



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS DA MOBILIDADE

Anderson Vinícius de Oliveira Rosa

**DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO DE BAIXO CUSTO PARA  
SENSORIAMENTO DE DEFORMAÇÃO**

Joinville, Santa Catarina – Brasil  
2021



Anderson Vinícius de Oliveira Rosa

**DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO DE BAIXO CUSTO PARA  
SENSORIAMENTO DE DEFORMAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Departamento de Engenharias da Mobilidade da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Automotiva.

**Orientador:** Andrea Piga Carboni, Dr.

**Coorientador:** Marcos Alves Rabelo, Dr.

Joinville, Santa Catarina – Brasil

2021

Notas legais:

Não há garantia para qualquer parte do software documentado. Os autores tomaram cuidado na preparação desta tese, mas não fazem nenhuma garantia expressa ou implícita de qualquer tipo e não assumem qualquer responsabilidade por erros ou omissões. Não se assume qualquer responsabilidade por danos incidentais ou consequentes em conexão ou decorrentes do uso das informações ou programas aqui contidos.

Catálogo na fonte pela Biblioteca Universitária da Universidade Federal de Santa Catarina.  
Arquivo compilado às 19:16h do dia 7 de fevereiro de 2022.

Anderson Vinícius de Oliveira Rosa

Desenvolvimento de dispositivo de baixo custo para sensoriamento de deformação / Anderson Vinícius de Oliveira Rosa; Orientador, Andrea Piga Carboni, Dr.; Coorientador, Marcos Alves Rabelo, Dr. – Joinville, Santa Catarina – Brasil, 15 de dezembro de 2021.

45 p.

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Santa Catarina, CTJ – Centro Tecnológico de Joinville, Departamento de Engenharias da Mobilidade.

Inclui referências

1. Palavra-Chave 1, 2. Palavra-Chave 2, 3. Palavra-Chave 3, I. Andrea Piga Carboni, Dr. II. Marcos Alves Rabelo, Dr. III. Departamento de Engenharias da Mobilidade IV. Desenvolvimento de dispositivo de baixo custo para sensoriamento de deformação

CDU 02:141:005.7

Anderson Vinícius de Oliveira Rosa

**DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO DE BAIXO CUSTO PARA  
SENSORIAMENTO DE DEFORMAÇÃO**

Este(a) Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado(a) para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Automotiva, e foi aprovado em sua forma final pelo Departamento de Engenharias da Mobilidade do CTJ – Centro Tecnológico de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina.

Joinville, Santa Catarina – Brasil, 15 de dezembro de 2021.

---

**Nome do Coordenador(a), Dr.**

Coordenador(a) do Departamento de  
Engenharias da Mobilidade

**Banca Examinadora:**

---

**Andrea Piga Carboni, Dr.**

Orientador  
Universidade Federal de Santa  
Catarina – UFSC

---

**Marcos Alves Rabelo, Dr.**

Coorientador  
Universidade Federal de Santa  
Catarina – UFSC

---

**Prof. Convidado 1, Dr.**

Instituição 1 – Sigla 1

---

**Prof. Convidado 2, Dr.**

Instituição 2 – Sigla 2

---

**Prof. Convidado 3, Dr.**

Instituição 3 – Sigla 3

---

**Prof. Convidado 4, Dr.**  
Instituição 4 – Sigla 4

*Este trabalho é dedicado às crianças adultas que,  
quando pequenas, sonharam em se tornar cientistas.*

## AGRADECIMENTOS

Os agradecimentos principais são direcionados à Gerald Weber, Miguel Frasson, Leslie H. Watter, Bruno Parente Lima, Flávio de Vasconcellos Corrêa, Otavio Real Salvador, Renato Machnievscz<sup>1</sup> e todos aqueles que contribuíram para que a produção de trabalhos acadêmicos conforme as normas ABNT com  $\text{\LaTeX}$  fosse possível.

Agradecimentos especiais são direcionados ao Centro de Pesquisa em Arquitetura da Informação<sup>2</sup> da Universidade de Brasília (CPAI), ao grupo de usuários *latex-br*<sup>3</sup> e aos novos voluntários do grupo *abnT<sub>E</sub>X2*<sup>4</sup> que contribuíram e que ainda contribuirão para a evolução do *abnT<sub>E</sub>X2*.

---

<sup>1</sup> Os nomes dos integrantes do primeiro projeto *abnT<sub>E</sub>X* foram extraídos de <http://codigolivre.org.br/projects/abntex/>

<sup>2</sup> <http://www.cpai.unb.br/>

<sup>3</sup> <http://groups.google.com/group/latex-br>

<sup>4</sup> <http://groups.google.com/group/abntex2> e <http://abntex2.googlecode.com/>



*“Assim como aquele pecado da juventude, este documento te perseguirá pelo resto da vida.”*

Enio Valmor Kassick

*“Estupidez trará mais autoconfiança do que o conhecimento e a bravura juntas. (encoding: T1, family: phv, series: m, shape: it, size: 10, baseline: 12.0pt, linespread: 1.241, linespacing: 14.89197pt)”*

Adriano Ruseler

## RESUMO

Segundo a **NBR6028:2003**, o resumo deve ressaltar o objetivo, o método, os resultados e as conclusões do documento. A ordem e a extensão destes itens dependem do tipo de resumo (informativo ou indicativo) e do tratamento que cada item recebe no documento original. O resumo deve ser precedido da referência do documento, com exceção do resumo inserido no próprio documento. (...) As palavras-chave devem figurar logo abaixo do resumo, antecidas da expressão Palavras-chave:, separadas entre si por ponto e finalizadas também por ponto. Além disso, na UFSC o texto do resumo deve ser digitado, em um único bloco, sem espaço de parágrafo. O resumo deve ser significativo, composto de uma sequência de frases concisas, afirmativas e não de uma enumeração de tópicos. Não deve conter citações. Deve usar o verbo na voz passiva. Abaixo do resumo, deve-se informar as palavras-chave (palavras ou expressões significativas retiradas do texto) ou, termos retirados de thesaurus da área. (encoding: T1, family: phv, series: m, shape: n, size: 12, baseline: 14.5pt, linespread: 1, linespacing: 14.5pt)

**Palavras-chaves:** Palavra-Chave 1. Palavra-Chave 2. Palavra-Chave 3.

## ABSTRACT

This is the English abstract.

**Keywords:** Keyword 1. Keyword 2. Keyword 3.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Sistema de coordenadas SAE . . . . .	19
Figura 2	–	Elementos principais do trem de potência . . . . .	20
Figura 3	–	Principais forças envolvidas na dinâmica longitudinal . . . . .	21
Figura 4	–	Deflexão e distribuição de tensão devido a torção . . . . .	22
Figura 5	–	esquema basico de ponte de Wheatstone . . . . .	24
Figura 6	–	Etapas da metodologia PRODIP . . . . .	25
Figura 7	–	Principais componentes de um transdutor de torque industrial . .	26
Figura 8	–	Etapas do projeto informacional . . . . .	27

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
abnTeX	ABsurdas Normas para TeX

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\Gamma$	Letra grega Gama
$\Lambda$	Lambda
$\zeta$	Letra grega minúscula zeta
$\in$	Pertence

## SUMÁRIO

<b>I</b>	<b>PESQUISA</b>	<b>15</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO . . . . .</b>	<b>16</b>
1.1	OBJETIVOS . . . . .	17
1.1.1	Objetivo Geral . . . . .	17
1.1.2	Objetivos Específicos . . . . .	17
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO . . . . .</b>	<b>18</b>
2.1	. . . . .	18
<b>3</b>	<b>CONTEXTO . . . . .</b>	<b>19</b>
3.1	DINÂMICA VEICULAR . . . . .	19
3.1.1	Capacidade de aceleração . . . . .	20
3.2	ESFORÇOS EM COMPONENTES . . . . .	21
3.2.1	Deformação de um eixo em torção . . . . .	21
3.3	SENSORIAMENTO DE DEFORMAÇÕES . . . . .	22
3.3.1	Extensômetro . . . . .	23
3.3.2	Ponte de Wheatstone . . . . .	23
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA DO PROJETO . . . . .</b>	<b>25</b>
4.1	MODELO PRODIP . . . . .	25
4.1.1	Fase de planejamento . . . . .	25
4.1.2	Projeto Informacional . . . . .	27
4.1.3	Projeto Conceitual . . . . .	27
<b>II</b>	<b>IMPLEMENTAÇÃO</b>	<b>28</b>
<b>5</b>	<b>DESENVOLVIMENTO MATEMÁTICO . . . . .</b>	<b>29</b>
<b>6</b>	<b>EXPERIMENTO . . . . .</b>	<b>30</b>
<b>7</b>	<b>RESULTADOS . . . . .</b>	<b>31</b>
<b>8</b>	<b>CONCLUSÕES . . . . .</b>	<b>32</b>
<b>9</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS . . . . .</b>	<b>33</b>
	<b>APÊNDICE A – PÁGINA NÃO GERADA . . . . .</b>	<b>35</b>
A.1	SOME ENCODING TESTS . . . . .	36

<b>A.1.1</b>	<b>(encoding: T1, family: phv, series: m, shape: n, size: 12, base-line: 14.5pt, linespread: 1.241, linespacing: 17.99446pt) . . . .</b>	<b>36</b>
A.1.1.1	(encoding: T1, family: phv, series: m, shape: n, size: 12, baseline: 14.5pt, linespread: 1.241, linespacing: 17.99446pt) . . . . .	36
A.1.1.1.1	(encoding: T1, family: phv, series: m, shape: n, size: 12, baseline: 14.5pt, linespread: 1.241, linespacing: 17.99446pt) . . . . .	36
	<b>ANEXO A – ARTIGO PUBLICADO . . . . .</b>	<b>39</b>
A.1	ENGLISH GUIDELINES FOR PUBLICATION . . . . .	39
	<b>ANEXO B – ANEXO EXEMPLO . . . . .</b>	<b>44</b>
B.1	SOME ENCODING TESTS . . . . .	44
<b>B.1.1</b>	<b>(encoding: T1, family: phv, series: m, shape: n, size: 12, base-line: 14.5pt, linespread: 1.241, linespacing: 17.99446pt) . . . .</b>	<b>44</b>
B.1.1.1	(encoding: T1, family: phv, series: m, shape: n, size: 12, baseline: 14.5pt, linespread: 1.241, linespacing: 17.99446pt) . . . . .	44
B.1.1.1.1	(encoding: T1, family: phv, series: m, shape: n, size: 12, baseline: 14.5pt, linespread: 1.241, linespacing: 17.99446pt) . . . . .	45



# **Parte I**

## **Pesquisa**

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, é notado o constante aumento da importância da otimização dos projetos de componentes em projetos de produtos na indústria automotiva, produtos altamente otimizados resultam em um menor custo de material e de fabricação dos componentes, (Hibbeler) afirma que “a carga para a qual um elemento é projetado pode ser diferente das cargas realmente aplicadas. As dimensões estipuladas no projeto de uma estrutura ou máquina podem não ser exatas, na realidade, por causa de erros de fabricação ou cometidos na montagem de seus componentes”.

Segundo (Hibbeler) “Para se garantir a segurança, é preciso escolher uma tensão admissível que restrinja a carga aplicada a um valor menor do que a carga que o elemento pode suportar totalmente.” Então como resposta às incertezas envolvidas no projeto analítico de um componente os projetistas devem projetar componentes que suportam forças superiores às presentes na utilização do componente. O que resulta em altos valores de fator de segurança em um projeto, o que causa impacto monetário e aumento de massa do componente. Uma das maneiras que permite a diminuição de valores de fator de segurança é a alimentação do projeto do componente com dados de cargas que representam o mais próximo o possível aos presentes na situação real.

Dados reais de utilização podem ser obtidos por sensores em componentes reais ou de teste submetidos a situações reais, porém atualmente certos parâmetros não podem ser facilmente medidos de maneira direta em um veículo, dentre eles forças normais e forças torcionais (Nurprasetio 2018). Hibbeler afirma que “as medições de deformação são experimentais e, uma vez obtidas, podem ser relacionadas com as cargas aplicadas, ou tensões, que agem no interior do corpo.” Logo conclui-se que uma maneira direta de medir as forças internas atuantes em um componentes é obtendo os dados de deformação local.

Foi observado que dispositivos utilizados para obter dados de deformação em tempo real com precisão são usualmente utilizados em testes de impacto e de controle de qualidade em componentes pela indústria automotiva, esses dispositivos apresentam altos níveis de precisão e confiabilidade e, conseqüentemente altos custos, o que inviabiliza sua utilização fora do produto final. Os valores de deformação local em um componente podem ser obtidos utilizando sensores de deformação chamados de extensômetros, esses sensores apresentam uma boa disponibilidade no mercado e são amplamente utilizados em células de carga. Os sinais gerados por esse tipo de sensor devem ser instrumentados, ampliados e convertidos para possibilitar sua obtenção por uma interface controladora.

O presente trabalho propõe o desenvolvimento de um protótipo de um dispositivo de baixo custo para obtenção de dados de deformação em componentes. O desenvolvimento do dispositivo seguirá a metodologia de projeto de produto PRODIP com o

objetivo de garantir replicabilidade, permitir futuras otimizações e expansões e facilitar sua implementação em um caso real. Por fim, o funcionamento, efetividade e precisão do protótipo desenvolvido será avaliado comparando dados obtidos pelo protótipo e por um dispositivo industrial homologado, seguindo a metodologia de Stefani (2017).

## 1.1 OBJETIVOS

Os objetivos do trabalho são apresentados nas seções a seguir.

### 1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um dispositivo de baixo custo para obtenção de dados em tempo real de deflexão em componentes mecânicos.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Obter dados de deflexão em vigas
- Obter módulo de elasticidade de uma liga desconhecida
- Desenvolver utilizando tecnologias de código aberto
- Obter valores de precisão do protótipo desenvolvido

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

O presente capítulo apresenta os conceitos teóricos necessários para o desenvolvimento do princípio de funcionamento do dispositivo. São apresentados tópicos referentes a solicitações mecânicas e resistência dos materiais, princípios de sensoriamento de deformação e instrumentação de extensômetros, obtenção de sinais e transmissão de dados. Também será apresentado as principais tecnologias necessárias para o processo de desenvolvimento do dispositivo.

### **2.1 SOLICITAÇÕES E RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS**

Um entendimento introdutório sobre resistência dos materiais é necessário a fim de entender sobre os comportamentos físicos de um componente mecânico que sofre a ação de cargas externas. O ponto de partida do estudo da resistência dos materiais é o da análise do comportamento mecânico de um componente em equilíbrio.

Utilizando as equações de estática, deve-se determinar as forças e os momentos resultantes que agem no interior de um corpo, com a finalidade de verificar e garantir a integridade do mesmo durante o uso (Hibbeler). Logo, pode-se afirmar a condição de atuação das forças externas, originadas da análise do diagrama de corpo livre, deve satisfazer às equações de balanço estático de força originadas da segunda lei de newton:

Para ser mantida a condição de integridade do corpo do material sobre forças externas devem estar presentes forças e momentos internos ao seu corpo, (Hibbeler) ressalta que “Uma das mais importantes aplicações da estática na análise de problemas de resistência dos materiais é poder determinar a força e o momento resultantes que agem no interior de um corpo e que são necessários para manter a integridade do corpo quando submetido a cargas externas” e que “a força e o momento que agem em um ponto específico da área seccionada de um corpo representam os efeitos resultantes da distribuição de forças que agem sobre a área seccionada”. A figura() apresenta uma representação gráfica da atuação de forças internas em um material:

Uma vez que se tem a informação das forças internas atuantes em um ponto no corpo e na seção do material, então, pode-se partir para a análise das tensões e deformações do local de análise.

#### **2.1.1 Deformação e limites do material**

Quando um segmento de um corpo sob balanço estático se encontra sob a ação de forças internas, este segmento apresentará uma variação de seu comprimento relativo à força aplicada. Deformação é definido como a mudança de comprimento por unidade de comprimento, logo, é um valor adimensional, e é calculada pela equação

(1) (Norton).

Com o objetivo de descobrir os limites no qual um material pode-se deformar antes de sua ruptura devem ser analisados seus diagramas tensão-deformação. Hibbeler ressalta a importância na análise desse tipo de diagrama, uma vez que eles proporcionam meios para a obtenção de dados sobre resistência à tração ou compressão de um material sem independentemente de suas características físicas e geométricas (Hibbeler). Um exemplo de diagrama tensão-deformação é mostrado na figura ().

Analisando o diagrama anterior pode-se notar uma zona de relacionamento linear entre a força aplicada no corpo de prova utilizado para construir o diagrama e sua deformação, nesta região é observado o comportamento de deformação elástica do material e sobre seu limite (Norton) afirma que os pontos  $p_l$  e  $e_l$  “marca o limiar entre as regiões de comportamento elástico e comportamento plástico do material. Os pontos  $e_l$  e  $p_l$  normalmente são tão próximos que eles quase sempre são considerados o mesmo.”

Na maior parte dos materiais de engenharia é verificada uma relação linear entre deformação e tensão dentro da região elástica, logo, um aumento proporcional na força aplicada em um material resulta em um aumento proporcional das deformações locais caso a condição de tensão esteja dentro do limite elástico, esse fato foi descoberto por Robert Hooke, em 1676, em molas e é conhecido como Lei de Hooke (Hibbeler). A lei de hooke é apresentada na equação ().

A variável  $E$  da equação da Lei de Hooke é igual a inclinação da curva tensão-deformação e é chamada de Módulo de Young, ou módulo de elasticidade do material (Norton). Norton também afirma que o Módulo de Young “é uma medida da rigidez do material em sua região elástica e tem as mesmas unidades da tensão. A maioria dos metais exibe esse comportamento linear e também tem módulos de elasticidade que variam muito pouco com tratamentos térmicos ou com a adição de elementos de liga.”

Para uma barra constituída de um material homogêneo e isotrópico e submetida a forças axiais que tem seu centro de atuação no centro da seção da barra essas cargas irão gerar uma tensão normal uniforme ao longo do seu comprimento sobre a seção transversal (Hibbeler). O alongamento ou contração de um segmento de reta por unidade de comprimento é denominado deformação normal e segue a equação ().

Para outros tipos de carregamentos também são notados valores de deformação relativos às cargas aplicadas, os principais utilizados no desenvolvimento do experimento são introduzidos nas subseções abaixo.

### 2.1.2 Deformação de um eixo em torção

Eixos normalmente são utilizados em situações em que as cargas torcionais são consideráveis, e caso estejam presentes cargas normais ou de flexão em sua utilização, e o material encontra-se em balanço estático, pode-se utilizar as mesmas

equações de deformação da análise de barras e vigas. Norton afirma que “quando barras são solicitadas por um momento em relação ao seu eixo longitudinal, diz-se que estão sob torção, esse tipo de momento aplicado é denominado torque e esta situação é comum em eixos que transmitem potência.” A deformação vista no corpo de um eixo sob cargas de torção pura ao longo da sua seção transversal é ilustrada na figura().

A Lei de Hooke para um corpo sob forças de torção é semelhante a mesma para o caso de um corpo em tração ou compressão, e é apresentada na equação (), porém o módulo presente dessa vez é denominado módulo de elasticidade transversal e segundo Norton “G pode ser definido em termos do módulo de elasticidade E e do coeficiente de Poisson  $\nu$  (...) O coeficiente de Poisson ( $\nu$ ) é a razão entre a deformação específica lateral e longitudinal, sendo, para a maior parte dos metais, em torno de 0,3”. A tabela () apresenta os principais valores de coeficiente de Poisson para diferentes materiais metálicos.

Assim como visto na figura (anterior) é notado que a deformação nessa situação não se apresenta como aumento de comprimento do componente, como no caso da uma barra sob cargas axiais, mas por uma distribuição de deslocamentos angulares locais na direção radial da seção do eixo conforme se aumenta a dimensão de comprimento da análise das cargas internas como apresentado na figura(). A equação () é obtida da análise da Lei de Hooke para um eixo em torção.

Assim como as barras em tração, as equações aqui apresentadas apenas consideram a operação do componente em regime de deformação elástico, logo os valores esperados de  $\tau$  serão relativamente pequenos para materiais de engenharia.

### 2.1.3 Deformação de uma viga em flexão

A flexão é presente em um corpo sempre que as forças não são aplicadas na direção normal da sua seção transversal. Segundo Hibbeler “O momento fletor é causado pelas cargas externas que tendem a fletir o corpo em torno de um eixo que se encontra no plano da área.” e que nesse momento “tende a produzir uma variação linear da deformação normal no interior de uma viga”. A figura() mostra uma representação ilustrativa do efeito do momento fletor em uma viga.

Em todo caso em que o material seja homogêneo e isotrópico e que a Lei de Hooke seja aplicável, pode-se relacionar o momento fletor presente com a distribuição de tensão na seção (Hibbeler). Deve-se notar que assim como a barra em torção, a tensão, e eventualmente a deflexão presente será função da distância entre o ponto de interesse e o centro da área da seção transversal do material. A equação() caracteriza a distribuição de tensão ao longo da seção do componente.

O valor de  $I$  é igual ao momento de inércia da seção do material sobre carga de flexão e a variável  $y$  representa a distância entre o centróide da área e o ponto de análise de tensão, deve-se notar que as tensões máximas para qualquer corpo em flexão

sempre acontecerão na superfície do material, e que enquanto um ponto qualquer está sob forças de tração, o ponto inverso a este estará sob forças de compressão. Uma vez conhecido o módulo de elasticidade do material e a distribuição de tensão de na seção de um corpo sob flexão, pode-se obter, utilizando a lei de hooke, os valores de deflexão causados pelas cargas de flexão.

As deformações em um componente podem ser altamente visíveis ou praticamente imperceptíveis se não forem utilizados equipamentos que façam medições precisas (Hibbeler). Considerando essa afirmação deve-se também ser estudado o método experimental de obtenção de dados de deflexão nos componentes.

## 2.2 SENSORIAMENTO DE DEFORMAÇÕES

O extensômetro de resistência elétrica é o dispositivo mais utilizado para medir a deflexão em uma superfície, o princípio de funcionamento desse tipo de sensor é baseado no efeito de variação de resistência elétrica de um condutor quando ocorre uma variação de área da sua seção transversal (Holman).

Caso um extensômetro esteja fortemente fixado a um corpo de um material em uma direção específica, qualquer carga que deforma a superfície desse corpo de prova irá deformar igualmente o extensômetro, logo pode-se considerar o extensômetro como uma parte integrante do corpo de prova e qualquer deformação que aconteça no corpo de prova acontecerá igual no extensômetro (Hibbeler).

O gage factor, parâmetro que especifica a relação entre a variação da resistência nominal em um extensômetro para um valor unitário de deflexão, é um valor especificado pelo fabricante, então, e a resistência nominal do extensômetro são valores especificados pelo fabricante do sensor, então medindo um valor de variação de resistência elétrica no extensômetro pode-se obter um valor de deformação local (Holman). A equação() mostra uma relação entre a variação de resistência elétrica no extensômetro e os parâmetros repassados pelo fabricante.

Porém, deve-se notar que os valores de deflexão esperados para um metal dentro de sua zona de deformação elástica são muito pequenos, o que acarreta em pequenas variações de resistência no extensômetro. Com o objetivo de facilitar a medição da deflexão, devem ser utilizados artifícios de instrumentação como um circuito de ponte com a finalidade de detectar com maior variação as mudanças de resistência do sensor.

### 2.2.1 Ponte de Wheatstone

Circuitos de ponte são utilizados para prover melhores medições e precisões em uma variedade de aplicações de medição de resistência elétrica, indutância e capacitância sob condições tanto estáticas quanto transientes (Holman). Dentre diversos tipos de circuitos de ponte a ponte de wheatstone, demonstrada na figura() se demonstra como um dos tipos de circuito elétrico mais utilizado e facilita a leitura da variação

de resistência de sensores que apresentam baixas variações de resistência elétrica na sua operação.

A ponte de wheatstone é normalmente utilizada em comparações e medições de resistência elétrica que variam de 1 ohm até 1 megaohm (Holman). Utilizando as leis de kirchhoff para analisar a saída de tensão entre os pontos B e D se obtém a equação ().

Em uma aplicação onde o sensor de deformação representa uma resistência variável dentro do circuito e os outros resistores apresentam resistências iguais ao do valor nominal do sensor utilizado, pode-se combinar a equação prévia com a equação do fator de extensão para obter uma relação entre tensão obtida e valor de extensão apresentado no sensor, logo a equação de transferência do circuito é representada na Equação ().

Circuitos de ponte se mostram de grande utilidade em experimentos práticos e são amplamente utilizados na medição da resistência de transdutores como extensômetros e outros tipos de sensores que convertem uma grandeza física em uma variação de resistência. Para medições estáticas, a tensão de saída do circuito de ponte é normalmente medido utilizando um voltímetro ou um dispositivo de coleta de dados de tensão (Holman).

Uma vez conhecido o fato de que não aconteceram grandes variações de tensão em um extensômetro na sua operação, devido ao fato do material apresentar pequenos valores de deformação dentro de sua zona elástica, pode-se concluir que o sinal de saída da ponte de wheatstone não será de grande ordem de grandeza, logo, deve-se estudar métodos de amplificação dessa tensão com o objetivo de facilitar a obtenção das leituras por um voltímetro digital ou placa de controle.

## 2.3 OBTENÇÃO DE SINAIS

Medidas experimentais podem ocorrer de diversas formas e em vários casos os sinais são considerados fracos, logo eles devem ser amplificados com o objetivo de facilitar sua utilização por um dispositivo de saída. A maior parte dos amplificadores de sinal atuais utilizam circuitos integrados ou dispositivos de estado sólido para amplificar um sinal fraco analógico (Holman). O grau de amplificação de um amplificador pode ser dado pela equação(), que relaciona o sinal de entrada recebido pelo amp com o sinal de saída, que é lido pelo controlador.

Devido a efeitos aleatórios ou conhecidos ruídos característicos sempre estarão presentes em em situações de tomada de medidas, esses ruídos podem ser filtrados utilizando circuitos que apenas permitem que uma certa parte das frequências que compõem o sinal obtido passem adiante no circuito a fim de modificar o sinal de saída do amplificador. Essa filtragem não resolve todos os problemas que podem ser encontrados, porém melhora significativamente o resultado de um experimento



(Holman).

Uma vez que os sinais encontrados até aqui no sistema são de característica analógica e espera-se que a utilização e tratamento deles ocorra em um computador ou placa controladora como Arduino, que opera de maneira digital, deve-se então converter essas informações de tensão de um meio analógico para um meio digital, para isso é utilizado um conversor digital-analógico.

Em um meio analógico, as variáveis físicas são processadas como valores num meio contínuo, enquanto em um meio digital, valores são caracterizados por uma representação discreta. Uma das razões para o tratamento de sinais de maneira digital é imunizar o sinal obtido do efeito de ruídos durante a transmissão, uma vez que definir se um sinal obtido é de valor 1 ou 0 é muito mais fácil do que definir se é um valor dentre os infinitos possíveis em um meio contínuo (Holman).

Com a finalidade de não ser perdidas informações no momento de conversão de um sinal do meio analógico para a forma digital, deve ser seguido o teorema sampling que estipula que a taxa de leitura de um sinal de maneira digital necessita ser pelo menos duas vezes o valor da frequência desse sinal no meio analógico (Holman).

A aquisição e processamento subsequente dos sinais obtidos pode ser feito de diversas formas, desde simples cálculos e obtenção manuais de dados até utilizando rotinas computacionais complexas. O objetivo do sistema de aquisição de dados é o de coletar, processar e/ou armazenar os dados obtidos em um experimento ou medição (Holman).

## 2.4 OBTENÇÃO DOS SINAIS

A maior parte dos sistemas de medição podem ser divididos em três partes, um estágio de detecção da medida física, um estágio intermediário de amplificação, filtragem e conversão de sinal e um estágio final, que engloba a obtenção e processamento do sinal por um dispositivo de controle (Holman).

Uma medição é considerada estática quando a grandeza física analisada não apresenta mudanças no tempo, como uma viga sobre uma carga constante de flexão. Se essa viga é sujeita a um tipo de vibração, ou a um carregamento cíclico, então não pode mais se considerar o sinal estático (Holman).

Para desenvolver o sistema de controle e obtenção do sinal foi utilizado a plataforma de desenvolvimento ESP32. Suas principais vantagens sobre a plataforma Arduino, de menor preço e mais amplamente utilizada, é devido ao fato de que o ESP32 apresenta em sua construção módulos de comunicação sem fio bluetooth e wifi integrados, o que reduz o tamanho do dispositivo e o torna mais barato em aplicações que necessitam de comunicação wireless.

A programação do controlador é feita utilizando uma linguagem de programação baseada na linguagem C++ adaptada para a utilização em placas de controle utilizan-

do o ambiente de desenvolvimento Arduino IDE, que permite a utilização de extensões para programação e utilização de módulos externos, como o amplificador de sinal.

O ADS1115 é conversor analógico digital de precisão com resolução de 16 bits, desenvolvido com precisão e facilidade de implementação em mente. O módulo é capaz de converter sinais obtidos na frequência de até 860 amostras por segundo, e oferece um amplificador de sinal que pode obter sinais tão baixos quanto na faixa de  $\pm 256$  mV, o que permite pequenos sinais serem medidos com alta resolução (Datasheet ADS1115).

Os dados obtidos pelo sistema de medição são todos em formato digital em forma de vetores unidimensionais compostos pelos valores das amostra obtidas durante o tempo do experimento, esses valores são transmitidos em tempo real para um computador que executa um programa de obtenção de dados para realizar transformações mais complexas e análises dos sinais obtidos em tempo real.

## 2.5 ANÁLISE DOS SINAIS OBTIDOS

Algum tipo de análise deve sempre ser feita em todo tipo de conjuntos de dados experimentais. Várias considerações entram na determinação final da validade dos resultados experimentais, erros podem acarretar na invalidade dos dados mesmo quando estes foram obtidos com cautela. Alguns erros são de natureza aleatória, e outros podem ser por natureza física ou por descuido do experimentador, como flutuações eletrônicas, fricção ou desgaste dos componentes, esses tipos de erros devem ser descartados imediatamente (Holmann).

Leituras individuais em um instrumento podem variar devido a erros de natureza aleatória, que seguem uma distribuição estatística normal, e o experimentador pode estar desejando obter o valor médio de diversas leituras realizadas (Holmann). A equação ( ) obtém o valor médio para uma medição experimental consistente de diversas leituras.

Para cada leitura é esperado um valor de desvio lido, deve se notar que quanto melhor for o sistema de medição menor serão os valores de desvio obtidos no conjunto de leituras, o desvio padrão , representado pela equação( ), se mostra como um bom indicador da situação dos desvios, e conseqüentemente da exatidão de um sistema de medição.

Essa equação de desvio padrão deve ser utilizada para grandes populações de amostras ou para quando os dados obtidos podem ser comparados com grandezas conhecidas (Holmann). Para se obter a informação de se os valores experimentais estão de acordo com os desejados pode-se utilizar o teste do chi quadrado, representado na equação( ).

Esse teste é uma importante ferramenta de teste de qualquer resultado de distribuição experimental esperada. Se o valor de chi quadrado é igual a zero então a

distribuição assumida é exatamente a distribuição real, quanto maior o valor de chi quadrado, menor é a correlação entre os dados medidos e os reais (Holmann). Com o objetivo de facilitar a obtenção dos dados estatísticos para cada amostra obtida, foi criada uma ferramenta computacional utilizando a linguagem python.

### **2.5.1 Ambiente de desenvolvimento computacional Python**

Python se caracteriza como uma linguagem de programação humanamente amigável, básica e de fácil leitura e entendimento. Que permite ao usuário a utilização de extensões e pacotes com funções de conveniência para resolver a maior parte dos problemas computacionais encontrados (Stacey).

A extensão numpy é um pacote fundamental para computação científica utilizando a linguagem de programação Python. O numpy é uma ferramenta utilizada para o processamento de dados em forma vetorial, uni ou multidimensional, seu funcionamento é baseado na conversão dos dados numéricos do formato de lista para um formato específico, altamente otimizado chamado ndarray. O pacote numpy também apresenta diversas funções matemáticas, lógicas, estatísticas, algébricas feitas para serem utilizadas com objetos ndarray, isso acarreta em uma minimização do tempo de processamento de um programa se comparado com utilizando funções nativas de python (Numpy docs). As principais funções utilizadas são demonstradas na tabela().

Uma grande gama de outros pacotes em python usam como base a estrutura de dados e funções presentes, como o pandas, que é utilizado para facilitar a manipulação e armazenamento de dados em formato de tabular, como planilhas e bancos de dados (Pandas docs). Dados em formatos tabulares do pandas podem facilmente ser processados, analisados e armazenados utilizando funções do numpy e funções nativas do pandas.

Com o auxílio do processamento de dados tabulares e utilizando as funções estatísticas do pacote numpy pode-se facilmente obter os valores nominais e de erro de cada medida tomada com o dispositivo de medição. Então deve-se partir para a fase da análise dos dados nominais obtidos.

### **2.5.2 Análise dos valores nominais**

Uma vez obtidos todos os valores nominais para cada situação experimental analisada, devem ser criadas representações gráficas da distribuição dos resultados obtidos para isso é utilizado o pacote scipy, que é uma coleção de algoritmos matemáticos e funções de conveniência, desenvolvidos em cima do pacote numpy. Ele proporciona ao usuário funções e classes para manipulação e visualização de dados científicos. O pacote scipy se mostra como um forte competidor aos ambientes de desenvolvimento mais comumente utilizados, como o Matlab, Scilab e o Octave (Scipy docs).

A principal visualização a ser obtida no experimento é o gráfico de distribuição de cargas aplicados pelos valores de tensão da ponte de wheatstone obtidos, então, utilizando o método de minimização dos quadrados, pode-se obter os parâmetros básicos que descrevem uma função matemática em que os erros entre valores observados do experimento e os estimados sejam o mínimo o possível.

O gráfico de regressão linear dos dados experimentais é obtido utilizando a função `scipy.linalg.regress` do pacote `scipy`.

## 2.6 METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DE PROJETO

O projeto de um produto engloba todas as etapas de definição das funções e características operacionais necessárias em um produto a ser desenvolvido, o modelo PRODIP divide o projeto em macro etapas, cada uma contemplando uma fase do desenvolvimento de um produto, conforme a Figura 8.

Essa metodologia foi utilizada para organizar e linearizar as atividades de desenvolvimento do dispositivo, certas etapas ilustradas foram ignoradas e outras adicionadas devido ao objetivo do projeto e o tipo do produto desenvolvido.

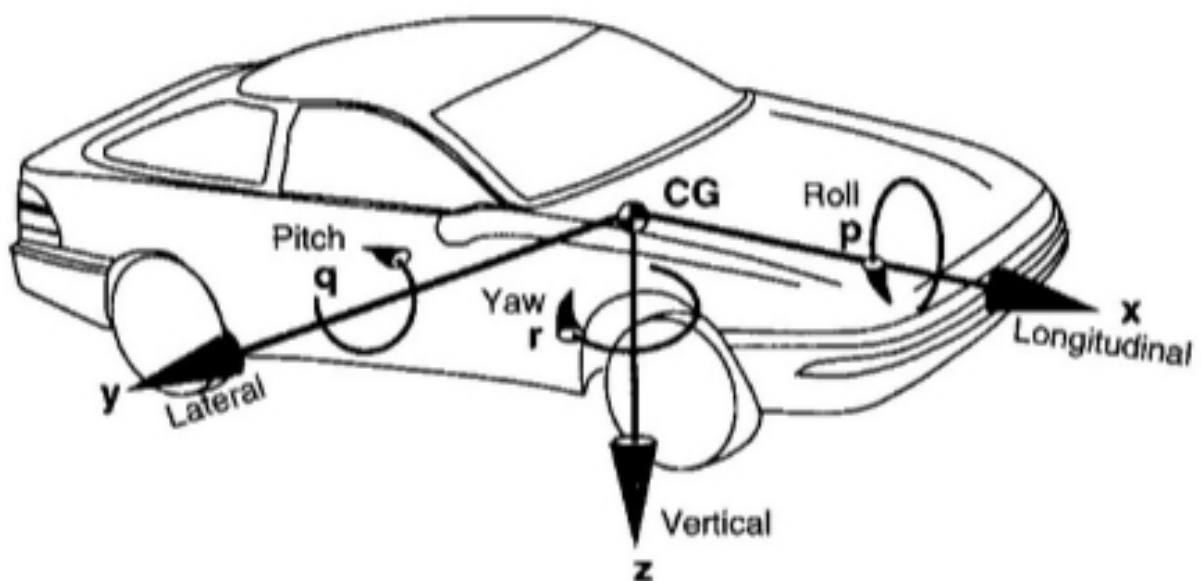
### 3 CONTEXTO

O presente capítulo apresenta o contexto no qual o dispositivo desenvolvido pode ser aplicado mostrando os conceitos de dinâmica veicular longitudinal, principais sistemas de segurança envolvidos, e os esforços mecânicos presentes nos componentes de interesse.

#### 3.1 DINÂMICA VEICULAR

Dinâmica veicular é o campo da física aplicada que investiga o comportamento de um veículo automotor em condições de uso e estáticas, a norma SAE J670 (2008) adota o sistema de coordenadas ilustrado na [Figura 1](#) para um veículo genérico com a origem na posição do seu centro de massa nas análises dinâmicas em veículos terrestres.

Figura 1 – Sistema de coordenadas SAE

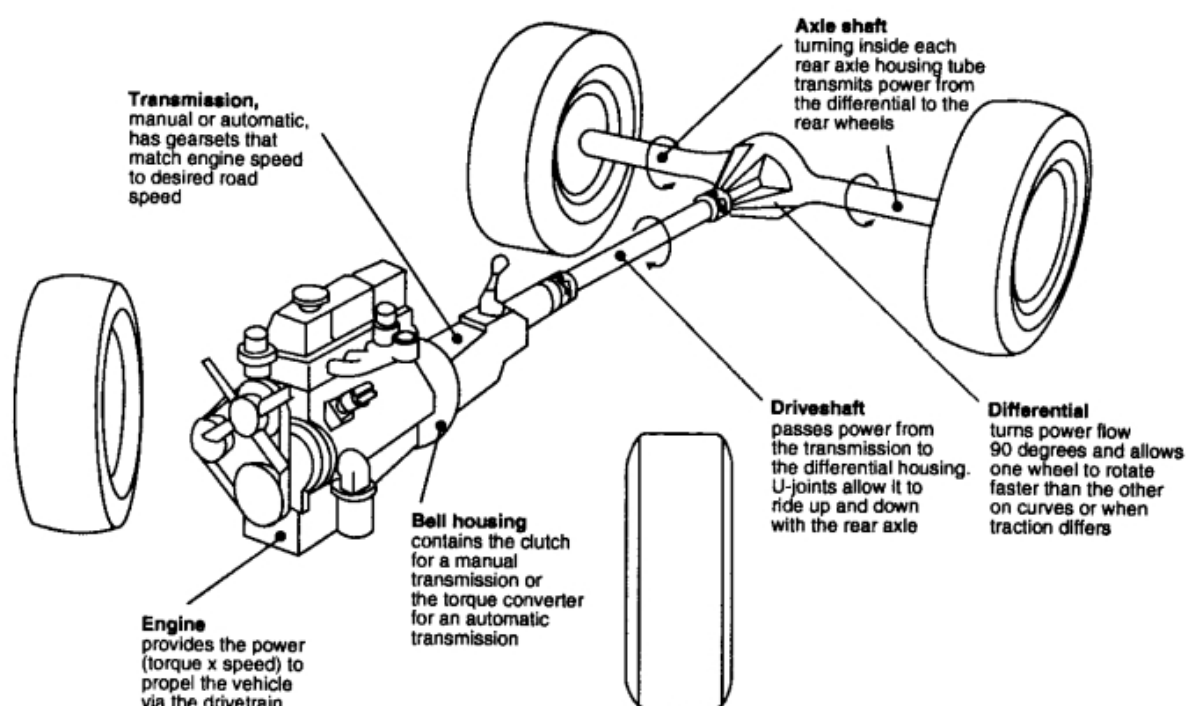


Fonte: \*\*Tsirogiannis (2015)\*\*

A dinâmica veicular é composta por três campos de estudo (longitudinal, lateral e vertical) que investigam o comportamento do veículo ao longo das direções padrões. A dinâmica longitudinal veicular engloba a análise da movimentação do veículo no seu eixo de pitch e na direção longitudinal causadas pelo trem de força, conjunto de componentes responsáveis pela geração de potência e transmissão do movimento para os pneus do eixo de tração, e do sistema de frenagem. A [Figura 2](#) ilustra os principais componentes presentes no trem de força em um veículo com tração traseira.

Nas análises simplificadas de dinâmica veicular a unidade motora é modelada por

Figura 2 – Elementos principais do trem de potência



Fonte: \*\*Gillespie (1992)\*\*

suas curvas de torque e potência, os componentes da transmissão como as respectivas relações de amplificação de torque e as rodas pelo seu raio e coeficiente de atrito do contato entre pneu e pista. A figura 3 mostra o diagrama de corpo livre de um automóvel simplificado. Em um veículo com tração unicamente traseira e sem a presença de reboque, as forças de tração geradas nas interfaces pneu pista frontais e reações das cargas traseiras não estarão presentes, simplificando a análise.

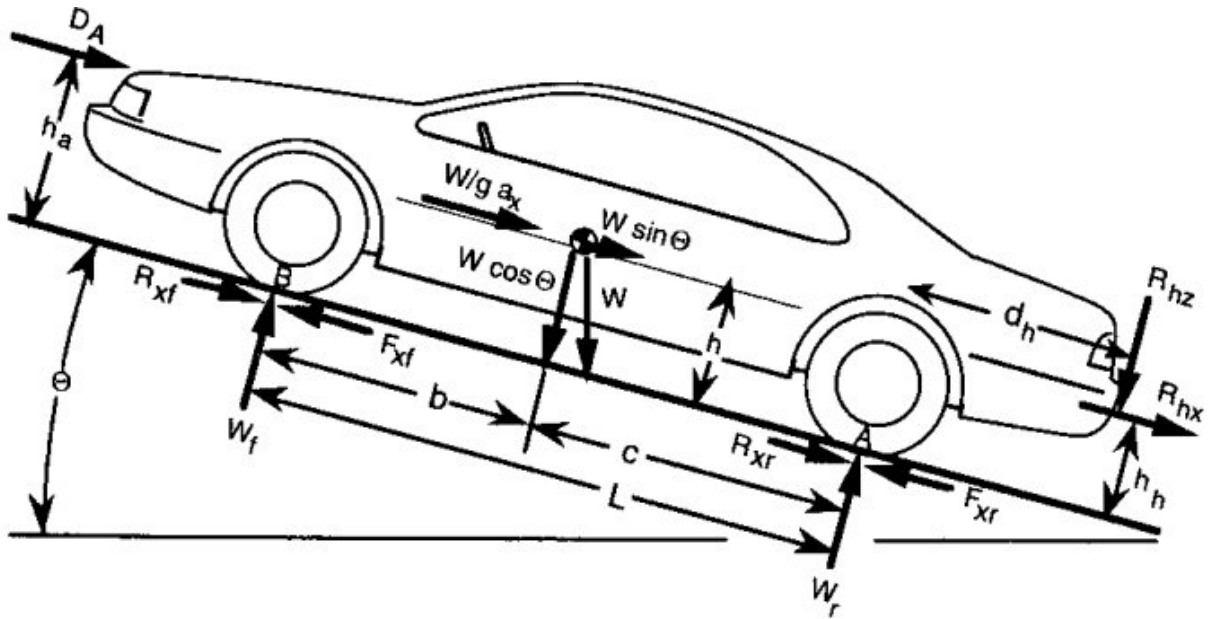
### 3.1.1 Capacidade de aceleração

Dentre as análises do veículo na dinâmica longitudinal pode-se definir sua capacidade máxima de aceleração, Gillespie (1992) afirma que esse potencial é determinado por um entre dois limites, definidos primariamente pela velocidade do veículo, em altas velocidades espera-se o limite seja relacionado a potência da unidade motora, e em baixas velocidades a capacidade de tração das rodas motrizes.

Presumindo que haja potência suficiente na unidade motora, a aceleração será limitada pelo coeficiente de atrito na interface entre o pneu das rodas motrizes e a superfície de contato nesse caso, o limite de tração é mostrado pela [Equação \(1\)](#).

O coeficiente de atrito do contato pneu pista é dependente de diversos fatores, entre eles a área de superfície de contato do pneu, tipo de compósito e condição,

Figura 3 – Principais forças envolvidas na dinâmica longitudinal



Fonte: \*\*Gillespie (1992)\*\*

parâmetros operacionais como temperatura e pressão, carga aplicada no pneu, etc.

$$F_x = \mu W \quad (1)$$

sendo

$F_x$ : Força de tração gerada pelos pneus

$\mu$ : Coeficiente de atrito máximo do contato

$W$ : Carga aplicada no eixo de tração

### 3.2 ESFORÇOS EM COMPONENTES

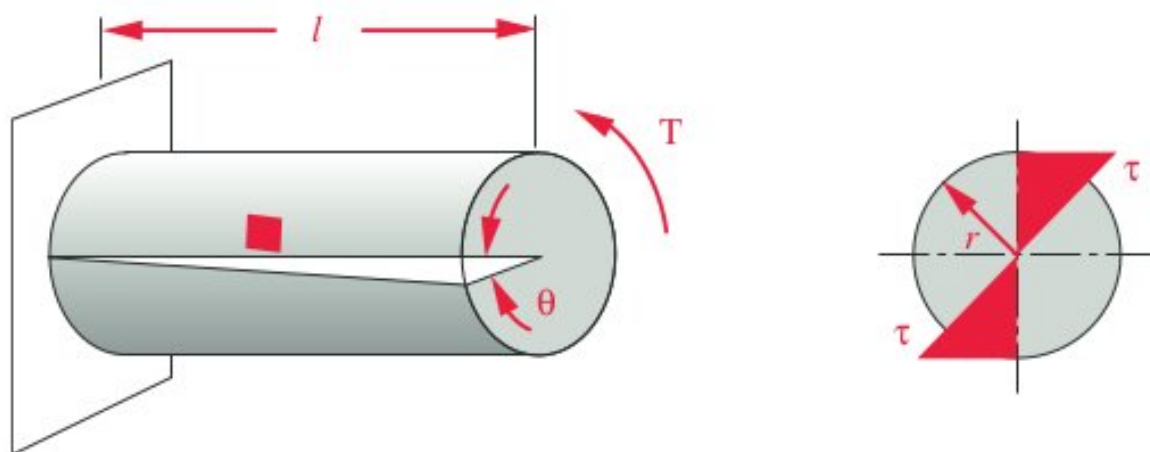
Os sistemas veiculares responsáveis pela transmissão do torque no trem de potencia, uma vez que são compostos de elementos rotativos, apresentam tensões geradas pelas cargas de torque e flexão durante a operação.

#### 3.2.1 Deformação de um eixo em torção

Norton (2013) afirma que quando barras estão solicitadas por um momento em relação ao seu eixo longitudinal, diz-se que estão sob torção, esse tipo de momento aplicado é denominado torque e esta situação é comum em eixos que transmitem potência. A [Figura 4](#) ilustra os ângulos de deformação vistos em um eixo e a distribuição

de tensão de cisalhamento ao longo da sua seção transversal, os valores são dados pela [Equação \(2\)](#) e [Equação \(3\)](#),

Figura 4 – Deflexão e distribuição de tensão devido a torção



Fonte: \*\*Norton 4ed\*\*

$$\theta = \frac{Tl}{GJ} \quad (2)$$

$$\tau = \frac{Tr}{J} \quad (3)$$

onde:

$\theta$ : ângulo de torção

$\tau$ : tensão superficial causada pela torção

$T$ : valor de torque aplicado

$r$ : raio do eixo

$l$ : comprimento até o ponto de análise

$G$ : Modulo de cisalhamento do material

$J$ : Momento de inércia polar da seção transversal

As equações consideram a operação do componente apenas em regime de deformação elástico, logo os valores esperados de  $\theta$  serão relativamente pequenos. (escrever sobre a influencia disso na operação do eixo)

### 3.3 SENSORIAMENTO DE DEFORMAÇÕES

Com o objetivo de obter grandezas associadas em um veículo durante sua operação, são utilizado sensores baseados na sua variação de resistência.



### 3.3.1 Extensômetro

Extensômetros são sensores que sofrem alterações de resistência elétrica conforme a deformação ocorrida na superfície em que são aplicados, uma relação entre a variação de resistência e deformação nesse tipo de sensor é denominado gauge factor, que pode ser representado pela [Equação \(4\)](#).

$$K\varepsilon = \frac{\Delta R_s}{R_s} \quad (4)$$

onde

K: Gauge factor

$\varepsilon$ : deformação na superfície

$\Delta R_s$ : variação de resistência no strain gauge

$R_s$ : resistência nominal do strain gauge

Uma vez que os valores deformação superficiais durante a operação são pequenos isso acarreta em pequenas variações de resistência no extensômetro, logo, para se ter uma medição com precisão aceitável, devem ser utilizados artifícios de instrumentação como uma ponte de Wheatstone com fim de detectar mais precisamente a variação de resistência do sensor.

### 3.3.2 Ponte de Wheatstone

Uma vez apresentadas pequenas variações de resistência durante o funcionamento o que gera pequenas variações de tensão em seu funcionamento no circuito elétrico, o extensômetro é montado como parte de um circuito de ponte de Wheatstone. Esse tipo de montagem facilita a instrumentação desses sensores, devido a melhor sensibilidade na leitura do voltímetro  $V_g$  ilustrado na [Figura 5](#).

Em uma aplicação com sensor de deformação o resistor variável  $R_2$  é substituído pela expressão de resistência do extensômetro, e os resistores  $R_1$ ,  $R_3$  e  $R_x$  são definidos com valores de resistências iguais ao do valor nominal do sensor utilizado, logo, utilizando as leis de Kirchhoff para o circuito, a equação de transferência do circuito é mostrada na [Equação \(5\)](#).

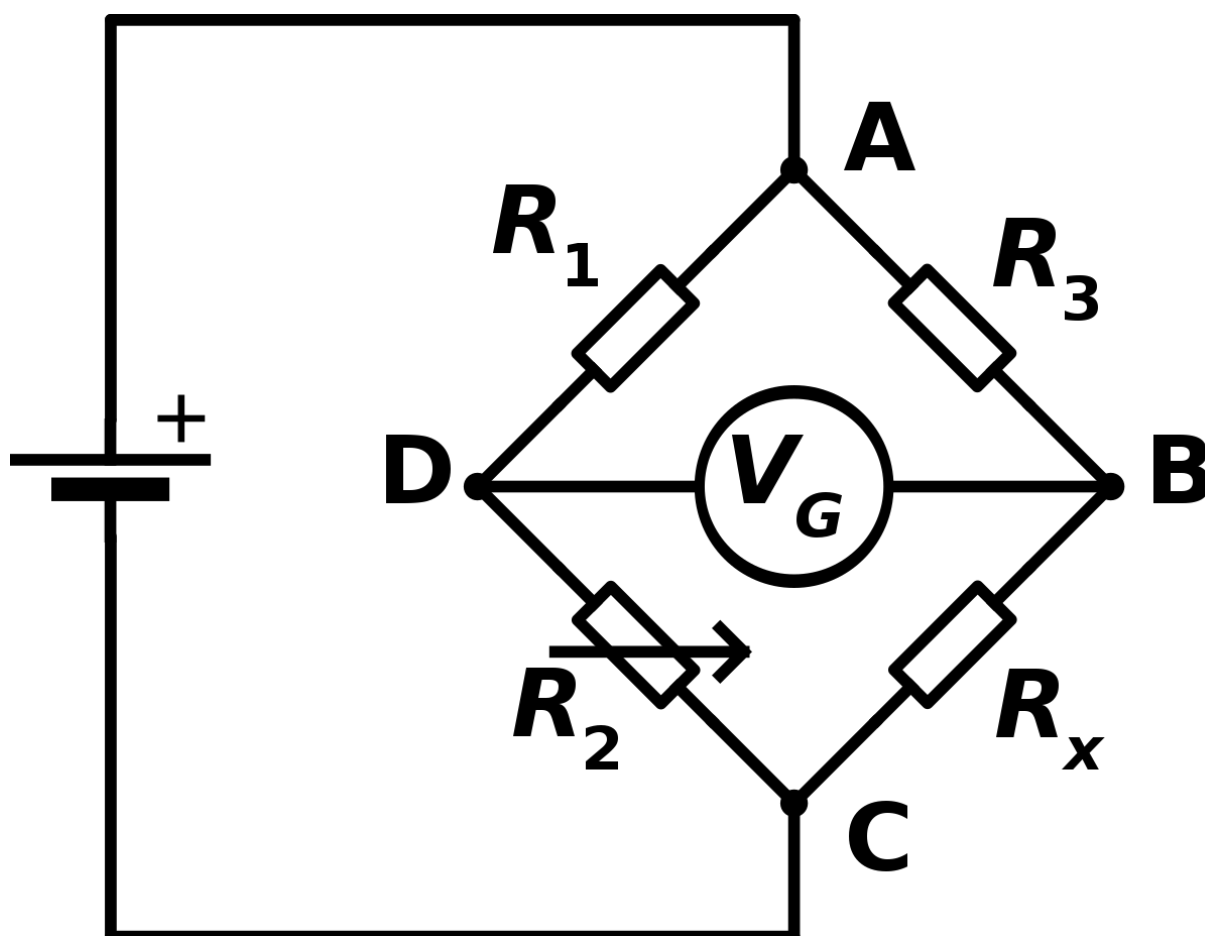
$$\frac{V}{V_{in}} = \frac{K\varepsilon}{4 + K\varepsilon} \quad (5)$$

onde

$V_{in}$ : Tensão de alimentação do circuito

V: Tensão mostrada pelo voltímetro  $V_g$

Figura 5 – esquema básico de ponte de Wheatstone



Fonte: \*internet\*\*

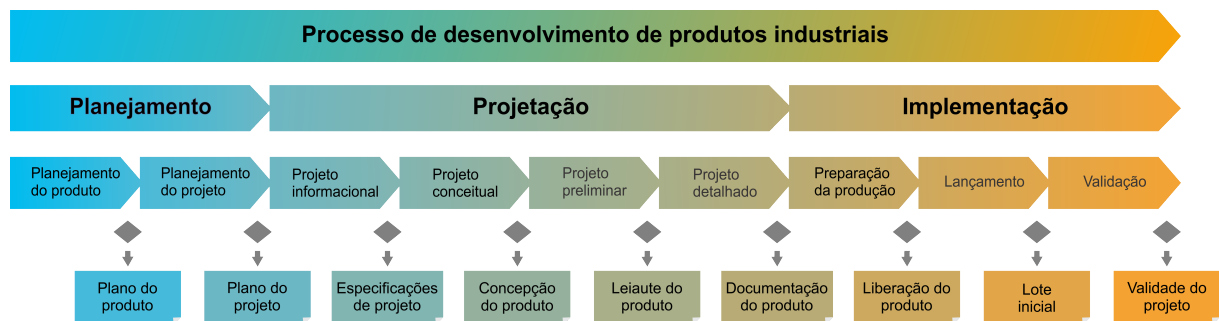
## 4 METODOLOGIA DO PROJETO

O presente capítulo mostra a metodologia e as etapas realizadas para o projeto do dispositivo desenvolvido.

### 4.1 MODELO PRODIP

O projeto de um produto engloba todas as etapas de definição das funções e características operacionais necessárias em um produto a ser desenvolvido, o modelo PRODIP divide o projeto em macro etapas, cada uma contemplando uma fase do desenvolvimento de um produto, conforme a [Figura 8](#).

Figura 6 – Etapas da metodologia PRODIP



Fonte: \*\*PRODIP (2020)\*\*

Essa metodologia foi utilizada para organizar e linearizar as atividades de desenvolvimento do dispositivo, certas etapas ilustradas foram ignoradas e outras adicionadas devido ao objetivo do projeto e o tipo do produto desenvolvido.

#### 4.1.1 Fase de planejamento

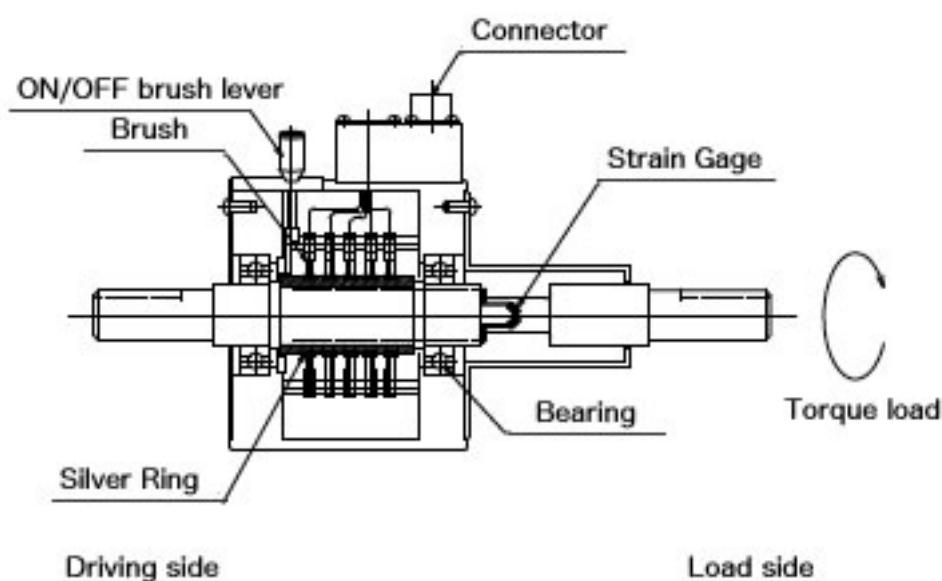
A fase de planejamento do projeto visa definir as etapas de desenvolvimento das ideias selecionadas utilizando definições de escopo, cronograma, orçamento riscos etc. Nessa etapa são definidas as ideias do problema e produto, então é feito um mapeamento tecnológico, em que, segundo a metodologia "são organizadas as informações do mercado, produto e tecnologia ao longo do tempo. Essas informações são correlacionadas e servem de base para estabelecer o plano de produtos."(PRODIP, 2020).

O problema proposto foi o de encontrar a solução para a medição de torque dinâmico em aplicações automotivas, e a principal motivação é o fato de que foi verificado ser um tipo de grandeza não muito monitorada devido a dificuldade de obtenção dos valores e do custo, peso e complexidade dos dispositivos existentes para esses fins

atualmente. Os principais tipos de produtos disponíveis identificados para esse tipo de aplicação são os transdutores de torque, utilizados em ramos industriais, e os dinamômetros de bancada, que são usualmente utilizados para identificar as curvas de torque e potência de motores.

Os transdutores de torque são de maior interesse dado o princípio de funcionamento, segundo a fabricante Kyowa (acesso em julho de 2020) seus transdutores de torque convertem torção, calculadas pela tensão de cisalhamento superficial, em tensão elétrica, garantem medição fácil e acurada de torque sob condições de funcionamento desde paradas até altas rotações, e devido ao fato de serem utilizados extensômetros como sensor, medidas estáveis e precisas são garantidas até em longas durações de operação e condições severas. A [Figura 7](#) mostra os principais componentes desse tipo de dispositivo.

Figura 7 – Principais componentes de um transdutor de torque industrial



Fonte: \*\*Showa Sokki (acesso em julho de 2020) \*\*

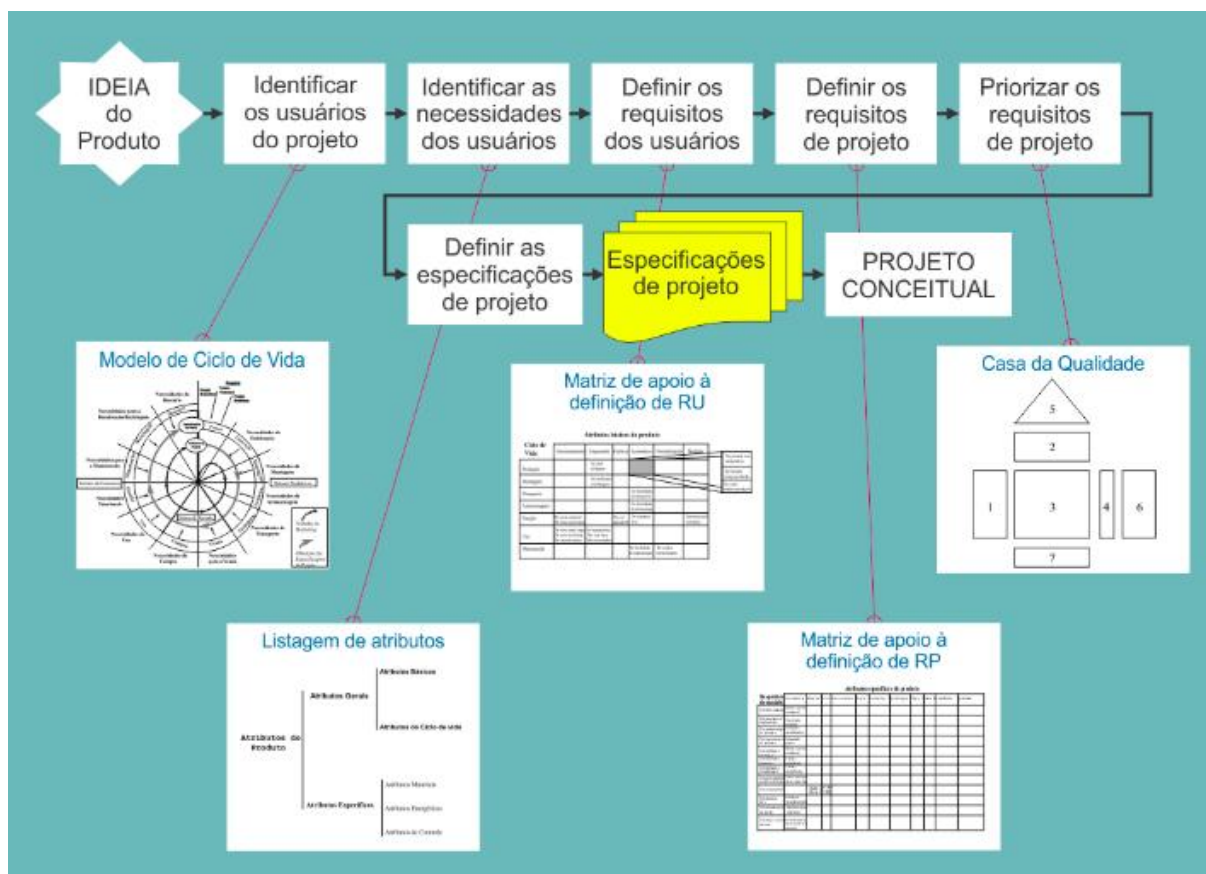
\*\*falar que o princípio de funcionamento do transdutor de torque é a principal influência para a escolha das palavras chave da revisão bibliográfica\*\*

Com os dados do mapeamento tecnológico e da revisão dos trabalhos científicos recentes, é elaborado um escopo base do projeto, seguido pela definição de um conceito básico de funcionamento, os componentes necessários e os respectivos preços, estes dados estão disponíveis no apêndice A. (\*\*Falta anexar, arquivo 0 - Escopo do projeto no drive, planilha "mapa de tecnologias", incorporar uma parte da planilha de revisão bibliográfica junto\*\*)

### 4.1.2 Projeto Informacional

O projeto informacional utiliza ferramentas para definição de especificações de projeto que irão orientar o desenvolvimento do produto, o principal é a matriz QFD, utilizada para definir a importância dos requisitos do produto.

Figura 8 – Etapas do projeto informacional



Fonte: \*\*PRODIP (2020)\*\*

-realizar as pesquisas de mercado, listagem de atributos e desenvolver a matriz QFD.

### 4.1.3 Projeto Conceitual

Busca de soluções conceituais para o problema, onde as alternativas são geradas e avaliadas técnica e economicamente, as ferramentas disponíveis são a síntese de funções, matriz morfológica e matriz multi critério de seleção

# **Parte II**

## **Implementação**

## **5 DESENVOLVIMENTO MATEMÁTICO**

## 6 EXPERIMENTO



## 7 RESULTADOS

## **8 CONCLUSÕES**

## **9 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Lipsum me [31-33]

# **Apêndices**

## **APÊNDICE A – COMO ESTA PÁGINA NÃO ESTÁ SENDO COMPLETAMENTE PREENCHIDA, ELE ESTÁ GERANDO A CAIXA INFERIOR INFERIOR DA PÁGINA**

(encoding: T1, family: phv, series: m, shape: n, size: 12, baseline: 14.5pt, line-spread: 1.241, linespacing: 17.99446pt)

1. How to display the font size in use in the final output, 2. How to display the font size in use in the final output, 3. How to display the font size in use in the final output, 4. How to display the font size in use in the final output, 5. How to display the font size in use in the final output, 6. How to display the font size in use in the final output, 7. How to display the font size in use in the final output, 8. How to display the font size in use in the final output, 9. How to display the font size in use in the final output,

A.1 (ENCODING: T1, FAMILY: PHV, SERIES: M, SHAPE: N, SIZE: 12, BASELINE: 14.5PT, LINESPREAD: 1.241, LINESPACING: 17.99446PT)

1. How to display the font size in use in the final output, 2. How to display the font size in use in the final output, 3. How to display the font size in use in the final output, 4. How to display the font size in use in the final output, 5. How to display the font size in use in the final output, 6. How to display the font size in use in the final output,

7. How to display the font size in use in the final output, 8. How to display the font size in use in the final output, 9. How to display the font size in use in the final output, 10. How to display the font size in use in the final output, 11. How to display the font size in use in the final output, 12. How to display the font size in use in the final output,

**A.1.1 (encoding: T1, family: phv, series: b, shape: n, size: 12, baseline: 14.5pt, linespread: 1.241, linespacing: 17.99446pt)**

1. How to display the font size in use in the final output, 2. How to display the font size in use in the final output, 3. How to display the font size in use in the final output, 4. How to display the font size in use in the final output, 5. How to display the font size in use in the final output, 6. How to display the font size in use in the final output,

7. How to display the font size in use in the final output, 8. How to display the font size in use in the final output, 9. How to display the font size in use in the final output, 10. How to display the font size in use in the final output, 11. How to display the font size in use in the final output, 12. How to display the font size in use in the final output,

A.1.1.1 (encoding: T1, family: phv, series: m, shape: n, size: 12, baseline: 14.5pt, linespread: 1.241, linespacing: 17.99446pt)

1. How to display the font size in use in the final output, 2. How to display the font size in use in the final output, 3. How to display the font size in use in the final output, 4. How to display the font size in use in the final output, 5. How to display the font size in use in the final output, 6. How to display the font size in use in the final output,

7. How to display the font size in use in the final output, 8. How to display the font size in use in the final output, 9. How to display the font size in use in the final output, 10. How to display the font size in use in the final output, 11. How to display the font size in use in the final output, 12. How to display the font size in use in the final output,

*A.1.1.1.1 (encoding: T1, family: phv, series: m, shape: it, size: 12, baseline: 14.5pt, linespread: 1.241, linespacing: 17.99446pt)*

1. How to display the font size in use in the final output, 2. How to display the font size in use in the final output, 3. How to display the font size in use in the final output, 4. How to display the font size in use in the final output, 5. How to display the font size in

use in the final output, 6. How to display the font size in use in the final output, 7. How to display the font size in use in the final output,

8. How to display the font size in use in the final output, 9. How to display the font size in use in the final output, 10. How to display the font size in use in the final output, 11. How to display the font size in use in the final output, 12. How to display the font size in use in the final output,

Lipsum me [31-35]

# **Anexos**



## **ANEXO A – ARTIGO PUBLICADO**

### **A.1 ENGLISH GUIDELINES FOR PUBLICATION - TITLE HERE (14 PT TYPE SIZE, UPPERCASE, BOLD, CENTERED)**

**Abstract:** The objective of this document is to instruct the authors about the preparation of the manuscript for its submission to the Revista Eletrônica de Potência (Brazilian Power Electronics Journal). The authors should use these guidelines for preparing both the initial and final versions of their paper. Additional information about procedures and guidelines for publication can be obtained directly with the editor, or through the web site <http://www.sobraep.org.br/revista>. This text was written according to these guidelines

interwordspace: 3.33588pt

interwordstretch: 1.99188pt

emergencystretch: 58.74916pt

## english guidelines for publication - TITLE HERE (14 PT TYPE SIZE, UPPERCASE, BOLD, CENTERED)

Adriano Ruseler

Federal University of Santa Catarina – UFSC, Postgraduate Program in Electrical Engineering – PGEEL  
Power Electronics Institute – INEP, Florianópolis, SC, Brazil  
e-mail: ruseler@inep.ufsc.br

**Abstract** – The objective of this document is to instruct the authors about the preparation of the manuscript for its submission to the Revista Eletrônica de Potência (Brazilian Power Electronics Journal). The authors should use these guidelines for preparing both the initial and final versions of their paper. Additional information about procedures and guidelines for publication can be obtained directly with the editor, or through the web site <http://www.sobraep.org.br/revista>. This text was written according to these guidelines.

**Keywords** – Authors shall provide a maximum of six keywords (in alphabetical order, capitalized, separated by commas) to help identify the major topics of the paper.

### NOMENCLATURE

$P$	Number of poles.
$V_{qd}$	Stator voltage $dq$ components.
$I_{qd}$	Stator current $dq$ components.

### I. INTRODUCTION

The Brazilian Power Electronics Journal (Revista Eletrônica de Potência) is an appropriate media through which the SOBRAEP (Brazilian Power Electronics Society) members and experts in the field of Power Electronics may present and discuss their scientific and academic activities. Therefore, the Editorial Staff invites you to submit a full format paper in the field of Power Electronics, including advances in the state of the art, through theoretical and experimental results, as well as tutorial information on subjects of interest to the Society. In case the paper, or part of it, has been presented or published in any national or international journal or conference, it must be declared by the authors in the body of the paper (when and where).

Papers in Portuguese, Spanish and English will be accepted. The texts submitted in Portuguese or Spanish must include the title, the abstract and the keywords in English as well.

Authors must submit their manuscript electronically and follow the revision process through the iSOBRAEP portal at <http://www.sobraep.org.br/revista>. From this entry page, access can be obtained to all information required for the submission of a manuscript.

It should be noted that Manuscripts Must Be Submitted as an Editable PDF document. Therefore, after editing your manuscript in agreement with these guidelines, a high-quality PDF file must be generated so it can be submitted through the iSOBRAEP portal. Upon Final Acceptance of the manuscript, the strong requirement for publication is a final electronic version of the paper prepared in agreement with these guidelines. In addition, papers will only be published if the Copyright form available at the iSOBRAEP portal is completed.

The main objective of the Introduction section is presenting the nature of the problem that is discussed in the paper, through an adequate literature review, and the contribution of the submitted manuscript.

If relevant, a Nomenclature section may be included immediately before the Introduction, with a list of variables used in the text. This item should not contain reference numeration, as well as items Acknowledgements, References and Biographies.

#### A. Presentation of the Text

Papers submitted for publication to the Brazilian Power Electronics Journal should have, preferably, **eight pages** or less. Papers with a higher number of pages must pay an overlength page charge (R\$ 150 per extra page) before its publication, until the limit of four extra pages. Consequently, the maximum page limit is **12 pages**.

Authors must use International System units (SI or MKS).

Authors of the paper must prepare it and then send it as a PDF file, through the iSOBRAEP portal, in accordance with these guidelines. The manuscripts that do not follow these guidelines will be rejected, and the authors will be informed.

#### B. Text Editing

The manuscript must be prepared on A4 page format (297 mm x 210 mm), as demonstrated in these guidelines.

The recommended word processor is Word for Windows.

1) *Type sizes*: The type sizes specified in these guidelines are according to the word processor Word for Windows and the typeface must be Times New Roman. Table I shows the standard sizes of the characters that should be used in the different sections of the manuscript.

2) *Page Format*: Set top and bottom margins to 25 mm, left margin to 18 mm and right margin to 12 mm. The column is 87 mm. The space between the two columns is 6 mm. Paragraph indentation is 4mm.

---

This footnote will be used only by the Editor and Associate Editors. The edition in this area is not permitted to the authors. This footnote must not be removed while editing the manuscript. Manuscript compiled at 19:04h, June 6, 2016.

**TABLE I**  
**Type Sizes**

Style			
Size (Points)	Normal	Bold	Italic
8	Table texts		
9	Figure captions		
10	Authors' affiliations; main text; references	Abstract text; keywords, table captions	Abstract title and keywords title
12	Authors' names		
14	Paper title		

## II. ORGANIZATION OF THE PAPER

This section presents the main issues for editing the manuscript.

### A. General Organization

The papers that shall be published in the Brazilian Power Electronics Journal must contain the following main sections: 1) Title; 2) Authors and Affiliations; 3) Abstract and Keywords; 4) Introduction; 5) Body Text; 6) Conclusions; 7) References; 8) Biographies. This order must be respected, unless the authors add some items, such as: Nomenclature; Appendices and Acknowledgements.

Some comments regarding the main items of the manuscripts are presented below.

1) *Title*: The title of the paper should be as succinct as possible, stating the subject of the paper in a very clear manner. It should be centered at the top of the first page, in bold, type size 14 points, with the whole title in capital letters.

2) *Authors and affiliations*: Below the title (leaving one blank line), also centered, the name(s) of the author(s) must be included. The middle names may be abbreviated, but the first and last names must be written in their complete forms (type size 12 points). Immediately below the authors' names, their affiliations, with city, state and country, must be informed (type size 10 points). The electronic addresses must be informed just below the affiliations (type size 10 points).

3) *Abstract and keywords*: This part is considered one of the most important in the whole paper. It is based on information in Abstract and Keywords that technical papers are indexed and stored in databases.

The Abstract should have no more than 200 words, indicating the main ideas contained in the paper, as well as procedures and obtained results. The Abstract should not be confused with the Introduction and should not have any abbreviations, references, figures, etc. For writing the Abstract, as well as the whole manuscript, you should use passive voice, e. g., "... the experimental results show that..." instead of "... the results we obtained show that...". The word Abstract must be written both in italic and in bold. The Abstract text should be in bold.

Keywords are index terms that identify the main topics of the paper. The term Keywords must be both in italic and bold. The Keywords themselves should be in bold.

4) *Introduction*: The Introduction must prepare the reader for the paper he/she will read, including a historical overview of the subject and also presenting the main contributions of the paper. The Introduction must not be similar to the Abstract and it is the first section of the paper to be numbered as a section.

5) *Body text*: The authors must organize the body text in various sections, which should contain important information about the proposal of the paper, facilitating its comprehension for readers.

6) *Conclusions*: The conclusions should be as clear as possible, highlighting the importance of the paper in the respective research area. The advantages and disadvantages of the proposed subject should be clearly emphasized, as well as the obtained results and possible applications.

7) *References*: The citation of references throughout the text should appear between square brackets, just before the punctuation mark at the end of the sentence in which the reference is inserted. Only the number of the references should be used, avoiding citations such as "... according to the reference [2]...".

Papers that were accepted for publication, but were not published yet, should also be in the references along with the citation "in Press".

Papers from journals and conferences must begin with the name of the authors (initials followed by the last name), followed by the title, journal or conference name (in italic), number of volume, pages, month and year of publication.

Regarding books, following the name of the authors (initials followed by last name), the title should be in italic, and then should come the publisher, number of edition and place and year of publication.

At the end of these guidelines, there is an example of how the references should be inserted [1]–[8].

8) *Biographies*: The biographies of the authors should appear in the same order as in the beginning of the paper and should basically contain the following items:

- Full name (in bold and underlined);
- Place and year of undergraduation and graduation conclusions;
- Professional experience (Institutions and companies in which they have worked, number of patents obtained, areas of expertise, relevant scientific activities, scientific societies in which they are members, etc.).

In case additional items are used, such as Nomenclature, Appendices and Acknowledgements, the following instructions should be considered:

9) *Nomenclature*: The nomenclature consists of the definition of quantities and symbols used throughout the paper. Its inclusion is not mandatory and this item must not be numbered. If this item is included, it should precede the

Introduction. In case the authors do not include this item, the definition of quantities and symbols must occur during the text, right after they appear. In the beginning of these guidelines there is an example of this optional item.

*10) Acknowledgements and appendices:* The acknowledgements to any collaborators, as well as appendices, do not receive any numeration and should be at the end of the text, before the references. At the end of this text there is an example of this optional item.

On the last page of the paper, the authors should distribute the contents evenly, using both columns, in a way that both end in a parallel manner.

### B. Organization of the Sections of the Paper

The organization of the manuscript in titles and subtitles is important to divide it in sections, which help the reader to find subjects of interest in the paper. They also help the authors to develop their paper in an orderly form. The paper can be organized in primary, secondary and tertiary sections.

The primary sections are the titles of the actual sections. They are written in capital letters in the center of the column separated by a blank line above and another one below them, and sequential Roman numerals should be used.

The secondary sections are the subtitles of the sections. Just the first letter of each word of the section should be written with a capital letter. It should be located at the left part of the column being separated by a blank line above from the rest of the text. The designation of the secondary sections is done with letters in uppercase form, followed by a dot. They should be in italic.

The tertiary sections are subdivisions of the secondary sections. Only the first letter of the first word of the section should be a capital letter. The designation of the tertiary sections should be done with Arabic numerals, followed by parentheses. They should be in italic.

## III. OTHER INSTRUCTIONS

### A. Editorial Rules

For papers with multiple authors, it is necessary to inform the order of presentation of the authors and filling out the Copyright form at the iSOBRAEP portal, authorizing the publication of the paper.

The Brazilian Power Electronics Journal should be considered source of original publication. It reserves its right to make normative, spelling and grammatical modifications in the original files, but respecting the style of the authors. The final versions cannot be sent to the authors.

The published papers will become property of the Brazilian Power Electronics Journal, and its total or partial reprinting must be authorized by SOBRAEP.

Figures, tables and equations should follow the following guidelines.

### B. Figures and Tables

Tables and figures (drawings or pictures) should be inserted in the text right after they are mentioned for the first time, as long as they fit the size of the columns; if necessary, use the whole page. Figures resolution should be at least 300 dpi and

vector files should be preferably used for better print quality. Table captions should be above the tables and figure captions should be below the figures. The tables should have titles and they are designated by the word Table, being numbered in sequence by Roman numerals. Table captions must be centered and in bold.

Figures also need captions and they are designated by Figure in the text (Fig. in the caption itself), numbered with Arabic numerals in a sequenced manner, left- and right-justified, as shown in the example. The designation of the parts of a figure is done by adding lowercase letters to the numbers of the figures starting with the letter a, e.g. Figure 1(a).

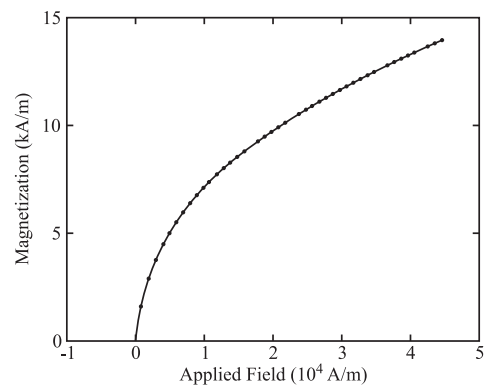


Fig. 1. Magnetization as a function of applied field. (Note that “Fig.” is abbreviated and there is a period after the figure number followed by two spaces.)

To better understand graphs, the definition of their axes should be done with words not letters, except when referring to waveforms and phase planes. The units should be between parentheses. For example, use the denomination “Magnetization (A/m)”, instead of “M (A/m)”.

Figures and tables should be positioned preferably in the beginning or the end of the column, avoiding putting them in the middle. Avoid tables and figures whose sizes exceed the size of the columns. The figures should preferentially be in black, with a white background, since the printed version of the journal is in black and white. Their lines should be thick, so the impression is readable.

### C. Abbreviations and Acronyms

Abbreviations and acronyms must be defined the first time they are used in the text, e.g. “... Pulse-Width Modulation (PWM)...”.

### D. Equations

Number equations consecutively with equation numbers in parentheses flush with the right margin, as in (1). The equations should be written in a compact form, centered in the column. If a nomenclature section is not included in the beginning of the text, the quantities should be defined right after the equation, such as:

$$\Delta I_L = I_o + \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{V_i}{Z} \quad (1)$$

where:

- $\Delta I_L$  - resonant inductor peak current;
- $I_o$  - load current;
- $V_i$  - source voltage;
- $Z$  - characteristic impedance.

#### IV. CONCLUSIONS

This paper was fully written in accordance with the guidelines for submissions of papers in English.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank John Doe for the collaboration of preparing this paper. This Project was financed by the CNPq (xxyzz process).

#### REFERENCES

- [1] C. T. Rim, D. Y. Hu, G. H. Cho, "Transformers as Equivalent Circuits for Switches: General Proof and D-Q Transformation-Based Analysis", *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 26, no. 4, pp. 832–840, July/August 1990.
- [2] E. A. Vendruscolo, J. A. Pomilio, "Motores de Indução Acionados por Inversores PWM-VSI: Estratégias para Atenuação de Sobreensões", *Eletrônica de Potência - SOBRAEP*, vol. 8, no. 1, pp. 49–56, Junho 2003.
- [3] S. A. González, M. I. Valla, C. H. Muravchik, "A Phase Modulated DGPS Transmitter Implemented with a CMRC", in *Proceedings of COBEP*, vol. 2, pp. 553–558, 2001.
- [4] N. Mohan, T. M. Undeland, W. P. Robbins, *Power Electronics: converters, applications, and design*, 2nd ed., John Wiley & Sons, Inc., New York, N.Y., 1995.
- [5] T. A. Lipo, M. D. Manjrekar, "Hybrid Topology for Multilevel Power Conversion", US Patent 6 005 788, 21 Dec. 1999.
- [6] *IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*, IEEE Std. 519-1992, 1993.
- [7] SW Technologies, "SWDV Converter", [Online], 2001, URL: [www.sw.com.br](http://www.sw.com.br).
- [8] I. Barbi, *Etude de Onduleurs Autoadaptifs Destines a la Alimentation de Machines Assynchrones*, Ph.D. thesis, Institut National Polytechnique de Toulouse, Toulouse, França, 1979.

## **ANEXO B – COMO EXIBIR O TAMANHO DA FONTE EM USO NA SAÍDA FINAL**

(encoding: T1, family: phv, series: m, shape: n, size: 12, baseline: 14.5pt, linespread: 1.241, linespacing: 17.99446pt)

1. How to display the font size in use in the final output, 2. How to display the font size in use in the final output, 3. How to display the font size in use in the final output,

**B.1 (ENCODING: T1, FAMILY: PHV, SERIES: M, SHAPE: N, SIZE: 12, BASELINE: 14.5PT, LINESPREAD: 1.241, LINESPACING: 17.99446PT)**

1. How to display the font size in use in the final output, 2. How to display the font size in use in the final output, 3. How to display the font size in use in the final output, 4. How to display the font size in use in the final output, 5. How to display the font size in use in the final output, 6. How to display the font size in use in the final output,

7. How to display the font size in use in the final output, 8. How to display the font size in use in the final output, 9. How to display the font size in use in the final output, 10. How to display the font size in use in the final output, 11. How to display the font size in use in the final output, 12. How to display the font size in use in the final output,

**B.1.1 (encoding: T1, family: phv, series: b, shape: n, size: 12, baseline: 14.5pt, linespread: 1.241, linespacing: 17.99446pt)**

1. How to display the font size in use in the final output, 2. How to display the font size in use in the final output, 3. How to display the font size in use in the final output, 4. How to display the font size in use in the final output, 5. How to display the font size in use in the final output, 6. How to display the font size in use in the final output,

7. How to display the font size in use in the final output, 8. How to display the font size in use in the final output, 9. How to display the font size in use in the final output, 10. How to display the font size in use in the final output, 11. How to display the font size in use in the final output, 12. How to display the font size in use in the final output,

**B.1.1.1 (encoding: T1, family: phv, series: m, shape: n, size: 12, baseline: 14.5pt, linespread: 1.241, linespacing: 17.99446pt)**

1. How to display the font size in use in the final output, 2. How to display the font size in use in the final output, 3. How to display the font size in use in the final output, 4. How to display the font size in use in the final output, 5. How to display the font size in use in the final output, 6. How to display the font size in use in the final output,

7. How to display the font size in use in the final output, 8. How to display the font size in use in the final output, 9. How to display the font size in use in the final output, 10. How to display the font size in use in the final output, 11. How to display the font

size in use in the final output, 12. How to display the font size in use in the final output,

*B.1.1.1.1 (encoding: T1, family: phv, series: m, shape: it, size: 12, baseline: 14.5pt, linespread: 1.241, linespacing: 17.99446pt)*

1. How to display the font size in use in the final output, 2. How to display the font size in use in the final output, 3. How to display the font size in use in the final output, 4. How to display the font size in use in the final output, 5. How to display the font size in use in the final output, 6. How to display the font size in use in the final output, 7. How to display the font size in use in the final output,

8. How to display the font size in use in the final output, 9. How to display the font size in use in the final output, 10. How to display the font size in use in the final output, 11. How to display the font size in use in the final output, 12. How to display the font size in use in the final output,

Lipsum me [55-65]