilíbrio resulta em um sinal elétrico de tensão. Este sinal é condicionado por um circuito eletrônico e em seguida transmitido via sem-fio ao computador, através de um módulo ZigBee. Em um aplicativo desenvolvido no software Labview, pode-se visualizar e gravar esta aquisição instantaneamente na tela do PC. Realizando calibrações estáticas do sistema obteve-se a curva ideal que atendesse os esforços de 3000N sobre a roda. De posse desta curva, ensaios dinâmicos foram executados e permitiram avaliar o desempenho do dispositivo em um veículo automotivo. Nestes ensaios constatou-se que a célula de carga, devido à sua geometria construtiva tipo coluna, mede além do torque, a torção no raio da roda. Apesar desta medição indesejada da torção, o sistema desenvolvido apresentou confiabilidade nas medições efetuadas.

**Palavras chave:** Torque. Aquisição de Dados. Célula de carga. Zigbee. Sem-fio.



## **ABSTRACT**

MARCELINO ILHA, Vinícius. Dynamometer Embbed Applied in Automotive Vehicle. 67 p. Work of Conclusion of Course in Electrical Engineering - Electrical Engineering Department. Lutheran University of Brazil. Canoas, RS. 2009.

In this work has developed a device to measure the torque applied in the radius of the wheel of a motor vehicle. The data acquisition system through a load cell type column, measure the deformation caused in four gauges connected in the Wheatstone bridge, the imbalance results in an electrical signal voltage. This signal is conditioned by an electronic circuit and then transmitted via non-wired to the computer through a ZigBee module. In an application developed in software LabVIEW, you can view and record this purchase instantly on your PC. Conducting static calibrations of the system obtained the best curve that attends efforts to 3000N on the wheel. Possession of this curve, and dynamic tests were performed to assess the performance of the device in a motor vehicle. In these tests it was found that the load cell, due to its constructive geometry type column, beyond measure torque, torsion on the radius of the wheel. In these tests it was found that the load cell, due to its constructive geometry type column is measuring torque and torsion on the radius of the wheel. Although the measurement of unwanted torsion, the system was reliability in measurements performed.

Keywords: Torque. Data Acquisition. Load cell. Zigbee. Wireless.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 – Dinamômetro de mola.....	3
Figura 2.2 – Extensômetro de resistência elétrica – Fonte: Instrumentação e Fundamentos de Medidas, Volume II. ....	7
Figura 2.3 – Diagrama de ligação elétrica da célula de carga.....	8
Figura 2.4 – Exemplo de uma célula de carga tipo coluna. Fonte: Instrumentação e Fundamentos de Medidas, Volume II. ....	9
Figura 2.5 – Exemplo de topologia de rede <i>Mesh</i> . Fonte <a href="http://www.rogercom.com">www.rogercom.com</a> .....	12
Figura 2.6 – Exemplo de uma rede ZigBee.....	14
Figura 2.7 – Modo de transmissão em uma rede ZigBee.....	18
Figura 3.1 – Diagrama geral do sistema de aquisição de dados proposto. ....	19
Figura 3.2 – Sistema de aquisição de dados desenvolvido.....	20
Figura 3.3 – Detalhe da fixação dos extensômetros no raio da roda.....	21
Figura 3.4 – Diagrama geral do sistema de aquisição de dados proposto. ....	21
Figura 3.5 – Bloco FONTE DE +3.3V implementado. ....	23
Figura 3.6 – Bloco AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTAÇÃO. ....	24
Figura 3.7 – Bloco AMPLIFICADOR E FILTRO.....	25
Figura 3.8 – Bloco MÓDULO ZIGBEE. ....	26
Figura 3.9 – Leiaute da PCI desenvolvida no software Protel. ....	26
Figura 3.10 – Dispositivo CON-USBEE – Fonte <a href="http://www.rogercom.com">www.rogercom.com</a> .....	28
Figura 3.11 – Configuração da porta COM no software XCTU. ....	30
Figura 3.12 – Configuração dos parâmetros do XBee para funcionar como Coordenador. ....	31
Figura 3.13 – Fluxograma do software desenvolvido. ....	33
Figura 3.14 – Tela de configuração da porta serial do sistema de aquisição de dados. ....	34
Figura 3.15 – Tela de visualização do dado adquirido. ....	35
Figura 3.16 – Placa metálica para fixação do circuito de medição.....	36
Figura 3.17 – Montagem final da PCI com a peça em acrílico. ....	37
Figura 3-18 – Detalhes da solução embarcada desenvolvida. ....	37
Gráfico 4.1 – Curva de calibração obtida para o ganho de 200 na amostra 3. ....	41
Gráfico 4.2 – Curva de calibração obtida para o ganho de 468 na amostra 6. ....	43
Figura 4.3 – Veículo utilizado para realizar os ensaios dinâmicos.....	44
Gráfico 4.4 – Aquisição do sinal para o ensaio Dinâmico 1. ....	45
Gráfico 4.5 – Aquisição do sinal para o ensaio Dinâmico 2. ....	46
Gráfico 4.6 – Aquisição do sinal para o ensaio Dinâmico 3. ....	47



## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 2.1 – Padrões de comunicação IEEE.....	11
Tabela 4.1 – Tabela com os valores das massas dos objetos utilizados nos testes estáticos.	39
Tabela 4.2 – Resultados da amostra 3 dos ensaios estáticos para ganho de 200.....	40
Tabela 4.3 – Resultados da amostra 6 dos ensaios estáticos para ganho de 468.....	43



## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

AI: Amplificador de Instrumentação.

RF: Radiofrequência.

PCI: Placa de Circuito Impresso.

CI: Circuito Integrado.

SMD: Componente de montagem de superfície.

MSB: Byte mais significativo.

LSB: Byte menos significativo.



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>3</b>
2.1.    Dinamômetro .....	3
2.2.    Dinamômetro em Veículos.....	4
2.3.    Dinamômetro de Rolo.....	5
2.4.    Extensômetros.....	6
2.5.    Célula de Carga.....	8
2.6.    Aplicações de Células de Carga .....	9
2.7.    Zigbee .....	10
2.7.1.  Tipos de dispositivos na Rede Zigbee .....	12
2.7.2.  Topologia de Rede Zigbee .....	13
2.7.3.  Formação da Rede ZigBee.....	15
2.7.4.  Endereçamento de Rede Zigbee .....	17
2.7.5.  Modo de Transmissão .....	17
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>19</b>
3.1.    Descrição Geral do Sistema .....	19
3.2.    Descrição dos Sistemas de Aquisição de Dados .....	20
3.2.1.  Confecção da Célula de Carga.....	20
3.2.2.  Condicionamento e transmissão do sinal adquirido.....	22
3.2.3.  Recepção do sinal adquirido .....	27
3.2.4.  Protocolo de interface serial dos módulos XBee .....	28
3.2.5.  Configuração dos módulos XBee.....	30
3.2.6.  Software de aquisição de dados .....	31
3.3.    Descrição do Sistema de fixação na roda .....	35
<b>4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>38</b>
4.1.    Calibração .....	38
4.1.1.  Ensaio Estáticos com ganho de 200 .....	39
4.1.2.  Análise dos Resultados da Calibração para Ganho de 200 .....	40
4.1.3.  Ensaio Estáticos com ganho de 468 .....	41
4.1.4.  Análise dos Resultados da Calibração para Ganho de 468 .....	42
4.2.    Ensaio Dinâmicos.....	44
4.3.    Comparações dos Resultados da Calibração e o Sistema Real.....	48
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>49</b>
<b>6. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>50</b>
<b>OBRAS CONSULTADAS .....</b>	<b>51</b>
<b>APÊNDICE A – ESQUEMA ELÉTRICO .....</b>	<b>52</b>
<b>APÊNDICE B – CÓDIGO FONTE .....</b>	<b>54</b>



## 1. INTRODUÇÃO

Neste trabalho se desenvolveu um dispositivo capaz de medir o torque aplicado no raio de uma roda em um veículo automotivo, utilizando o princípio de funcionamento do dinamômetro. O dinamômetro é um instrumento utilizado para medir a intensidade das forças aplicadas sobre um corpo e tem seu funcionamento baseado na proporcionalidade entre a força aplicada num corpo e a deformação nele produzida. Os dinamômetros são capazes de medir a potência e o trabalho executado num motor nas suas diversas condições de funcionamento. A partir da medida de potência na roda é possível estabelecer parâmetros para otimização do sistema de transmissão uma vez que a potência exercida pelo veículo é medida a partir da força de reação aplicada. O produto dessa força pela distância do ponto de aplicação é chamado de torque, que representa a habilidade do motor em produzir trabalho.

A monografia para obtenção de conclusão de curso de Engenharia Elétrica da ULBRA [1], apresentada no ano de 2008 é referência para este trabalho, possibilitando assim disponibilizar ao curso de Engenharia Mecânica Automotiva da ULBRA um instrumento, denominado dinamômetro embarcado, que permita medir o torque produzido na roda de um veículo automotivo. O esforço previsto e informado pelo referido curso é de 3000N sobre a roda.

O Dinamômetro Embarcado é composto por um transdutor medidor de força, um sistema de condicionamento, dois módulos Zigbee; um transmissor e outro receptor; e um software. Através de uma célula de carga tipo coluna; composta por 04 extensômetros ligadas em ponte de Wheatstone devidamente fixados no raio de uma roda; a deformação resultante nestes gera um sinal elétrico de tensão medido através de um AI (amplificador de instrumentação). Em seguida este é devidamente condicionado e então transmitido via RF (radiofrequência) através de um módulo XBee, que utiliza o protocolo ZigBee. O dado é recebido em um computador possibilitando ao usuário visualizar e gravar os dados medidos, através do software Labview.

Conforme as sugestões apresentadas na obra de referência, propõe-se alterar o ganho do AI do circuito de aquisição de dados; realizar novos testes;



estáticos e dinâmicos; com o ganho ajustado; desenvolver um software para controle remoto do circuito de aquisição; desenvolver uma PCI acondicionando uma bateria de celular, desenvolver uma solução para fixar a PCI diretamente na roda.

Neste projeto é aguardado que se obtenha um dispositivo capaz de medir o torque aplicado na roda de um veículo.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. *Dinamômetro*

O dinamômetro é um instrumento utilizado para medir a força e cujo princípio de funcionamento baseia-se na força aplicada em determinado objeto, que é diretamente proporcional a sua deformação.

As balanças de mola foram um dos primeiros dinamômetros utilizados na humanidade para medir massa. Estes equipamentos, na figura 2.1 é mostrado um exemplo, baseiam-se na Lei de Hooke[2], que diz que o deslocamento das extremidades de uma mola, na região elástica, é diretamente proporcional à força aplicada.



Figura 2.1 – Dinamômetro de mola.

Os dinamômetros são utilizados em diversos setores, por exemplo, industrial, comércio, laboratório, no campo, automobilístico, etc. Abaixo são apresentadas algumas aplicações destes equipamentos:

- Testes de resistência de fios, arames, cordas e cabos de aço.
- Teste de resistência de cintos e outros equipamentos de segurança.
- Teste de resistência de peças para aeronaves, trens e automóveis.



- Teste de potência de guindastes, empilhadeiras e tratores.
- Controle de Tensão em cordoalhas na instalação em postes e torres de força.
- Controle de tensão em correntes, correias e esteiras rolantes.
- Determinar a força de partes do corpo humano.
- Determinar a potência de motores em geral.

## **2.2. Dinamômetro em Veículos**

Sabe-se que o dinamômetro é um instrumento utilizado para medir a intensidade das forças aplicadas sobre um corpo e tem seu funcionamento, geralmente, baseado na relação proporcional entre a força aplicada e a deformação produzida. Tais instrumentos são capazes de medir a potência e o trabalho fornecidos por um motor nas suas diversas condições de funcionamento. Os equipamentos disponíveis no mercado atualmente são hidráulicos, ou elétricos, ou hidrostáticos, ou pneumáticos e ou por atrito. A escolha do tipo de dinamômetro dependerá de sua aplicação e da exigência da qualidade das medições.

Os dinamômetros podem ser utilizados para medir a potência direta (dinamômetros de bancada), ou seja, acoplado ao eixo de tomada de força do motor; ou para medir a potência desenvolvida na roda (dinamômetro de rolo). O primeiro é utilizado normalmente para projeto, otimização e desenvolvimento de componentes de motores, formulação de combustíveis, etc. O segundo é utilizado para projeto, otimização e desenvolvimento do conjunto motor/transmissão, que vai desde o motor até a roda, além de testes de emissões veiculares.

A partir da medida de potência na roda é possível estabelecer parâmetros para otimização do sistema de transmissão, pois o dinamômetro de rolo simula a condição de carga e a rotação do veículo na pista. A potência exercida pelo veículo nos rolos é medida a partir aceleração angular multiplicada pelo momento de inércia dos rolos. O produto dessa força pela distância do ponto de aplicação é chamado de torque, que representa a habilidade do motor em produzir trabalho.

A potência, também chamada de potência efetiva ou potência ao freio, representa a taxa de trabalho na unidade de tempo e é o produto do torque pela velocidade angular.



### 2.3. *Dinamômetro de Rolo*

Um dinamômetro inercial mede a capacidade que um motor tem de acelerar uma massa giratória em um intervalo de tempo. A partir dessas medidas é possível determinar o torque e a potência do motor. Tomando-se intervalos pequenos de tempo, podem ser obtidas curvas de torque e potência versus rotação bem definidas. A segunda Lei de Newton, equação 2.1, diz que um corpo sob a ação de uma força (F) sofre uma aceleração (a) que tem a mesma direção e sentido da força e um módulo diretamente proporcional a força:

$$F = m.a \text{ Equação 2.1}$$

Onde F é a força em [N], m é massa em [kg] e a é a aceleração em [m/s<sup>2</sup>]. Analogamente é possível determinar a equação que governa o movimento de rotação, a chamada calculando de torque:

$$\tau = I.\alpha \text{ Equação 2.2}$$

Onde  $\tau$  é o torque [N.m], I é o momento de inércia de massa [kg.m<sup>2</sup>] e  $\alpha$  é a aceleração angular [rd/s]. O momento de inércia de massa teórico (I) para um cilindro pode ser calculado conforme a equação 2.3:

$$I = \frac{m.r^2}{2} \text{ Equação 2.3}$$

Onde r é o raio do cilindro.

Quando o cilindro for tubular, o momento de inércia de massa será a diferença entre o momento de inércia considerando o raio externo com o momento de inércia considerando o raio interno do cilindro. O momento de inércia total será a soma de todos os momentos de inércia das massas giratórias do sistema, ou seja, dos cilindros, flanges, eixos, volantes, etc.

A massa (m) de cada parte cilíndrica do sistema pode ser calculada a partir do conhecimento da densidade do aço utilizado, ou seja:

$$m = \frac{\rho\pi(r_e^2 - r_i^2)L}{2} \text{ Equação 2.4}$$



Onde  $\rho$  é a densidade do aço utilizado [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ],  $L$  o comprimento do cilindro [m], e os sub-índices  $e$  e  $i$  significam raio externo e interno, respectivamente.

A aceleração angular ( $\alpha$ ) é a variação da velocidade angular em relação a um intervalo de tempo:

$$a = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad \text{Equação 2.5}$$

Onde  $\omega$  é a velocidade angular [rad/s] e  $t$  é o intervalo de tempo [s]. Para utilizar a velocidade angular em rotações por minuto [rpm], devem-se ajustar as unidades de medida, ou seja:

$$\omega(\text{rd/s}) = \omega(\text{rpm})2\pi/60 \quad \text{Equação 2.6}$$

A potência  $P$  [W] é o produto do torque pela velocidade angular. Para obter-se a potência em HP é necessário multiplicá-la por 0,001341.

$$P = \tau\omega \quad \text{Equação 2.7}$$

## 2.4. Extensômetros

Os extensômetros, ou *strains gauges*, são sensores cuja variação de seu comprimento gera uma variação de sua resistência elétrica.

A constante obtida por Kelvin em 1856, é conhecida hoje com fator *gauge* ou fator do extensômetro, que nada mais é do que a sensibilidade do sensor, conforme se constata na equação 2.7 a seguir.

$$K = \frac{\Delta R_g / R_g}{\Delta l / l} \quad \text{Equação 2.8}$$

Onde  $K$  é o fator Gauge,  $\Delta R_g / R_g$  é a variação relativa da resistência elétrica e  $\Delta l / l$  é a variação do comprimento do extensômetro.

Os primeiros extensômetros utilizados foram os de fio metálicos, que hoje se encontram obsoletos. Atualmente são utilizados os extensômetros do tipo folha. Seu princípio de funcionamento é o mesmo do fio metálico, onde que a variação da resistência quando sujeito uma tensão mecânica.

A medição de pressão, vazão, deslocamento, força e torque são exemplos de grandezas físicas cujas deformações mecânicas sofridas podem ser realizadas através dos extensômetros.

Na figura 2.2 é apresentado o aspecto construtivo de um extensômetro tipo folha, que é composto por dois elementos: a base e a grade.

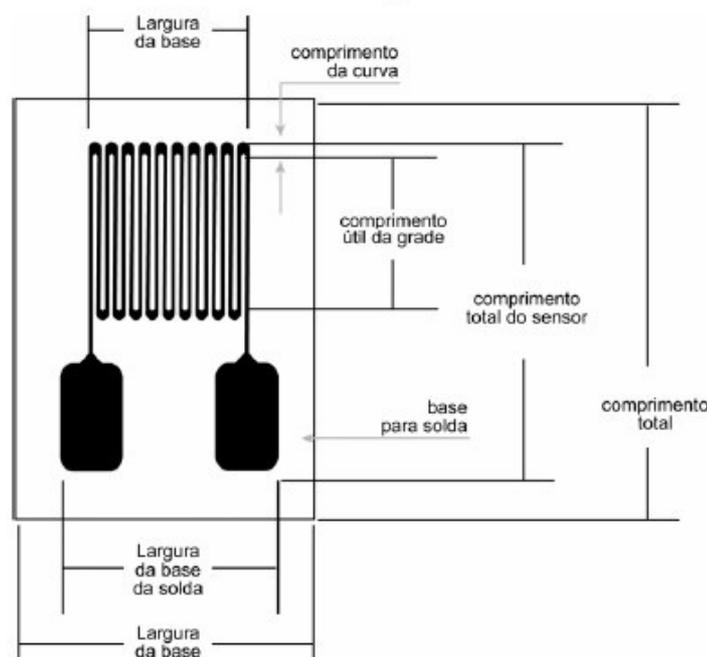


Figura 2.2 – Extensômetro de resistência elétrica – Fonte: Instrumentação e Fundamentos de Medidas, Volume II.

Na figura 2.2, Balbinot at Brusamarello[2] afirmam que “a base possui três funções: servir de base para a grade, possibilitar a cimentação do sensor à superfície elástica e isolar eletricamente a grade da superfície em que será fixado o extensômetro”. Já a grade é constituída de uma liga metálica cuja finalidade é servir como elemento resistivo.

Para fixar o extensômetro ao objeto que se pretende medir a deformação, deve-se seguir alguns cuidados, como limpar adequadamente a superfície onde o sensor será colado, utilizar uma cola especial para fixação.

Em sensores elétricos cuja base de fixação seja boa condutora o máximo valor de corrente elétrica é de 25mA. Se a base não for boa condutora o valor

máximo de corrente diminui para 5mA. Por possuírem como características alta linearidade, baixa impedância e um tamanho considerável para medições de força.

## 2.5. Célula de Carga

A célula de carga nada mais é que um transdutor, composto por extensômetros devidamente colados em uma peça que sofre deformação, e cuja finalidade é medir a força aplicada. Seu projeto baseia-se em duas partes: a mecânica e a elétrica.

A parte elétrica da célula de carga é apresentada na figura 2.3, onde uma tensão  $V$  é aplicada ao circuito e conforme a variação da resistência, proporcional a variação do comprimento nos sensores, provoca uma tensão  $V_{Ponte}$ .

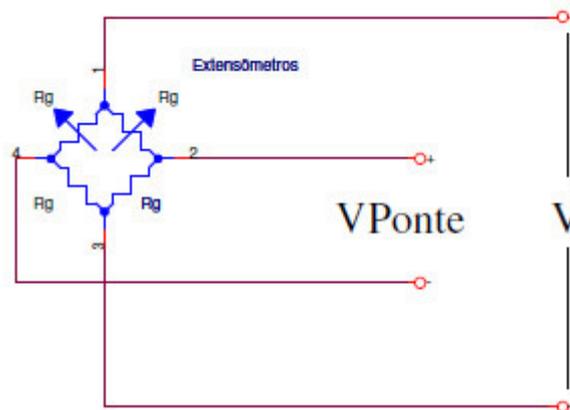


Figura 2.3 – Diagrama de ligação elétrica da célula de carga.

O cálculo desta diferença de potencial resultante na figura 2.3 é efetuado através da equação 2.9:

$$V_{Ponte} = V \times \frac{\Delta R_g}{R_{go}} \quad \text{Equação 2.9}$$

No projeto mecânico utilizam-se dois métodos para obter a célula: o método analítico ou numérico. No primeiro a mesma é obtida a partir de equações deduzidas da resistência dos materiais. O método numérico é utilizado quando a geometria da célula é complexa. Em ambos os métodos a camada de cola aplicada no sensor para fixar ao objeto é desprezada.

## 2.6. Aplicações de Células de Carga

A aplicação de uma célula de carga está relacionada com sua aplicação. Conforme a necessidade escolhe-se a geometria apropriada. Alguns exemplos de células de carga:

- Célula de carga tipo coluna;
- Transdutor de força do tipo lâmina engastada;
- Célula de carga do tipo anel;
- Transdutor de força composto por duas vigas biengastadas;
- Medição de força e momento;
- Plataforma de força para medição de força e momento;
- Transdutor de torque;

A célula de carga confeccionada para o dinamômetro embarcado é do tipo coluna, como a apresentada na figura 2.4. Verifica-se que ao aplicar uma carga  $F$ , seja esta de tensão ou de compressão, a resistência elétrica da célula modifica. Esta célula possui quatro extensômetros, sendo dois colados na direção longitudinal e outros dois na transversal. Cabe salientar que a escolha desta configuração resulta em linearidade da tensão de saída da ponte.

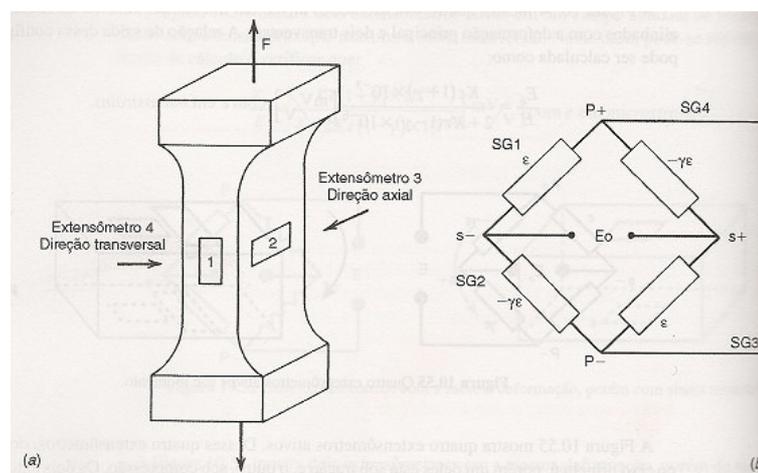


Figura 2.4 – Exemplo de uma célula de carga tipo coluna. Fonte: Instrumentação e Fundamentos de Medidas, Volume II.

## 2.7. Zigbee

ZigBee é o nome de uma tecnologia de transmissão de dados sem fio, desenvolvida sob padrões de endereçamento com o objetivo de criar redes de baixo custo e consumo para comunicação de dispositivos alimentados por baterias com autonomia por anos de uso. Este padrão possui todas as vantagens e características físicas do padrão IEEE (*Institute of Electric and Electronic Engineers*) 802.15.4 somadas a funcionalidades de rede, operando em bandas livres de licença como 2.400-2.484 GHz (Global), 902-928 MHz (América) e 868,0-868,6 MHz (Europa).

O protocolo ZigBee foi desenvolvido por volta do ano de 2002 pela ZigBee Alliance, um consórcio criado por líderes de fabricação de semicondutores, integradores e usuários finais de tecnologia, criado e projetado para transmitir dados através de ambientes de rádio-freqüência hostis geralmente encontrados em aplicações industriais e comerciais com as seguintes características:

- Baixo consumo de energia elétrica;
- Suporte de diversas topologias de rede: estática, dinâmica, estrela ou *mesh*;
- Espalhamento Espectral em Seqüência Direta (*DSSS*);
- Capacidade de até 65.000 nós em uma rede;
- Encriptação de dados AES 128-bit (*Advanced Encryption Algorithm*) que garante segurança na comunicação entre dispositivos;
- Prevenção de colisão de pacotes de dados;
- Tentativas de transmissão e confirmações de recebimento de pacotes de dados.

Com relação aos protocolos de comunicação similares ao ZigBee, é apresentado na Tabela 2.1, as principais diferenças entre estes:

Tabela 2.1 – Padrões de comunicação IEEE

Norma IEEE (Nome do mercado)	802.15.4 (Zigbee)	802.11b (Wi-Fi)	802.15.1 (Bluetooth)
Aplicação principal	Controle e monitoração	Internet, e-mail, multimídia	Eliminar fiação atual
Frequência de operação	2,4 GHz	2,4 GHz	2,4 GHz
Taxa de comunicação (kbps)	20 – 250	11.000	1.000 – 3.000
Distâncias alcançadas com visada direta (m)	30 – 70, 100+ (com amplificador externo)	100+ (antenas direcionais)	30 (Classe 2) 100+ (Classe 1)
Número de nós em uma rede	65.000	32	7
Autonomia da bateria (dias)	100-1000+	½ – 5	1 – 7
Consumo na transmissão	30 mA	300 mA	45mA (Classe 2) <150mA (Classe 1)
Conveniência para controle e supervisão em aplicações industriais	Boa (Bom compromisso entre taxa e custo de conexão)	Baixa (Taxa alta, mas conexão inicial lenta)	Baixa (Boa média mas conexão inicial lenta)
Tecnologia de espalhamento espectral	DSSS	DSSS	FHSS
Tamanho do Firmware	40	70+	50+
Vantagens relativas	Potência, custo	Velocidade, Flexibilidade	Custo, Flexibilidade

A principal característica do protocolo ZigBee é a habilidade suportar redes *mesh*. O que caracteriza essas redes é a capacidade que seus nós possuem de redirecionar os pacotes de informação por diferentes caminhos pela rede, passando por outros nós, até atingirem seu destino. Se um determinado caminho (canal ou nó) é interrompido ou perde a qualidade, a rede automaticamente procura um novo caminho (canal ou nó), mais adequado para manter o tráfego.

Um nó da rede *Mesh* pode ter apenas a função de comunicação, ou ainda, ter suas funcionalidades particulares além de retransmitir os sinais dos seus nós

vizinhos. A Figura 2.5 mostra o modelo conceitual de comunicação entre os nós de uma rede *Mesh*.

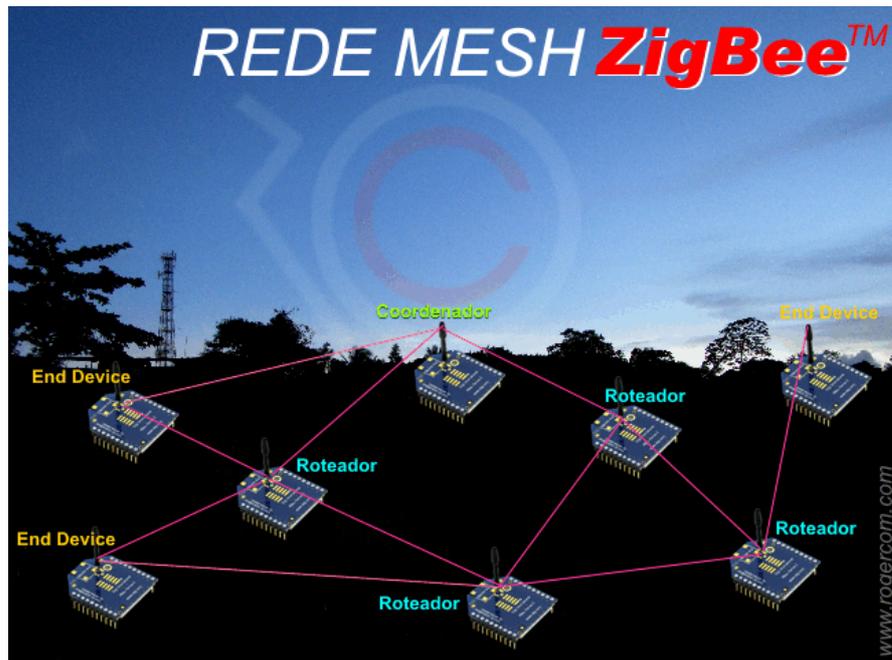


Figura 2.5 – Exemplo de topologia de rede *Mesh*. Fonte [www.rogercom.com](http://www.rogercom.com)

Dentre as diversas possibilidades de aplicações de monitoramento e controle utilizando o protocolo ZigBee, destacam-se: controle de luminosidade, detectores de fumaça, telemetria, controle de temperatura, segurança doméstica, controles ambientais, automação predial, etc.

### 2.7.1. Tipos de dispositivos na Rede Zigbee

Segundo a IEEE 802.15.4, em uma Rede ZigBee existem dois tipos de dispositivos: os FFD e os RFD.

**FFD – Full Function Device (Dispositivo de Função Completa):** São dispositivos mais complexos e precisam de um hardware mais potente para a implantação da pilha de protocolos, conseqüentemente, consomem mais energia. Numa topologia de Rede ZigBee eles podem assumir o papel de Coordenador ou Roteador. Dispositivos FFDs podem se comunicar com quaisquer membros da Rede.

**RFD – Reduced Function Device (Dispositivo de Função Reduzida):** São dispositivos mais simples, onde sua pilha de protocolo pode ser implementada usando os mínimos recursos possíveis de hardware, como por exemplo, em microcontroladores de 8 bits com memória de programa próxima a 6kB, mas só



podem se comunicar com dispositivos FFDs (Coordenador ou Roteador). Numa topologia de Rede ZigBee eles assumem o papel de *End Device* (Dispositivo Final). Na prática podem ser: interruptores de iluminação, *dimmers*, controle de relês, sensores, entre outros.

No padrão ZigBee existem três modos de operação dos dispositivos lógicos (Coordenador, Roteador e Dispositivo final) que definem a rede:

**Coordenador (Coordinator):** Também chamado de ZC (*ZigBee Coordinator*), é o único FFD responsável pela formação de uma rede ZigBee, fato que lhe confere presença obrigatória em todas as redes. O Coordenador estabelece um canal de operação e o número lógico para formar a rede. Uma vez estabelecido estes parâmetros, o coordenador pode formar uma rede permitindo que roteadores e dispositivos finais se integrem a esta. Após a formação da rede, o coordenador funciona como um roteador, podendo participar no redirecionamento de pacotes de dados e ser uma fonte ou destino de pacotes de dados.

**Roteador (Router):** O roteador ou ZR (*ZigBee Router*), é um nó FFD que cria e/ou mantém as informações da rede e a utiliza para determinar a melhor rota para um pacote de dados. Os roteadores podem participar no redirecionamento de pacotes de dados e devem se integrar à rede antes de permitir que outros roteadores e dispositivos finais se integrem a ele. Por intermédio de um roteador uma Rede ZigBee poder ser expandida, e assim ter mais alcance. Na prática um roteador pode ser usado para amplificar o sinal da Rede entre andares de um prédio, por exemplo.

**Dispositivo Final (End Device):** Um dispositivo final ou ZEB (*ZigBee End Device*) é classificado como um RFD e deve sempre interagir com o seu nó pai (ou um roteador ou um coordenador) na rede para receber ou transmitir dados podendo ser uma fonte ou destino de dados, porém, não possuindo a capacidade de redirecionamento de informações. É onde ficam os atuadores ou atuadores são hospedados. Normalmente é o nó que menos consome energia, pois na maioria das vezes este dispositivo encontra-se inativo (*sleeping mode*).

### 2.7.2. Topologia de Rede Zigbee

O nome ZigBee foi criado a partir da analogia entre o funcionamento de uma rede em Malha, e o modo como as abelhas trabalham e se locomovem. As abelhas que vivem em colméia voam em zigue-zague, e dessa forma, durante um

vão a trabalho em busca de néctar, trocam informações com outros membros da colméia sobre, distância, direção e localização de onde encontrar alimentos. Uma Malha ZigBee dispõe de vários caminhos possíveis entre cada nó da Rede para a passagem da informação, assim, é possível eliminar falhas se um nó estiver inoperante, simplesmente mudando o percurso da informação. Na figura 2.6 é mostrado um exemplo de uma rede ZigBee.

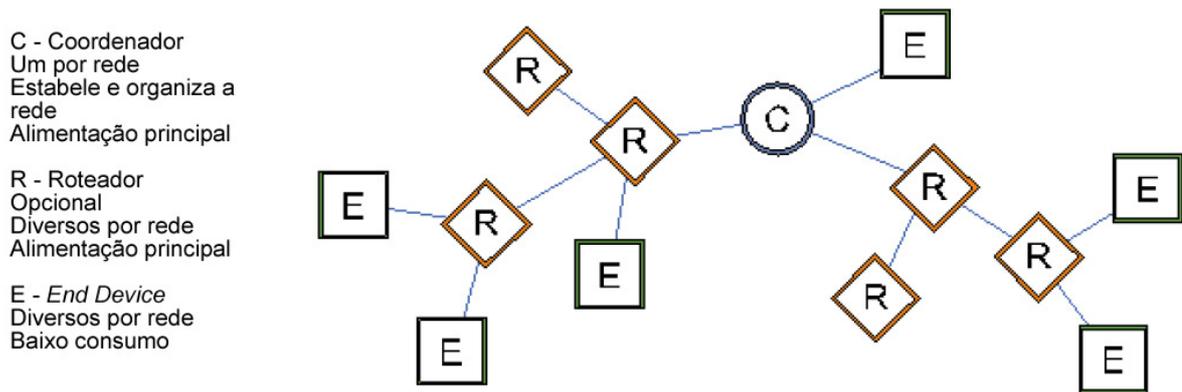


Figura 2.6 – Exemplo de uma rede ZigBee.

Uma rede com protocolo ZigBee pode ter muitos tipos de configuração. Em todos os tipos de configuração, há ao menos dois componentes principais: um nó coordenador e um nó dispositivo final.

Um coordenador é uma variação especial de um FFD, que implementa uma ampla variedade de serviços do protocolo ZigBee. Um dispositivo final é um RFD. Um RFD é o menor e mais simples nó do protocolo ZigBee, pois implementa o mínimo de serviços do protocolo. Um terceiro componente opcional é o roteador, que pode estar presente em algumas configurações de rede.

A camada de rede ZigBee suporta três topologias de redes: Estrela (*Star*), Árvore (*Cluster Tree*) e Malha (*Mesh*).

**Malha (*Mesh*):** Na topologia Malha a rede pode se ajustar automaticamente, tanto na sua inicialização como na entrada ou saídas de dispositivos na rede. Esta se auto-organiza para otimizar o tráfego de dados. Com vários caminhos possíveis para a comunicação entre os nós, este tipo de rede pode abranger em extensão, uma longa área geográfica, podendo ser implementada numa fábrica com vários galpões distantes; controle de irrigação ou mesmo num prédio com vários andares.



**Árvore (Cluster Tree):** Semelhante à topologia de Malha, uma rede em árvore, tem uma hierarquia muito maior e o coordenador assume o papel de nó mestre para a troca de informação entre os nós Roteador e Dispositivo Final.

**Estrela (Star):** É uma das topologias de rede ZigBee mais simples de serem implantadas, é composta de um nó Coordenador, e quantos nós Dispositivo Final forem precisos. Redes com esta configuração devem ser instaladas em locais com poucos obstáculos à transmissão e recepção dos sinais, como por exemplo, em uma sala sem muitas paredes ou locais abertos.

Neste projeto a rede utilizada foi a mais simples, a rede estrela, composta por um módulo ZigBee como coordenador, conectado ao computador, e outro módulo ZigBee como dispositivo final.

### 2.7.3. Formação da Rede ZigBee

A formação de uma nova rede ZigBee, também chamada de PAN (*Personal Area Network*) consiste em um coordenador e um mais roteadores e/ou dispositivos finais e é iniciada através de uma primitiva da camada de rede que é restrita ao coordenador ZigBee que não pertence a nenhuma rede. Para iniciar uma rede, um coordenador ZigBee procura por um conjunto de canais de frequência. Quando esta procura se completa, os canais são ordenados em ordem decrescente de níveis de energia (os canais de níveis mais baixos são descartados).

O coordenador então procura em cada canal por dispositivos ou redes ZigBee. Baseado neste resultado, o coordenador escolhe o melhor canal para criar uma nova rede, dando preferência para canais nos quais não foram encontradas outras redes. Então o coordenador escolhe um identificador de rede lógico (*PAN ID* – Identificador da rede) que será atribuído a todo dispositivo que ingressar na rede. Finalmente o coordenador permite outros dispositivos ingressarem na rede.

Como parte do processo de ingressar em uma rede, cada dispositivo recebe um endereço de rede lógico de 16 bits. Em redes ZigBee, os endereços de rede são atribuídos ou por um coordenador ou por um roteador, usando um algoritmo de árvore estruturada.

Quando um roteador é inicializado pela primeira vez, este localiza e se junta a uma rede ZigBee. Para fazer isso, este emite um comando de requisição denominado *802.15.4 beacon request* em múltiplos canais para localizar as redes mais próximas. Roteadores e coordenadores próximos que já se integraram a uma



rede respondem à requisição com uma outra *beacon request*, indicando qual canal e PAN ID estão operando. O roteador escuta todos os canais aguardando uma resposta. Se uma rede válida é encontrada, o roteador emite uma requisição de integração (*joining request*) para o dispositivo que respondeu à sua solicitação. Se a integração é inicializada, o roteador irá receber uma confirmação de integração deste dispositivo, indicando que a integração está completa.

Uma vez que o roteador se juntou à rede, este pode se comunicar com outros dispositivos da rede e permitir que outros dispositivos se juntem a esta. Esta junção estabelece uma relação pai/filho entre dois nós da rede. O nó que permitiu a junção/integração é o pai e o nó que foi incorporado à rede é denominado filho.

Dispositivos finais seguem o mesmo processo dos roteadores para se integrar a uma rede. Uma vez que o dispositivo final se integrou com sucesso a uma rede, este pode comunicar-se com outros dispositivos da rede. Entretanto, uma vez que dispositivos finais não podem redirecionar dados, eles devem sempre se comunicar diretamente com seus pais e permitir que estes redirecionem os dados para si.

No mais alto nível da estrutura (no dispositivo coordenador) da rede está definida uma entidade conhecida como "*stack profile*". O *stack profile* é um conjunto de parâmetros que incluem definições da profundidade máxima da rede, o número máximo de filhos roteadores em uma profundidade e o número máximo de filhos (dispositivos finais) que podem se comunicar com um roteador individual. Estes parâmetros determinam a forma da árvore da rede. Por exemplo, a profundidade da rede determina o número máximo de saltos entre qualquer dispositivo e o coordenador de rede.

O algoritmo de roteamento ZigBee utiliza uma métrica de cálculo de custo de caminho para comparação de rota durante a descoberta e manutenção de rotas. Para computar esta métrica, um custo de enlace, é associado a cada enlace no caminho entre fonte e destino, e estes valores são somados para produzir o custo do caminho inteiro. Este procedimento de descoberta de rota é baseado no protocolo de roteamento AODV (*Ad hoc On Demand Distance Vector*) e é utilizado caso o roteador não esteja diretamente ligado ao dispositivo de destino, mas possui "capacidade de roteamento".

### **2.7.4. Endereçamento de Rede Zigbee**

O protocolo 802.15.4, o qual o protocolo ZigBee é baseado, especifica dois tipos de endereços:

**Endereços de rede de 16 bits (16-bit network addresses):** É atribuído a um nó quando se integra à rede e é único para cada nó na rede. Entretanto, podem se alterar devido às seguintes condições: Se um dispositivo final não pode se comunicar com o seu pai e deve deixar a rede e se reintegrar para encontrar um novo pai. Ou se o tipo de dispositivo é alterado de roteador para dispositivo final, ou vice-versa, o dispositivo irá deixar a rede e se reintegrar como um novo dispositivo.

**Endereços de 64 bits (64-bit Addresses):** Cada nó contém um endereço único de 64 bits que o identifica na rede e é permanente.

### **2.7.5. Modo de Transmissão**

Quando um dado é enviado ao módulo RF (radiofrequência) que contém o protocolo ZigBee, este módulo sai do modo ocioso (*Idle Mode*) para iniciar a transmissão de dados. O endereço de destino determina qual nó receberá a informação.

Antes que inicie a transmissão, o módulo certifica-se que o endereço de 16 bits e a rota para nó de destino tenha se estabelecido. Caso este endereço de destino ou a rota não seja conhecido, procedimentos de descoberta de endereço ou rota respectivamente são acionados. Caso, ainda assim, o endereço ou a rota não seja descoberto, o pacote de dados é descartado. Na figura 2.7 é mostrado o fluxograma do modo de transmissão de uma rede ZigBee.

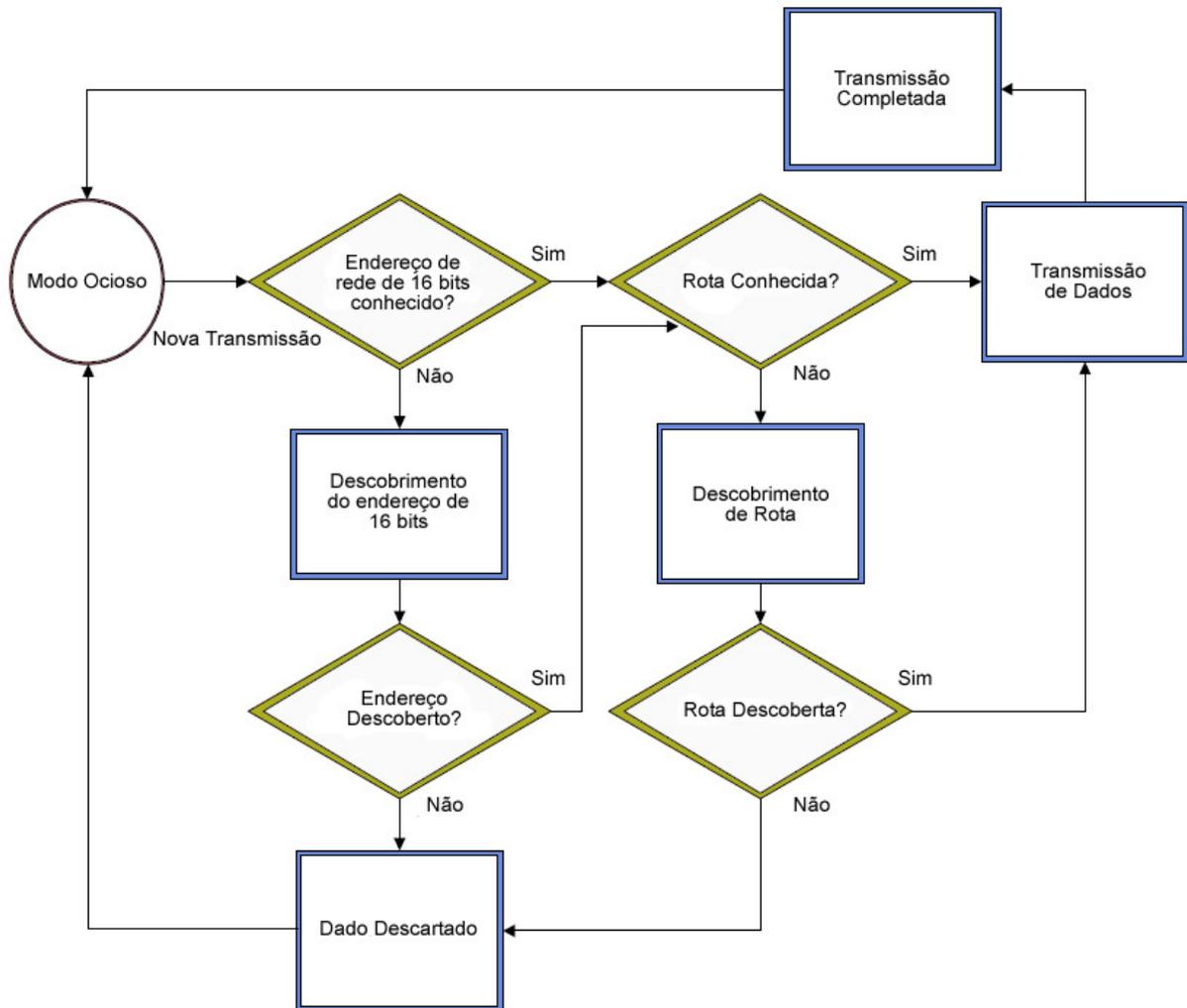


Figura 2.7 – Modo de transmissão em uma rede ZigBee.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. Descrição Geral do Sistema

O dinamômetro embarcado desenvolvido mede o torque gerado na roda de um veículo utilizando uma célula de carga montada no raio desta, cujo sensor é composto por quatro extensômetros ligados em ponte de Wheatstone.

A deformação gerada neste sensor resulta em um sinal de tensão que é medido, condicionado e depois transmitido via *wireless*, utilizando-se um módulo transmissor ZigBee, para um computador.

Através de um módulo ZigBee ligado à porta serial do PC o dado é recebido, possibilitando ao usuário; com o auxílio do software Labview; visualizar instantaneamente o valor lido e salvar este em um arquivo.

Na figura 3.1 é mostrado um diagrama de blocos simplificado deste sistema de aquisição de dados proposto.

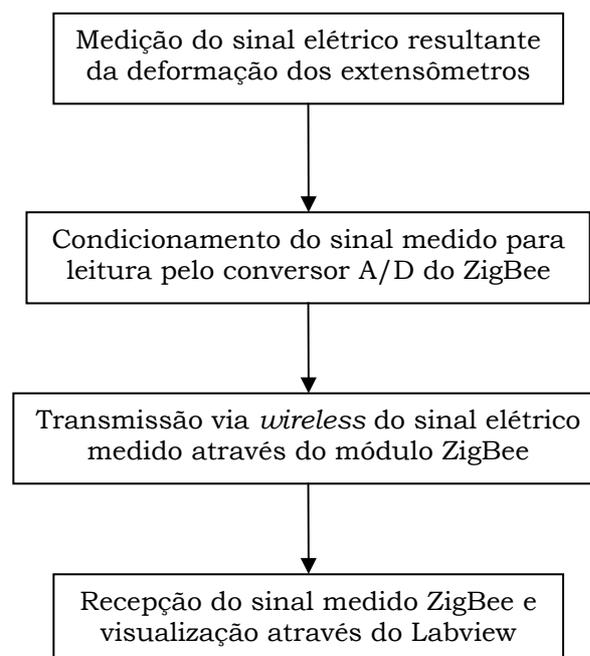


Figura 3.1 – Diagrama geral do sistema de aquisição de dados proposto.

### 3.2. Descrição dos Sistemas de Aquisição de Dados

O sistema de aquisição de dados implementado, como mencionado anteriormente, é composto por um transdutor medidor de força, no caso uma célula de carga, um hardware para condicionar este sinal, dois módulos de RF para transmissão e recepção *wireless* do dado medido e um software para visualizar e gravar este dado medido. O sistema de aquisição de dados desenvolvido é apresentado na figura 3.2 e o detalhamento dos blocos integrantes do dinamômetro embarcado é a realizada nos próximos capítulos.

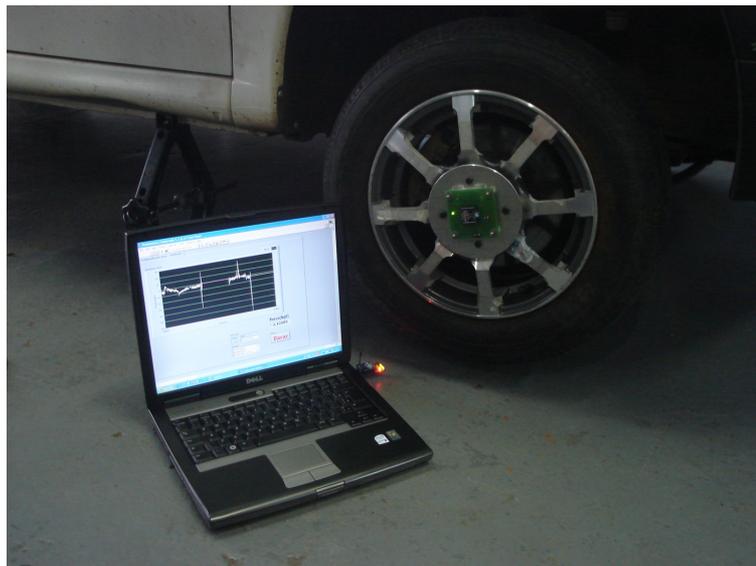


Figura 3.2 – Sistema de aquisição de dados desenvolvido.

#### 3.2.1. Confeção da Célula de Carga

A célula de carga utilizada para medição da deformação da roda é do tipo coluna composta de quatro extensômetros resistivos ligados em ponte de Wheatstone devidamente fixados na roda. A coluna foi construída diretamente no raio de uma roda de liga de Alumínio escolhida pelo fato de possuir 8 raios e assim apresentar característica de simetria.

A construção, bem como os cálculos de dimensionamento deste dispositivo foi realizada pelo curso de Engenharia Mecânica Automotiva da Ulbra, através de uma análise numérica utilizando o método dos elementos finitos. O intuito da análise foi determinar as regiões de deformação quando aplicado um carregamento de 3.000N sobre a roda e dessa forma caracterizar uma viga segura para uma condição de campo.

Com o resultado da análise numérica, pode-se então realizar a etapa de usinagem da roda, que teve que ser adaptada para possuir em seus raios a mesma

Vinícius Marcelino Ilha – Dinamômetro Embarcado Aplicado em Veículo Automotivo  
Universidade Luterana do Brasil

medida que as dimensões utilizadas na análise numérica, ou seja, dimensões de 49,0 mm de comprimento por 12,0 mm de altura e 19,5 mm de espessura. A usinagem foi realizada em um centro de usinagem CNC. Pode-se observar na figura 3.3 o resultado da montagem da célula de carga.

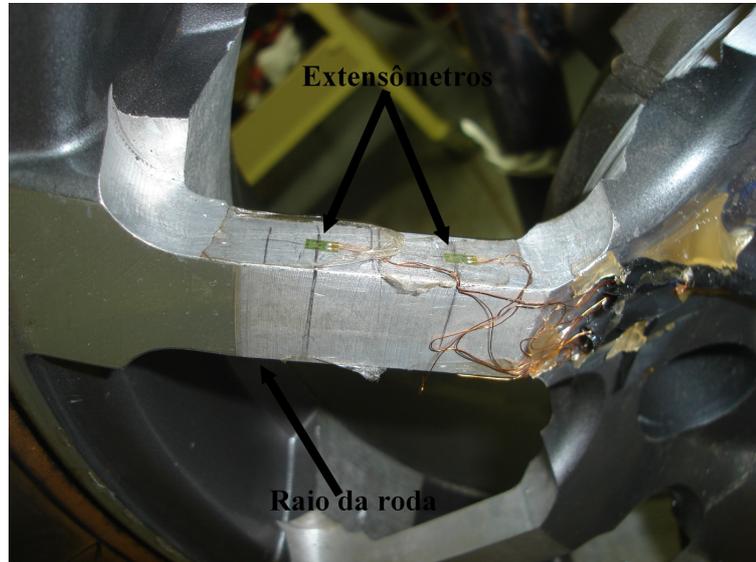


Figura 3.3 – Detalhe da fixação dos extensômetros no raio da roda.

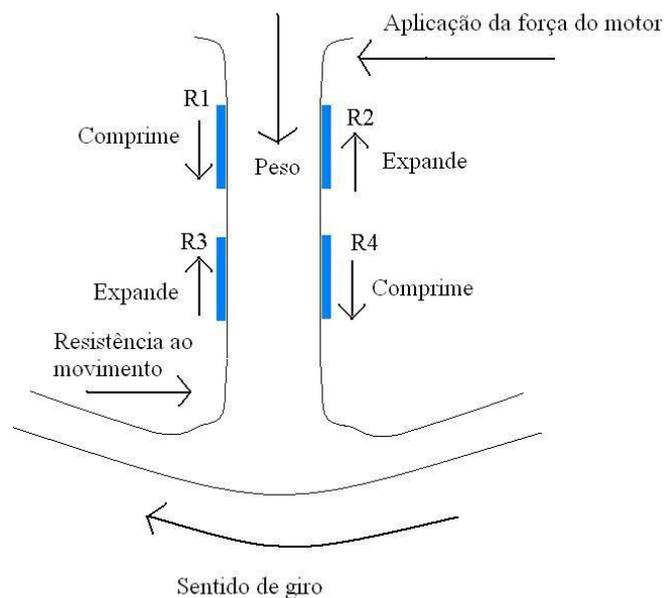


Figura 3.4 – Diagrama geral do sistema de aquisição de dados proposto.

Na figura 3.4 pode-se verificar a maneira como se fixaram no raio da roda os extensômetros e o resultado da força aplicada. Os extensômetros estão ligados em ponte de Wheatstone. Ao incidir uma carga sobre o conjunto, os extensômetros têm a mesma variação de resistência, mantendo a ponte balanceada. O

desbalanceamento da ponte ocorre devido ao torque do motor e a resistência do conjunto ao movimento. Quando o motor é acionado, é gerado torque no centro da roda, suficiente para vencer o peso do carro, o atrito com o chão e ainda acelerar o veículo. Com isso R1 e R4 são comprimidos e R2 e R3 são expandidos. Já quando o veículo é freado, segundo a ligação dos sensores, o efeito é inverso, com R1 e R4 expandindo e R2 e R3 comprimindo.

O valor da resistência dos extensômetros é de 120  $\Omega$ . Para alimentar a ponte de Wheatstone formada por estes sensores, utilizou-se uma fonte de tensão de 3,3V, cujo valor de tensão é obtida pelo regulador de tensão TPS73633 da Texas Instruments.

### **3.2.2. Condicionamento e transmissão do sinal adquirido**

Para concepção do hardware de condicionamento e transmissão do dinamômetro embarcado; cujo torque é medido através da deformação nos extensômetros montados no raio da roda; consideraram-se o restrito espaço para fixar o circuito eletrônico para medir e condicionar o sinal elétrico de tensão, a fonte de alimentação de tamanho reduzido e autonomia para alimentar o circuito e o módulo de transmissão dos dados via RF. Considerando estes fatores, os componentes eletrônicos que compõe o hardware do dinamômetro embarcado são em sua maioria SMD.

Para o desenvolver o hardware utilizou-se o software Orcad, versão 15.7, da Cadence. O esquema elétrico completo é apresentado no Apêndice A. O esquema elétrico é composto pelos seguintes blocos: FONTE DE 3.3V, AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTAÇÃO, AMPLIFICADOR E FILTRO E MÓDULO ZIGBEE, que serão devidamente explicados a seguir.

O bloco FONTE DE 3.3V, é composto por um circuito integrado regulador de tensão LDO(Low Drouput), U1, que fornece 3,3 Volts @ 400 mA. Este componente é o responsável de fornecer a tensão de alimentação para os outros CI's além da tensão de referência para ponte Wheatstone. Na figura 3.4 visualiza-se este bloco, cujos componentes são todos SMD. Os capacitores apresentados C1, C2 e C3 são valores sugeridos pelo fabricante de forma que reduza o ruído produzido pelo componente. A opção para alimentar este circuito deu-se por uma bateria de celular de 3,7 Volts, marca Nokia, modelo BL-5C. Para utilizar esta bateria, aproveitou-se o

conector J1 de um aparelho celular da referida marca, no caso um aparelho Nokia, modelo 3100. Como mencionado anteriormente, o bloco FONTE DE +3.3V é visualizado através da figura 3.5.

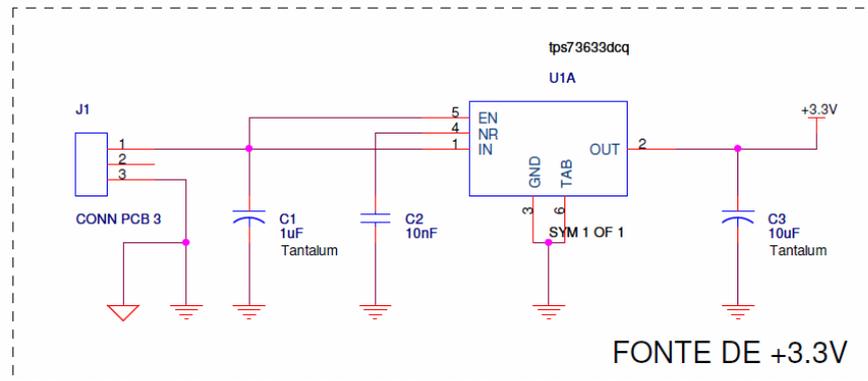


Figura 3.5 – Bloco FONTE DE +3.3V implementado.

O sinal elétrico de tensão produzido na ponte de Wheatstone, decorrente da deformação da célula de carga, é medido através de um AI, AD8553, da Analog Devices, um amplificador de instrumentação de precisão de baixo ruído, saída rail to rail, encapsulamento tipo MSSOP e suporta a faixa de alimentação escolhida de 3,3Volts. O ganho deste AI, segundo o fabricante, é calculado conforme a Equação 3.1:

$$G = \frac{2 \times R2}{R1} \quad \text{Equação 3.1}$$

Desta maneira, considerando a fórmula acima e a figura 3.5, o ganho do sistema é aproximadamente 468. Segundo o fabricante se deve utilizar um capacitor (C5) em paralelo com um resistor (R2), para que estes componentes limitem o ruído proveniente do chaveamento, cujo valor da frequência de corte deve ser de 1,4kHz. Já o resistor R18 e o capacitor C16, servem como filtro anti-aliasing para entrada do conversor AD, com frequência de corte em 1kHz.

Como a faixa de tensão de entrada o conversor AD do módulo ZigBee é de 0 à 1,2V, determinou-se que o zero do sistema seria o a metade da tensão de leitura deste componente. Desta maneira poderá medir-se torque negativos, resultantes da marcha ré ou de freadas. Os componentes C7, R3, R4, R5, R14, R15 e U3 fornecem esta tensão de referência para U2, de 0,594V. Este valor é calculado pela equação 3.2, segundo o fabricante:

$$V_{ref} = 1,24 \times \frac{R5}{R4 + R5} \quad \text{Equação 3.2}$$

Na figura 3.6 é mostrado o bloco AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTAÇÃO, onde que todos os componentes pertencentes a este bloco são SMD.

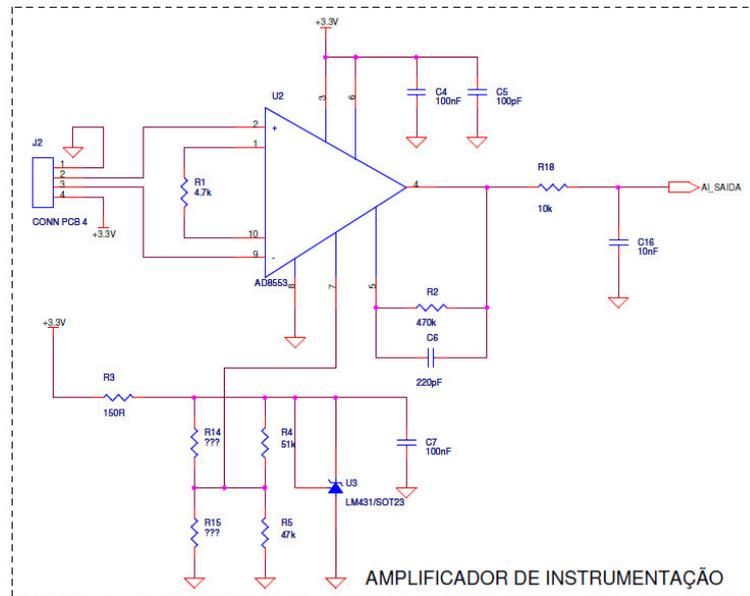


Figura 3.6 – Bloco AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTAÇÃO.

O bloco seguinte é do AMPLIFICADOR E FILTRO. O primeiro amplificador operacional(U4A) foi projetado para aumentar o ganho ao sistema. Porém como não houve esta necessidade, este amplificador funcionou como um seguidor de tensão. Já U4B é composto por um filtro passa baixa de 3ª ordem tipo Butterworth, com frequência de corte de 30Hz. Para determinar este valor, considerou-se que a velocidade máxima permitida nas estradas brasileiras; de 110km/h, que o raio da roda utilizado é de 13” e que a velocidade tangencial é igual a velocidade angular,  $v = \omega \times R = 2 \times \pi \times f \times R$ , obteve-se a frequência de 14,72Hz. Multiplicou-se este valor por 2 para garantir a medição dos valores lido pela célula de carga. Os componentes do filtro também são SMD e na figura 3.7 é visualizado este bloco.

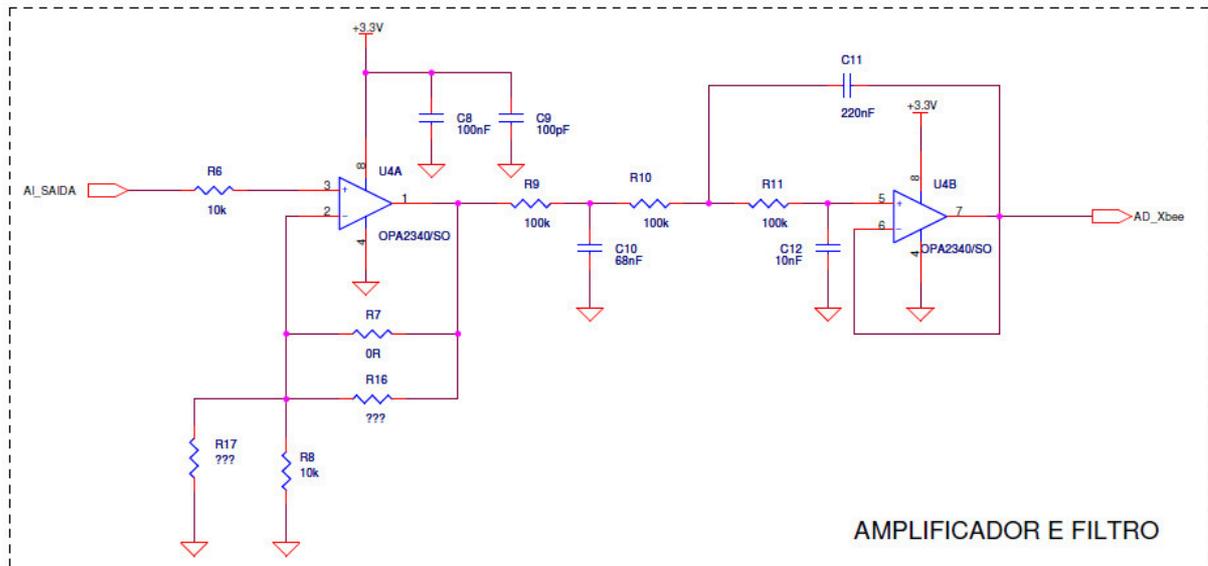


Figura 3.7 – Bloco AMPLIFICADOR E FILTRO.

O bloco MÓDULO ZIGBEE é responsável de adquirir o sinal analógico da célula de carga e transformar este em um sinal digital através de seu conversor A/D, para então transmitir este via wireless ao PC. O filtro Pi utilizado na alimentação deste CI é para minimizar os efeitos de possíveis ondulações provocadas pela fonte de tensão. O canal AD1 é o responsável de medir o sinal, enquanto que o LED sinaliza que o módulo está transmitindo. A chave tacto, SW1, tem a função de setar o módulo. O módulo ZigBee utilizado é o XBee, modelo XB24-BCIT-004 revA, fabricado pela Digi, configurado como Dispositivo Final. Sua configuração é através de um software disponibilizado pelo fabricante, XCTU, cuja parametrização do módulo será detalhada especificamente em um próximo capítulo. O conversor A/D deste módulo XBee possui 10 bits de resolução e a faixa de leitura do canal é de 0 a 1,2 V. Com exceção de U5, SW1 e D1, todos os outros componentes pertencentes a este bloco, devidamente apresentados na figura 3.8, são SMD.

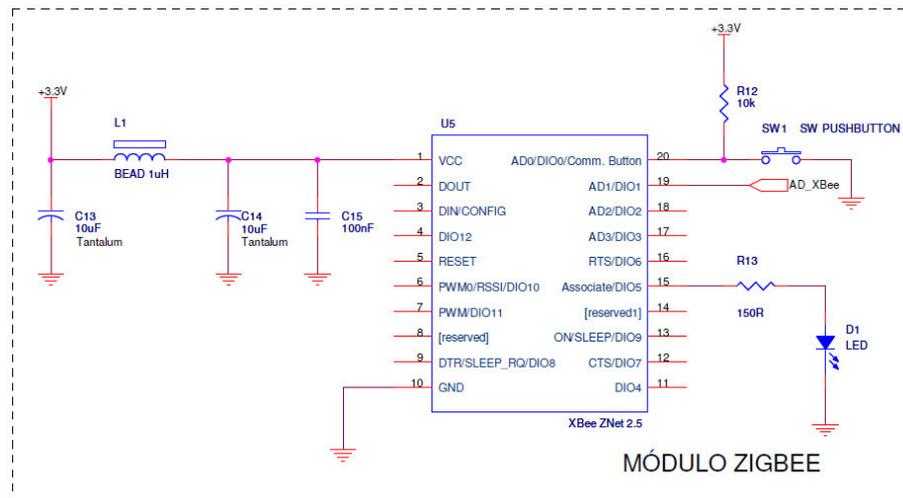


Figura 3.8 – Bloco MÓDULO ZIGBEE.

De forma que o hardware implementado atendesse a necessidade do projeto, desenvolveu-se uma PCI. Seu leiaute foi elaborado utilizando o software Protel. Na figura 3.9 nota-se que os principais cuidados foram manter centralizado na PCI os componentes de maior massa, no caso o módulo ZigBee e a bateria de celular, minimizando desta maneira a possibilidade de os componentes se desprenderem do suporte utilizado para fixar esta PCI, pois o funcionamento do dinamômetro embarcado é de forma dinâmica.

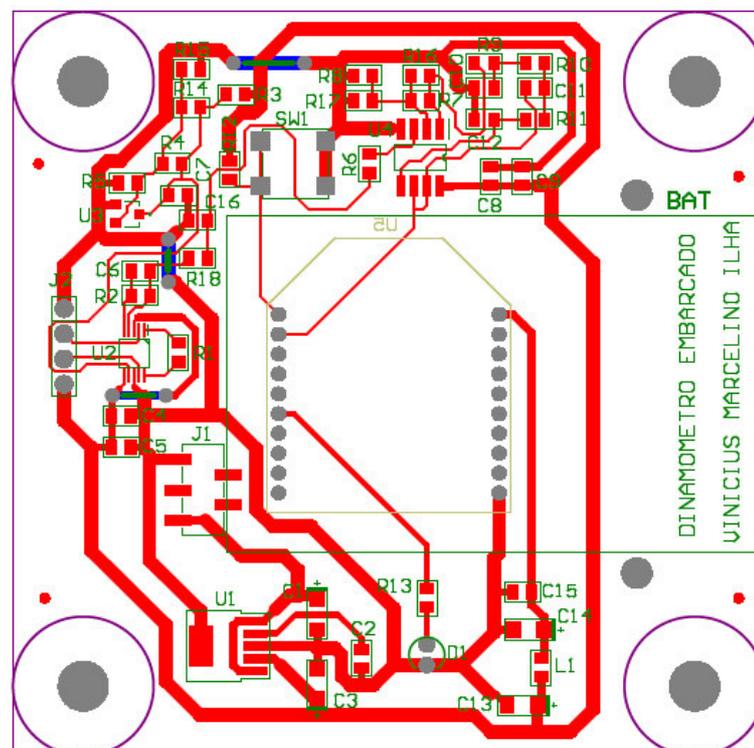


Figura 3.9 – Leiaute da PCI desenvolvida no software Protel.

Para testar o funcionamento do hardware procederam-se os seguintes passos:

1. Medição das tensões de entrada e saída do CI U1, com auxílio do multiteste.
2. Medição das tensões de alimentação dos CI's U2, U4 e U5, com auxílio de um multímetro.
3. Medição da tensão de referência de U2, utilizando um multímetro.
4. Aplicação no conector J2, através de um gerador de sinais, de uma onda quadrada com amplitude de 50mVpp e frequência de 30Hz.
5. Variação da frequência, observando a resposta na saída do amplificador operacional U4B, com o auxílio de um osciloscópio.
6. Teste de transmissão de dados do módulo ZigBee, utilizando o hyperterminal do PC para confirmar recebimento.

### **3.2.3.      *Recepção do sinal adquirido***

Para que o sinal adquirido pela célula de carga permita ser visualizado na tela do computador, necessita-se de um módulo ZigBee e uma interface serial para o PC.

O módulo ZigBee utilizado, também é da empresa Digi, modelo XB24-BWIT-004 revA, configurado para funcionar como Coordenador, com o auxílio do software XCTU, fornecido pelo fabricante.

Como o módulo XBee disponibiliza dados através de interface serial, para que se possibilite tratar os dados recebidos no PC, utilizou-se uma placa de conexão USB, fabricado pela empresa Rogercom, denominada CON-USBEE. Este dispositivo ao ser conectado na porta USB do computador cria automaticamente uma porta COMx virtual, como se fosse uma porta serial padrão RS232, possibilitando receber os dados do módulo. Observa-se na figura 3.10 que esta placa de conexão possui conexão semelhante a um pendrive.

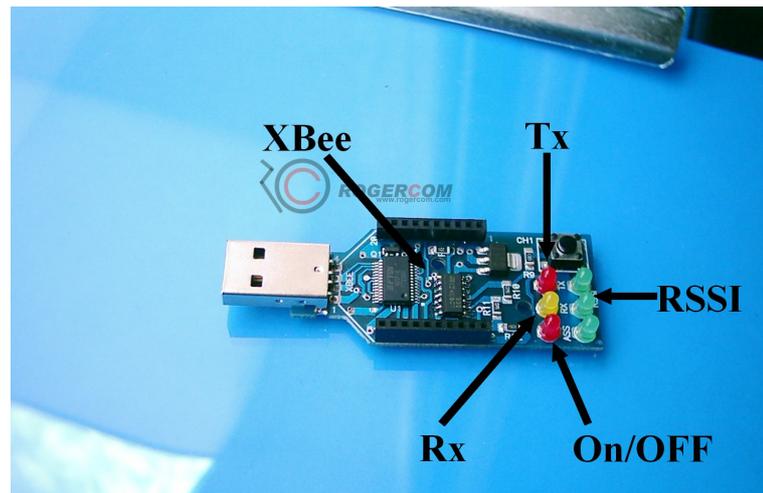


Figura 3.10 – Dispositivo CON-USB BEE – Fonte [www.rogercom.com](http://www.rogercom.com)

Na figura 3.10, é indicada a posição do módulo XBee no dispositivo. Também se nota que a alimentação é pela porta USB do PC e o led On/Off indica que o mesmo está energizado. Já os leds Tx e Rx, indicam respectivamente transmissão e recepção de dados do módulo, enquanto os leds RSSI indicam a potência de transmissão do sinal. Quanto maior intensidade luminosa, maior é o sinal de transmissão. Esta interface permite a configuração dos parâmetros dos módulos Xbee como dispositivo final, roteador ou coordenador, através do software XCTU.

#### **3.2.4. Protocolo de interface serial dos módulos XBee**

Os módulos XBee da Digi, utiliza dois tipos de protocolos de interface serial: o modo transparente, conhecido como modo AT, e o modo API (*Application Programming Interface*).

No modo transparente, os dados recebidos da UART através do pino DIN(Rx) do módulo são colocados em fila para transmissão via RF. Já os dados recebidos do canal RF são transmitidos através do pino DOUT(Tx).

No modo transparente os dados são transmitidos e recebidos da mesma forma que uma comunicação serial RS232 padrão. Os módulos possuem buffers de recepção e transmissão para uma melhor performance na comunicação serial.

O modo de operação API é uma alternativa ao modo de operação transparente padrão. O modo API baseia-se em frame, estendendo assim o nível para qual a aplicação host pode interagir com as capacidades de rede do módulo.



Neste modo de operação os dados transmitidos e recebidos estão contido em frames, que definem operações ou eventos dentro do módulo. Através desse modo de operação é possível um determinado módulo enviar endereço fonte, endereço destino, nome de um determinado nó, sinal RSSI, estado, etc.

Um frame API de um módulo XBee apresenta a estrutura apresentada abaixo:

0x7E 0xAA 0xBB 0xCC 0xDD 0xEE 0xCH, onde que:

0x7E = Byte delimitador inicial;

0xAA e 0xBB = Bytes que indicam o comprimento do frame, onde AA é o MSB e BB o LSB;

0xCC 0xDD 0xEE = Bytes que contém os dados contidos no frame;

0xCH = Byte de Checksum;

Principais características deste modo:

- Transmissão de múltiplos destinos sem entrar em modos de comandos;
- Recebimento de pacote de falha/sucesso de cada pacote RF transmitido;
- Identificação do endereço fonte de cada pacote recebido;

Para que seja possível utilizar o conversor A/D do módulo XBee, configuraram-se estes para operar no modo API. Abaixo a composição de um frame neste modo de operação é apresentada a estrutura do frame transmitido pelo dispositivo final ao coordenador.

0x7E 0x00 0x14 0x92 0x13 0xA2 0x00 0x40 0x4A 0x4F 0x6E 0x3C 0xAE  
0x01 0x01 0x00 0x00 0x03 0x00 0x00 0x01 0xFF 0x34

O detalhamento da composição do conteúdo do frame acima, pode ser verificado no *datasheet* do módulo XBee.

### 3.2.5. Configuração dos módulos XBee

Para configurar o módulo XBee como coordenador e dispositivo final, utilizou-se a placa CON-USBEE da Rogercom e o software XCTU disponibilizado pela Digi, empresa fabricante do módulo XBee.

Os procedimentos citados a seguir são para configurações de coordenador e dispositivo final dos módulos XBee:

1. Conectou-se a placa CON-USBEE com o módulo XBee em uma porta USB disponível no computador.
2. Executou-se o do software XCTU.
3. Selecionou-se a aba *PC Settings* e escolheu-se a porta que realizará a leitura dos dados do módulo, e configuraram-se os parâmetros desta porta e habilitou-se o funcionamento do modo API, conforme é demonstrado na figura 3.11.

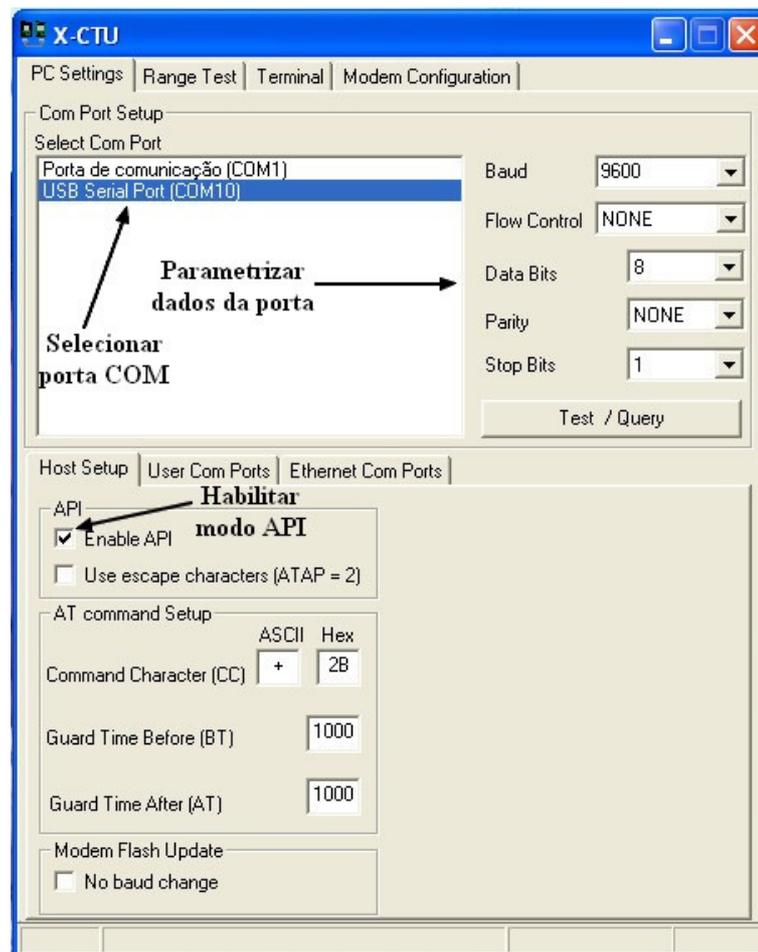


Figura 3.11 – Configuração da porta COM no software XCTU.

4. Clicou-se na aba *Modem Configuration* e primeiro escolheu-se o módulo, depois a função e então a versão. Em seguida, configurou-se os parâmetros da Rede, Endereço, Interface RF, Segurança, Interface Serial, Modo Dormir, Configuração I/O's e Amostragem dos I/O's, conforme pode ser observado na figura 3.12.

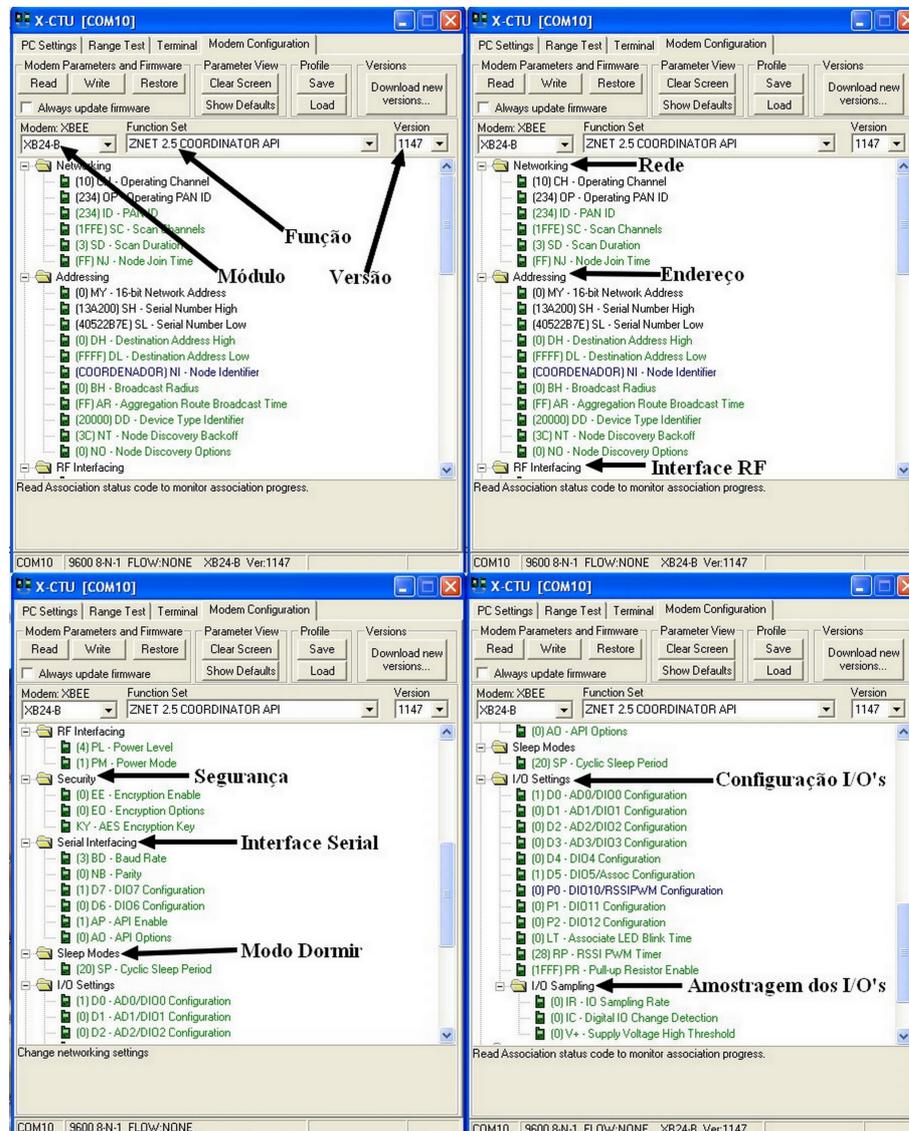


Figura 3.12 – Configuração dos parâmetros do XBee para funcionar como Coordenador.

### 3.2.6. Software de aquisição de dados

O software utilizado neste sistema foi o Labview, da National Instruments, versão 8.2. A opção pelo desenvolvimento do aplicativo neste software deve-se ao mesmo possuir as funções prontas, como por exemplo, leitura da porta serial, gravação e visualização de dados.



O software implementado deve inicialmente configurar a porta serial para que possa ler os dados recebidos pelo módulo ZigBee. Em seguida o dado recebido deve ser devidamente tratado, pois ele encaminhado em um protocolo API, como mencionado anteriormente. Após este tratamento o dado pode ser gravado e visualizado pelo usuário. Na figura 3.13 é apresentado o fluxograma do software.

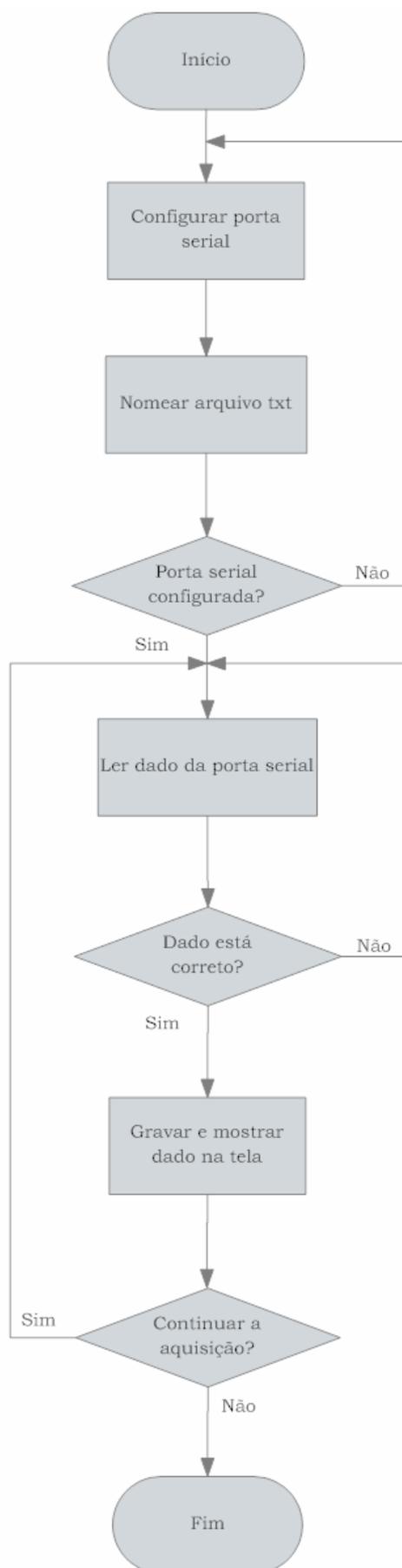


Figura 3.13 – Fluxograma do software desenvolvido.

Após conectar na porta USB livre do computador, a placa CON-USBBEE e o módulo XBee; devidamente configurado como coordenador; o usuário executa o software de aquisição de dados. Ao iniciar, este abrirá ao usuário a aba de configuração da porta serial, conforme a janela apresentada na figura 3.14, devendo o mesmo seguir os seguintes passos:

1. Selecionar a porta COM onde se encontra o módulo ZigBee.
2. Configurar os parâmetros da porta serial, Baud Rate, Data Bits, Parity, Stop Bit, Flow Control.
3. Selecionar a unidade de armazenamento desejada para gravar o arquivo que conterá os dados medidos. Este arquivo deve possuir a extensão \*.txt.
4. Escolher na caixa de diálogo “operation” a opção que deseja trabalhar com o arquivo, abrir um arquivo existente, criar um novo arquivo ou reescrever um arquivo.

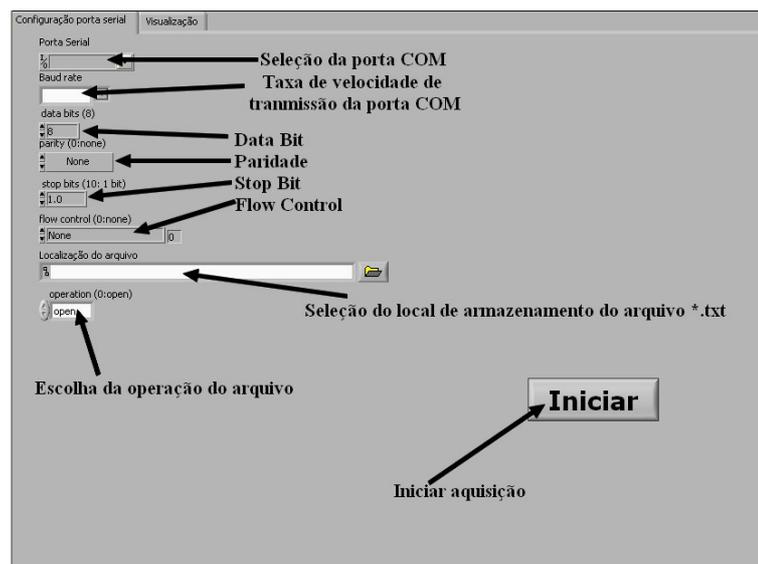


Figura 3.14 – Tela de configuração da porta serial do sistema de aquisição de dados.

Após a execução dos passos acima se inicia a aquisição e a medida real do torque, efetuado pela célula de carga. Os valores lidos pelo conversor A/D são gravados em um arquivo formato txt e este resultado é apresentado ao usuário na aba Visualização, conforme pode ser constatado na figura 3.15. O código fonte deste aplicativo é apresentado no Apêndice B.



Figura 3.15 – Tela de visualização do dado adquirido.

### 3.3. Descrição do Sistema de fixação na roda

Neste projeto necessitou-se desenvolver uma solução mecânica para condicionar o circuito eletrônico responsável pela medição do sinal da célula de carga. Esta solução mecânica é composta por um suporte para fixar a PCI, parafusos e buchas plásticas para prender.

A premissa de concepção deste suporte considerou utilizar os parafusos que prendem a roda ao cubo para fixar este suporte e neste fixar a PCI de medição. Utilizando um torno mecânico confeccionou-se uma placa de metal circular para atender esta necessidade. O diâmetro deste objeto é de 164mm, considerando a informação da distância entre os eixos dos parafusos de fixação da roda, que são de 98mm e da distância entre furos da PCI confeccionada, que é de 61 mm. Na figura 3.16 observa-se que os furos maiores são os de 6mm para fixar a placa metálica à roda, e os quatro furos menores são os de 5mm para fixar a PCI ao suporte.

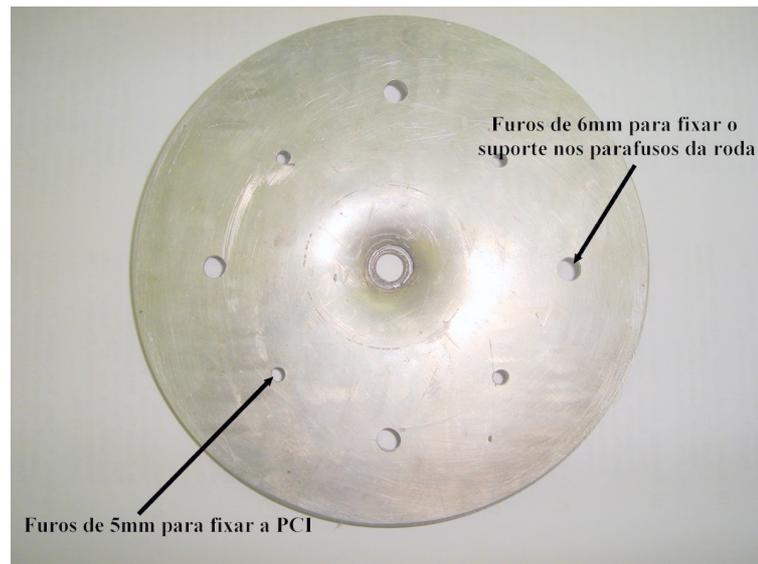


Figura 3.16 – Placa metálica para fixação do circuito de medição.

O suporte apresentado na Figura 3.16 é fixado à roda através de 04(quatro) buchas de náilon, com 30mm de comprimento, e parafusos sextavados M6 x 50(cinquenta) mm de comprimento. Para fixar a PCI nesta placa metálica, utilizaram-se 4 parafusos tipo fenda M5 x 20mm, 4 arruelas lisas, 4 arruelas de pressão, 4 porcas para o parafuso utilizado e 4 buchas de náilon, com 10mm de comprimento. As buchas plásticas foram usinadas no torno.

Outra providência mecânica necessária e devidamente executada foi confeccionar um acrílico para funcionar como suporte da bateria de celular que funciona como fonte de alimentação do circuito, evitando que a mesma despenda do suporte ao realizarem-se testes dinâmicos. Na figura 3.17 é observado o cuidado para construir esta peça de forma que utilize uma área livre na PCI. Além desta peça, colocou-se um plástico entre os pinos do módulo XBee para auxiliar na fixação. A peça em acrílico foi usinada em um torno CNC.

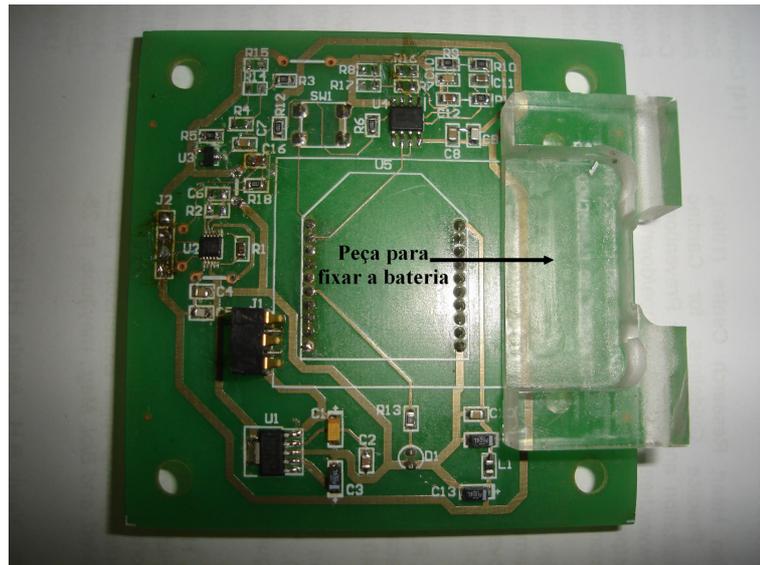


Figura 3.17 – Montagem final da PCI com a peça em acrílico.

Esta solução de fixação desenvolvida para a fixação da PCI do dinamômetro embarcado pode ser visualizada na figura 3.18. Na figura 3.18, à esquerda, é detalhado o suporte, seus parafusos de fixação aos parafusos da roda, a PCI e a célula de carga. Já à direita, na figura 3.18, estão em detalhes as buchas de náilon para fixação do suporte nos parafusos da roda, as buchas de náilon para fixação da PCI no suporte, e seus respectivos parafusos, arruelas e porcas.



Figura 3-18 – Detalhes da solução embarcada desenvolvida.

## 4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para verificar o funcionamento do sistema de aquisição de dados implementado, novos testes estáticos deveriam ser realizados, porque os dados levantados na monografia de referência [1] não concluíram quanto a linearidade da célula de carga utilizada, impossibilitando desta forma calibrar o sistema. A partir da obtenção dos dados referentes ao levantamento da curva de linearização da célula de carga, será possível determinar se a mesma atenderá o esforço necessário de 3000N[3], então permitindo executar os testes dinâmicos, por consequência calibrar dinamicamente o instrumento, permitindo avaliar o desempenho de um veículo automotivo.

### 4.1. Calibração

Neste trabalho, foram considerados como referência os resultados de medidas de torque, considerando-se a carga peso aplicada ao longo de uma distância, que no caso é o raio do conjunto da roda. Assim, foram selecionadas diferentes massas, as quais foram pesadas em uma balança e aplicados na roda. Essa roda, nesses ensaios foi fixada em uma estrutura, que garantia que a aplicação de força na tangente do pneu.

Os ensaios estáticos foram planejados de maneira que fosse possível levantar a curva característica da célula de carga; massa x tensão; e assim determinar o valor do torque medido.

Os ensaios para a obtenção desta curva foram planejados da seguinte maneira: através de um suporte desenvolvido para fixar a roda com a célula de carga, possibilitando aplicar objetos com massas conhecidas e medir o valor de tensão proporcional. Porém, devido a limitação da estrutura utilizada para fixar a roda, não foi possível aplicar a carga máxima solicitada, de 300kg. Estes valores



das massas utilizadas para estes testes são devidamente apresentados na tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Tabela com os valores das massas dos objetos utilizados nos testes estáticos.

OBJETO	MASSA (KG)
1	25,5
2	4,1
3	2,6
4	3,4
5	6,5
6	6,5
7	4,2
8	11,0
9	10,0
Total	73,8

Com as informações dos valores das massas, inicialmente determinou-se que o ganho utilizado no sistema de aquisição de dados seria de 200, o mesmo valor utilizado nos ensaios na monografia de referência [1], porque os dados obtidos com este ganho não eram conclusivos e não se tinha certeza que suportaria até 300kg aplicado na célula de carga. A curva foi levantada da seguinte forma, para cada valor de massa aplicado na roda seria gerado um arquivo txt.

Os dados obtidos durante os ensaios e devidamente analisados foram os seguintes: o valor médio adquirido de tensão proporcional a carga aplicada, o desvio padrão e o erro padrão destes valores de tensão.

#### **4.1.1. Ensaios Estáticos com ganho de 200**

Como já foi mencionado o ganho do sistema é determinado por uma relação de resistores, R2 e R1, valores de 470k $\Omega$  e 4,7k $\Omega$  respectivamente. Inicialmente verificou-se a variação do zero do sistema sem aplicar nenhuma carga à roda, ponte de Wheatstone equilibrada. Para cada carga aplicada, um arquivo em formato txt foi gerado para verificar este comportamento.

Em seguida se adotou os seguintes passos apresentados abaixo:

1. Pendurado a roda o objeto 1 (25,5 kg) na roda.
2. Adicionado o objeto 2 (4,1 kg).
3. Adicionado a peça 3 (2,6 kg).
4. Adicionado o objeto 4 (3,4 kg).



5. Adicionado o objeto 5 (6,5 kg).
6. Adicionado a peça 6 (6,5 kg).
7. Adicionado o objeto 7 (4,2 kg).
8. Adicionado a peça 8 (11,0 kg).
9. Adicionado a peça 9 (10,0 kg).
10. Retirados os pesos e repetido cinco vezes os passos de 1 a 9.

De posse das medidas acima executadas, realizou-se o levantamento destes dados no software Origin, versão 6.1. Após esta atividade, realizaram-se novos ensaios estáticos utilizando um ganho de 468, detalhados a seguir.

#### **4.1.2. Análise dos Resultados da Calibração para Ganho de 200**

Para este valor de ganho foram colhidas quatro amostras. Através dos resultados obtidos constatou-se que as variações dos valores de tensão medidas foram muito pequenas, a maior variação resultante foi na faixa de  $10^{-3}$ . Os resultados obtidos para amostra 3 são apresentados na tabela 4.2 e no gráfico 4.1, onde na tabela 4.2 a primeira coluna é o valor da massa utilizada como carga, o valor de tensão proporcional à esta, o desvio padrão, o erro padrão, os valores máximos e mínimos de tensão lidos e a quantidade de medições efetuadas.

Tabela 4.2 – Resultados da amostra 3 dos ensaios estáticos para ganho de 200.

MASSA(KG)	(V)	$\sigma$ (V)	ERR( V)	VMAX (V)	VMIN (V)	N
25,5	0,60997	0	0	0,60997	0,60997	2822
29,6	0,60572	9,17E-04	1,75E-05	0,60528	0,60762	2743
32,2	0,60319	7,32E-04	1,43E-05	0,60293	0,60528	2606
35,6	0,60059	0	0	0,60059	0,60059	3129
42,1	0,59707	0	0	0,59707	0,59707	2395
48,6	0,59201	8,55E-04	1,67E-05	0,59003	0,59238	2617
52,8	0,58768	0	0	0,58768	0,58768	2499
63,8	0,5783	0	0	0,5783	0,5783	2507
73,8	0,57146	0,00142	2,84E-05	0,56891	0,57361	2498

Com as medidas obtidas traçou-se a curva massa(kg) x tensão(V), conforme pode ser visualizado no gráfico 4.1.

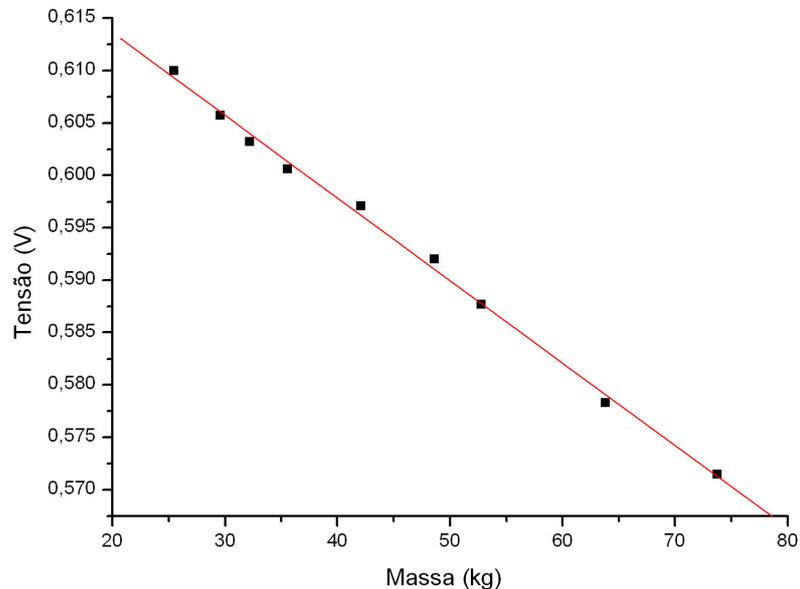


Gráfico 4.1 – Curva de calibração obtida para o ganho de 200 na amostra 3.

Pela linearidade obtida nesta curva, pode-se considerar que esta linearidade permanecerá para 300 kg. A equação obtida é a seguinte:

$$V = -7,87498 \cdot 10^{-4} \times m + 0,620935$$

Equação 4.1 – Equação da amostra 3 da curva da célula de carga para ganho de 200.

Onde que V é a tensão na saída do AI, em volts e m é valor de massa em kg. Com essa equação o fundo de escala do sistema é muito grande, para atingir os valores máximos de leitura do conversor A/D do módulo ZigBee, a força aplicada deveriam ser de 735 kgf em uma direção e 788 kgf na direção oposta. Estes valores são bem superiores ao esforço previsto sobre a roda de um veículo automotivo.

### **4.1.3. Ensaios Estáticos com ganho de 468**

Devido aos ensaios estáticos realizados com ganho de 200, onde se constatou que os valores máximos da carga aplicada seriam entre 735 e 788 kgf, determinou-se aumentar o valor do ganho do sistema. O valor do ganho escolhido



foi de 468, considerando os componentes disponíveis para ajustar este. Através da relação R2 e R1, onde o valor de R1 utilizado foi de  $4,7k\Omega$ , enquanto o valor de R2 foi utilizado uma associação em paralelo de dois resistores de  $2,2M\Omega$ , resultando em um resistor de  $1,1M\Omega$ .

Como nos ensaios para ganho de 200, primeiro verificou-se a condição do sistema sem aplicação de nenhuma carga. Também foi gerado um arquivo txt para avaliar este desempenho.

Realizado esta atividade adotou-se a mesma metodologia no teste anterior, aplicar uma massa conhecida, aguardar o sistema estabilizar e para então iniciar a aquisição. Os dados obtidos foram analisados no software Origin, versão 6.1.

1. Pendurado a roda o objeto 1 (25,5 kg) na roda.
2. Adicionado o objeto 2 (4,1 kg).
3. Adicionado a peça 3 (2,6 kg).
4. Adicionado o objeto 4 (3,4 kg).
5. Adicionado o objeto 5 (6,5 kg).
6. Adicionado a peça 6 (6,5 kg).
7. Adicionado o objeto 7 (4,2 kg).
8. Adicionado a peça 8 (11,0 kg).
9. Adicionado a peça 9 (10,0 kg).
10. Retirados os pesos e repetido cinco vezes os passos de 1 a 9.

#### **4.1.4. Análise dos Resultados da Calibração para Ganho de 468**

Para este ensaio foram colhidas seis amostras, onde se utilizaram para avaliar o sistema, os mesmos parâmetros citados no capítulo 4.1.2, o valor da massa utilizada como carga, o valor de tensão proporcional à esta, o desvio padrão, o erro padrão, os valores máximos e mínimos de tensão lidos e a quantidade de medições efetuadas. Através da tabela 4.3 e do gráfico 4.2, são apresentados os resultados obtidos na execução do sexto ensaio efetuado com o ganho de 468.

Tabela 4.3 – Resultados da amostra 6 dos ensaios estáticos para ganho de 468.

MASSA(KG)	(V)	$\sigma$ (V)	ERR( V)	VMAX (V)	VMIN (V)	N
25,5	0,60997	0	0	0,60997	0,60997	2473
29,6	0,60762	1,60E-04	3,03E-06	0,60997	0,60528	2792
32,2	0,60293	0	0	0,60293	0,60293	2876
35,6	0,60271	0,00518	9,48E-05	0,88211	0,60059	2984
42,1	0,59707	0	0	0,59707	0,59707	2566
48,6	0,59238	0	0	0,59238	0,59238	2565
52,8	0,58768	0	0	0,58768	0,58768	3470
63,8	0,58584	9,60E-04	1,84E-05	0,58768	0,58534	2737
73,8	0,57595	6,18E-05	1,15E-06	0,57595	0,57361	2877

Utilizando a primeira e a segunda coluna da tabela 4.3, traçou-se a curva massa(kg) x tensão(V), conforme pode ser visualizado no gráfico 4.2.

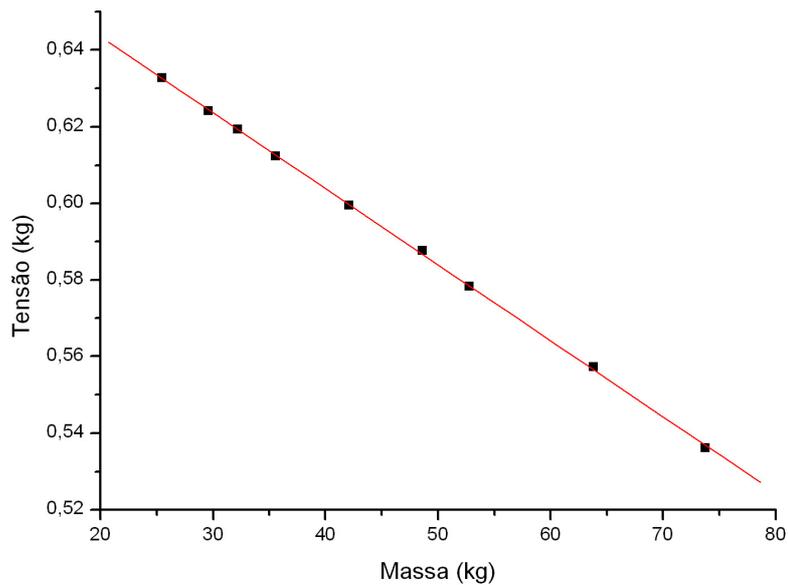


Gráfico 4.2 – Curva de calibração obtida para o ganho de 468 na amostra 6.

Pela linearidade obtida nesta curva, pode-se considerar que esta linearidade permanecerá para 300 kg. A equação obtida é a seguinte:

$$V = -0,00198 \times m + 0,62935$$

Equação 4.2 – Equação da amostra 6 da curva da célula de carga para ganho de 468.

Com este valor de ganho, constatou-se pela equação 4.2 atende os esforços solicitados de 3000N. O fundo de escala para este ganho é mais adequado ao sistema, porque para atingir os valores máximos de leitura do conversor A/D do módulo ZigBee, a força aplicada é de 317 kgf em uma direção e 288 kgf na direção oposta. Através da comparação dos gráficos 4.1 e 4.2, observa-se que a linearidade dos pontos é melhor com ganho de 468.

## 4.2. *Ensaio Dinâmico*

Os ensaios dinâmicos, para verificação do funcionamento do sistema de aquisição de dados implementado, foram realizados em um veículo da marca Volkswagen, modelo Saveiro, ano 2006, conforme apresentado na figura 4.3. Os ensaios do dinamômetro embarcado foram realizados no pátio da Ulbra utilizando as vias de acesso entre o hospital veterinário e a garagem de veículos da universidade, onde que a superfície da via fosse lisa e plana. Considerando a equação obtida da curva de calibração do sexto ensaio para ganho de 468, os ensaios foram executados, porque com este ganho é possível o sistema de aquisição de dados atender os esforços exigidos pelo sistema.



Figura 4.3 – Veículo utilizado para realizar os ensaios dinâmicos.

Em um dos ensaios com o dinamômetro embarcado em um veículo, denominado Dinâmico 1, para aquisição de um sinal foram realizados os seguintes procedimentos descritos em detalhes.

1. A aquisição iniciou com o veículo em movimento, em primeira marcha de 0 a 30 km/h.
2. Mantendo o automóvel em primeira marcha, acelerou-se o mesmo.
3. Acionou-se o freio de pé do carro.
4. Colocou-se o veículo em ponto morto.
5. Freou-se o automóvel até parar completamente o mesmo.

No gráfico 4.4 se nota que ao iniciar a aquisição o carro está em velocidade constante (1), o torque mantém-se estável. Em seguida ao acelerar o automóvel (2) o torque aumenta e quando este é freado (3) percebe-se a diminuição do torque. Ao colocar-se o carro em ponto morto (4) o torque fica estável, até frear-se o mesmo (5).

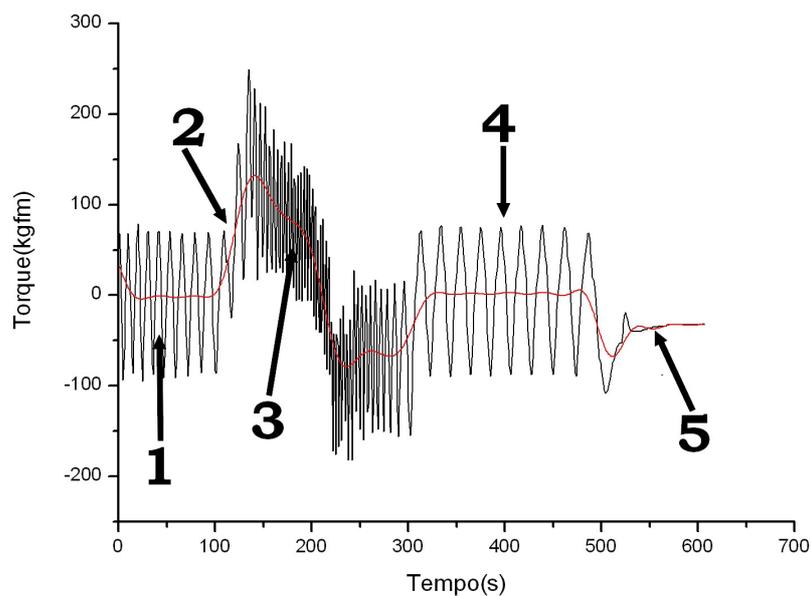


Gráfico 4.4 – Aquisição do sinal para o ensaio Dinâmico 1.

Em outro ensaio realizado, denominado Dinâmico 2, adotou-se os mesmos procedimentos do ensaio Dinâmico 1. Este procedimento é apresentado a seguir:

1. A aquisição iniciou com o veículo em movimento, em primeira marcha de 0 a 30 km/h.
2. Mantendo o automóvel em primeira marcha, acelerou-se o mesmo.
3. Acionou-se o freio de pé do carro.
4. Colocou-se o veículo em ponto morto.

5. Freou-se o automóvel até parar completamente o mesmo.

O resultado do ensaio Dinâmico 2 é apresentado no gráfico 4.5.

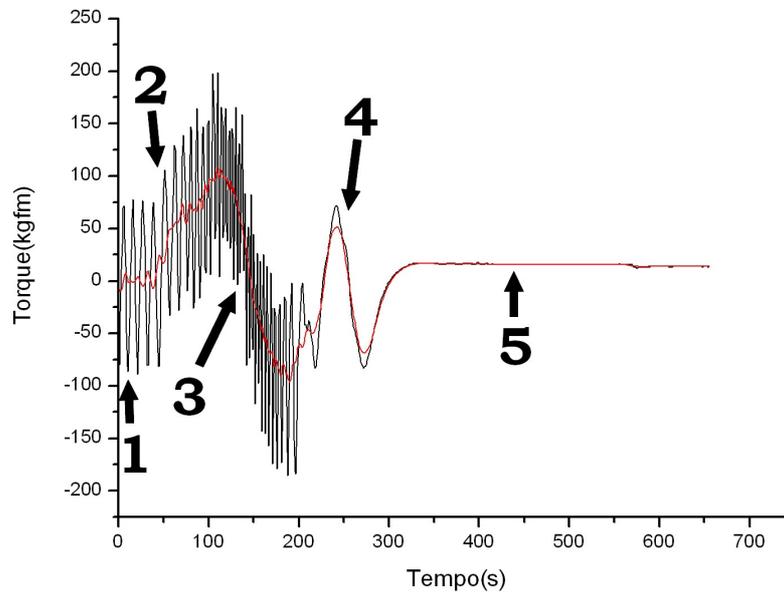


Gráfico 4.5 – Aquisição do sinal para o ensaio Dinâmico 2.

No gráfico 4.5, pode-se observar que ao iniciar a aquisição o veículo encontrasse em velocidade constante (1), e o torque se mantém estável. Após acelerar o automóvel (2) o torque aumenta e ao acionar o freio (3) percebe-se a diminuição do torque. Ao se colocar o carro em ponto morto (4) o torque fica estável e quando o freio é novamente acionado (5) não existe torque.

Em outro ensaio dinâmico realizado, denominado Dinâmico 3, os procedimentos adotados foram os seguintes:

1. O início da aquisição ocorreu com o veículo parado.
2. Em seguida acelerou-se o automóvel lentamente, em primeira marcha.
3. Freio-se o carro até imobilizar o mesmo.
4. Acelerou-se novamente, engatando a primeira marcha do veículo.
5. Acionou-se o freio do automóvel.
6. Acelerou-se o veículo.
7. Freou-se o automóvel.

8. Acelerou-se novamente o veículo e aumentou-se a velocidade deste, engatando a segunda, terceira e quarta marcha.

No gráfico 4.6 é apresentado o resultado deste ensaio denominado Dinâmico 3, onde a aquisição iniciou com veículo parado (1), onde não existe torque. Ao engatar a primeira marcha e acelerar o automóvel (2), observa-se que o torque aumenta. O torque diminui (3) ao acionar o freio. Ao acelerar (4 e 6) e frear (5 e 7) o veículo, o torque aumenta e diminui respectivamente. O aumento da velocidade (8), através da aceleração e troca de marchas do veículo é o resultado visualizado até o final desta aquisição.

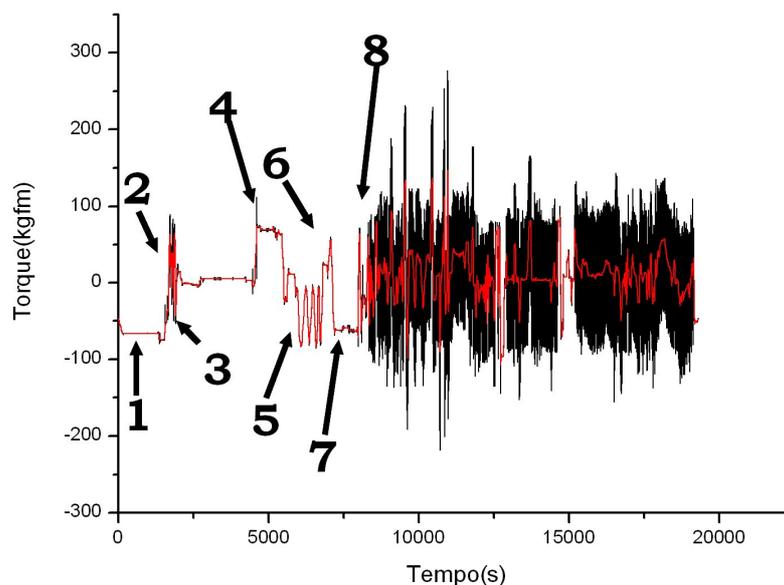


Gráfico 4.6 – Aquisição do sinal para o ensaio Dinâmico 3.

No ensaio Dinâmico 3 se verificou que a solução de fixação desenvolvida atendeu as necessidades dinâmicas, não existe possibilidade da PCI desprender da roda ou medir indevidamente o sinal de tensão da célula de carga.

### **4.3. Comparações dos Resultados da Calibração e o Sistema Real**

A calibração efetuada para este sistema de aquisição de dados, independente do ganho utilizado, apresentou uma curva de boa linearidade quando cargas foram aplicadas em tangente à roda. Através desta calibração foi possível determinar o ganho que melhor atendesse os esforços solicitados sobre os raios da roda, possibilitando o dimensionamento ideal para realização dos ensaios dinâmicos.

Nestes ensaios dinâmicos o sistema implementado permitiu avaliar o torque aplicado em um veículo automotivo. Constataram-se nos ensaios dinâmicos que a célula de carga está medindo o torque; conforme fora apresentado nos gráficos 4.4, 4.5 e 4.6 no capítulo anterior; se o carro é acelerado, percebe-se o aumento do torque, e ao acionar o freio a diminuição deste.

Porém nesta célula de carga, através dos ensaios dinâmicos, verificou-se que além da força, está medindo a torção aplicada na coluna. Estas medições justificam-se porque o pneu e a roda não estão no centro do eixo de suspensão do veículo. Desta maneira, quando a célula de carga está nas posições  $90^\circ$  e  $270^\circ$  em relação ao solo, apenas o torque aplicado deforma os extensômetros, R1 e R4 são comprimidos e R2 e R3 expandidos, ou vice-versa. Porém quando a célula de carga está na posição  $0^\circ$  e  $180^\circ$ , além do torque, está ocorrendo torção no raio da roda, assim os extensômetros R1 e R4 também sofrem compressão, enquanto R2 e R3 são expandidos.

Por este motivo quando a velocidade do carro é baixa, nota-se uma pequena oscilação no sinal adquirido através do sistema de aquisição, pois a rotação da roda é menor. Ao aumentar a velocidade, a roda estará girando com maior rotação e por consequência aumenta-se o ruído. Apesar deste ruído, constata-se a funcionalidade do sistema de dados implementado, pois ao acelerar o veículo, o torque aumenta e ao acionar o freio deste, o torque diminui.



## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta deste trabalho de conclusão de curso, em desenvolver um instrumento capaz de medir o torque aplicado na roda de um veículo foi atingida. Obteve-se um sistema de aquisição de dados que permite ao usuário realizar a análise do torque produzido na roda de um veículo em tempo real ou em momento posterior, através de um arquivo em formato txt que salvam os dados medidos.

O amplificador de instrumentação utilizado para medir a célula de carga, por suas características, atendeu satisfatoriamente, assim como o filtro passa-baixa projetado, com frequência de corte em 30Hz. Obteve-se desta maneira, um dispositivo que possibilitou a transmissão dos dados via *wireless*, através dos módulos ZigBee, à um computador para visualizar e gravar este sinal.

O sistema de aquisição desenvolvida possibilitou avaliar a confecção do tipo da célula de carga utilizada para medir o torque. Durante os ensaios dinâmicos verificaram-se que a confecção da célula de carga, do tipo coluna, não foi a mais adequada, porque este sensor está medindo além do torque, a torção na coluna.

Como sugestões para trabalhos futuros, que permitam melhorar este projeto, se sugere: Utilizar um conversor A/D que permita uma faixa de leitura entre 0 e 3,3Volts; implementar um filtro digital através do software Labview; utilizar um microcontrolador para gerenciar a transmissão sem fio do módulo ZigBee; realizar ensaios com o novo sensor a ser desenvolvido que minimize a torção no raio da roda.



## 6. REFERÊNCIAS

1. SILVA, Gerson Figueiró da. **Dinamômetro Embarcado**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica - Departamento de Engenharia Elétrica. Universidade Luterana do Brasil. Canoas, RS. 2008
2. BALBINOT, Alexandre; BRUSAMARELLO, Valner João. **“Instrumentação e fundamentos de medidas – Vol.2”**, Rio de Janeiro. LTC, 2007.
3. OLIVEIRA, Basílio Hanryluk de; KERN, Carlo Alberto Thomas; RECH, Charles; LESINA, José Cezar; GERTZ, Luiz Carlos; KERMIT, Luiz Landarim Berro Jr; LARANJA, Rafael Antônio Comparsi. **“Dinamômetro Embarcado”**. Universidade Luterana do Brasil. Canoas, RS. 2007.

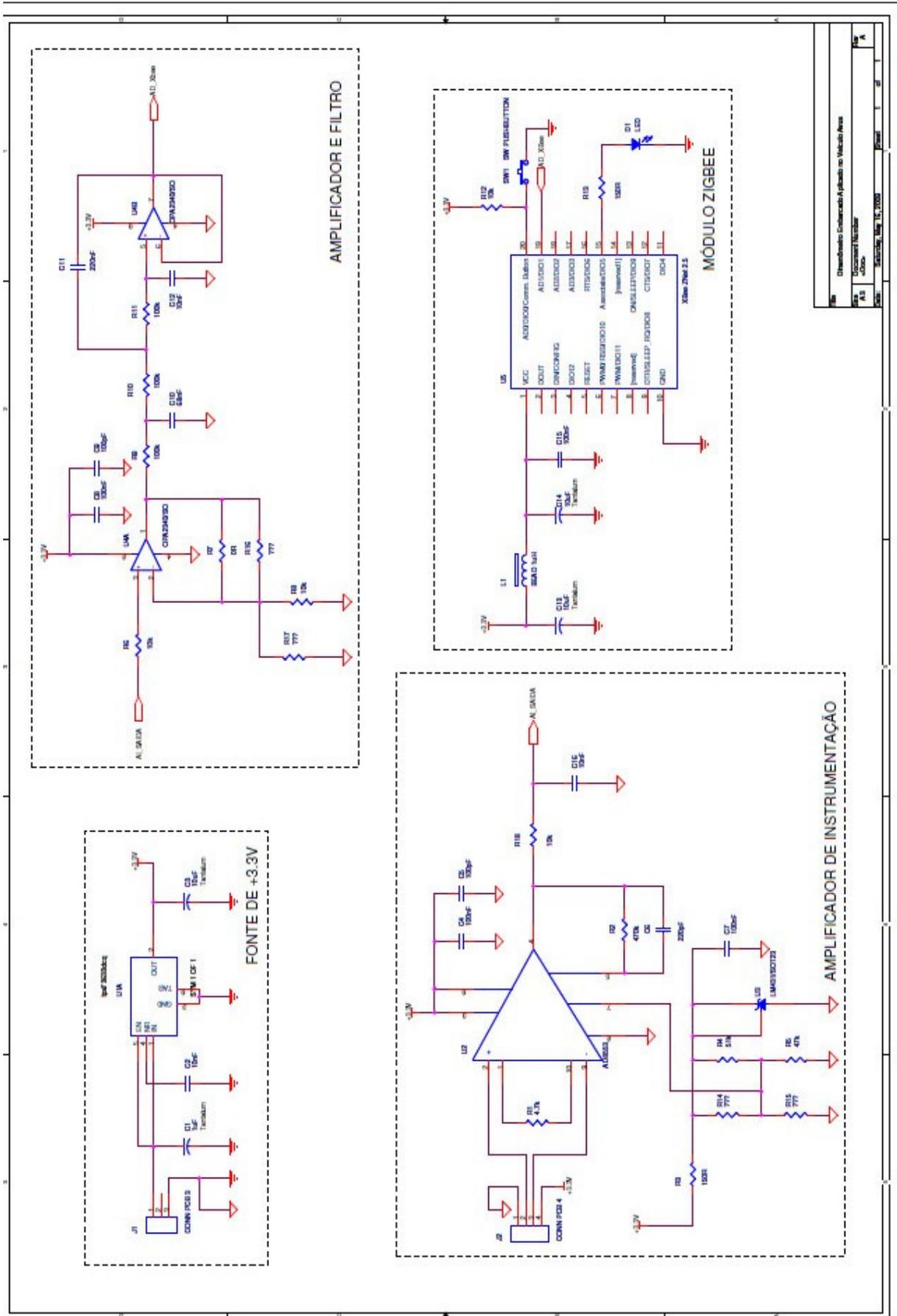


## OBRAS CONSULTADAS

1. DANIEL TEIXEIRA, Cristian. **Sistema de Monitoramento de Sinais Vitais para Testes Físicos com Transmissão de Dados sem Fios**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica - Departamento de Engenharia Elétrica. Universidade Luterana do Brasil. Canoas, RS. 2008.
2. KOENIG, Diogo. **Desenvolvimento de um Sistema de Aquisição de Múltiplos Canais com Interface ZigBee**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica - Departamento de Engenharia Elétrica. Universidade Luterana do Brasil. Canoas, RS. 2007.
3. BALBINOT, Alexandre; BRUSAMARELLO, Valner João. **“Instrumentação e fundamentos de medidas – Vol.1”**, Rio de Janeiro. LTC, 2007.
4. SCHWARZ, Leandro et all., 2007. **“Proposta de um Sistema de Telemetria de Sinais de Pacientes em Programas de Reabilitação Cardiovascular e Cardiopulmonar”**. IEB.
5. RECH, Charles; LESINA, José Cezar; GERTZ, Luiz Carlos, LARANJA, Rafael Antônio Comparsi, BECKER, Tiago. **“Medição de Torque e Potência em Veículo Protótipo Super Econômico”**. Laboratório de Tecnologia Automotiva. Universidade Luterana do Brasil. Canoas, RS. 2005.
6. ROGERCOM, **Controle Remoto e Aquisição de Dados Via XBee/ZigBee (IEEE 802.15.4)**, Disponível em: [www.rogercom.com](http://www.rogercom.com). Acesso em 06/01/2009.
7. DIGI, **Manual do módulo XBee ZNet 2.5**, <http://www.digi.com/products/wireless/zigbee-mesh/xbee-series2-moduledocs.jsp>. Acesso em 20/11/2008.



## **APÊNDICE A – ESQUEMA ELÉTRICO**



## APÊNDICE B – CÓDIGO FONTE

