

ENSAIO DE FLEXÃO DE TRÊS PONTOS NUMA PLACA DE VIDRO COM VARIAÇÕES DE CARGA E COMPRIMENTO DO VÃO ENTRE OS APOIOS

Lourival Alves de Souza Neto¹, Yury Yashyn Fonseca Lopes Leite², Bruna Farias Barbosa Navarro², Paulo Jonas Moreira de Carvalho², Lucas Gabriel Andrade dos Santos², João Lobo Peralta²

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará - IFPA, Belém/PA, Brasil
(l.neto90@hotmail.com)

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará - IFPA, Belém/PA, Brasil

Resumo: O ensaio de flexão em três pontos é um dos ensaios mecânicos, sendo utilizado para avaliar certas propriedades mecânicas de um material. O objetivo desse trabalho é executar dois ensaios de flexão numa placa de vidro, onde foi feito com comprimento definido e carga variada, e outro com carga definida e comprimento variado. Os resultados mostraram uma média nos módulos de elasticidade aproximada para ambos os ensaios, contudo, o segundo ensaio apresentou uma variação maior que o primeiro.

Palavras-chave: Ensaio de flexão de três pontos; Vidro; Módulo de elasticidade;

INTRODUÇÃO

A análise da resistência e do comportamento mecânico dos materiais é uma parte crucial para compreender sua aplicabilidade em diversas indústrias e aplicações. Para avaliar capacidade de um material, é necessário a realização de ensaios para estimar os seus parâmetros nas condições de trabalho (Ferreira et al., 2020). Entre os ensaios mais conhecidos, estão os ensaios mecânicos, como de tração, compressão, flexão e cisalhamento que permitem avaliar as propriedades estruturais (Reis e Naville, 2020). Ferreira (2021) cita que os ensaios devem seguir normas técnicas, que estabelece critérios, diretrizes e requisitos durante a execução dos ensaios.

Entre os ensaios mecânicos, o de flexão tem como objetivo determinar a resistência à flexão e o módulo de elasticidade, que são propriedades importantes durante o controle de qualidade (Andrade, 2021 *apud* Buragohain, 2017). Os ensaios de flexão podem ser divididos em dois tipos: ensaio de flexão em três pontos, e quatro pontos. Segundo Queirós (2021), no ensaio de flexão de três pontos é aplicado uma carga concentrada na viga diretamente no meio do vão, e ensaio de flexão em quatro pontos, onde a carga é transmitida por dois roletes, que se distancia entre si um terço ou metade da distância entre os suportes. A figura mostra de forma esquemática o ensaio de flexão de três e de quatro pontos.

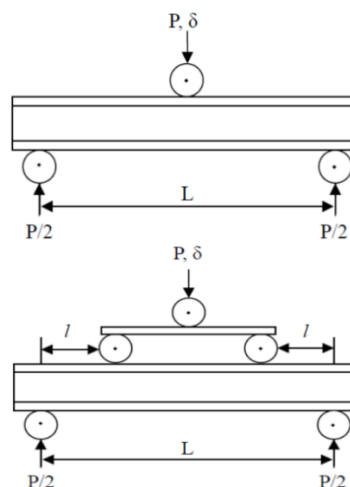


Figura 1. Ensaio de flexão em três pontos (acima) e em quatro pontos (abaixo). Adaptado de Queirós (2021).

A escolha do tipo de ensaio de flexão dependerá do tipo de análise que deverá ser realizado. Queirós (2021) cita que ao aplicar a carga em um ensaio de flexão em três pontos gera um momento de flexão constante na região central, e em quatro pontos, a região de momento constante entre os pontos de carga.

Entre os tipos de materiais que podem ser ensaiados, está o vidro. De acordo com Fabis (2021), as propriedades mecânicas dos vidros dependem da composição química e da topologia de sua estrutura, tendo como suas principais propriedades mecânicas o módulo de elasticidade, a relação Poisson, a dureza, a tenacidade e a resistência à fratura.

Considerando essas informações, o objetivo desse trabalho é realizar dois ensaios de flexão em três pontas em uma placa de vidro com comprimento do vão de 600 mm com carga variando de 5, 10, 15 e 20 N (ensaio 1), e um ensaio com carga de 10 N com comprimento de 300, 400, 500 e 600 mm (ensaio 2), seguindo a norma ASTM C1161 – 18. A partir dos dados obtidos desse ensaio, determinar o momento fletor, tensão na flexão e módulo de elasticidade individual e médio.

MATERIAL E MÉTODOS

ENSAIO COM COMPRIMENTO DO VÃO DEFINIDO E CARGA VARIANDO

Usando a norma ASTM C1161-18, foi posicionado uma chapa de vidro em um suporte de ombro com um comprimento dimensionado em 600 mm. Em seguida, foi posicionado o relógio comparador no centro da chapa de vidro para medir a capacidade de flexão do material. Após isso, foi adicionado as cargas de 5 N, 10 N, 15 N e 20 N, sendo observado os resultados das variações dessas cargas no relógio comparador. A figura 2 demonstra como foi feito o experimento.



Figura 2. Chapa de vidro na máquina de flexão.

ENSAIO COM CARGA DEFINIDA E COMPRIMENTO DO VÃO VARIADO

Para esse ensaio foi selecionada a carga de 10 N, e usando o relógio comparador no centro da chapa de vidro, foi observado os resultados para o posicionamento com os comprimentos variando em 300 mm, 400 mm, 500 mm e 600 mm. Esse ensaio pode ser visto na figura 3.

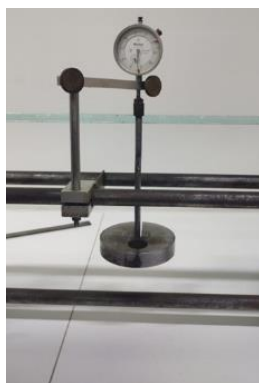


Figura 3. Ensaio de flexão de três pontos com carga 10 N.

CALCULANDO O MOMENTO FLETOR, TENSÃO DE FLEXÃO E MÓDULO DE ELASTICIDADE INDIVIDUAL E MÉDIO

Para determinar o momento fletor para o ensaio de flexão de três pontos, deve seguir a seguinte equação:

$$M_f = \frac{FL}{4}; \quad (1)$$

Onde:

M_f = Momento fletor (Nm);

F = Carga (N);

L = Comprimento do vão.

Para definir o valor do momento de inercia para ensaio de flexão de três pontos, deve ser usado a seguinte equação:

$$I_z = \frac{bh^3}{12}; \quad (2)$$

Onde:

I_z = Momento de inercia (mm⁴);

b = base (mm);

h = altura (mm).

Para calcular a tensão de flexão do ensaio de flexão de três pontos, usa-se as equações abaixo:

$$T_{flex} = \frac{M_f}{W}; \quad (3)$$

$$W = \frac{I_z}{C}; \quad (4)$$

$$C = \frac{h}{2}; \quad (5)$$

Onde:

T_{flex} = Tensão de flexão (N/mm²);

W = Módulo de resistência (mm³);

C = Distância da linha neutra até a superfície do material (mm).

M_f , I_z , e h podem ser encontrado nas equações 1 e 2.

Com todo os valores determinados, calculou o valor do modulo de elasticidade usando a equação a seguir:

$$E = \frac{1}{48} \frac{FL^3}{fI_z}; \quad (6)$$

Onde:

E = Módulo de elasticidade (N/mm²);

f = Flexa (mm).

F, L e I_z podem ser encontrados na equação 1 e 2.

Após isso, foi feito a média dos valores de cada método, e os seus respectivos desvios padrões e o coeficiente de variação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

ENSAIO COM COMPRIMENTO DO VÃO DEFINIDO E CARGA VARIADA

A tabela 1 mostra os resultados obtidos da flexa para o ensaio de flexão com a distância de 600 mm entre os suportes para diferentes cargas.

Tabela 1. Resultados das flexas com comprimento do vão de 600 mm e carga variada.

Carga (N)	Flexa (mm)
5	0,13
10	0,27
15	0,39
20	0,52

Usando os dados da tabela 1, determinou-se os resultados do momento fletor, tensão de flexão e módulo de elasticidade. Esses dados estão na tabela 2.

Tabela 2. Valores obtidos dos ensaios de flexão de três pontos para comprimento do vão de 600 mm.

Carga (N)	5	10	15	20
Momento fletor (Nm)	0,75	1,5	2,25	3
Tensão de flexão (MPa)	0,69	1,38	2,08	2,77
Módulo de elasticidade (GPa)	31,95	30,77	31,95	31,95

ENSAIO COM CARGA DEFINIDA E COMPRIMENTO DO VÃO VARIADO

Os resultados obtidos da flexa podem ser vistos na tabela 3.

Tabela 3. Resultados das flexas com carga de 10 N e comprimento variado.

Comprimento (mm)	Flexa (mm)
300	0,03
400	0,08
500	0,16
600	0,27

Com esses resultados, pôde-se determinar os dados do momento fletor, tensão de flexão e módulo de elasticidade, podendo ser visto na tabela 4.

Tabela 4. Resultados dos ensaios de flexão de três pontos para a carga de 10 N.

Comprimento (mm)	300	400	500	600
Momento Fletor (Nm)	0,75	1	1,25	1,5
Tensão de Flexão (MPa)	0,69	0,92	1,15	1,38
Módulo de Elasticidade (GPa)	34,62	30,77	30,05	30,77

MÉDIA DOS MÓDULOS DE ELASTICIDADE PARA CADA ENSAIO

A tabela 5 apresenta os resultados da média dos módulos de elasticidade para ambos os ensaios como visto nas tabelas 2 e 4, como também os desvios padrões e coeficiente de variação.

Tabela 5. Resultados das médias dos módulos de elasticidade e o desvio padrão para cada ensaio.

Ensaio	Módulo elasticidade (GPa)	Desvio Padrão (GPa)	Coeficiente de variação (%)
1	31,66	0,59	1,87
2	31,55	2,07	6,56

Ao analisar ambos os ensaios, nota-se que as médias dos módulos de elasticidade possuem os valores aproximados, com uma diferença de 0,35%. Contudo, ao analisar os desvios padrão e coeficiente de variação, percebe-se que o ensaio com carga definida e comprimento do vão variado, apresentou uma maior dispersão dos dados que o ensaio 1. Esse efeito pode ter sido causado durante a execução do ensaio ou devido as condições do equipamento utilizado.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos da flexa expressaram o comportamento do material quando submetido ao ensaio de flexão de três pontas, tanto em relação a variação da carga utilizada ou do comprimento da chapa de vidro entre os suportes. Esses resultados foram influenciados pela rigidez do material, fazendo com que seja submetido a cargas em sua superfície sem sofrer grande deformações.

Certas interferências podem ter ocorrido durante a execução dos ensaios, podendo ter sido originadas por ação humana ou por fatores externos que não puderam



ser controlados, acarretando erros. Contudo, não demonstraram grande influência nos resultados.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C1161 – 18: Standard Test Method for Flexural Strength of Advanced Ceramics at Ambient Temperature. West Conshohocken, PA: ASTM International, 3 p., 2023.

ANDRADE, Cláudio José Montenegro de. Efeito da alteração dimensional em corpos de prova de compósito PRFV submetido ao ensaio de flexão conforme a norma ASTM D790. 2021. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021.

FABIS, Débora Cristina Niero. Desenvolvimento de vitrocerâmicos transparentes resistência ao impacto. 2021. 120 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, São Paulo, 2021.

FERREIRA, Antônio Cardoso *et al.* Comparação de um material comercial sem especificações técnicas, em relação a um material padronizado, utilizando ensaio mecânico. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 11, p. 90421-90436, nov. 2020.

FERREIRA, Gerhard Jahn. Análise do tempo de vida em fadiga de hastes de sistemas de fixação de coluna vertebral – teórico e experimental. 2021. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecatrônica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Campus Florianópolis, Florianópolis, 2021.

QUEIRÓS, Miguel José Rodrigues. Avaliação experimental e numérica de estruturas sandwich compósitas. 2021. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Instituto Superior de Engenharia do Porto, Departamento de Engenharia Mecânica, Porto, 2021.

REIS, Suellen Cristina dos; NAVILLE, William. Caracterização mecânica de compósitos laminados. In: SIMPÓSIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, DIDÁTICA E DE AÇÕES SOCIAIS DA FEI, 10., 2020. Anais [...]. São Bernardo do Campo: Centro Universitário FEI, 2020.