

UNESP - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Campus de Guaratinguetá

Guaratinguetá
2013

THIAGO MINORU FUJIMOTO

PROJETO DE UM TRANSDUTOR BINOCULAR UTILIZANDO
EXTENSOMETRIA E APLICAÇÃO NA PESAGEM RODOVIÁRIA

Trabalho de Graduação apresentado
ao Conselho de Curso de
Graduação em Engenharia
Mecânica da Faculdade de
Engenharia do Campus de
Guaratinguetá, Universidade
Estadual Paulista, como parte dos
requisitos para obtenção do
diploma de Graduação em
Engenharia Mecânica

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Sampaio Martins

Guaratinguetá

2013

Fujimoto, Thiago Minoru
F961 Projeto de um transdutor binocular utilizando extensometria e
p aplicação na pesagem rodoviária / Thiago Minoru Fujimoto –
Guaratinguetá : [s.n], 2013.
41 f : il.
Bibliografia: f. 41

Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade
Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2013.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Sampaio Martins

1. Transdutores 2. Medidores de tensão I. Título

CDU 621.318.43

**PROJETO DE UM TRANSDUTOR BINOCULAR UTILIZANDO
EXTENSOMETRIA E APLICAÇÃO NA PESAGEM RODOVIÁRIA**

THIAGO MINORU FUJIMOTO

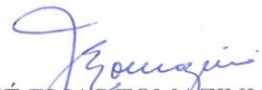
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE
DO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA


Prof. Dr. Antônio Wagner Forti
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. MARCELO SAMPAIO MARTINS
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. JOSÉ ELIAS TOMAZINI
UNESP/FEG


Prof. Me. RENATO ARAUJO BARROS
UNESP/FEG

Junho de 2013

DADOS CURRICULARES

THIAGO MINORU FUJIMOTO

NASCIMENTO	24.11.1985 – SÃO PAULO / SP
FILIAÇÃO	Iassutaca Fujimoto Alice Harumi Kodama Fujimoto
2007/2013	Curso de Graduação Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer aos meus pais, Iassutaca e Alice, que sempre me apoiaram em todas as minhas escolhas, e me deram total condição para que eu pudesse seguir em frente.

ao meu irmão, Rodrigo, que sempre me incentivou e apoiou todas as minhas decisões, e me ajudou a alcançar meus objetivos.

ao meu orientador Prof. Marcelo Sampaio, pela atenção, dedicação, orientação e apoio, o que foi fundamental para conclusão deste trabalho.

à minha namorada Fabiana, que sempre esteve do meu lado ao longo dessa longa jornada, compartilhando momentos de alegria, e me confortando nos momentos mais difíceis.

aos amigos da República Calabouço que compartilharam de momentos e experiências inesquecíveis, e pelas amizades que levarei sempre comigo.

a todos os colegas e amigos que tive o prazer de conhecer nesses anos de graduação, que fizeram parte dessa etapa importante em minha vida, em especial aos meus amigos Rafael Noboru e Luis Gustavo, companheiros de longas jornadas de estudos, estiveram presentes ao longo de toda graduação.

“O insucesso é apenas uma oportunidade para recomeçar de novo com mais inteligência.”

Henry Ford

FUJIMOTO, T.M. **Projeto de um transdutor binocular utilizando extensometria em aplicação na pesagem rodoviária**. 2013. 41 f. Trabalho de Graduação de Engenharia Mecânica - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

Resumo

Ao longo do tempo, a variedade de empresas em cada ramo vem crescendo gradativamente pelo país, e como consequência a logística para atender tal demanda cresceu na mesma proporção. Um fator a destacar sobre esse crescimento acelerado é o aumento dos veículos de carga circulando pelas rodovias, muitas vezes transportando acima do limite previsto na legislação. Em um primeiro momento, pode parecer que esta situação não traria problema algum, entretanto, nota-se que um excessivo número repetitivo de sobrecargas, acaba por deteriorar o asfalto, causando ondulações, buracos, imperfeições nas pistas, o que pode causar acidentes, além disso, o dinheiro gasto para a manutenção das rodovias é alto. Pensando nisso, foi estabelecida por lei uma regulamentação que restringe esse limite de peso para os veículos, através de pesagens por eixo, sujeitos a multa. Com esse controle, o piso é preservado por mais tempo, sendo necessários menores gastos com manutenção. As balanças rodoviárias utilizam células de carga para apresentar o peso inferido, essas utilizam extensômetros em sua construção. O trabalho a seguir apresenta o projeto de uma célula de carga binocular e seus principais elementos, mostrando como a diferença de material pode interferir em seu dimensionamento, para que esta possa trabalhar de forma satisfatória. Apresenta-se também uma ideia geral de como são os parâmetros para pesagem, e a aplicação de multas.

PALAVRAS-CHAVE: Célula de carga, Balanças rodoviárias, Transdutores, Extensômetros.

FUJIMOTO, T.M. **Project of a binocular transducer using strain gages and application in weighing road** 2013. 41 f. Graduate Work (Graduate in Mechanical Engineering) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

ABSTRACT

With the passage of time, the variety of companies from each branch has gradually grown throughout the country. As a consequence, the logistics to attend to such demand has grown in the same proportion. One factor to highlight about this rapid growth is the increase of freight vehicles roaming the roads, often carrying loads over the limit established by law. At first it may seem that this would not bring any problem, however, note that an excessive number of overloads ends up deteriorating the asphalt, causing undulations, potholes and other imperfections on the roads, which can cause accidents. In addition, the money spent for the maintenance of the roads is high. Thinking about it, it was established by law a regulation that restricts the weight limit for these vehicles, through axle weighing, subject to a fine. With this control the road floor is preserved for longer, requiring less maintenance expenses. The weighing stations use load cells to display the inferred weight, these cells use strain gages in its construction. The following work presents a methodology to dimension a binocular load cell, its main elements and its dimensioning. Showing how different materials can affect the dimensioning, so that can work satisfactorily. It also presents an overview of how are the parameters for weighing, and fines.

KEYWORDS: Load Cell, Road scales, Transducers, Strain gages.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
2.	OBJETIVOS	13
3.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
3.1	Deformação.....	14
3.1.1	Deformação Específica (ϵ)	14
3.1.2	Tipos de Solicitações	16
3.2	Extensômetros	17
3.2.1	Colagem do extensômetro	19
3.2.2	Extensômetro elétrico (“ <i>Strain Gage</i> ”)	20
3.3	Ponte de Wheatstone	20
3.4	Transdutores	23
3.4.1	Transdutores de carga (células de carga).....	25
3.5	Pesagem Rodoviária	27
3.5.1	Sistema de Pesagem.....	27
4.	METODOLOGIA.....	33
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
6.	CONCLUSÃO.....	40
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Caminhão carregando um transformador na BR-101	12
Figura 2 - Tensão sobre um determinado ponto	15
Figura 3 - Curva $\sigma \times \epsilon$	16
Figura 4 - Elementos básicos de um extensômetro	17
Figura 5 - Geometria da grade do extensômetro	19
Figura 6 - Ponte de Wheatstone	21
Figura 7 - Ligação em "quarto de Ponte"	21
Figura 8 - Ligação em Meia Ponte	22
Figura 9 - Ligação em Meia Ponte Diagonal	22
Figura 10 - Ligação em Ponte Completa.....	23
Figura 11 - Tipos de transdutores.....	24
Figura 12 - Produtos comerciais de transdutores	24
Figura 13 - Ponte de Wheatstone.....	25
Figura 14 - Exemplos comerciais de células de carga.....	26
Figura 15 - Posicionamento da célula de carga sobre a plataforma	26
Figura 16 - Primeira Balança no procedimento de pesagem.....	28
Figura 17 - Resultado da primeira pesagem.....	29
Figura 18 - Resultados apresentados na primeira pesagem.....	29
Figura 19 - Segunda Balança de Pesagem.....	30
Figura 20 – Resultados apresentados na segunda pesagem.	30
Figura 21 - Desenho Esquemático do Transdutor.....	32
Figura 22 – Célula de carga de geometria binocular.....	34
Figura 23- Indicação da posição dos extensômetros na célula.....	34
Figura 24 - Reação da célula ao ser submetida a aplicação de carga.....	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - PBT para cada tipo de Veículo (DNIT, 2009).	31
Tabela 2 – Tabela do fabricante indicando CMT e PBT de cada veículo.....	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DNIT	- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
CENTRAN	- Centro de Excelência em Engenharia de Transportes
CONTRAN	- Conselho Nacional de Trânsito
PIB	- Produto Interno Bruto
CTB	- Código de Trânsito Brasileiro
DENATRAN	- Departamento Nacional de Trânsito
PBT	- Peso Bruto Total
PBTC	- Peso Bruto Total Combinado
CMT	- Carga Máxima de Tração
CVC	- Combinação de Veículo de Carga

1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, a frota de veículos vem crescendo exponencialmente dentro do país, em particular, a frota de caminhões de carga, por haver um crescimento do número de indústrias espalhadas pelo Brasil. Esse crescimento de esforços repetitivos sobre as rodovias acarretaram em maior desgaste nas vias, gerando degradações e irregularidades, então viu-se a necessidade de um controle sobre a carga máxima a ser permitida para estes veículos.

Em meados da década de 60, foi criada uma legislação específica para controlar o peso máximo por eixo dos veículos, impondo limites para transportes de carga (DNIT, 2009).

Segundo DNIT (2009), cerca de 77% dos caminhões trafegam com excesso de peso por eixo pelas rodovias. Além disso, após um longo período de estudo do CENTRAN, concluiu que até 2% do PIB de um país pode ser despendido, anualmente, em consequência de danos pelo excesso de peso nas rodovias. Outros estudos mostram que uma variação média de apenas 10% de peso por eixo, reduz em até 40% a vida útil projetada para o pavimento. Se colocarmos em números este estudo, levando em conta que o PIB do Brasil em 2005 foi de aproximadamente R\$ 796 bilhões, o gasto com pavimentação devido ao excesso de peso de veículos custa mais de R\$ 15 bilhões por ano. A Figura 1 ilustra um veículo de carga trafegando pela rodovia BR-101 com excesso de peso.



Figura 1 - Caminhão carregando um transformador na BR-101 (“GUIA DO TRANSPORTADOR”, 2013).

Diante dos problemas apresentados, foram criadas leis dentro do Código Brasileiro de trânsito (CTB) que ditam punições para veículos que excedem a carga permitida.

Portanto, as balanças rodoviárias são fundamentais para o controle de carga a ser transportada pelos veículos, balanças essas que usam dispositivos chamados de células de carga, e são instalados nas plataformas de pesagem das rodovias. Além da aplicação em balanças, devido a sua precisão, as células de carga também são amplamente utilizadas na área industrial, como por exemplo, em controle de processos e automatização nas indústrias. Sua maior utilização se deve ao fato da presença da variável peso na maioria das transações comerciais, e sua precisão tornou-se indispensável para os negócios (MIROTTI, 2008).

O intuito deste trabalho é projetar uma célula de carga, composta por extensômetros elétricos, além de apresentar importante aplicação cotidiana, em balanças rodoviárias. Para realização deste projeto, apesar da pesquisa ter sido feita em cima de diversos tipos de transdutores, realiza-se os cálculos para a geometria binocular, em dois materiais diferentes para mostrar como isso influencia no dimensionamento da célula. Será calculada a espessura mínima necessária (local próximo a colagem dos extensômetro neste modelo binocular), dado o material, para resistir uma determinada aplicação de carga.

Os cálculos apresentados neste trabalho são realizados de forma geral, podendo ser aplicada para outras dimensões de célula de carga, respeitando-se as devidas proporcionalidades.

O projeto foi totalmente desenvolvido de forma teórica, porém todos os cálculos necessários foram realizados de forma efetiva, e baseados na literatura. Os cálculos foram anexados no item “Resultados e Discussões” deste trabalho.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é projetar uma célula de carga, cuja aplicação pode ser utilizada em balanças rodoviárias para medição de peso nos veículos de carga.

Para tal estudo, foram traçados alguns objetivos específicos a serem atingidos ao longo do estudo:

- Princípio de funcionamento de extensômetros e células de carga;
- Entender o funcionamento do sistema de pesagem por eixo;
- Comparar resultados de diferentes materiais para células de carga;

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Deformação

Quando aplica-se uma força em um corpo, o mesmo tende a alterar a forma e a dimensão. Essas mudanças são chamadas de deformação, e essas alterações podem ser visíveis a olho nu, ou algumas vezes praticamente imperceptíveis sem o uso de equipamentos precisos de medição. Algumas situações em que estes tipos de deformações são quando esticamos um elástico, que sofre uma grande deformação, ou então dentro de um prédio, pessoas caminham de um lado para outro, causando uma deformação nos elementos das estruturas do prédio. Em geral, as deformações não são totalmente uniformes sobre todo o volume do corpo, sendo que, ao longo do comprimento do corpo, a sua deformação pode variar. Se considerar um segmento de linha sobre o corpo, pode-se observar que há situações em que uma parte do segmento pode sofrer alongamento enquanto que outra parte sofre contração. Porém, quanto menor considerarmos o segmento de linha, mais retilíneos ficarão após sofrerem deformação (HIBBELER, 2004).

3.1.1 Deformação Específica (ϵ)

Segundo Beer (1995), para um estado uniaxial de tensão, estando estas tensões abaixo do limite de proporcionalidade do material, a lei de Hooke é válida, ou seja, a tensão σ é diretamente proporcional à deformação específica ϵ , e pode ser escrita por:

$$\sigma = E \times \epsilon \quad (1)$$

onde:

E = módulo de elasticidade do material ou módulo de Young;

ϵ = deformação específica;

A deformação específica pode ser dada por:

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (2)$$

sendo que :

L_0 corresponde a um comprimento base (referência);

ΔL é a variação do comprimento base;

A Figura 2 exemplifica tal situação, para determinar a tensão num dado ponto P. Na direção x, traça-se uma distância L_0 em torno do ponto, e após a aplicação de carga sobre o mesmo, nota-se uma pequena variação no comprimento L_0 , passando a ser considerado como $L_0 + \Delta L$. Com isso, torna-se possível determinar a deformação específica normal.

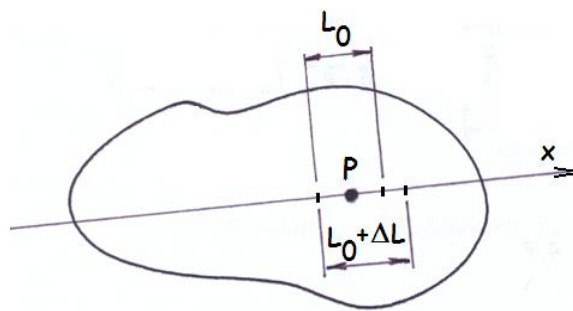


Figura 2 - Tensão sobre um determinado ponto (PEREIRA, 2012).

A medição dessa forma não apresenta grande precisão, pois é feita baseando-se em um comprimento finito L_0 , e o ideal seria que fosse sobre um ponto; entretanto, tal erro envolvido está relacionado ao gradiente de deformação e comprimento L_0 . Porém, se a deformação específica não variar, ou for linearmente ao longo da peça, podemos desconsiderar os erros devido ao comprimento L_0 .

Para realizar medições de deformações geralmente utiliza-se extensômetros, na qual cada um possui um valor base de L_0 , que deve ser o menor possível, a fim de minimizar erros.

A Figura 3 mostra a região em que a Lei de Hooke é válida, ou seja, compreendida somente dentro do “Domínio elástico”, onde o material sendo submetido a deformação consegue recuperar-se. A região compreendida entre o limite elástico até o final da curva é denominado “região plástica”, onde o material não consegue recuperar-se totalmente após sofrer deformação, e portanto, não é válida a Lei de Hooke (PEREIRA, 2012).

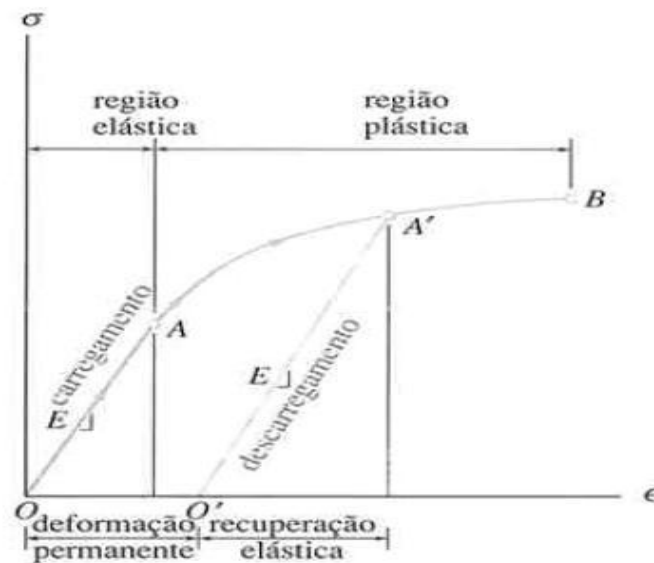


Figura 3 - Curva $\sigma \times \epsilon$ (HIBBELER, 2004).

Como a deformação específica é uma grandeza adimensional, o módulo de elasticidade E , terá a mesma unidade da tensão σ , Pascal ou seus múltiplos no Sistema Internacional, e psi ou ksi no Sistema Inglês de unidades.

3.1.2 Tipos de Solicitações

Antes de iniciar o estudo sobre os extensômetros e como são medidas as deformações atuantes, será feito um breve resumo dos tipos de solicitações, na qual geram deformações normais e angulares.

- **Tração (Deformação Normal):** Esse tipo de deformação tende a alongar o corpo, tendo direção no sentido oposto ao apoio ou inércia resultante do sistema de forças (exemplo: Um cabo de aço de um guindaste);
- **Compressão (Deformação Normal):** Esse tipo de deformação tende a encurtar o corpo, tendo direção no mesmo sentido do apoio ou inércia do sistema de forças (Exemplo: Colunas de construção civil);
- **Cisalhamento (Deformação Angular):** Esse tipo de deformação tende a cortar o corpo (Exemplo: tesouras e guilhotinas);

- **Flexão (Deformação Normal):** Solicitação tende a girar o corpo. A tensão tende a uma rotacionar o eixo geométrico do corpo e tangenciando o apoio ou inércia (Exemplo: Trampolim de piscina);
- **Torção (Deformação Angular):** Solicitação que tende a torcer o corpo, a tensão tende a uma rotação angular sobre o eixo geométrico do corpo e axial ao apoio ou inércia (Exemplo: Eixo cardã dos caminhões) (BEER, 1995);

3.2 Extensômetros

Basicamente o extensômetro é um elemento utilizado na medida de deformações de um corpo. Quando o material que queremos medir sofre deformação, faz com que a grade do extensômetro colado, diretamente sobre uma das superfícies do corpo, sofra alteração no seu comprimento, fazendo com que a resistência elétrica medida seja alterada proporcionalmente a essa deformação. A Figura 4 ilustra um exemplo de extensômetro, na qual podemos ver a grade, que a parte frágil que sofre deformação (UNIVERSITY OF DELAWARE, 2013).

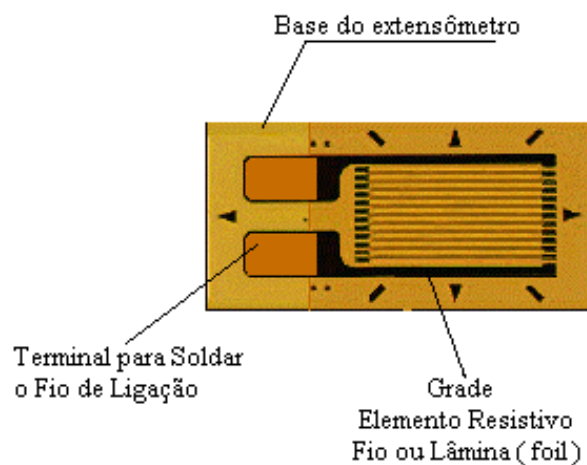


Figura 4 - Elementos básicos de um extensômetro (UNIVERSITY OF DELAWARE, 2013).

Para caracterizar como seria um extensômetro ideal, podemos listar as principais características:

- Apresentar um menor comprimento base L_0 possível;
- Possuir pequenas dimensões e pouco peso;
- Ter grande sensibilidade e precisão;
- Ser de fácil instalação;

- Conseguir realizar medições estáticas e dinâmicas;
- Permitir leitura local e/ou a longa distância;
- Baixo custo;
- Livre de ações de interferências externas, como temperatura, vibrações, umidade, etc.

O extensômetro que mais se aproxima das características de um extensômetro ideal é o extensômetro elétrico (EER).

Vale ressaltar que os extensômetros são sensíveis apenas a deformações normais (ϵ), sejam elas de tração ou de compressão. Quando necessita-se medir deformações de cisalhamento (γ), podemos consegui-las através da medição das deformações normais em duas ou três direções diferentes (RILEY, 1993).

As ligas mais utilizadas, comercialmente, na fabricação das grades dos extensômetros são:

- Constantan – também chamado de Advance, destacando que é material com mais ampla utilização.
- Karman ou Evanohm – utilizado em transdutores quando se quer compensar a variação do módulo de elasticidade do material do corpo do transdutor com a alteração da temperatura.
- Isoelástico – utilizado em ensaios que são submetidos a altas frequências e por longos períodos de tempo (RILEY, 1993).

Podemos ter diferentes disposições de grade dos extensômetros, dependendo do tipo de esforço que os mesmos serão submetidos. O posicionamento da grade do extensômetro deve coincidir com a direção da deformação principal.

A Figura 5 apresenta alguns exemplos de diferentes disposições de extensômetros que podem ser encontradas no mercado.

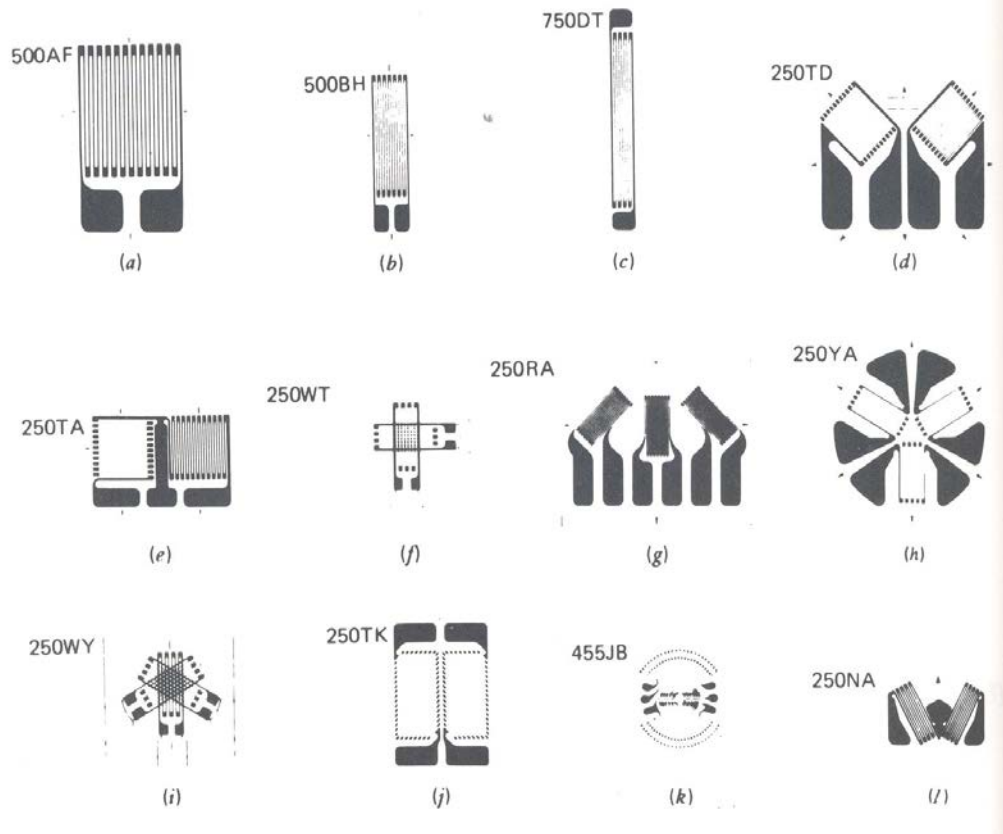


Figura 5 - Geometria da grade do extensômetro (RILEY, 1993).

3.2.1 Colagem do extensômetro

Para que o extensômetro exerça sua função de forma correta, deve-se tomar alguns cuidados básicos no momento de colá-lo a superfície da peça que será submetida a tensão para que não haja distorção dos resultados. Aparentemente essa colagem pode ser feita com qualquer adesivo que possua uma cola de qualidade, porém, alguns cuidados devem ser tomados para que não ocorra problemas que possam prejudicar as informações obtidas com o equipamento, como por exemplo diferença na variação de resistência elétrica, problemas caracterizados por histerese, entre outros (RILEY, 1993).

Segundo Riley (1993), antes de ser instalado o extensômetro, deve-se tomar algumas precauções com a superfície do corpo, mantendo a superfície limpa e eliminando qualquer vestígio que possa interferir na aderência do material. A preparação consiste em remover tintas e camadas de ferrugem (se necessário realizar lixamento), eliminação de óleos ou qualquer substância semelhante (utilizando solventes para poder eliminá-los, geralmente acetona ou metiletil cetona).

Após feita a colagem, o adesivo passa por um procedimento a determinadas condições de temperatura e pressão por um período de tempo para garantir a aderência adequada para o processo.

Temos diversos materiais para adesivos, porém destacamos aqui os mais comumente utilizados: Cimento de nitrato de celulose, Cimento de Epóxi, Cimento Cerâmico e Cimento de Cianoacrilato. (RILEY, 1993).

3.2.2 Extensômetro elétrico (“*Strain Gage*”)

O extensômetro segue o fundamento de que os materiais metálicos sofrem alteração de resistência elétrica ao sofrem algum tipo de deformação.

Para fios, de acordo com a teoria elétrica, temos que a resistência depende do comprimento do fio e da área de seção transversal do mesmo. A equação a seguir fundamenta tal dependência:

$$R = \rho \cdot \frac{l_0}{A} \quad (3)$$

sendo:

ρ : resistividade do material;

l_0 : comprimento original do fio (antes da deformação);

A : área da seção transversal do fio;

3.3 Ponte de Wheatstone

A Ponte de Wheatstone é um circuito utilizado como medidor por comparação, medindo-se as resistências do circuito. Analisando a Figura 6, se os valores das resistências R_x , R_d , R_1 e R_2 estiverem posicionados de forma que os potenciais **c** e **d** estejam iguais, nenhuma corrente será indicada no Galvanômetro.

Com a ponte em equilíbrio, se uma das resistências for desconhecida, consegue-se determinar esta incógnita. Para conseguir o equilíbrio da ponte utiliza-se uma resistência de valor ajustável. Uma característica importante da Ponte de Wheatstone é que sua sensibilidade é máxima quando são utilizados 4 resistências de igual valor (ou bem próximas), se o valor de uma delas variar um pouco, a variação de corrente indicada no Galvanômetro é grande.

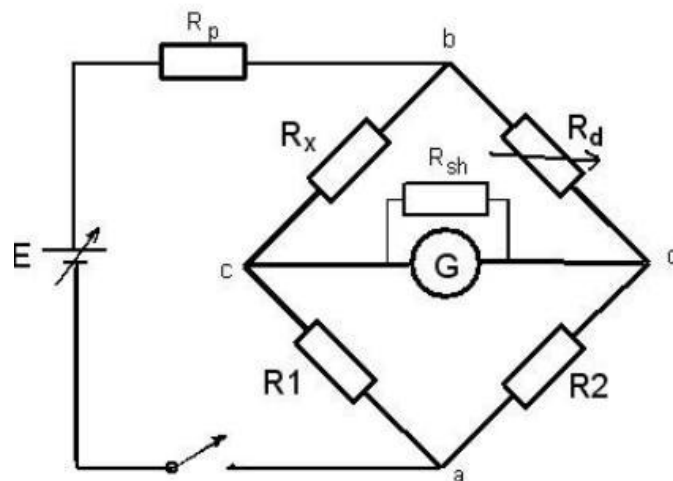


Figura 6 - Ponte de Wheatstone (UNICAMP, 2013).

Os transdutores geralmente utilizam quatro extensômetros ligados em circuito de ponte de Wheatstone. Existem três formas de ligá-los em ponte de Wheatstone, conforme figuras 7, 8, 9 e 10.

- Ligação em “quarto de Ponte” – utiliza apenas um extensômetro ativo, e os demais atuam apenas como resistores, não sofrendo deformações.

Neste tipo de ligação temos:

$$R_1=R_2=R_3=R_4 \rightarrow r=1$$

$$\Delta R_2 = \Delta R_3 = \Delta R_4 = 0 \text{ (as resistências não sofrem deformação).}$$

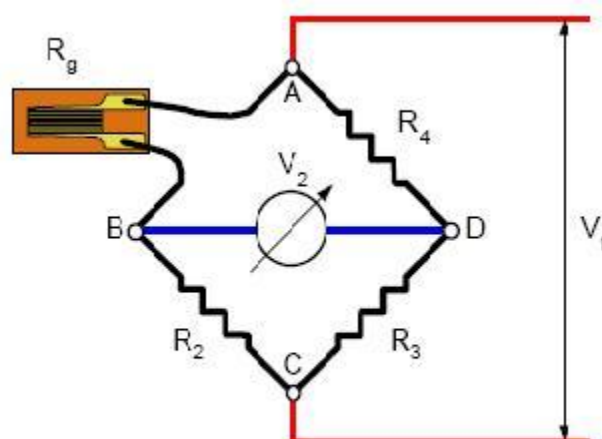


Figura 7 - Ligação em "quarto de Ponte" (UNICAMP, 2013).

- Ligação em “meia Ponte” – utiliza dois extensômetros ativos, e os outros atuam apenas como resistores, ou seja, não sofrem deformações.

Neste tipo de ligação temos:

$$R_1=R_2=R_3=R_4 \rightarrow r=1$$

$\Delta R_3 = \Delta R_4 = 0$ (as resistências não sofrem deformação).

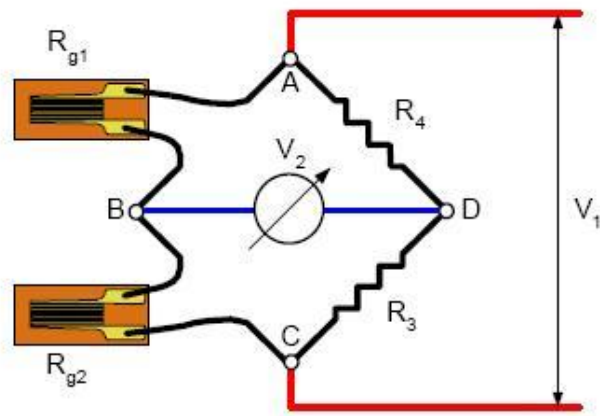


Figura 8 - Ligação em Meia Ponte (UNICAMP, 2013).

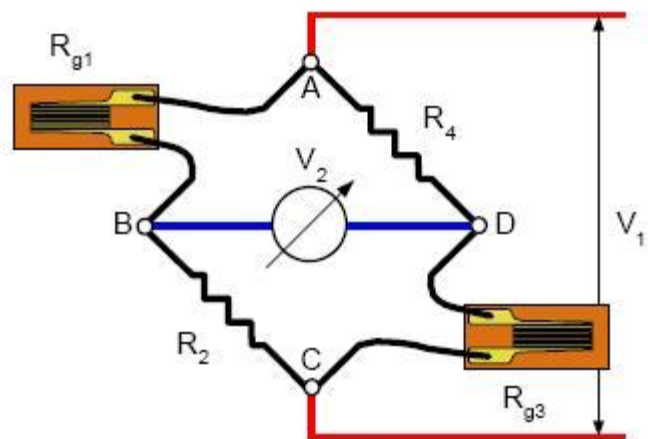


Figura 9 - Ligação em Meia Ponte Diagonal (UNICAMP, 2013).

- Ligação em “Ponte completa” – todos os extensômetros são ativos. Neste tipo de ligação o efeito da temperatura é eliminado (PEREIRA, 2012).

$$R_1=R_2=R_3=R_4 \rightarrow r=1$$

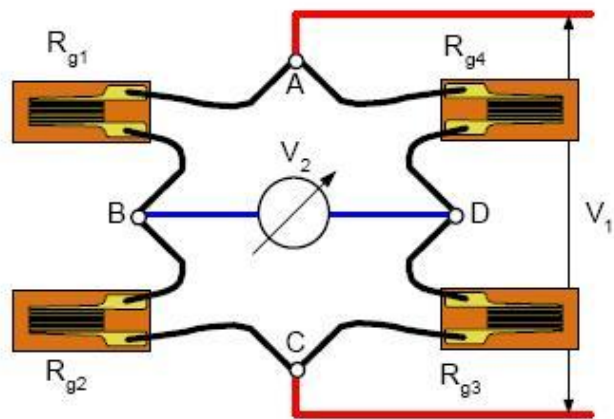


Figura 10 - Ligação em Ponte Completa (UNICAMP, 2013).

3.4 Transdutores

Segundo Júnior (2012), “transdutor é qualquer dispositivo capaz de transformar um tipo de sinal em outro para permitir um controle de processos físicos ou realizar uma medição”.

Geralmente, em análise experimental de estruturas, utilizam-se aparelhos mecânicos, elétricos, ópticos e acústicos para medição dos movimentos. Podemos citar alguns exemplos mecânicos podemos como relógios comparadores, quanto a elétrica podemos citar aparelhos resistivos e indutivos, quanto aos ópticos temos a mira telescópica e a interferometria a laser, e por fim quanto a acústica podemos citar os transdutores de corda vibrante (JUNIOR, 2012).

Segundo Junior (2012), um transdutor é constituído basicamente de elemento elástico, extensômetros e circuitos compensadores e Invólucro externo. O elemento elástico é a peça que sofre a deformação, devido a carga aplicada sobre ela. Os extensômetros são colados no elemento elástico, e apresentam uma pequena variação de resistência elétrica, proporcional a deformação sofrida pelo corpo. O invólucro externo serve de proteção para os extensômetros e as ligações, evitando contato com poeira, umidade, ou até mesmo danos mecânicos.

Podemos citar que os principais tipos de transdutores construídos com extensômetros são:

- Transdutor de carga (célula de carga);
- Transdutor de pressão;
- Transdutor de deslocamento;
- Transdutor de inclinação;
- Transdutor de aceleração (acelerômetro);

A Figura 11 ilustra alguns exemplos de geometria do elemento elástico dos transdutores.

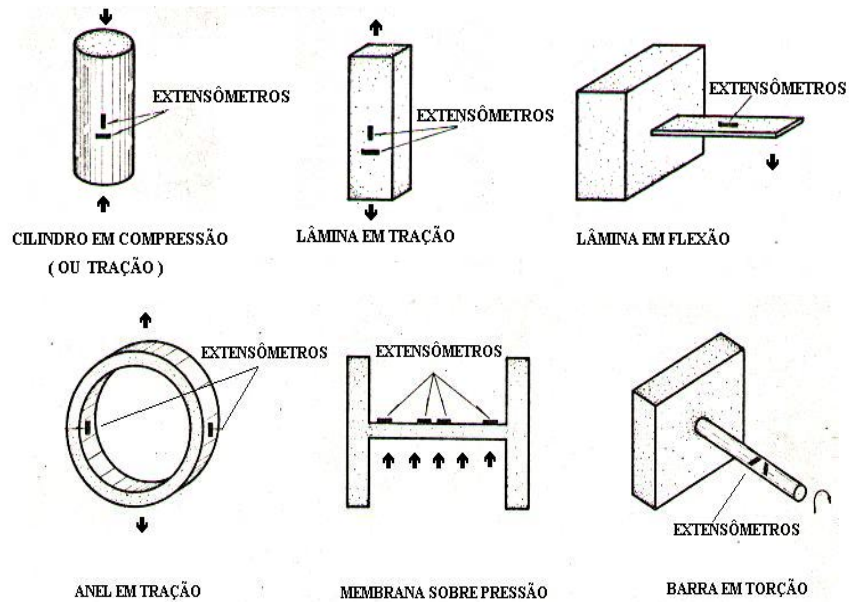


Figura 11 - Tipos de transdutores (JUNIOR, 2012).

A Figura 12 mostra alguns exemplos de células de carga comumente encontradas comercialmente:



Figura 12 - Produtos comerciais de transdutores (UFSC, 2012).

3.4.1 Transdutores de carga (células de carga)

O tipo mais comum de transdutor de força é a chamada célula de carga, geralmente utilizada em balanças. A maioria das células de carga são baseadas em um elemento elástico e em elementos resistivos ou indutivos de deslocamento ou de deformação.

O princípio de funcionamento da célula de carga consiste na variação de resistência ôhmica do sensor, denominado extensômetro, que é fixado em uma estrutura rígida, e submetida a uma deformação. Normalmente, as células de carga utilizam quatro extensômetros ligados entre si em circuito de Ponte de Wheatstone (conforme Figura 13), e o desbalanceamento da mesma em virtude da deformação dos extensômetros é proporcional à força aplicada. (MIROTTI, 2008)

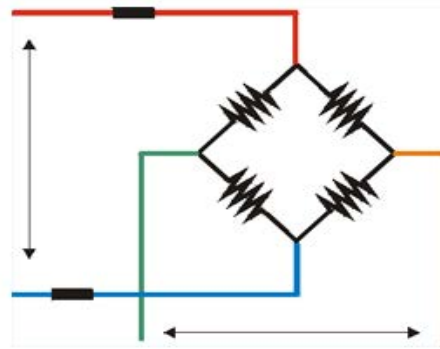


Figura 13 - Ponte de Wheatstone (PRIMAX, 2012).

Nas células de carga normalmente, são utilizadas pontes completas, ou seja, os quatro resistores ativos.

Dois fatores fundamentais que caracterizam a deformação do material são: a forma geométrica do mesmo e seu módulo de elasticidade.

As variações de capacidade nominal das células de carga abrangem um intervalo grande, desde 5 N e chegam até 50 MN, sendo um sistema de medição amplamente utilizado (UFSC, 2012).

A Figura 14 mostra alguns exemplos de células de carga encontradas no mercado.



Figura 14 - Exemplos comerciais de células de carga (UFSC, 2012).

As células de carga tem maior utilização na indústria, para pesagens de tanques, plataformas de pesagem, medição de nível, dinamômetros, correias transportadoras, silos, automatização de processos, entre diversas outras aplicações.

A Figura 15 ilustra uma plataforma de pesagem, destacando a localização da célula de carga na mesma.

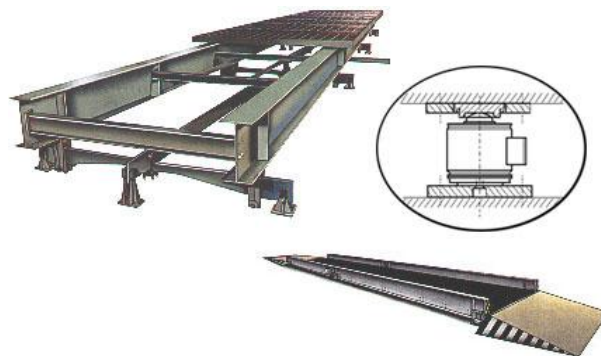


Figura 15 - Posicionamento da célula de carga sobre a plataforma (“PORTAL CÉLULA DE CARGA”, 2013).

3.5 Pesagem Rodoviária

“Através das Resoluções do CONTRAN nº 210/06 e 211/06 e Portaria do DENATRAN nº 63/2009, de 31/03/2009, (que homologou os veículos e combinações de veículos de carga e passageiros, com seus respectivos limites de comprimento, peso bruto total – PBT e peso bruto total combinado – PBTC, revogando os anteriores estabelecidos pelas Portarias do DENATRAN nº 93/2008, 60/2008 e 86/2007), foram regulamentados os artigos 99 e 100 do Código de Trânsito Brasileiro, estabelecem que somente poderão transitar pelas vias terrestres veículo cujo peso e dimensões atendam aos limites estabelecidos pelo CONTRAN e que ainda nenhum veículo ou combinação de veículos poderá transitar com lotação de passageiros, peso bruto total, ou peso bruto total combinado com peso por eixo, superior ao fixado pelo fabricante, nem ultrapassar a capacidade máxima de tração”.

Segundo DNIT (2009), “o limite de peso para circulação de veículos ou Combinações de Veículos – CVC nas vias terrestres será o **menor valor** entre o PBT/PBTC estabelecido pelo CONTRAN (conforme determina o art. 99 do CTB) e o PBT/CMT fixado pelo fabricante (por imposição do art. 100 do CTB)”.

O art. 99 do Código de Trânsito Brasileiro diz “somente poderá transitar pelas vias terrestres o veículo cujo peso e dimensões atenderem aos limites estabelecidos pelo CONTRAN”.

Já o art. 100 do mesmo CTB explicita que “nenhum veículo pode transitar com o peso bruto total ou peso bruto total combinado superior ao fixado pelo fabricante”.

Devido a necessidade de suprir a incerteza do equipamento de medição, a legislação admite uma tolerância de 5% sobre os pesos regulamentares (PBT/PBTC) conforme determinado pela Lei nº 7.408/85. (DNIT, 2009)

A legislação prevê, além das restrições para limite de pesos, também restrições para as dimensões dos veículos, porém neste trabalho o foco é apresentar o sistema de pesagem (DNIT, 2009).

3.5.1 Sistema de Pesagem

O método adotado para se realizar a pesagem varia de rodovia para rodovia. A seguir será mostrado o esquema utilizado em uma balança na Rodovia Presidente Dutra, na região de Guararema, onde são realizadas duas pesagens, a primeira balança, apresentada na Figura 16,

faz apenas medição superficial, indicando apenas se o PBT (Peso Bruto Total) do veículo está dentro do permitido conforme estabelecido pelo CONTRAN, e nos informa o tipo de veículo de acordo com a quantidade e grupo de eixos. Caso o valor do PBT inferido esteja abaixo do permitido, o veículo é liberado para seguir viagem, com sinalização verde (à esquerda) conforme apresentado na Figura 17. Caso seu peso esteja próximo do limite permitido ou superior a este, então a sinalização de “saída” (à esquerda) acusa a cor vermelha, e a de “pesagem” (à direita) cor verde, levando o veículo a seguir para a segunda balança, onde ocorre uma pesagem com maior precisão.



Figura 16 - Primeira Balança no procedimento de pesagem.



Figura 17 - Resultado da primeira pesagem.

A Figura 17 ilustra a esquerda o caminho de volta a rodovia, e a direita o caminho para a segunda balança, indicando além do PBT, a classificação do veículo de acordo com a quantidade de eixos.

PAT Traffic		CCR NovaDutra								
Pesagens (F5)		Faixas de rolamento (F6)								
Nr. Pesagem	Nr. Pes. Dia	Hora	Class	Velocid	PBT	PBT Máximo	Grupo 1	Grupo 2	G	
1403771	3910	14:05:54	252	39,1	18823	34650	(1) 4066	(1) 7425		
1403770	3909	14:05:47	353	46,2	41471	47250	(1) 5994	(2) 12604		
1403769	3908	14:05:36	2CC	47,4	6224	6300	(1) 2777	(1) 3447		
1403768	3907	14:05:31	2C	(*)58,1	8607	11550	(1) 2876	(1) 5731		
1403767	3906	14:05:30	253	(*)58,1	40159	43575	(1) 5967	(1) 8419		
1403766	3905	14:05:26	253	52,9	39789	43575	(1) 5811	(1) 9826		
1403765	3904	14:05:20	2CC	39,1	4810	6300	(1) 2267	(1) 2543		
1403764	3903	14:05:15	252	43,9	15756	34650	(1) 4532	(1) 4329		
1403763	3902	14:05:05	2C	41,9	6115	11550	(1) 3005	(1) 3110		
1403762	3901	14:04:57	252	(*)56,3	19143	34650	(1) 4994	(1) 5517		
1403761	3900	14:04:50	3C	51,4	9209	19425	(1) 2787	(2) 6422		
1403760	3899	14:04:24	252	42,9	17250	34650	(1) 5136	(1) 4441		
1403759	3898	14:03:51	3C	36,0	17613	19425	(1) 5070	(2) 12543		
1403758	3897	14:03:46	2C	38,3	8147	11550	(1) 3647	(1) 4500		
1403757	3896	14:03:38	252	43,9	18065	34650	(1) 4688	(1) 6152		
1403756	3895	14:03:10	352	37,5	34104	42000	(1) 5470	(2) 13046		
1403755	3894	14:02:48	3C	47,4	9034	19425	(1) 2867	(2) 6167		
1403754	3893	14:02:27	252	48,6	18919	34650	(1) 4214	(1) 5647		
1403753	3892	14:02:22	3C	(*)56,3	22650	19425	(1) 5821	(2) 16837		
1403752	3891	14:01:59	313	(*)56,7	51110	47250	(1) 6284	(2) 17601		
1403751	3890	14:01:45	252	26,1	15575	34650	(1) 5130	(1) 3807		
1403750	3889	14:01:40	252	26,5	17693	34650	(1) 5592	(1) 4831		

Figura 18 - Resultados apresentados na primeira pesagem

A Figura 18 mostra os resultados da primeira pesagem, acusando em cor vermelha os veículos que apresentem PBT/PBTC acima do permitido, e deverão seguir para a segunda balança.

Por apresentar maior precisão, a velocidade limite da segunda balança é menor, em torno de 10 km/h, e apresenta além do PBT, o peso por eixo dos veículos, conforme mostra a Figura 19.



Figura 19 - Segunda Balança de Pesagem.

Placa	Clas	PBT	Limite	Exc.PBT	Vel	Cor	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
F0146	2S1	17420	26000		9,1	0	4800	5090	7530	
5910	2S1	1500	26000		77,5	0	660	440	400	
5909	2CC	2170	16000		32,2	0	1210	960		
W8096	2C	9910	16000		3,6	0	2890	7020		
37230	2S1	17150	26000		8,3	0	4760	5470	6920	
E6103	3C	18650	18500		6,6	0	4490	14160		
S2412	2S3	20810	33000		7,4	0	5890	6680	8240	
E6103	3C	18560	18500		3,4	0	4510	14050		
33333	2S3	38830	41500		6,5	0	5060	11130	22640	
U0965	2S3	43900	41500	320	5,7	0	5590	10030	28280	
K1555	3C	19880	23000		5,5	0	6680	13200		
S9655	3C	18760	23000		4,1	0	4500	14260		
O3620	2C	11020	16000		7,6	0	3010	8010		
	2CC	1150	16000		11,4	0	690	460		
O5908	2C	10190	16000		7,6	0	3640	6550		
S2412	3C	19980	23000		8,4	0	6860	13120		
K1555	2S3	19730	23000		16,1	0	5970	5920	7840	
O5907	3C	19610	23000		13,6	0	6770	12840		

Figura 20 – Resultados apresentados na segunda pesagem.

A multa para excesso de peso é calculada levando-se em consideração três aspectos, primeiramente leva-se em conta o valor relacionado ao PBT/PBTC (Peso Bruto Total/ Peso Bruto Total Combinado, que está incluso o peso do veículo mais a carga transportada), que apresenta margem de tolerância de 5% sobre o máximo valor aceito pela norma.

Destaca-se também a pesagem de carga por eixo, levando em consideração que há um limite de tolerância de 7,5% para cada grupo de eixos.

Por fim, é somado ao valor da multa, o valor de R\$ 85,13 referente à infração do tipo médio que é como a infração por excesso de peso é classificada, de acordo com inciso V do Art. 231 do CTB. Portanto, o valor final da multa é a soma destes três encargos discriminados nos parágrafos anteriores.

Separadamente, é levada em conta a resolução 258/07 que classifica a infração cometida para veículos que ultrapassem a Carga Máxima de Tração (CMT) estabelecido para cada veículo, introduzido pelo inciso X do artigo 231 do CTB como infração que varia de média a gravíssima, conforme classificação informada no parágrafo seguinte.

“Com excessos até 600 kg, a infração será média (R\$ 85,14). Entre 601 kg a 1.000 kg, a infração será grave (R\$ 127,69). Acima de 1.000 kg, a infração será considerada gravíssima e punida com multa de R\$ 191,54 aplicada a cada 500 kg ou fração de excesso de peso” (*“Portal do Transportador”, 2013*).

A Tabela 1, retirada do site do DNIT (2009), ilustra a carga máxima permitida por eixo, conforme Resolução nº 210/06 do CONTRAN, apresentando as devidas tolerâncias.

Tabela 1 - PBT para cada tipo de Veículo (DNIT, 2009).

EIXO ou CONJUNTO DE EIXOS	RODAGEM	SUSPENSÃO	ENTRE-EIXOS (m)	CARGA (kg)	TOLERÂNCIA (7,5%)
Isolado	Simples	Direcional	-	6.000	6.450
Isolado	Simples	Direcional	-	6.000	6.450
Isolado	Dupla	-	-	10.000	10.750
Duplo	Simples	Direcional	-	12.000	12.900
Duplo	Dupla	Tandem	>1,20 ou ≤ 2,40	17.000	18.280
Duplo	Dupla	Não em Tandem	>1,20 ou ≤ 2,40	15.000	16.130
Duplo	Simples + Dupla	Especial	< 1,20	9.000	9.680
Duplo	Simples + Dupla	Especial	>1,20 ou ≤ 2,40	13.500	14.520
Duplo	Extra larga	Pneumática	>1,20 ou ≤ 2,40	17.000	18.280
Triplo	Dupla	Tandem	>1,20 ou ≤ 2,40	25.500	27.420
Triplo	Extra larga	Pneumática	>1,20 ou ≤ 2,40	25.500	27.420

A Tabela 2 apresenta um exemplo de fabricante com seus respectivos modelos de veículos homologados para o transporte de carga e/ou passageiros, de acordo com o CONTRAN. Na tabela em questão, são indicados os limites de Peso Bruto Total (PBT) e Capacidade Máxima de Tração (CMT).

Tabela 2 – Tabela do fabricante indicando CMT e PBT de cada veículo (DNIT, 2009).

FIAT/IVECO							
MODELO/ TRACÇÃO	PBT (kg)					CMT (kg)	OBSERVAÇÕES
	2C/ 2CB	3C/ 3BC	3CD/3DC 3CB/3BB	4CD/ 4DB	4DD/4DC 4CB/4BD		
A	D	E	F	G	H	I	N
120C	11800					19100	Caminhão
120C		19100				19100	Caminhão
120L	11800					19100	Caminhão
120L		19100				19100	Caminhão
120N	11800					19100	Caminhão
120N		19100				19100	Caminhão
120NB		19000				19000	Caminhão
120SL	11800					19100	Caminhão
120SL		19100				19100	Caminhão
1300ND	13000					13000	Caminhão
130C	13500					24000	Caminhão
130C		21500				24000	Caminhão
130L	13500					24000	Caminhão
130L		21500				24000	Caminhão
130N	13500					24000	Caminhão
130N		21500				24000	Caminhão
130SL	13500					24000	Caminhão
130SL		21500				24000	Caminhão
1400ND	13500					25000	Caminhão
140C	14500					25000	Caminhão
140C		21500				25000	Caminhão
140L	14500					25000	Caminhão
140L		21500				25000	Caminhão
140N	14500					25000	Caminhão
140N		21500				25000	Caminhão
140N3		23000				25000	Caminhão
140SL	14500					25000	Caminhão
140SL		21500				25000	Caminhão
170E25N	16000					33000	Caminhão
170E25N		23000				33000	Caminhão
180C	16000					40000	Caminhão

4. METODOLOGIA

Este trabalho apresenta os cálculos para projeto de um transdutor de carga, no caso, o modelo binocular. A escolha por este modelo de transdutor foi idealizada em virtude de sua facilidade de confecção, em relação a outros modelos disponíveis no mercado.

Tendo estipulada a carga a ser aplicada, pode-se dimensionar a espessura “e” necessária para que nosso equipamento trabalhe de forma eficaz e segura. Na Figura 21 tem-se o desenho da peça que será utilizada nos cálculos, com as cotas necessárias para o desenvolvimento dos cálculos. Além disso, no desenho pode-se notar a disposição dos extensômetros (numerados de 1 a 4).

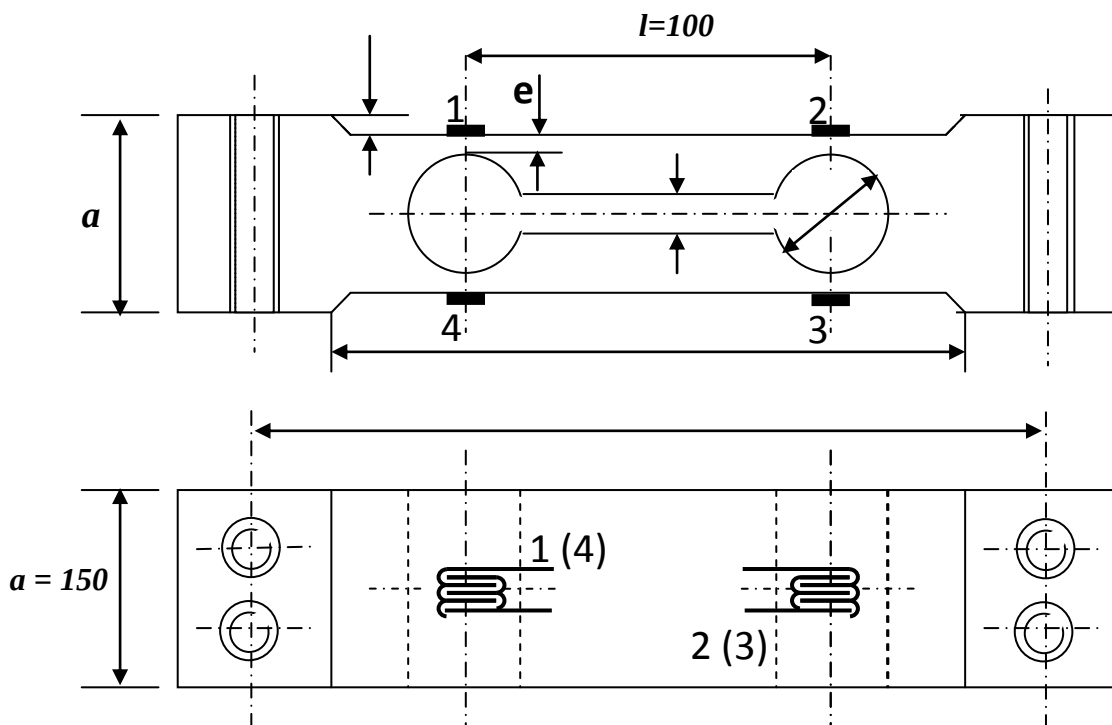


Figura 21 - Desenho Esquemático do transdutor

O trabalho foi realizado de forma totalmente teórica, seguindo fielmente os conceitos da literatura apresentada nas referências bibliográficas deste trabalho. Portanto, afirma-se que os cálculos podem ser estendidos para aplicações em diferentes condições de operações, respeitando-se as devidas proporções.

A Figura 22 mostra uma peça com geometria binocular real, conforme a utilizada nos cálculos e a Figura 23 ilustra o posicionamento dos extensômetros conforme apresentado anteriormente na Figura 21.

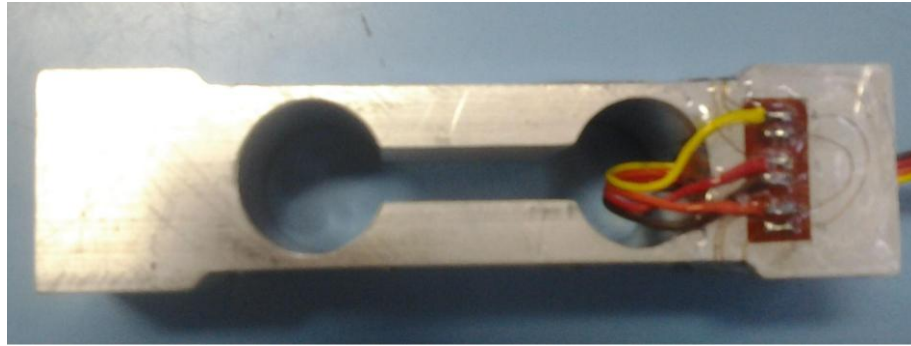


Figura 22 – Célula de carga de geometria binocular



Figura 23- Indicação da posição dos extensômetros na célula

Para este experimento foi considerado Ponte de Wheatstone completa, posicionando dois extensômetros de cada lado da peça, de acordo com a Figura 21, sendo resistor R1 paralelo a R4, e o resistor R2 paralelo a R3.

Ao ser submetida à aplicação de carga, a célula reage como o exemplo apresentado na Figura 24, com cada lado, tanto inferior como superior, sofrendo tração e contração ao mesmo tempo. Isso explica o posicionamento dos extensômetros.

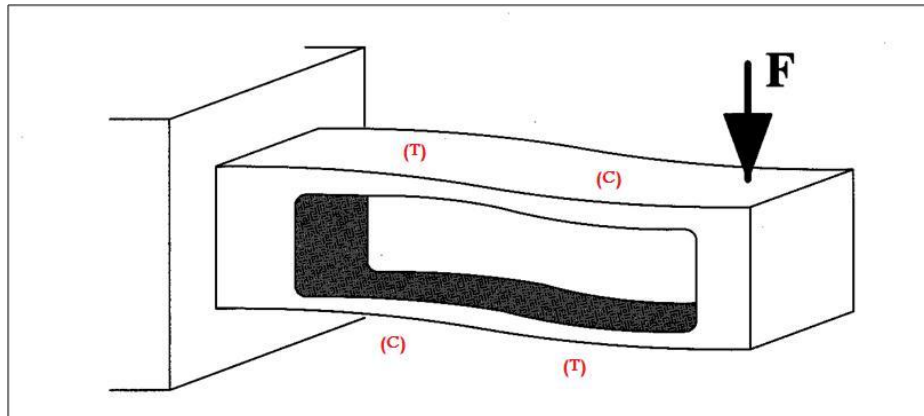


Figura 24 - Reação da célula ao ser submetida a aplicação de carga

Foram realizados os cálculos para dois tipos de materiais diferentes (Aço e Alumínio) onde se pode observar com os resultados, a diferença necessária na espessura da célula para que ambas possam trabalhar de forma segura.

Na figura 24, pode-se observar o comportamento (em relação aos tipos de esforços), que ocorrem em uma célula de carga do tipo binocular, onde, em virtude de uma maior concentração de massa nos extremos da célula (vide figura 23), além do rasgo interno, fazem com que estes esforços apresentem-se diferentes de uma viga engastada com um carregamento concentrado localizado na extremidade oposta a vinculação.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Baseando-se na teoria, definida a geometria (binocular) e o material a ser utilizado em uma célula de carga, será determinada a espessura necessária para atender ao esforço solicitado para a célula.

Para o primeiro cálculo utilizamos o alumínio como material da célula de carga, e definimos a carga a ser aplicada. Em um segundo momento, realizamos o mesmo procedimento sob as mesmas condições, porém alterando apenas o material, dessa vez utilizando o aço.

Para o estudo adotamos uma carga de $m = 5$ toneladas (5000 kg) ou seja, $F = 49,1$ kN, altura de $l = 100$ mm de comprimento entre os centros das circunferências, $a = 150$ mm que corresponde a altura e largura da peça conforme indicado na Figura 21.

Adotada a carga a ser utilizada para a célula, e com o auxílio das equações que serão apresentadas, será possível definir a espessura “e”, conforme apresentado na Figura 21. Para facilitar o entendimento, são listados os parâmetros utilizados em nosso estudo:

Sendo:

P = carga aplicada;

a = largura da célula de carga;

l = comprimento da região sensível da célula de carga onde serão colados os strain gages;

E = módulo de elasticidade do material da célula de carga;

1,08 = corresponde a 8% de acréscimo no sinal para compensar a inserção dos resistores de ajuste;

1º caso

Dados relativos ao material:

Material: Alumínio

$E = 70$ GPa ($0,71 \cdot 10^6$ kgf/cm²)

$P = 5000$ kgf

Definidos os parâmetros utilizados, pode-se efetuar os cálculos:

➤ Momento Fletor na posição do gage.

$$M = \frac{Pl}{4} \leftrightarrow M = 5000 \cdot \frac{10}{4} = 12500 \text{ kgf.cm} \quad (4)$$

➤ Módulo de resistência à flexão.

$$W = \frac{ae^2}{6} \leftrightarrow W = \frac{15 \cdot e^2}{6} = 2,5e^2 \quad (5)$$

➤ Tensão normal devido à flexão.

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{3Pl}{2ae^2} \leftrightarrow \sigma = \frac{12500}{2,5e^2} = \frac{5000}{e^2} \quad (6)$$

➤ Deformação Específica, devido à flexão.

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{3Pl}{2Eae^2} \quad (7) \quad \Rightarrow \quad \text{Para a condição de projeto } 2mV/V, \text{ tem-se:}$$

$$\frac{\Delta E}{V} = k\varepsilon \quad \varepsilon = \frac{1}{k} \left(\frac{\Delta E}{V} \right) \cong \frac{1}{2} \cdot \frac{2mV}{V} = \frac{1mV}{V} = 1 \cdot 10^{-3}$$

$$\varepsilon = 1000 \cdot 10^{-6}$$

Substituindo as equações 4, 5, e 6 na equação 7, tem-se:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \leftrightarrow \varepsilon = \frac{5000}{e^2} \cdot \frac{1}{0,71 \cdot 10^6} \leftrightarrow$$

$$e = \sqrt{\frac{5000}{0,71 \cdot 10^6 \cdot 10^{-3} \cdot 1,08}} \leftrightarrow e = 2,76 \text{ cm} = \underline{\underline{27,6 \text{ mm}}}$$

Portanto, tem-se que a espessura “e” deve ser igual a 27,6 mm.

2º caso

Dados relativos ao material:

Material: Aço
 $E = 200 \text{ GPa} (2,04 \cdot 10^6 \text{ kgf/cm}^2)$
 $P = 5000 \text{ kgf}$

No segundo caso, será realizado o mesmo procedimento, entretanto, dessa vez será utilizando o aço como material.

➤ Momento Fletor na posição do gage.

$$M = \frac{P l}{4} \leftrightarrow M = 5000 \cdot \frac{10}{4} = 12500 \text{ kgf.cm} \quad (5)$$

➤ Módulo de resistência à flexão.

$$W = \frac{ae^2}{6} \leftrightarrow W = \frac{15 \cdot e^2}{6} = 2,5e^2 \quad (8)$$

➤ Tensão normal devido à flexão.

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{3Pl}{2ae^2} \leftrightarrow \sigma = \frac{12500}{2,5e^2} = \frac{5000}{e^2} \quad (9)$$

➤ Deformação Específica, devido à flexão.

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{3Pl}{2Eae^2} \quad (10) \quad \Rightarrow \quad \text{Para a condição de projeto } 2mV/V, \text{ tem-se:}$$

$$\frac{\Delta E}{V} = k\varepsilon \quad \varepsilon = \frac{1}{k} \left(\frac{\Delta E}{V} \right) \cong \frac{1}{2} \cdot \frac{2mV}{V} = \frac{1mV}{V} = 1 \cdot 10^{-3}$$

$$\varepsilon = 1000 \cdot 10^{-6}$$

Isolando-se a variável “e” na Equação 10, tem-se:

$$e = \sqrt{\left(\frac{3Pl}{2Ea\varepsilon} \right) \cdot 1,08} \leftrightarrow e = \sqrt{\left(3 \cdot 5000 \cdot \frac{10}{2 \cdot 2,04 \cdot 10^6 \cdot 15 \cdot 10^{-3}} \right) \cdot 1,08} = 1,63$$

$$\text{cm} = \underline{\underline{16,3 \text{ mm}}}$$

Para o Aço tem-se a espessura e= 16,3 mm.

Relação entre as espessuras encontradas:

$$\frac{e(Al)}{e(Aço)} = \frac{2,76}{1,63} = 1,69$$

Comparando as espessuras encontradas nos cálculos nota-se que para a célula de alumínio a espessura deve ser consideravelmente maior do que a apresentada para célula de carga de aço, de acordo com os cálculos a relação entre as espessuras é maior que 1,5.

Isso pode ser explicado devido ao alumínio apresentar baixo módulo de elasticidade do material, geralmente $1/3$ do apresentado no aço, fazendo com que sua deformação seja maior do que a do aço.

6. CONCLUSÃO

- O estudo foi realizado para dimensionar uma célula de carga em uma importante aplicação nos dias atuais, a utilização em balanças rodoviárias, tendo o foco em projetar a espessura necessária para a célula, mostrar os parâmetros que são avaliados no sistema de pesagem rodoviária, que tem a função de evitar a circulação de veículos com excesso de carga
- Para o entendimento da célula de carga, introduzimos conceitos básicos sobre deformações, Ponte de Wheatstone e extensometria. Feito isso, foi possível relatar o procedimento utilizado em um posto de pesagem na Rodovia Presidente Dutra, mais especificamente na região de Guararema (SP), onde foi feita uma visita para obtenção de informações e materiais para realização deste trabalho.
- Analisando os dados obtidos e o estudo feito na seção “Resultados e Discussões” nota-se que as características dos materiais influenciam significativamente no dimensionamento da célula de carga, visto a diferença de espessura necessária para os dois casos de células de carga submetidas a mesma situação variando apenas o material entre elas, foi obtido uma relação entre espessuras de acima de 1,5. Como o estudo foi realizado para utilização em balanças rodoviárias, apesar de ser utilizada a carga de 5000 kg, cabe ressaltar que podem ser utilizadas células em série para leitura de cargas maiores.
- Outro ponto a ressaltar é que apesar do trabalho ter sido feito totalmente de forma teórica, seguimos fielmente a literatura, sendo assim, ele pode ser usado de base para futuros projetos com aplicações práticas, respeitando-se as devidas proporções.
- Com isso podemos concluir que o trabalho atingiu o objetivo esperado, que era apresentar como dimensionar uma célula de carga para uma dada situação em que seja necessário ser submetida.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEER, F. P.; JOHNSTON JUNIOR, E. Russel. **Resistência dos Materiais**, São Paulo: Makron Books, 1995.

DALLY, James W.; RILEY, William F.; MCCONNELL, Kenneth G. **Instrumentation for Engineering Measurements**. United States: John Wiley & Sons, Inc., 1993.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. Plano diretor nacional estratégico de pesagem: Audiência pública. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/rodovias/operacoes-rodoviaras/pesagem/audienciapublica-pdnet.pdf>>. Acesso em: Set. de 2012.

GRUPO DE ANÁLISE E PROJETO MECÂNICO (Universidade Federal de Santa Catarina). Disponível em: <<http://www.grante.ufsc.br/~carol/wp-content/uploads/2008/06/aplica.pdf>>. Acesso em: Nov. 2012.

GUIA DO TRANSPORTADOR. Informações sobre o sistema de pesagem. Disponível em: <<http://www.guiadotrc.com.br/guiadotransportador/caminhao.asp>>. Acesso em: Mar. 2013.

HIBBELER, R.B. – **Resistência dos Materiais**, São Paulo: Pearson, 5ª Ed., 2004.

INSTITUTO DE FÍSICA DA UNICAMP. Conceito sobre Ponte de Wheatstone. Disponível em: <http://www.ifp.unicamp.br/leb/f329-06/4_ponte_de_Wheatstone.pdf>. Acesso em: Mar. 2013.

JUNIOR, E.B. - **Apostila Extensometria Módulo III**, 2012, Não Publicado.

LABMETRO – Apostila Departamento de Engenharia Mecânica- UFSC, 2012, Não Publicado.

MIROTTI, Mauricio. Definição de célula de carga. Disponível em: <http://www.primaxbalancas.com.br/site200801a/celulas_conceito.htm>. Acesso em: Set. de 2012.

PEREIRA, C. P.M. – **Apostila Mecânica dos Materiais Avançados**, 2012, Não Publicado.

PETERSON, R.E. **Stress Concentration Design Factors**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1953.

PORTAL CÉLULA DE CARGA. Conceitos sobre Célula de carga. Disponível em: <<http://www.celuladecarga.com.br>>. Acesso em: Jan. 2013

UNIVERSITY OF DELAWARE. Conceito de extensômetro. Disponível em: <<http://www.eecis.udel.edu/~portnoi/academic/academic-files/extensometria.html>>. Acesso em: Mar. 2013.