

DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA DE ENSAIO PARA A ANÁLISE DA DEFORMAÇÃO E MÓDULO DE ELASTICIDADE DE UMA VIGA FLEXÍVEL DE AÇO INOXIDÁVEL

Mara Alice Batista dos Santos, malicebatista@outlook.com¹

Jakson dos Santos Silva, jakson.silva@alunos.ufersa.edu.br¹

Walber Medeiros Lima, walber@ufersa.edu.br¹

Jackson de Brito Simões, jackson.simoes@ufersa.edu.br¹

Marcus Vinícius Silvério Costa, marcus.costa@ufersa.edu.br¹

¹Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Av. Universitária, Sítio Esperança II, Zona Rural, Caraúbas - RN, Brasil.

Resumo: O presente trabalho descreve o desenvolvimento de uma bancada de ensaio experimental de baixo custo para a análise da deformação e do módulo de elasticidade de uma viga flexível de aço inoxidável. Na bancada proposta, extensômetros de resistência elétrica são usados para medir a deformação de uma viga flexível simplesmente engastada. Um sistema de aquisição de dados da Agilent foi utilizado para determinar os valores das deformações provocadas por forças estáticas aplicadas na extremidade livre da viga flexível, através dos métodos dos 4 fios e da ponte Wheatstone. Com os valores medidos de deformação, plotou-se um gráfico da deformação versus a força aplicada na extremidade livre da viga para cada método utilizado. Os resultados experimentais demonstram que os valores de deformação, obtidos pelos métodos dos 4 fios e da ponte Wheatstone, são aproximadamente iguais e linearmente proporcionais aos valores das forças aplicadas e, além disso, que o módulo de elasticidade obtido está de acordo com a literatura.

Palavras-chave: Deformação, Módulo de elasticidade, Extensômetro de resistência elétrica, Viga, Aço Inoxidável.

1. INTRODUÇÃO

As vigas são consideradas como elementos estruturais e mecânicos mais importantes na engenharia devido a sua ampla funcionalidade. A utilização dessas vigas aumentou expressivamente nas últimas décadas diante de toda a sua relevância e aplicabilidade, acarretando imensos benefícios para a sociedade como: estruturas de pontes, asas de aviões, eixos de automóveis e dentre outros (Hibbeler, 2010 e Soares, 2011). As vigas estão frequentemente sujeitas a perturbações internas e externas, provocando deformações e/ou vibrações indesejadas que podem colocar em risco a própria integridade estrutural do sistema (Teixeira, 2001).

O processo de análise da deformação sofrida por um elemento é de grande importância em diversas aplicações industriais, espaciais, assim como para a pesquisa. Nessa análise, avalia-se a resistência do material quando submetido a tensões mecânicas para determinar quais os esforços envolvidos em uma peça e/ou estrutura, obtendo informações que servem de base para o projeto e o desenvolvimento de componentes e máquinas (Leuckert, 2000).

As tensões mecânicas podem levar a falha por sobrecarga ou desgaste durante a vida. Isso deve-se a uma má avaliação das tensões mecânicas existentes e, por consequência, a errônea determinação de parâmetros de projeto (Grante, 2004). Essa negligência pode ocorrer por falta de uma instrumentação apropriada devido aos altos valores para adquiri-los.

Nesse contexto, a indústria e diversos centros de pesquisas têm se dedicado à análise de uma peça e/ou estrutura mecânica, levando em consideração as constantes perturbações, a fim de obter informações relacionadas as deformações e vibrações, que podem vir a comprometer-lá, além de constatar medidas capazes de solucionar ou amenizar esses problemas (Soares, 2011 e Teixeira, 2001).

Embora já existam técnicas para a medição de deformação, necessita-se adotar a que mais se adequa às características do sistema estrutural, apresentando maior nível de exatidão e baixo custo (Silva, 2012). O extensômetro de resistência elétrica (ERE) é um dos sensores comumente utilizado para medição de deformação (Silva *et al.*, 2019).

Desta forma, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de uma plataforma de teste de precisão e baixo custo para analisar as deformações e o módulo de elasticidade de uma viga de aço inoxidável simplesmente engastada submetida a perturbações externas. Esse trabalho, por sua vez, apresenta a seguinte estrutura: introdução, medições de deformação, materiais e métodos, resultados e conclusões.

2. MEDIÇÕES DE DEFORMAÇÃO

A mudança no formato e tamanho original de um corpo, quando submetido a uma determinada força, é denominada deformação (Hibbeler, 2010). Antes de realizar a análise da deformação numa estrutura submetida a uma tensão mecânica, é de extrema importância que haja primeiramente um conhecimento prévio sobre o grau ou a intensidade de deformação.

Existem diversos métodos práticos de medições, na qual se tornaram bastante conhecidos como os métodos mecânicos, os sensores de deformação ótica e os extensômetros de resistência elétrica (Pertence Júnior e Pertence, 2010).

2.1 Determinação da deformação de uma viga simplesmente engastada

O valor teórico referente à deformação sofrida por uma viga flexível simplesmente engastada, ilustrada na Fig. 1, quando submetida a uma força P (N), pode ser determinado a partir da Eq. 1, onde L é o comprimento do ponto de aplicação da força até o ponto onde foram posicionados os sensores, b é a largura da viga, t é a espessura da viga e E é o módulo de elasticidade da viga.

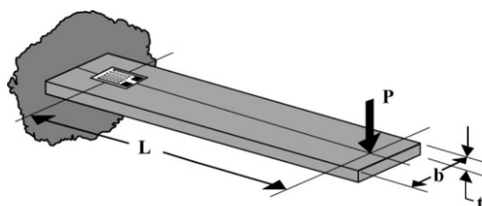


Figura 1: Viga flexível. Fonte: Autoria própria.

$$\varepsilon = \frac{6PL}{bt^2E} \quad (1)$$

2.2 Extensômetros de resistência elétrica (ERE)

Também conhecidos como *strain gauges*, os extensômetros de resistência elétrica, ilustrado na Fig. 2, são sensores constituídos de uma pequena e sensível grade composta de filamentos metálicos, podendo ser fixados diretamente na estrutura. Esses sensores são capazes de medir e transformar pequenas variações nas dimensões de uma viga em variações de resistência elétrica, quando submetidos a uma deformação mecânica (Lima *et al.*, 2007 e Pertence Júnior e Pertence, 2010).

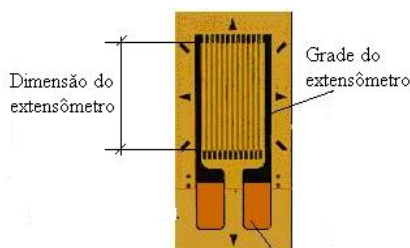


Figura 2: Extensômetros típicos. Fonte: Adaptado de Lima (2008).

As características e vantagens do sensor são inúmeras como: a alta precisão de medidas, pequeno tamanho e pouco peso, baixo custo, excelente linearidade, facilidade de instalação, excelente resposta estática e dinâmica, ampla faixa de temperatura, aplicável mesmo sob condições severas, efetua medidas à distância e dentre outros (Cardoso *et al.*, 2017 e Lima, 2008). Segundo Lima (2008), apesar dos extensômetros serem bastante utilizados, o número de fabricantes ainda se torna relativamente pequeno quando comparado ao seu vasto campo de aplicações.

Os sensores mais encontrados no mercado possuem resistências de 120, 350, 500 e 1000 Ω , sendo a resistência de 120 o mais popular (Andolfato *et al.*, 2004 e Grante, 2004).

Partindo do fato que os metais mudam de resistência quando submetidos a uma deformação, o princípio de funcionamento de um ERE pode ser compreendido analisando a resistência elétrica de um condutor cilíndrico de seção uniforme. Assim, realizando toda uma manipulação matemática embasada no funcionamento do condutor, deduz-se que a deformação é diretamente proporcional a uma variação relativa de resistência do sensor como apresentado na Eq. 2.

$$\varepsilon = \frac{1}{K} \frac{\Delta R}{R} \quad (2)$$

Portanto, a medida da deformação no ponto onde se encontra o sensor é obtida quando a constante K , fornecida pelo fabricante do extensômetro, e a variação relativa da resistência (ΔR) são conhecidas.

Segundo Magalhães (2003), diversos tipos de ERE estão disponíveis no mercado com diferentes classificações. Para compreender melhor o funcionamento do dispositivo, os modelos e suas particularidades, é necessário dividi-los em três aspectos: o material utilizado como elemento resistivo, o material utilizado como base e a configuração da grade.

O material utilizado como elemento resistivo pode ser do tipo fio metálico ou de lâmina. Dentre os diferentes tipos de extensômetros disponíveis, os de lâmina são os mais utilizados. Esses ERE, por sua vez, apresentam baixo custo, método de fabricação com variedade de tamanhos, bem como, maior estabilidade durante o ensaio e a exposição em diferentes temperaturas (Andolfato *et al.*, 2004 e Leuckert, 2000).

Os materiais normalmente utilizados para a base são: papel, poliamida, poliéster e epóxi, onde cada um se encaixa de acordo com as especificidades e finalidades do extensômetro (Andolfato *et al.*, 2004 e Lima, 2008).

As grades também possuem uma diversidade considerável no mercado em relação a sua geometria e o seu tamanho, podendo serem encontrados, em sua maioria, como: uniaxial, biaxial e triaxial (Cardoso *et al.*, 2017). O extensômetro uniaxial simples, ilustrado na Fig. 3, é constituído por 1 (uma) ou 2 (duas) grades e costuma ser utilizado quando deseja-se obter medições de deformações nas direções de 45 e 90° (Lima, 2008).

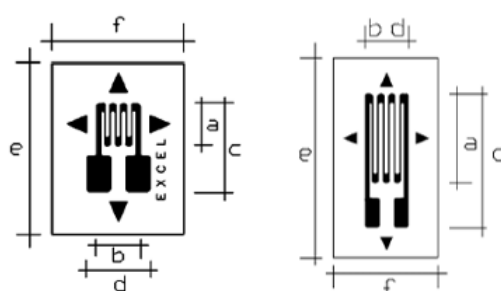


Figura 3: **Extensômetros uniaxiais simples: modelos AB e BA. Fonte: Adaptado de Lima (2008).**

Para definir corretamente o sensor a ser utilizado é necessário considerar 3 (três) fatores: a dimensão do extensômetro, a geometria da grade e o tipo de extensômetro (Magalhães, 2003 e Grante, 2004).

As dimensões do sensor são indicadas pelas letras a, b, c, d, e e f. Utilizando a Fig. 3 como exemplo, é possível identificar claramente cada uma dessas referências. Os parâmetros são definidos como sendo: o espaço ocupado pela grade (a e b), o espaço da grade com seus terminais (c e d) e o espaço da base (e e f), onde todos esses agrupamentos representam comprimento e largura, respectivamente, de cada parte (Excel, 2018).

A grade é a área responsável pela captação de deformação ocorrida na peça, logo sua escolha deve ser feita da forma mais adequada possível. Para as medições que ocorrem em apenas uma única direção ou em 2 (duas) direções conhecidas pelo aplicador, recomenda-se as configurações do extensômetro uniaxial e biaxial. No entanto, é preciso nesses 2 (dois) casos, que a geometria da grade seja posicionada de modo que a sua direção coincida com a mesma direção da deformação. Quando as direções das medições de deformação não são conhecidas o indicado é utilizar a configuração triaxial (Magalhães, 2003).

2.3 Ponte de Wheatstone

A ponte de Wheatstone de 2 (dois) elementos ativos, ilustrado na Fig. 4, é um circuito composto por 2 (duas) resistências R e 2 (dois) ERE ($R_G + \Delta R_G$) e ($R_G - \Delta R_G$), onde a resistência do ERE, para obtenção de uma medição de deformação, deve ser acrescida da resistência do fio (R_L) que conecta o ERE na ponte.

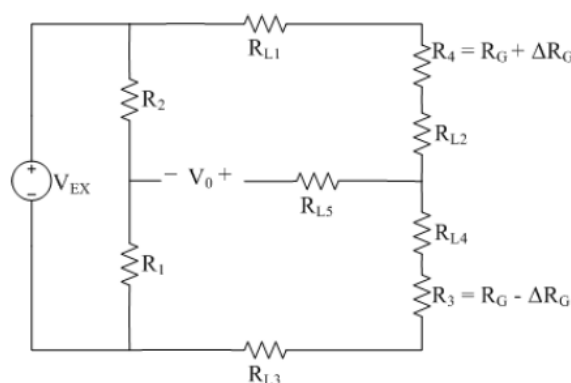


Figura 4: **Diagrama elétrico da Ponte de Wheatstone. Fonte: Adaptado de Lima (2008).**

O princípio de funcionamento é dado pela Eq. 3. Nessa equação, se o fator de sensibilidade do ERE (K), a tensão

elétrica de entrada (V_{EX}) da ponte, a resistência do fio (R_L) e a resistência do extensômetro (R_G) são conhecidos e medindo a tensão elétrica de saída (V_0) da ponte, obtêm-se a medição de deformação no ponto de fixação do ERE (Leuckert, 2000 e Magalhães, 2003).

$$\varepsilon = -\frac{2}{K} \frac{V_0}{V_{EX}} \left(1 + \frac{R_L}{R_G}\right) \quad (3)$$

2.4 Método dos 4 Fios

O método dos 4 fios, ilustrado na Fig. 5, bastante utilizada devido ao fato de eliminar a resistência dos fios conectados ao multímetro e possibilitar medir valores muito baixos de resistência elétrica com bastante precisão. Nesse método, a fonte de corrente DC fornece uma corrente elétrica estabilizada, medida pelo amperímetro (AM), que passa pela resistência a ser medida. Essa corrente faz gerar uma tensão na resistência elétrica, a qual é medida com um voltímetro (VM) de alta impedância por meio dos 2 (dois) fios condutores $P1$ e $P2$. Dessa forma, a resistência dos condutores exerce um efeito desprezível sobre a resistência a ser medida (Stief, 2009 e Lima, 2008).

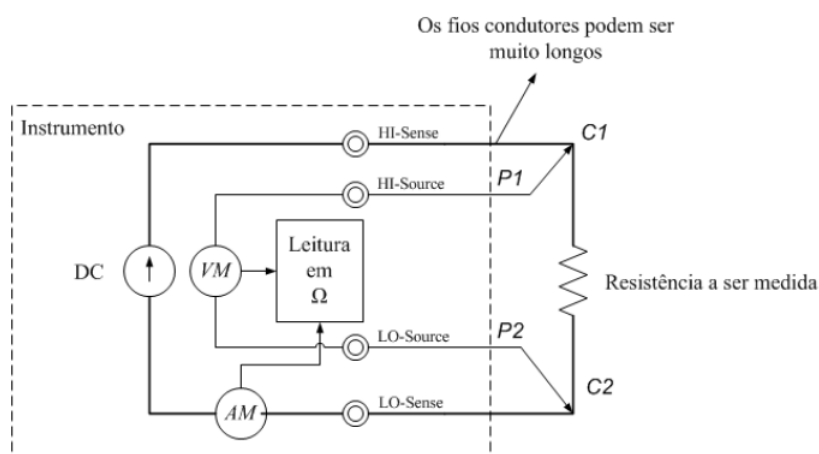
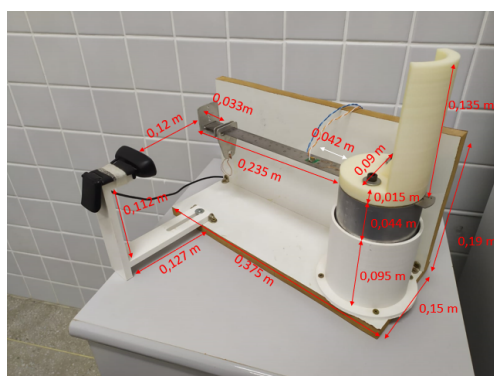


Figura 5: Diagrama elétrico do método dos 4 fios. Fonte: Adaptado de Lima (2008).

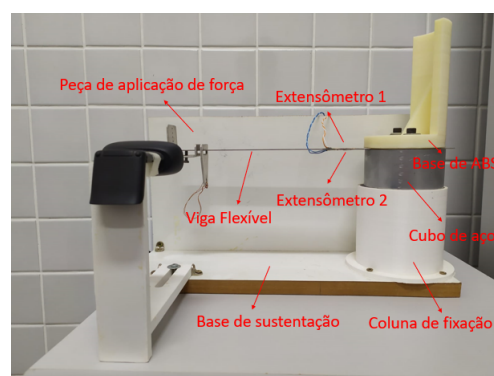
3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Plataforma Experimental

Na Figura 6, ilustra-se a plataforma experimental para análise da deformação e do módulo de elasticidade de uma viga simplesmente engastada. Essa plataforma é composta por 1 (uma) base de sustentação, 1 (uma) coluna de fixação, 1 (uma) viga flexível de aço inoxidável, 2 (dois) extensômetros de resistência elétrica, sendo 1 (um) na parte superior e 1 (um) na parte inferior da viga, e 1 (uma) peça de aplicação de força.



(a) Perspectiva isométrica 1



(b) Perspectiva isométrica 2

Figura 6: Plataforma Experimental. Fonte: Autoria própria.

A base de sustentação foi fabricada em MDF (“*Medium Density Fiberboard*”) com formato em “L”, apresentando uma espessura, largura, altura e comprimento de 0,015 m, 0,150 m, 0,190 m e 0,375 m, respectivamente.

A coluna de fixação foi fabricada em polímero ABS (“*Acrylonitrile Butadiene Styrene*”), numa máquina de prototipagem rápida, com formato de um cubo cilíndrico oco, apresentando uma altura externa, diâmetro e altura interna de

0,095 *m*, 0,095 *m* e 0,065 *m*, respectivamente. Essa coluna é fixada na base de sustentação por 4 (quatro) parafusos auto-atarraxantes.

A viga flexível apresenta uma espessura (*t*) de 0,001 *m*, uma largura (*b*) de 0,025 *m* e um comprimento (*L*) de 0,235 *m*. Essa viga foi fixada entre um cubo cilíndrico de aço, com diâmetro de 0,090 *m* e altura de 0,075 *m*, e uma base cilíndrica em polímero ABS com formato de “L”, fabricada numa máquina de prototipagem rápida, com diâmetro de 0,090 *m* e altura de 0,135 *m*.

A peça de aplicação de força, com uma massa de 0,087 *g*, foi fabricada em alumínio para fixar uma determinada carga na extremidade livre da viga.

Os extensômetros de resistência elétrica utilizados foram uniaxiais simples fornecidos pela Excel Sensores Indústria, Comércio e Exportação LTDA. Esses ERE's são do modelo BA com auto-compensação de temperatura para aço inox, apresentando um valor de resistência elétrica nominal de 120 Ω , fator de sensibilidade de 2,15 e encapsulamento de poliamida. Além disso, o extensômetro contém fios de cobre soldados nos terminais com comprimento de 50mm, 34 AWG e isolado por verniz. Na Tabela 1, apresenta-se as dimensões dos ERE's retiradas do catálogo da Excel Sensores.

Tabela 1: Dimensões do extensômetro de resistência elétrica utilizado. Fonte: Autoria própria.

(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
1,5 mm	1 mm	3 mm	1 mm	6 mm	5 mm

3.2 Ensaios

Na plataforma experimental, realizou-se, em primeiro lugar, o ensaio do método dos 4 fios e, em segundo lugar, o ensaio do método da ponte de Wheatstone, objetivando com os 2 (dois) métodos determinar o valor da deformação na viga e, em seguida, determinar o módulo de elasticidade na viga.

No ensaio do método dos 4 fios, iniciou-se conectando os terminais dos extensômetros, da parte superior e da parte inferior, no sistema de aquisição de dados da Agilent 34972 (canais 108 e 110), objetivando medir variação da resistência elétrica dos extensômetros. Essas resistências foram medidas quando aplicado uma carga padrão de 10 *g* na extremidade livre da viga, onde aumentava de 10 *g* em 10 *g* até chegar ao valor de 150 *g*.

No ensaio da ponte de Wheatstone, ilustrado na Fig. 7, iniciou-se montando um circuito de 1/2 ponte no protoboard, sendo esse composto por 2 (dois) extensômetros de 120 Ω cada, outras 2 (duas) resistências ambas com 119,05 Ω (associação em série de 3 (três) resistores, sendo 1 (uma) de 100 Ω e 2 (duas) de 10 Ω para obter um valor próximo a 120 Ω) e uma fonte de tensão (V_{EX}) com um valor fixo de 5 *V*. E, em seguida, conectando os terminais de saída da ponte no sistema de aquisição de dados da Agilent 34972 (canal 103), objetivando medir a variação de tensão elétrica na saída (V_0) da ponte. Essa tensão elétrica de saída da ponte foi medida quando aplicado uma carga padrão de 10 *g* na extremidade livre da viga, onde aumentava de 10 *g* em 10 *g* até chegar ao valor de 150 *g*.

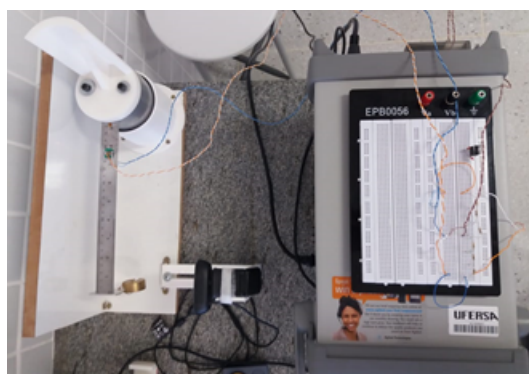


Figura 7: Utilização do circuito 1/2 de Ponte na aquisição dos dados. Fonte: Autoria própria.

Nos ensaios, os dados obtidos do sistema de aquisição de dados da Agilent foram exportados para um arquivo da Microsoft Excel 2013 (.csv) em forma de planilha. E, em seguida, os dados foram analisados nos softwares MATLAB® 2013 e Microsoft Excel 2013 no Laboratório de Engenharia e Simulação (LES) do curso de Engenharia Elétrica da UFRSA - Campus Caraúbas.

4. Resultados

4.1 Análise de Deformação: Método dos 4 Fios

Nas Tabelas 2 e 3, apresentam-se os resultados experimentais das medições de deformação utilizando o método dos 4 fios para os extensômetros 1 e 2 na parte superior e inferior da viga, respectivamente. As variáveis adotadas são: R_0 (resistência inicial do extensômetro), R_f (resistência final do sensor após aplicada a carga na extremidade livre), ΔR

(variação da resistência), $\Delta R/R_0$ (variação relativa da resistência do extensômetro) e ε (deformação na viga). Para atender à unidade da deformação ($\mu m/m$), os valores das cargas foram transformados de g para $F(N)$.

Tabela 2: **Medição de deformação referente ao extensômetro 1. Fonte: Autoria própria.**

F(N)	R_0 (Ω)	R_f (Ω)	$\Delta R/R_0$	ε_1 ($\mu m/m$)
0,187	120,123	120,136	0,00011	049,295
0,287	120,123	120,142	0,00016	075,222
0,387	120,123	120,149	0,00022	101,954
0,487	120,123	120,156	0,00027	127,630
0,587	120,123	120,162	0,00032	149,213
0,687	120,123	120,169	0,00038	177,475
0,787	120,123	120,176	0,00044	204,701
0,887	120,123	120,183	0,00050	230,355
0,987	120,123	120,189	0,00055	255,889
1,087	120,123	120,196	0,00060	279,775
1,187	120,123	120,202	0,00066	305,702
1,287	120,124	120,209	0,00071	330,617
1,387	120,124	120,216	0,00077	358,040
1,487	120,124	120,222	0,00082	382,574
1,587	120,123	120,228	0,00088	407,597

Tabela 3: **Medição de deformação referente ao extensômetro 2. Fonte: Autoria própria.**

F(N)	R_0 (Ω)	R_f (Ω)	$\Delta R/R_0$	ε_2 ($\mu m/m$)
0,187	120,378	120,365	-0,0001	-049,811
0,287	120,379	120,359	-0,0002	-077,425
0,387	120,379	120,351	-0,0002	-106,220
0,487	120,379	120,345	-0,0003	-132,490
0,587	120,379	120,338	-0,0003	-155,870
0,687	120,379	120,332	-0,0004	-181,640
0,787	120,379	120,325	-0,0005	-209,540
0,887	120,379	120,316	-0,0005	-241,380
0,987	120,377	120,309	-0,0006	-262,620
1,087	120,377	120,303	-0,0006	-286,610
1,187	120,377	120,296	-0,0007	-312,970
1,287	120,378	120,289	-0,0007	-342,160
1,387	120,378	120,282	-0,0008	-367,450
1,487	120,378	120,276	-0,0008	-393,710
1,587	120,378	120,269	-0,0009	-419,320

Tabela 4: **Deformação média. Fonte: Autoria própria.**

F(N)	Média (ε)
0,187	049,553
0,287	076,324
0,387	104,086
0,487	130,060
0,587	152,543
0,687	179,555
0,787	207,120
0,887	235,866
0,987	259,255
1,087	283,190
1,187	309,335
1,287	336,391
1,387	362,742
1,487	388,143
1,587	413,460

É importante salientar que os valores de deformação negativos do extensômetro 2 são devido ao sensor estar localizado na parte inferior da viga, onde há a compressão. E na Tabela 4, apresenta-se uma média das medições de deformação obtidas dos extensômetros 1 e 2.

4.2 Análise de Deformação: Ponte de Wheatstone

A Tabela 5 contém os resultados experimentais relacionados a tensão elétrica de saída do circuito 1/2 de ponte. Essa tensão é uma média aritmética de 100 pontos adquiridos pelo sistema de aquisição de dados. O valor da deformação (ε) foi obtida através da Eq. 3.

Tabela 5: Medição de deformação referente ao circuito. Fonte: Autoria própria.

F(N)	V_0 (V)	ε ($\mu m/m$)
0,187	-0,0003	051,973
0,287	-0,0004	077,575
0,387	-0,0006	104,066
0,487	-0,0007	128,829
0,587	-0,0008	154,548
0,687	-0,0010	181,631
0,787	-0,0011	209,472
0,887	-0,0013	234,706
0,987	-0,0015	273,282
1,087	-0,0015	285,008
1,187	-0,0017	314,093
1,287	-0,0018	341,392
1,387	-0,0020	366,665
1,487	-0,0021	396,105
1,587	-0,0022	416,487

4.3 Comparação dos Métodos

Utilizando os valores das deformações adquiridas através do método dos 4 fios e da ponte de Wheatstone, construiu-se um código no MATLAB® 2013 a fim de gerar um gráfico da deformação versus a força peso aplicada na extremidade livre da viga, ilustrado na Fig. 7, objetivando verificar se há aproximação entre os valores.

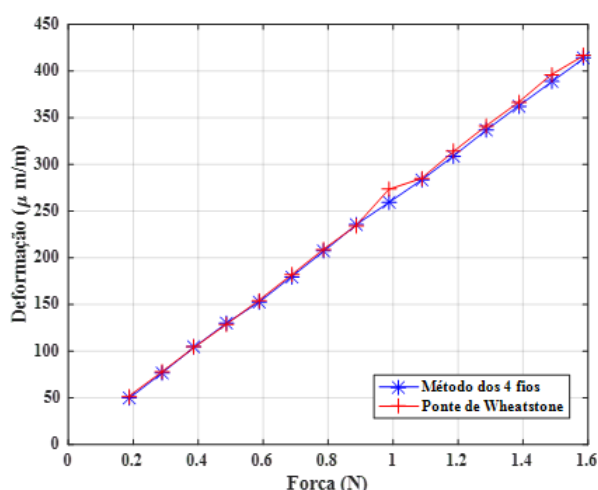


Figura 8: Comparação entre medições experimentais. Fonte: Autoria própria.

Na Figura 8, observa-se que os valores de deformação em ambos os métodos foram bem próximos e linearmente proporcionais aos valores da força peso. Portanto, os 2 (dois) métodos são confiáveis e ambos podem ser utilizados nas medições de deformação.

Como a Eq. 1 relaciona a deformação com o módulo de elasticidade da viga (E) e os valores de deformação já foram obtidos, comparados e comprovados pelos métodos experimentais, torna-se possível encontrar o módulo de elasticidade da viga de aço inoxidável. Portanto, para averiguar o valor correspondente ao módulo, relacionou-se na Tab. 6 os valores médios dos ensaios experimentais (ε_{exp}) e os valores teóricos (ε_{teo}).

Tabela 6: Médias das deformações experimentais teóricas. Fonte: Autoria própria.

F(N)	$\varepsilon_{exp} (\mu m/m)$	$\varepsilon_{teo} (\mu m/m)$	Erro (%)
0,187	050,763	049,843	1,750
0,287	076,949	076,455	0,550
0,387	104,076	103,066	0,880
0,487	129,444	129,678	0,280
0,587	153,545	156,289	1,850
0,687	180,592	182,901	1,360
0,787	208,296	209,513	0,680
0,887	235,285	236,124	0,450
0,987	266,268	262,736	1,250
1,087	284,099	289,348	1,910
1,187	311,713	315,959	1,440
1,287	338,891	342,571	1,170
1,387	364,698	369,182	1,310
1,487	392,124	395,794	1,020
1,587	414,973	422,406	1,850

A partir dos valores apresentados na Tab. 6, encontrou-se um valor para o módulo de elasticidade. Para isso, utilizou-se Eq. 1, onde variou-se o módulo, dentro de sua faixa, até atingir um valor teórico de deformação próximo a alcançada no experimental.

Na Figura 9, ilustra-se a comparação entre os valores de deformação teórico e experimental, bem como, o módulo de elasticidade do aço inoxidável de 208,4 GPa. Esse valor do módulo é bastante satisfatório, pois de acordo com a literatura o módulo de elasticidade para esse material está contido na faixa de 190 a 220 GPa.

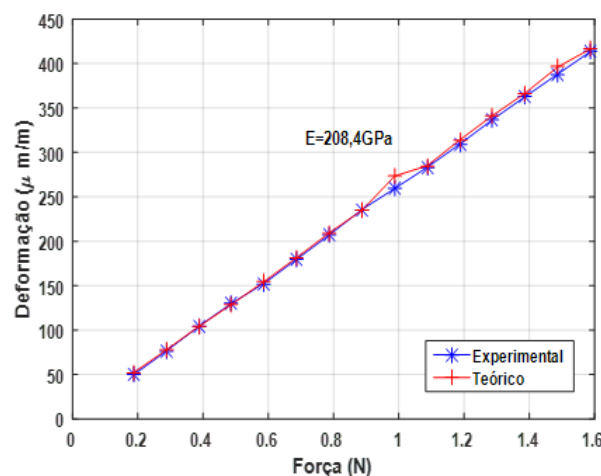


Figura 9: Comparação entre os valores de medições experimentais e teóricas. Fonte: Autoria própria.

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho, desenvolveu-se uma plataforma experimental de baixo custo, aproximadamente no valor de R\$ 400 (quatrocentos reais), para análise da deformação e do módulo de elasticidade de uma viga flexível de aço inoxidável simplesmente engastada, por meio de extensômetro de resistência elétrica. Para determinar o valor de deformação provocada por uma força aplicada na extremidade livre da viga, utilizou-se o ensaio do método dos 4 fios e o da ponte de Wheatstone.

A partir dos ensaios realizados em laboratório comprovou-se que as deformações medidas por ambos os métodos apresentaram valores aproximadamente iguais e linearmente proporcionais aos valores das forças aplicadas na extremidade livre da viga. Logo, depois de analisar e comparar os valores referentes as deformações medidas de forma experimental e teórica, obteve-se um valor para o módulo de elasticidade (E) da viga de aço inox de 208,4 GPa, onde foi bastante satisfatório, pois está de acordo com a literatura.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a UFERSA (Universidade Federal Rural do Semi-Árido).

7. REFERÊNCIAS

- Andolfato, R.P., Camacho, J.S. e de Brito, G.A., 2004. “Extensometria básica”. Disponível em: <<http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariacivil/nepae/extensometria-basica.pdf>>. Acesso em: 02 maio, 2017.
- Cardoso, A.C.S., Chahub, E., Guimarães, J.M.S., Branco, L.A.M.N., Oliveira, T.S., Pereira, C.G.A. e Santos, K.O., 2017. “Extensômetros elétricos de resistência: definições e aplicações na construção civil”. *ENGENHARIA*, Vol. 635, pp. 80–83.
- Excel, 2018. “Extensômetros de resistência elétrica”. Disponível em: <<http://www.excelsensor.com.br/>>.
- Grante, 2004. “Apostila de extensometria”. Federal University of Santa Catarina.
- Hibbeler, R.C., 2010. *Resistência dos Materiais*. Ed. PEARSON, São Paulo.
- Leuckert, C., 2000. *Sistema portátil de aquisição de dados para análise dinâmica de estruturas mecânicas*. Dissertação de mestrado em engenharia elétrica, Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS, Brazil.
- Lima, W.M., 2008. *Plataforma para análise comportamental de atuadores de ligas com memória de forma e para o controle de deformação de uma barra flexível*. Dissertação de mestrado em engenharia elétrica, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande - PB, Brazil.
- Lima, W.M., da Rocha Neto, J.S., Lima, A.M.N., de Araújo, C.J. e Valenzuela, W.A.V., 2007. “Measurement and control of the deformation in a flexible beam using shape memory alloy”. In *19th Congresso Internacional de Engenharia Mecânica*. COBEM, Brasília - DF, Brasil, p. p. 1–8.
- Magalhães, E.P., 2003. *Comportamento Experimental de uma Cortina de Estaca Prancha Assente em Solo Poroso do DF*. Dissertação de mestrado em geotecnia, Universidade de Brasília, Brasília - DF, Brasil.
- Pertence Júnior, A. e Pertence, A.E.d.M., 2010. “Extensômetros em engenharia civil: Teoria e aplicações”. *CONS-TRUINDO*, Vol. 2, pp. 24–26.
- Silva, J.B.L.P., Jacintho, A.E.P.G.A., Forti, N.C.S., Pimentel, L.L. e Branquinho, O.C., 2019. “Desenvolvimento de sistema de baixo custo para monitoramento de integridade estrutural”. *MATÉRIA*, Vol. 24.
- Silva, W.J.S.d., 2012. “Monitoração estrutural e instrumentação virtual aplicados ao ensino experimental de engenharia civil”. In *XL Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia*. COBENGE, Belém - PA, Brazil, p. 12.
- Soares, A.M.S., 2011. *Modelagem de sistemas flexíveis*. Ed. EDGARD LUCHER, São Paulo.
- Stief, J.N.d.P., 2009. *Análise das deformações, por extensometria, em concreto armado convencional e com agregados de escória de aciaria*. Dissertação de mestrado em engenharia civil, Centro Federal de Educação Tecnológica - CEFET, Belo Horizonte - MG, Brasil.
- Teixeira, R.L., 2001. *Uma metodologia de projetos de controladores híbridos inteligentes com aplicações no controle ativo de vibrações mecânicas*. Dissertação de mestrado em engenharia mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia - MG, Brazil.

8. RESPONSABILIDADE AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

DEVELOPMENT OF A TEST BENCH FOR THE ANALYSIS OF STRAIN AND ELASTICITY MODULE OF A FLEXIBLE STAINLESS STEEL BEAM

Jakson dos Santos Silva, jakson.silva@alunos.ufersa.edu.br¹

Walber Medeiros Lima, walber@ufersa.edu.br¹

Marcus Vinícius Silvério Costa, marcus.costa@ufersa.edu.br¹

Jackson de Brito Simões, jackson.simoies@ufersa.edu.br¹

¹Rural Federal University of Semi-Arid - UFERSA, Av. Universitária, Sítio Esperança II, Zona Rural, Caraubas - RN, Brazil.

Abstract: In the present work, the development of a low cost experimental test bench to analysis of the strain and modulus of elasticity of a stainless steel flexible beam is described. In the proposed experimental test bench, the straingauges are used to measure the strain of a simply cantilever flexible beam. An Agilent data acquisition system was used to determine the value of the strain caused by a static force applied at the free end of the flexible beam, using of the 4-Wire and the Wheatstone bridge method. With the measured values of the strains, a plot of the strain versus the force applied at free end of the beam for each method used was constructed. In this graph, it is observed that the values of the strain are approximately equal and linearly proportional to the values of the forces applied and, furthermore, that the elastic modulus obtained is in agreement with the literature.

Keywords: Strain, Modulus of elasticity, Straingauge, Beam, Straingauge, Stainless steel.