

Estudo de caso de aplicação da extensometria em análise experimental

Case study of the application of extensometry in experimental analysis

Estudio de caso de la aplicación de la extensometría en el análisis experimental

Recebido: 16/11/2023 | Revisado: 27/11/2023 | Aceitado: 29/11/2023 | Publicado: 01/12/2023

Tarcísio Gomes Parente Neto

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3842-3303>
Faculdade 5 de Julho, Brasil
E-mail: tarcisiogparente@gmail.com

Ricardo Antônio Lima Sousa Filho

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1734-0776>
Faculdade 5 de Julho, Brasil
E-mail: ricardo.sousa@faculdef5.com.br

Tyhago Aragão Dias

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5802-5786>
Faculdade 5 de Julho, Brasil
E-mail: tyhago86@gmail.com

Nágila Veiga Adrião Monteiro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9094-6534>
Centro Universitário UNINTA, Brasil
E-mail: nagilamav@gmail.com

Mariana Medeiros Ximenes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9638-0735>
Centro Universitário UNINTA, Brasil
E-mail: xm.mariana@gmail.com

Antônio Carlos Moreira Cavalcante Filho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7739-5002>
Centro Universitário UNINTA, Brasil
E-mail: acm.cavalcante@uninta.edu.br

Elis Ferreira Lopes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4341-1323>
Centro Universitário UNINTA, Brasil
E-mail: elis.lopes@uninta.edu.br

Resumo

O artigo aborda a importância da extensometria na avaliação das condições de cabeamento em projetos e análises estruturais. Destaca-se a necessidade de uma avaliação mais elaborada das forças existentes para evitar falhas por sobrecarga ou desgaste durante a vida útil das peças. Em um mercado competitivo que exige redução de custos e qualidade, a extensometria surge como uma técnica fundamental. A extensometria é apresentada como uma técnica experimental para análise de tensão e deformações estruturas em mecânicas e de alvenaria. Entretanto, na prática, o extensômetro é descrito como um sensor colado na superfície do objeto de estudo, capaz de medir deformações e, por conseguinte, tão complexo. A mudança no parâmetro elétrico, geralmente resistência, resulta em uma variação de corrente, cujos valores são interpretados por uma placa de aquisição de dados e ferramenta computacional. O objetivo do trabalho é encontrar o módulo de elasticidade e a relação de deformação inicial e regressão linear do compósito fibroso utilizado, quando submetido a cargas, tal análise feita por meio do extensômetro. Contudo, é feito a análise do comportamento do compósito com a forma de acréscimo de carga crescente e depois decrescente. Todavia, por meio dos dados obtidos é realizada uma regressão linear da curva do gráfico. O texto destaca as peculiaridades dos strain gages, que são usados para medir diversas variáveis, como carga, tensão, alongamento, variação e vibração. Por esse âmbito, as análises feitas no trabalho tiveram resultados positivos, conseguindo encontrar o módulo de elasticidade do compósito por meio das equações e gráficos.

Palavras-chave: Compósito; Deformação; Extensômetro; Módulo de elasticidade.

Abstract

The article addresses the importance of extensometry in evaluating cabling conditions in structural projects and analyses. The need for a more elaborate assessment of the existing forces is highlighted to avoid failures due to overload or wear during the useful life of the parts. In a competitive market that demands cost and quality reduction, extensometry emerges as a fundamental technique. Extensometry is presented as an experimental technique for analyzing stress and deformation in mechanical and masonry structures. However, in practice, the extensometer is described as a sensor glued to the surface of the object of study, capable of measuring deformations and, therefore, so

complex. The change in the electrical parameter, usually resistance, results in a variation in current, whose values are interpreted by a data acquisition board and computational tool. The objective of the work is to find the modulus of elasticity and the initial deformation relationship and linear regression of the fibrous composite used, when subjected to loads, such analysis carried out using the extensometer. However, the behavior of the composite is analyzed in the form of increasing and then decreasing load addition. However, using the data obtained, a linear regression of the graph curve is performed. The text highlights the peculiarities of strain gauges, which are used to measure several variables, such as load, tension, stretching, variation and vibration. In this context, the analyzes carried out in the work had positive results, managing to find the elastic modulus of the composite through equations and graphs.

Keywords: Composite; Deformation; Extensometer; Modulus of elasticity.

Resumen

El artículo aborda la importancia de la extensometría en la evaluación de las condiciones del cableado en proyectos y análisis estructurales. Se destaca la necesidad de una evaluación más elaborada de las fuerzas existentes para evitar fallos por sobrecarga o desgaste durante la vida útil de las piezas. En un mercado competitivo que exige reducción de costes y calidad, la extensometría emerge como una técnica fundamental. La extensimetría se presenta como una técnica experimental para analizar tensiones y deformaciones en estructuras mecánicas y de mampostería. Sin embargo, en la práctica, el extensómetro se describe como un sensor pegado a la superficie del objeto de estudio, capaz de medir deformaciones y, por tanto, tan complejo. El cambio en el parámetro eléctrico, generalmente resistencia, resulta en una variación de la corriente, cuyos valores son interpretados por una placa de adquisición de datos y una herramienta computacional. El objetivo del trabajo es encontrar el módulo de elasticidad y la relación de deformación inicial y regresión lineal del compuesto fibroso utilizado, al ser sometido a cargas, análisis realizado mediante el extensómetro. Sin embargo, el comportamiento del compuesto se analiza en forma de adición de carga creciente y luego decreciente. Sin embargo, utilizando los datos obtenidos, se realiza una regresión lineal de la curva gráfica. El texto destaca las peculiaridades de las galgas extensométricas, que se utilizan para medir diversas variables, como carga, tensión, estiramiento, variación y vibración. En este contexto, los análisis realizados en la obra tuvieron resultados positivos, logrando encontrar el módulo de elasticidad del compuesto a través de ecuaciones y gráficas.

Palabras clave: Compuesto; Deformación; Extensómetro; Módulo de elasticidad.

1. Introdução

Observou-se que as atividades práticas em engenharia, como projetos e experimentos de laboratório, estão entre as mais apreciadas pelos estudantes (Parreira & Dickman, 2020). Essas atividades possibilitam que os estudantes aprimorem suas habilidades práticas e profissionais, estabelecendo conexões essenciais entre a teoria e a prática para uma formação profissional integral (Massoni, 2014). No que diz respeito à formação de engenheiros, é imperativo iniciar imediatamente um processo inovador nos métodos e práticas de ensino, visando uma modernização planejada e fundamentada (Rodrigues, 2021).

Os projetos e análises estruturais empregam métodos de cálculo para avaliar a resistência do material em relação às cargas aplicadas. Muitas vezes, essas cargas são estimativas. Portanto, durante a vida útil, falhas devido a sobrecarga ou desgaste podem ocorrer nas peças devido a uma avaliação inadequada das forças existentes e, por conseguinte, à determinação equivocada de parâmetros de projeto. O cenário competitivo atual exige que os projetos otimizem seus custos sem comprometer a qualidade. Portanto, surge a necessidade de uma avaliação mais precisa das condições reais de carregamento às quais a peça está sujeita. Por esse âmbito, o estudo/uso da extensometria é de grande importância para esses casos.

Os instrumentos que possibilitam a medição da deformação de um corpo de prova são denominados extensômetros. Esses dispositivos possuem uma tecnologia amplamente difundida e são amplamente utilizados na engenharia, disponíveis em diversas formas, tamanhos e tecnologias, adaptando-se ao tipo específico de ensaio ao qual o corpo de prova do material será submetido (Shakeel et al, 2017). A extensometria é uma técnica amplamente empregada em medições e testes de deformação de materiais. Seu propósito é mensurar pequenas variações nas dimensões físicas de um corpo de prova em pontos suscetíveis a deformações, tais como tensão, compressão, torção, cisalhamento e amassamento (Portnoi, 2013).

A esse respeito, a extensometria é uma técnica utilizada para a análise experimental de tensões e deformações em estruturas mecânicas e de alvenaria, ou seja, é um método experimental para a medição de esforços e deformações baseando-se na mudança da resistência elétrica de um material ao ser submetido a tensões. Essas estruturas exibem deformações sob carga

ou devido a variações de temperatura. É essencial compreender a magnitude dessas deformações, muitas vezes exigindo monitoramento constante, que pode ser realizado de várias maneiras. Algumas opções incluem o relógio comparador, o detector eletrônico de deslocamento, por camada frágil, por fotoelasticidade e por strain gage. Entre todas essas opções, o strain gage, ou medidor de deformação em inglês, destaca-se como um dos métodos mais versáteis.

Na prática, o extensômetro é um sensor que pode ser fixado e colado na superfície do objeto estudado, do qual se deseja conhecer as deformações e conseqüentemente as tensões. Ele pode ser, por exemplo, uniaxial ou triaxial. Esse sensor obedece à deformação mecânica do sólido que está sendo instrumentado em função da força/carga aplicada. Basicamente, esses medidores de deformação experimentam uma mudança de um parâmetro elétrico, geralmente sua resistência, o que ocasiona uma variação de corrente. Sendo assim, essa variação de corrente na casa de miliamperes é coletada e seus valores medidos são interpretados pela placa de aquisição de dados e ferramenta computacional disponível. Essa interpretação permite conhecer os valores de deformação do objeto estudado.

Contudo, essas variações que acontece, permite que o strain gages esteja calibrado para a medição dos esforços com o mínimo de erro. A esse respeito, calibração refere-se ao procedimento de comparar uma quantidade ou valor desconhecido com um modelo numérico.

Esse processo envolve a verificação do instrumento em diversos pontos ao longo de sua faixa e a realização de ajustes para alinhá-lo ao padrão, caso esteja fora da tolerância (Almeida, 2020). A histerese é caracterizada como a diferença máxima entre as leituras ascendentes e descendentes, em qualquer escala, durante um processo de calibração (Schneider, 2019).

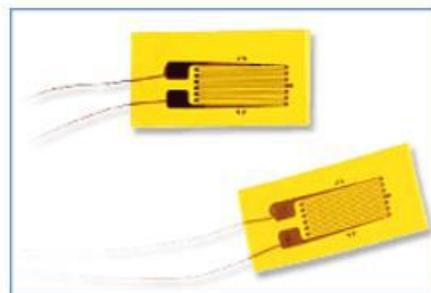
O trabalho tem como objetivo determinar o módulo de elasticidade, a relação de deformação inicial e a regressão linear do compósito fibroso utilizado ao ser submetido a cargas, sendo essa análise conduzida por meio do extensômetro.

2. Metodologia

No entanto, os strain gages são empregados para quantificar variações em carga, pressão, torque, deslocamento, tensão, compressão, aceleração e vibração. A escolha do strain gage apropriado para uma aplicação específica é influenciada por características como material da grade metálica e sua construção, material do suporte isolante, material do adesivo, tratamento e proteção do medidor, e configuração.

O design desses gages incorpora diversas funcionalidades, incluindo alto fator de medição, elevada resistividade, insensibilidade à temperatura, estabilidade elétrica, resistência mecânica, facilidade de manipulação, baixa histerese, baixa troca térmica com outros materiais e durabilidade. A sensibilidade à temperatura é um ponto crucial no uso de strain gages, sendo comum a inclusão de um compensador de temperatura no circuito de medição. Na Figura 1 é demonstrado o tipo de sensor deformação/tensão utilizado.

Figura 1 – Sensor de deformação/tensão.



Fonte: Grante (2019).

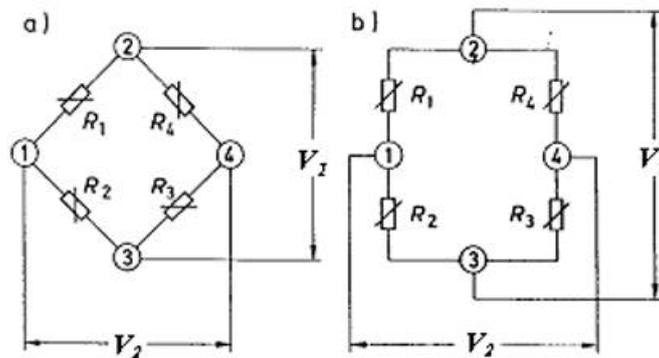
A notável atratividade desses sensores deriva de suas dimensões, simplicidade, eficácia e custo, além de possuírem um fator de sensibilidade constante e elevado grau de precisão nas medições. Essas características têm contribuído para sua ampla utilização na análise experimental de tensão e deformação (Ni Measurement, 2013).

Todavia, um material demonstra comportamento elástico quando as deformações resultantes de uma determinada tensão desaparecem ao removê-la. O limite de elasticidade do material é definido como o valor máximo de tensão no qual o material ainda exibe comportamento elástico (Beer, et al., 1995).

Para a realização da análise foi preciso a utilização da equação de deformação, que possui uma ligação entre a equação da tensão e a Lei de Hooke. Entretanto foi estudado a Ponte de Wheatstone, que é um dos elementos para prosseguir o experimento realizado. A esse respeito, é estudado esse procedimento, pois a Ponte de Wheatstone lineariza a relação entre deformação e tensão, no qual as variações de deformações são proporcionais a deformação, com isso é capaz de medir as propriedades mecânica do material.

Para mensurar grandezas físicas, como temperatura, força e pressão, empregamos a Ponte de Wheatstone (Markus, 2009). A Ponte de Wheatstone pode ser empregada não apenas para comparar resistências elétricas desconhecidas com outras resistências conhecidas, mas também para calcular o valor absoluto de uma resistência elétrica. Além disso, é possível utilizar essa ponte para determinar a variação relativa na resistência elétrica. O diagrama do circuito está apresentado na Figura 2 em duas representações.

Figura 2 – Duas representações da Ponte de Wheatstone.



Fonte: Grante (2004).

Os Quatro braços do circuito são formados pelas resistências R1, R2, R3 e R4. Nos pontos 2 e 3 é conectada a voltagem de excitação do circuito V1. O sinal de resposta a excitação V2 se dá nos pontos 1 e 4.

Todavia, o potencial e o ganho propostos viabilizam as medições por meio dos cálculos elaborados por (Bastos, 2019). Entretanto, a ponte pode estar desequilibrada, devido à diferença nas tensões das resistências elétricas em R1, R2 e R3, R4. Sendo assim, pode ser calculado da seguinte forma:

$$V_o = V_s \left(\frac{R_1}{R_1+R_2} - \frac{R_4}{R_3+R_4} \right) \quad (1)$$

Seguindo o raciocínio, se a ponte estiver equilibrada:

$$\frac{R_1}{R_2} = \left(\frac{R_4}{R_3} \right) \quad (2)$$

No qual, a tensão de saída da ponte V é zero. Com uma tensão definida, a resistência do medidor de tensão muda pela quantidade de ΔR , proporcionando a seguinte equação:

$$V_o = V_s \left(\frac{R_1 + \Delta R_1}{R_1 + \Delta R_1 + R_2 + \Delta R_2} - \frac{R_4 + \Delta R_4}{R_3 + \Delta R_3 + R_4 + \Delta R_4} \right) \quad (3)$$

Para medições de deformação, as resistências R1 e R2 devem ser iguais na ponte de Wheatstone. O mesmo se aplica a R3 e R4. Com algumas suposições e simplificações, a seguinte equação linear da ponte pode ser determinada:

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{4} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right) \quad (4)$$

Sabendo disso, em relação a sensibilidade do extensômetro, adota $\frac{\Delta R}{R} = k\varepsilon$. No qual k é o fator k do strain gage (Vishay, 2018), transformando assim, a seguinte equação para ponte completa:

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{k}{4} (\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4) \quad (5)$$

Essa equação é baseada na premissa de que todas as resistências na ponte são variáveis. Tal condição é observada em transdutores, e em análise de tensões, são comuns pontes que incorporam extensômetros em um ou em alguns de seus braços (Measurements Group, 1996). As diversas montagens da ponte são: ¼ de ponte, ½ ponte, duplo ¼ de ponte ou ponte diagonal e ponte completa.

Todavia, a ponte de Wheatstone é a uma linearização da relação entre deformação e tensão. Sabendo disso, a equação sobre a deformação do material está ligada a fórmula da tensão e da Lei de Hooke. No qual a equação da tensão é descrita:

$$\tau = \frac{My}{I} \quad (6)$$

Onde:

- M = PL
- y = h/2 (distância da linha neutra até a parte mais comprimida)
- I = Momento de inércia (bh³/12)

As avaliações dos esforços baseiam-se nas descobertas de Robert Hooke (1678), que relacionam os esforços aplicados, através da tensão gerada no material σ , com a deformação resultante ε , pela Lei de Hooke. Com isso, possuindo a seguinte equação:

$$\tau = E\varepsilon \quad (7)$$

Onde:

- E = Módulo de Elasticidade
- ε = Deformação Resultante

Por essa forma, igualando as duas tensões, chegamos na seguinte fórmula usual para nosso sistema:

$$\varepsilon = \frac{6PL}{Ebh^2} \quad (8)$$

Por esse âmbito, a equação acima (8) vai servir como base de cálculo.

As características mecânicas dos materiais são identificadas por meio da condução de ensaios mecânicos, os quais são testes que experimentalmente reproduzem as condições de utilização. A realização desses ensaios e a interpretação de seus resultados seguem padrões estabelecidos por organizações profissionais, como a Sociedade Americana para Ensaios e Materiais (ASTM - American Society for Testing and Materials) e a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (Callister & Rethwisch, 2015).

3. Resultados e Discussão

Nessa etapa possui como objetivo encontrar o módulo de elasticidade (E) do compósito utilizado, por meio da aplicação da equação de tensão.

3.1 Materiais

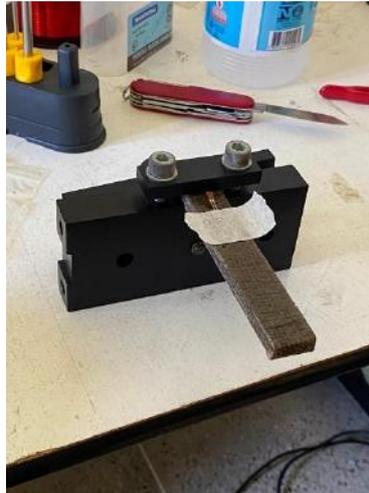
Sendo os seguintes materiais:

- Barra de compósito com fibras naturais (viga); $L = 88,41\text{mm}$ (distância do meio do strain gage até a metade do furo); $b = 19,10\text{mm}$; $h = 9,05\text{mm}$;
- 2 strain gages;
- Sistema de Aquisição de dados DAQ;
- Software Catman Easy;
- Pórtico;
- Suporte de fixação;
- 1 Barra para receber as anilhas (73 gramas);
- Anilhas (100 gramas cada);
- Fio de Cobre.

3.2 Procedimentos

Primeiramente, ocorreu a limpeza do compósito com álcool para o posicionamento do strain gage, no qual o compósito está preso em suporte de fixação. Em seguida, com a ajuda de uma pinça buscou o sensor. Com o uso de uma fita adesiva, prendendo os terminais, locou corretamente o sensor (Figura 3). Em seguida, levantou um pouco o strain gage para a colagem, com aplicação de uma cola de cianoacrilato, pressionando até que esteja bem fixada. Posteriormente, solda os fios do strain gage no barramento.

Figura 3 – Colagem do strain gage no compósito.



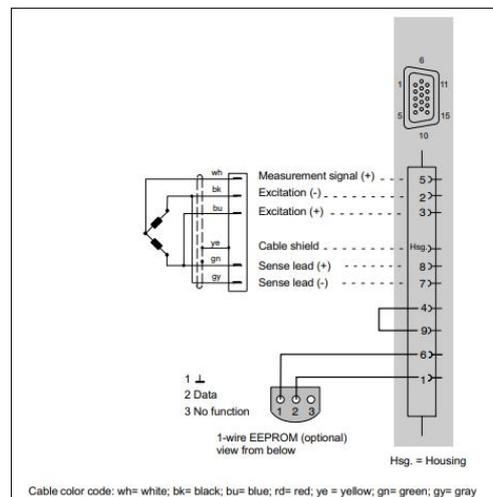
Fonte: Autores (2022).

Segundo, Barreto Jr (2002), durante o processo de cura, tanto o adesivo quanto o extensômetro necessitam de uma aplicação de pressão para eliminar o excesso de adesivo e possíveis bolhas de ar que podem se formar sob o extensômetro.

Logo em seguida, foi colocado outro strain gage na parte de trás do compósito, alinhado com o primeiro sensor. Após isso, no primeiro strain gage foi soldado no barramento, duas pontas de um fio de cobre da cor vermelha, uma ligada diretamente com o fio do sensor e a outra na extremidade. A esse respeito, essa soldagem direta do fio de cobre com o fio do sensor pode ser chamada de *Measurement signal*, (V_{in}).

Na Figura 4 demonstra detalhado como funciona a ligação dos fios.

Figura 4 – Meia ponte, indutivo.



Fonte: Manual HBM (2016).

A meia ponte de Wheatstone é um circuito elétrico usado para medir a resistência elétrica. Consiste em três resistores, sendo um deles um sensor que muda sua resistência com uma variável física, como temperatura. Ao aplicar uma tensão à meia ponte, podemos medir a variação na resistência do sensor pela mudança na voltagem, permitindo a quantificação da variável física associada ao sensor.

Marques Júnior (2016), fez uso de extensômetros e Arduino, em meia ponte de Wheatstone. Entretanto, como os valores da saída da célula de carga eram muito baixos foi necessário o uso de um amplificador de sinal.

Todavia, a outra ponta do mesmo fio de cobre é ligada com o barramento do outro strain gage, acontecendo o mesmo com o segundo fio de cobre, soldada na outra extremidade. Esse processo acontece para que os dois strain gages estejam conectados entre si, ou seja, completando a ponte (Figura 5).

Figura 5 – Strain gages com as ligações fixadas entre elas.



Fonte: Autores (2022).

A Ponte Completa de Wheatstone é um circuito elétrico mais complexo, uma extensão da Meia Ponte de Wheatstone. Neste arranjo, há quatro resistores dispostos de forma a criar duas meias pontes que compartilham um resistor comum. Isso permite uma medição mais sensível de variações na resistência, tornando-a útil para medir pequenas mudanças em sensores, como aqueles utilizados em aplicações de temperatura e pressão. A ponte completa de Wheatstone é frequentemente empregada em instrumentos de medição de alta precisão.

Após a soldagem de todos, é conectado três cabos um amarelo, vermelho e laranja. No qual o amarelo é conectado direto com o fio de cobre vermelho, o laranja é ligado diretamente com o fio do strain gage e o vermelho é conectado com o *Measurement signal*. mostrado na Figura 6.

Figura 6 – Strain gage com as ligações para a conexão do cabo tipo VGA.



Fonte: Autores (2022).

Todavia, já com as ligações feitas, conectar nosso plug com entrada de VGA no canal 8, no Sistema de Aquisição de dados, que tal sistema é ligado por meio de um cabo de rede com um notebook, pois com isso, teremos acesso à leitura das deformações aplicados no compósito com a ajuda do software Catman easy.

Figura 7 – Ligação na entrada 8 no Sistema de Aquisição dos dados.



Fonte: Autores (2022).

Lembrado que o compósito além de estar preso em um fixador, está fixo em um pórtico para executar o procedimento, como demonstrado na Figura 8. Com tudo preparado, e com um furo na outra extremidade do compósito para inserir a barra cilíndrica que serve como apoio para as anilhas, o processo agora é aplicar as cargas e anotar as leituras de deformação feito pelo software.

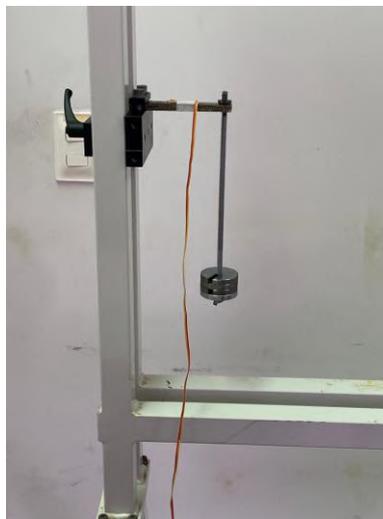
Figura 8 – Pórtico utilizado.



Fonte: Autores (2022).

Primeiramente foram medidas as deformações progressivamente em relação aos pesos (caminho de ida) com a ajuda do Sistema de Aquisição de dados. A esse respeito, foram colocadas uma anilha de 100 gramas por vez, totalizando cinco. O primeiro resultado foi utilizado apenas o peso da barra cilíndrica e em seguida adicionando os pesos. Na Figura 9 apresenta a situação da análise na aplicação de cargas.

Figura 9 – Aplicação das cargas.



Fonte: Autores (2022).

Entretanto, com as aplicações das cinco anilhas e com a leitura do software, foi possível determinar essas seguintes deformações no caminho de ida, demonstrado no Quadro 1.

Quadro 1 – Deformação na ida.

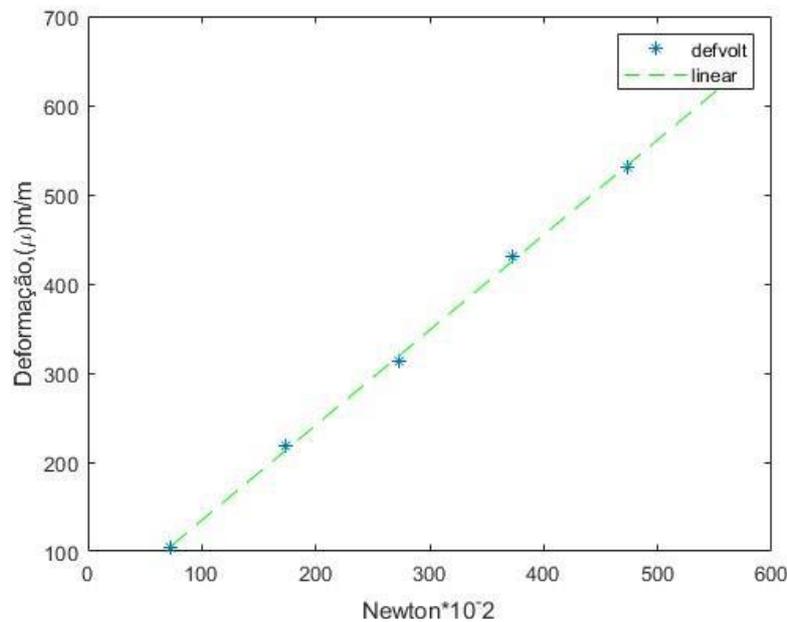
Peso (g)	Deformação Inicial ($\mu\text{m}/\text{m}$)
73	75
173	196,50
273	289,50
373	423
473	535
573	640

Fonte: Autores (2022).

Observa-se, que foi adicionando uniformemente uma carga de 100gr e por meio do software foi medindo a deformação inicial do compósito, que conseqüentemente cresce de acordo com o acréscimo da carga.

Por conta disso, expressando o seguinte Gráfico 1, de deformação linear no Matlab.

Gráfico 1 – Relação Deformação Inicial e Regressão Linear (Caminho de Ida).



Fonte: Autores (2022).

A esse respeito, a partir dos dados do Gráfico 1, nota-se que a deformação calculada inicial não está totalmente alinhada com a projeção linear. Mas possuindo cerca de 99,86% de aproximação em relação a projeção linear.

Logo em seguida, foi realizado o caminho (de volta) tirando os pesos até ficar apenas o peso da barra. Ocorrendo assim algumas diferenças em relação a deformação no caminho (de ida), como mostrado no Quadro 2. Tal diferença ocorria por causa da variação de temperatura.

Quadro 2 – Deformação na volta.

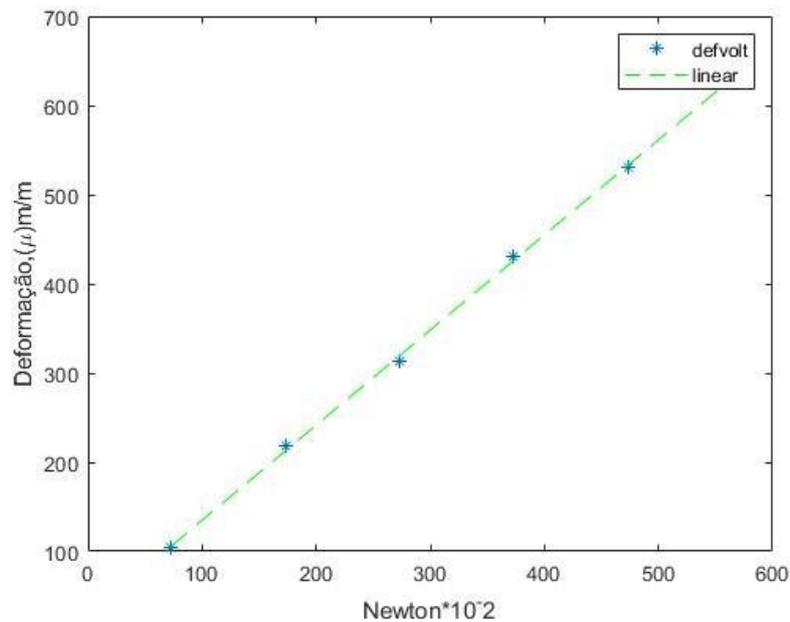
Peso (g)	Deformação Inicial ($\mu\text{m/m}$)
73	104
173	218
273	314
373	430
473	530
573	640

Fonte: Autores (2022).

Observa-se, que foi retirando uniformemente uma carga de 100gr e por meio do software foi medindo a deformação inicial do compósito, que consequentemente decresce de acordo com a retirada da anilha.

Por esse âmbito, expresso o seguinte Gráfico 2, das deformações no Matlab.

Gráfico 2 – Relação Deformação Inicial e Regressão Linear (Caminho de Volta).



Fonte: Autores (2022).

A esse respeito, a partir dos dados do Gráfico 2, nota-se que a deformação calculada inicial não está totalmente alinhada com a projeção linear. Mas possuindo cerca de 99,96% de aproximação em relação a projeção linear.

Todavia, com os resultados obtidos pelos gráficos 1 e 2 é possível descobrir o Módulo de Elasticidade do compósito, a partir da utilização da equação de deformação (8).

4. Considerações Finais

Entretanto, após os Gráficos 1 e 2 de ida e volta é possível calcular o módulo de elasticidade do compósito nas duas situações. Sendo assim, no caminho de ida possuindo um módulo de elasticidade a partir de uma média dos pontos da projeção linear de aproximadamente 3094MPa. A esse respeito, no caminho de volta possuindo um valor de aproximadamente 2890MPa. Por esse âmbito, fazendo uma analogia a partir da literatura, um compósito de resina possui cerca de 2900MPa,

sendo assim, experimento executado nas práticas no decorrer do relatório, possui comprovação para o cálculo do modulo de elasticidade.

Então, a uso da equação de deformação (8) é possível calcular o modulo de elasticidade de um material. O estudo da extensometria e dos strain gages é de grande importância para a evolução desse trabalho.

Para recomendações de trabalhos futuros é aplicação desse sistema, mas para compósitos que sejam feitos por materiais que possuem um modulo de elasticidade desconhecida.

Referências

- Almeida, L. (2020). *O que é calibração*. Nexxto.
- Barreto Jr. E. (2002) *Conhecendo o extensômetro elétrico de resistência – Manual técnico*.
- Bastos, J. (N.D.). (2019). Condicionamento em ponte de wheatstone de um termistor. http://intranet.deei.fct.ualg.pt/archive/Inst_2000/lab03.pdf
- Beer, F. P. & Johnston, Jr. E. R. (1995). *Resistência dos Materiais*. (3a ed.), Pearson Makron Books.
- Callister Jr. W. D. & Rethwisch, D. G. (2015). *Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução*, (8a ed.), Gen LTC.
- Grante (2004). *Grupo de Análise e Projeto Mecânico*. Apostila de Extensometria – Universidade Federal de Santa Catarina. <http://grante.ufsc.br/download/Extensometria/SG-Apostila.pdf>.
- Markus, O. (2009). *Circuitos Elétricos - Corrente Contínua e Corrente Alternada*. (8a ed.), Érica.
- Marques Júnior, A. L. (2016). Automatização de uma bancada de atrito e desgaste para seleção de materiais de uma bomba de sangue centrífuga implantável / Antonio Luiz Marques Júnior. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo.
- Massoni, N. T. (2014). Ensino de laboratório em uma disciplina de Física Básica voltada para cursos de Engenharias: análises e perspectivas. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 31(2), 58-288.
- Measurements Group. (1996). *Catalog 500 - Precision Strain Gages*. Raleigh.
- Ni Measurement. (2013). *Medindo distensão com Strain Gages*.
- Omega (Brasil). (2019). *Introdução a sensores de deformação*. <http://br.omega.com/prodinfo/sensores-de-deformacao.html>.
- Operating Manual – QuantumX - HBM. (2016). https://sites.fct.unl.pt/sites/default/files/declabs/files/quantum_mx1615-manual-eng.pdf
- Parreira, J. E. & Dickman, A. G. (2020). Objetivos das aulas experimentais no ensino superior na visão de professores e estudantes da engenharia. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 42,17.
- Portnoi, M. (2013). Extensometria, história, uso e aparelho. EECIS. <https://www.eecis.udel.edu/~portnoi/academic/academic-files/extensometria.html>.
- Rodrigues, A. (2021). Memorial Acadêmico Alexandre Guimarães Rodrigues. UFPA.
- Schneider, Fabiano. (2019). Medição de pressão e a metrologia. Novus, 2019. <https://cdn.novusautomation.com/downloads/medi%C3%A7%C3%A3o%20de%20press%C3%A3o%20e%20a%20metrologia.pdf>.
- Shakeel, M., Khan, W. A. & Rahman, K. (2017). Fabrication of cost effective and high sensitivity resistive strain gauge using DIW technique. *Sensors and Actuators A: Physical – Elsevier*. 123130.
- The Mathworks inc. Matlab Product Description. (2018). MathWorks. http://www.mathworks.com/help/matlab/learn_matlab/product-description.html.
- Vishay Precision Group, inc. (2018). General Purpose Strain Gage –Linear Pattern. Vishay Precision Group, Inc. <http://www.vishaypg.com/docs/11189/062uw.pdf>.