

DESENVOLVIMENTO E TESTE DE UM NOVO DISPOSITIVO DE ACOPLAMENTO PARA REALIZAÇÃO DE ENSAIOS DE TRAÇÃO BIAxIAL NO PLANO COM CORPOS DE PROVA CRUCIFORMES

Fernando Guimarães Vianna, fernandoguvianna@gmail.com¹

Wanderley Ferreira de Amorim Junior, wanderley.ferreira@professor.ufcg.edu.br²

^{1,2}Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Rua Aprígio Veloso, 882 – Universitário, Campina Grande – PB.

Resumo: Os ensaios de tração biaxial fornecem informações mais confiáveis quanto a análise de início do dano e dos mecanismos de falha, quando comparados com os ensaios de tração uniaxial, para a caracterização de materiais, como os anisotrópicos, hiperelásticos e heterogêneos, pois os aproximam de condições mais realistas, as quais estarão sujeitos na prática. Uma das abordagens mais referidas na literatura para formar a configuração do teste é o desenvolvimento de dispositivos para serem acoplados em máquinas uniaxiais. Tais equipamentos apresentam uma grande variedade de configurações e formatos, pois são geralmente dimensionados para serem acoplados à máquinas específicas. No entanto, os dispositivos não apresentam ainda o mesmo nível de maturidade tecnológica de máquinas biaxiais autônomas. Sendo assim, analisando as necessidades atuais, para o constante aperfeiçoamento do ensaio, um novo dispositivo de acoplamento para realização de ensaios de tração biaxial no plano com corpos de prova cruciformes, foi proposto neste trabalho. A metodologia de projeto utilizada inclui as fases de projeto informacional, conceitual, preliminar, detalhado e de fabricação e teste. O modelo numérico-experimental, Método de Elementos Finitos (MEF), foi utilizado para a análise de tensão do mecanismo. Além disso, um protótipo funcional, impresso em 3D, foi desenvolvido para obter um modelo em escala real de modo a facilitar a análise de sua funcionalidade. O dispositivo permite realizar ensaios com variações das taxas de carregamento entre os dois eixos de tracionamento por meio do ajuste dos ângulos de inclinação da barra de transmissão de carga em 45°, 55°, 65° e 75°. Além disso, é possível gerar um estado de deformação plana no centro do corpo de prova, com razão de carga 1:0, alterando a angulação de duas barras de transmissão de carga opostas para 90°. O mecanismo apresenta uma redução de componentes e uma simplificação na fabricação e construção, comparado a outros dois encontrados na literatura, onde, até o presente momento, são os únicos que possibilitam configurações de teste semelhantes as que serão apresentadas neste trabalho. Devido o caráter inovador desse dispositivo de acoplamento para realização de ensaio biaxial o projeto gerou um depósito de patente.

Palavras-chave: Biaxial, Cruciforme, Dispositivo, Tração.

1. INTRODUÇÃO

Os ensaios biaxiais surgiram diante da necessidade de obtenção de previsões mais realistas do comportamento mecânico de certos tipos de materiais de engenharia, como os anisotrópicos, heterogêneos e hiperelásticos, que apresentam, sob tensões multiaxiais complexas, respostas distintas daquelas fornecidas por ensaios padrões, como o de tração uniaxial. Sendo assim, em razão da capacidade de fornecer informações mais confiáveis para a análise de início do dano e dos mecanismos de falha, o ensaio biaxial tornou-se de grande interesse para as indústrias, dentre elas a automotiva, naval, aeronáutica e aeroespacial.

Dentro do campo de ensaio biaxial, o carregamento no plano com corpo de prova cruciforme tornou-se a técnica mais utilizada para o estudo das mudanças das curvas de tensão e dos estados de tensão linear e não linear, pois diferentemente do que ocorre nos outros métodos, as tensões de flexão e/ou as forças de atrito não estão presentes (ZHAO, K. *et al.*, 2019). Dessa forma, equipamentos têm sido utilizados para gerar um estado de tensão-deformação homogêneo no centro do corpo de prova cruciforme por meio do tracionamento dos braços da amostra em dois eixos perpendiculares.

Esses equipamentos, segundo Hannon e Tiernan (2008), podem ser divididos em dois grupos, que são os das máquinas autônomas e dos dispositivos de acoplamento para serem utilizados em máquinas universais. No entanto, apesar dos estudos iniciarem utilizando uma configuração de teste composta por uma máquina autônoma biaxial, engendrada por Shiratori e Ikegami (1967), um número maior de pesquisas foram direcionadas para o estudo do campo de tensão biaxial utilizando dispositivos que pudessem ser anexados às máquinas de tração uniaxial convencionais já existentes nos laboratórios de mecânica, onde, dentre as principais razões, pode-se citar o alto custo de fabricação das máquinas,

dificuldade para sincronizar o acionamento de pares de atuadores no mesmo eixo e, consequentemente, manter o centro do corpo de prova imóvel.

Os primeiros estudos com os dispositivos foram realizados por Ferron e Makinde (1988), que apresentaram um mecanismo pantográfico composto por oito elos binários e seis juntas de rotação, com uma peça fixa à base da máquina, e outra peça móvel, acoplada ao atuador, que, ao ser tracionada na direção vertical, é responsável por transmitir o segundo movimento na direção ortogonal. Terriault, Settounane e Brailosvki (2003), visando ensaiar corpos de prova de Ti-Ni que estariam sujeitos a diferentes temperaturas, apresentaram um mecanismo semelhante que trabalha com a aproximação dos dois pontos de fixação à máquina, simulando um ensaio de compressão, sendo o mecanismo responsável por fornecer o tracionamento em ambos os eixos da amostra cruciforme. Vezér e Major (2008), desenvolveram um dispositivo com movimento planar, composto por um sistema de barras e juntas cilíndricas, com rigidez capaz de ensaiar materiais elastoméricos. Andrusca *et al.*, (2018), também desenvolveu um dispositivo com movimento planar, mais robusto, cujo objetivo era a análise do comportamento de materiais metálicos e compósitos.

Outros pesquisadores dedicaram esforços ao desenvolvimento de dispositivos que possibilitassem a realização de ensaios com variações das taxas de carregamento em cada eixo. Rohr, Harwick e Nahme (2005) desenvolveram um dispositivo de tração biaxial, para investigar o comportamento tensão-deformação de tecidos de poliamida, que se assemelha a uma simplificação do mecanismo proposto por Terriault, Settouane e Brailovski. Para submeter a amostra a diferentes taxas de carregamento, os autores utilizaram diferentes comprimentos das barras de tracionamento. O projeto concebido por Brieu, Diani e Bhatnagar (2007), para a análise do comportamento de materiais hiperelásticos, diferentemente do que foi proposto por Rohr, Harvick e Nahme, realiza a mudança da taxa sem a necessidade de troca dos componentes, sendo promovida por meio do ajuste do ângulo de inclinação de barras cilíndricas oblíquas que fornecem um deslocamento diferente em cada eixo. Abu-Farha e Khraisheh (2010) projetaram um mecanismo composto por conjuntos de engrenagens e cremalheiras, que permite a mudança de carga alterando a relação de transmissão das engrenagens. Dongsheng, Tongya, Puchu, Wei e Yonggang (2021), desenvolveram um mecanismo capaz de realizar ensaios biaxiais quase-estáticos e dinâmicos, com o objetivo de analisar as propriedades mecânicas de chapas de alumínio. As diferentes taxas de deformação podem ser obtidas pela alteração do ângulo de inclinação das faces laterais de uma cunha piramidal, utilizada como peça de acionamento de carros guias. Além disso, uma condição de deformação plana no centro do corpo de prova, com relações de carga de 1:0 ou 0:1, também foram obtidos por Shao, Li, Lin e Dean (2016) e Zhao *et al.*, (2019), por meio da fixação de dois braços opostos do corpo de prova.

Nos trabalhos citados, pôde-se perceber que diversas configurações foram propostas, pois geralmente tais dispositivos são dimensionados para serem acoplados a máquinas específicas, que apresentam alterações quantos as formas de aplicação de carga, e para trabalhar com corpos de provas com características geométricas singulares para cada tipo de material. Ademais, buscas por melhorias tem sido alçadas para promover o constante aperfeiçoamento de requisitos, como a simetria em cada eixo de tracionamento, rigidez estrutural, aplicação de diferentes taxas de carregamento, campo de visão suficiente para acompanhamento da deformação do corpo de prova e redução de custo.

Nesse contexto, a concepção de um novo dispositivo será apresentada neste trabalho de modo a atender os principais requisitos já apontados e gerar resultados comparáveis para diferentes estratégias de teste. Logo, um protótipo funcional foi fabricado por impressão 3D, utilizando PLA. Para a validação do dispositivo, ensaios foram feitos utilizando um corpo de prova de borracha de silicone hiperelástica. A técnica de correlação de imagem digital (DIC) foi utilizada para a análise de homogeneidade do campo de tensão-deformação na zona de interesse e o método de elementos finitos (MEF) é utilizado para corroborar com os resultados obtidos no teste.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada para o desenvolvimento do dispositivo seguiu a estrutura proposta por Maribondo (2000), dividindo-se em seis fases, que são projeto informacional, projeto conceitual, projeto preliminar, projeto detalhado, fabricação e testes.

Inicialmente, na fase de projeto informacional, foi realizada uma ampla pesquisa bibliográfica, onde o banco de dados contou com 18 modelos de mecanismos que fornecem uma base atualizada tanto sobre o design e características operacionais dos dispositivos presentes na literatura como de suas limitações. Critérios como, rigidez estrutural, aplicação de diferentes taxas de carregamento biaxial sem a necessidade de troca de componentes, gerar um estado de deformação plana no centro do corpo de prova, acionamento simultâneo dos quatro braços do corpo de prova, processo de fabricação e capacidade de acoplamento na máquina uniaxial disponível foram avaliados. Com base nos dados obtidos, os que mais se adequaram as exigências foram os apresentados por Rohr, Harwick e Nahme (2005), Brieu, Diani e Bhatnagar (2007) e Zhao *et al.*, (2019).

Após o estudo realizado na fase de projeto informacional, foi dado início a fase de projeto conceitual que permite a visualização das ideias a partir de desenhos esquemáticos dos dispositivos. O desenho teve início adotando como estrutura principal o modelo proposto por Rohr, Harvick e Nahme, onde o funcionamento do mecanismo ocorre com a aplicação de uma força vertical na parte superior (Fig. 1(a)), ocorrendo a distribuição da carga entre quatro barras,

acopladas à carros guias, deslocando-se com o auxílio de guias lineares (Fig. 1(b)). Baseado também no projeto de Brieu, Diani e Bhatnagar, uma peça de acoplamento a máquina, em forma de cruz, foi proposta para que diferentes taxas de carregamento fossem alcançadas por meio da mudança da angulação das barras. A cruzeta permite o ajuste do ângulo de inclinação das barras em 45° , 55° e 75° em um eixo (Fig. 2(a)) e 45° , 65° e 90° em um eixo ortogonal (Fig. 2(b)), permitindo realizar diferentes combinações de aplicação de carga no corpo de prova. É importante ressaltar ainda que, assim como ocorre nos dois trabalhos mencionados acima, para que a maior taxa de deformação seja alcançada, as dimensões da área de medição devem ser observadas em um dado deslocamento. Diante disso, a razão dos deslocamentos entre os eixos podem ser de 1:0, 1:1,5, 1:2 e 1:3.

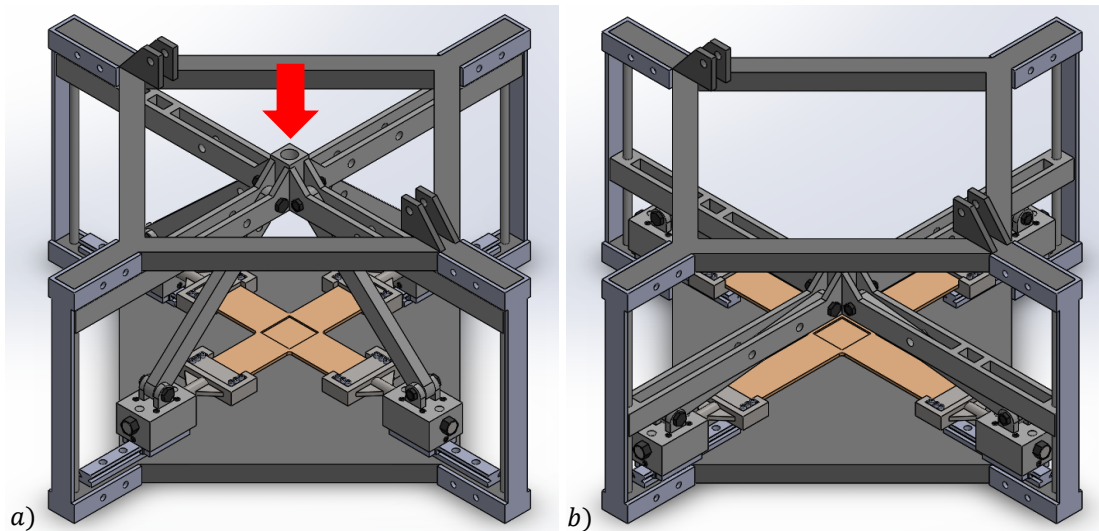


Figura 1: Representação esquemática do dispositivo.

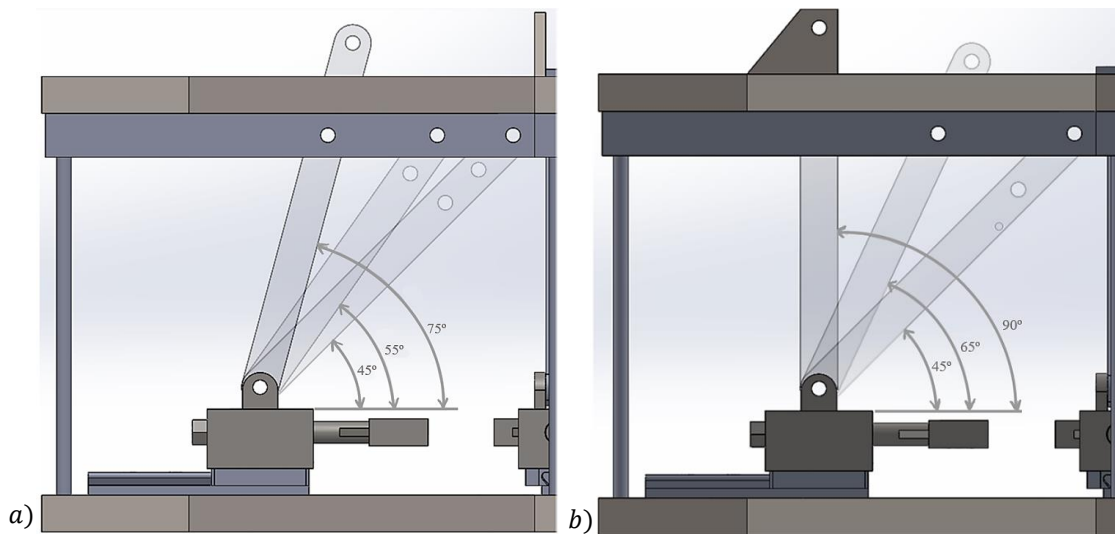


Figura 2: Representação esquemática das configurações de teste para o ensaio biaxial.

A configuração de teste com as barras posicionadas com um ângulo de 90° (Fig. 3(a)) em um eixo possibilita gerar um estado de deformação plana no corpo de prova, conforme proposto por Zhao *et al.*. Com a fixação das barras em um suporte, localizado acima da cruzeta, dois carros guias opostos são travados, impedindo o deslocamento dos braços da amostra no mesmo eixo (Fig. 3(b)). Além disso, pode-se observar na figura que, um sistema de eixos guias verticais foram adicionados para garantir maior estabilidade do mecanismo e o acionamento simultâneo das barras.

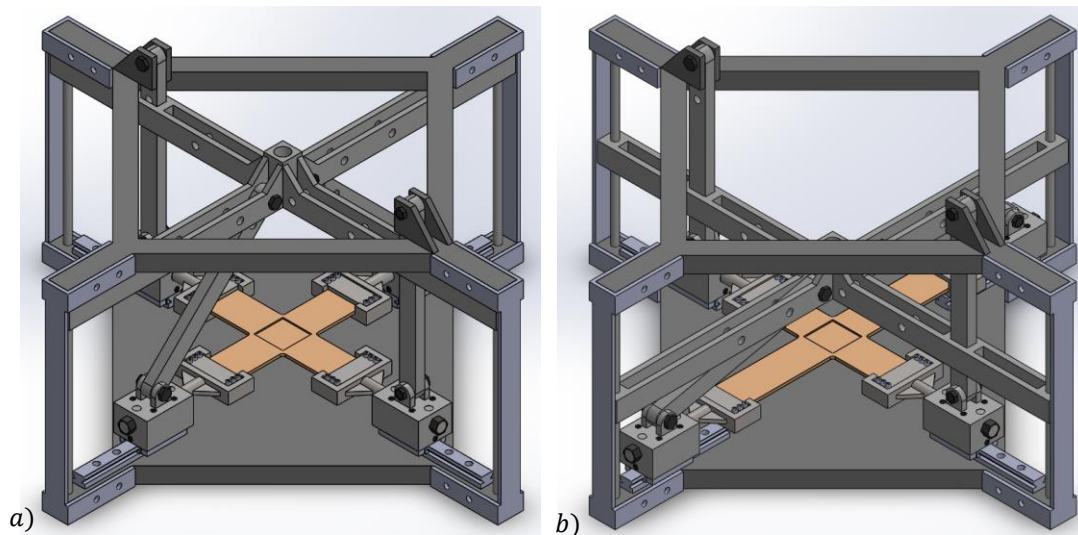


Figura 3: Representação esquemática da configuração de teste para estado de deformação plana.

Com a concretização das ideias, deu-se início a fase de projeto preliminar a fim de executar o correto dimensionamento das peças que compõem o projeto para que os requisitos já expostos fossem atendidos. A análise de distribuição de tensão utilizou o modelo numérico computacional, Método dos Elementos Finitos (MEF), considerando o aço AISI 1020 como material para todos os componentes do dispositivo. Para a cruzeta, peça que será acoplada ao atuador da máquina, foi considerada a carga estipulada para o projeto, de 10 kN. A tensão máxima de 204,5 MPa foi alcançada na junta dos reforços dos braços (Fig. 4), utilizando a configuração 45°-75°, com uma taxa de carregamento de 1:3. Nas simulações das demais peças foram aplicadas forças verticais de 2,5 kN, devido a força de 10 kN ser distribuída entre as quatro barras, para uma configuração de 45°-45° visando obter uma força horizontal máxima. As peças que apresentaram maior tensão foram a garra de fixação do corpo de prova (Fig. 5), com intensidade de 73,25 MPa, seguida do suporte da garra (Fig. 6), com 62,14 MPa. Adotando o limite de escoamento do material selecionado de aproximadamente 350 MPa e presumindo que a tensão máxima é obtida na cruzeta, um fator de segurança mínimo de 41,6% é considerado aceitável.

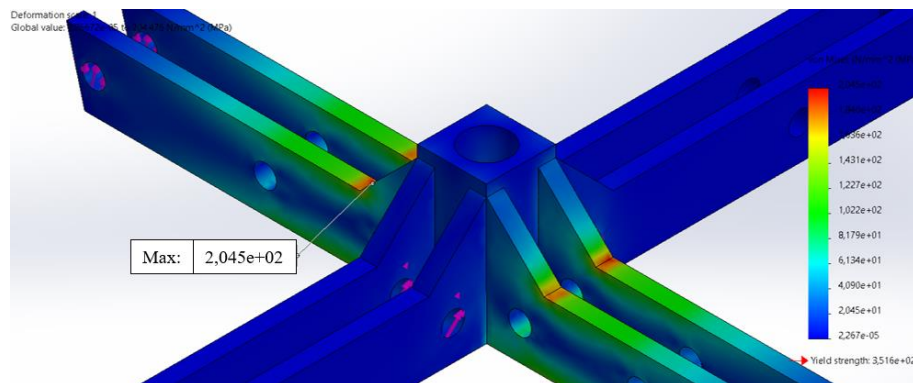


Figura 4: Análise de distribuição de tensão na cruzeta.

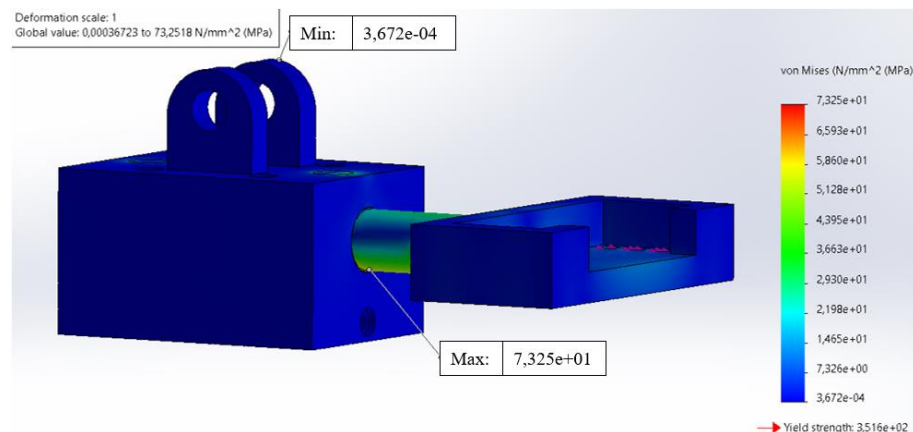


Figura 5: Análise de distribuição de tensão na garra de fixação do corpo de prova.

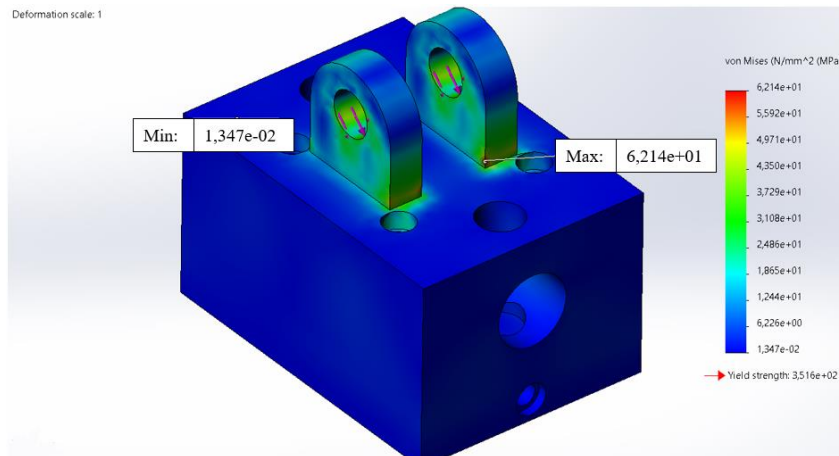


Figura 6: Análise de distribuição de tensão no suporte da garra de fixação do corpo de prova.

Concluída a análise estrutural a partir do software CAE, as informações técnicas para a fabricação e montagem das peças envolvidas no projeto foram apresentadas na fase de projeto detalhado. Analogamente ao que foi apresentado por Medellín, Elías, García, Gómez e La Peña (2019) e Vigueras, Camargo, Pineda e Zúñiga (2019), a concepção de um protótipo com um polímero termoplástico, ácido polilático (PLA), por manufatura aditiva foi definida. A fabricação foi realizada no Laboratório de Inovação e Prototipagem (LIP) da Universidade de Fortaleza (UNIFOR), com a impressora Sethi S3. O software utilizado para gerar a programação foi o Cura (Fig. 7).

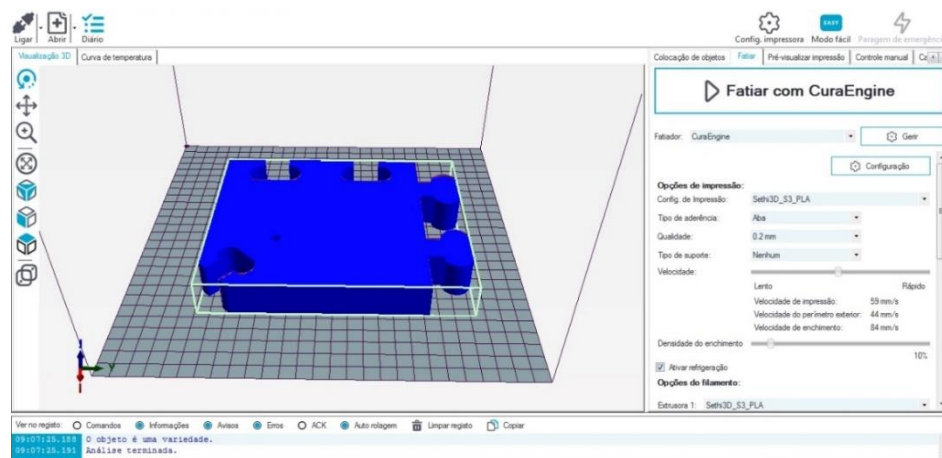


Figura 7: Software de fatiamento de código G para impressoras 3D.

Devido as dimensões de algumas peças serem maiores que a da mesa de impressão ($25 \times 25 \text{ mm}^2$), como a base de fixação na máquina, cruzeta, e o suporte para os eixos guias, estas foram fabricadas em partes. Na Fig. 8(a) é possível observar o processo de fabricação de uma peça (Fig. 8(b)) que irá compor a base de fixação e na Fig. 8(c) a base montada. A cola utilizada para a união das partes que irão formar cada peça é da marca TekBond, com uma resistência ao cisalhamento de até 11 kg/cm^2 . Visto que a cruzeta é a peça sujeita a maiores esforços, a densidade usada para sua impressão foi de 100%. Nas demais peças foram empregadas densidades de 5% a 30%.

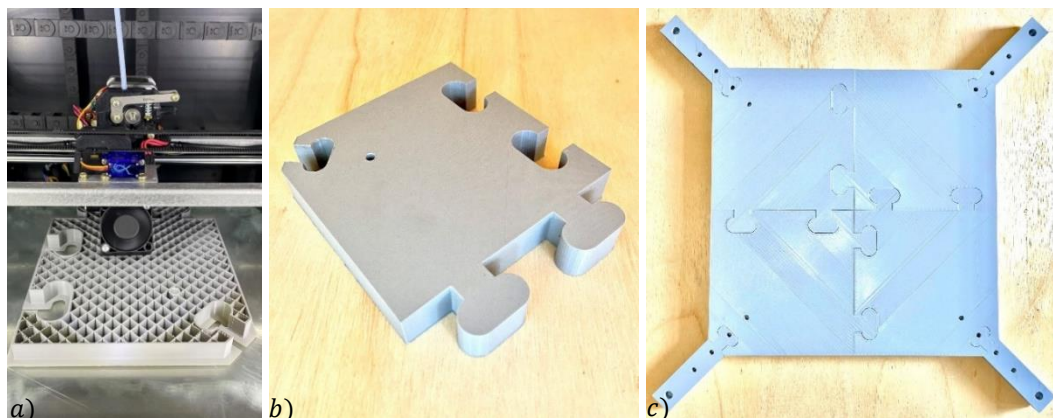


Figura 8: Processo de fabricação e montagem da base de fixação.

A validação do dispositivo foi efetuada com a aplicação de testes realizados no Laboratório de Ensaios Mecânicos da UNIFOR, sendo o dispositivo acoplado à máquina Instron 4484 (Fig. 9(a)). Em razão da densidade utilizada na impressão 3D e da baixa resistência do PLA, o material selecionado para ser ensaiado foi uma borracha de silicone hiperelástica. O corpo de prova tem dimensões de 240x240x1 mm, com geometria motivada pela que foi exposta por Seibert, Scheffer e Diebels (2015).

Dentre as técnicas de medição de distribuição homogênea da tensão-deformação, o método ótico de correlação de imagem digital (DIC) foi escolhido por permitir a medição da deformação de um campo maior, não exercer influência pelas condições impostas nos testes e por ser uma técnica mais simples e com menos equipamentos, necessitando apenas de câmera para filmagem, iluminação, impressão de padrões no corpo de prova e um software para o processamento das imagens.

As filmagens foram realizadas com o auxílio de um iPhone (Fig. 9(b)), com uma resolução de 4000x3000 pixels e 24 fps. A câmera foi direcionada para um espelho posicionado com um ângulo de 45° em relação a base do dispositivo, assim como proposto por Dongsheng, Tongya, Puchu, Wei e Yonggang (2021). As medições dos testes foram fornecidas pelo software Gom Correlate.

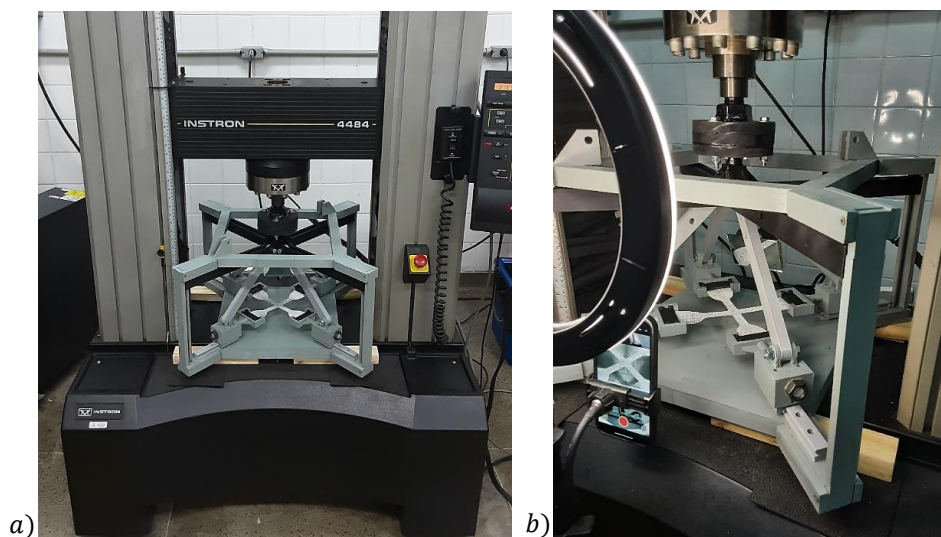
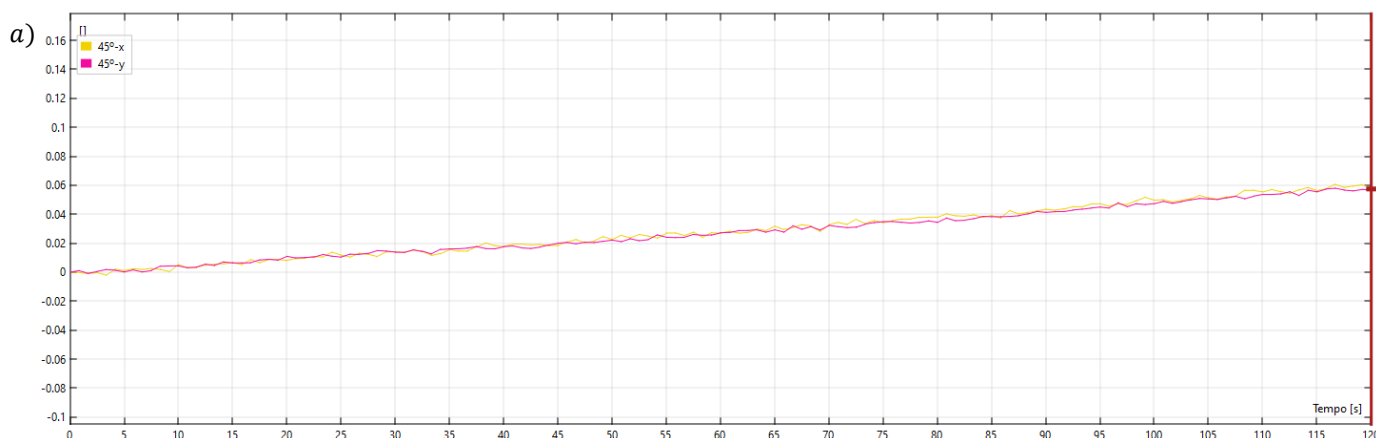


Figura 9: Configuração de teste biaxial.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fim de validar o dispositivo biaxial, foram fabricados cinco corpos de prova para serem utilizados nas diferentes configurações biaxiais que, foram classificadas conforme a angulação das barras nos dois eixos ortogonais e realizadas na seguinte sequência: 1) 45°/45°; 2) 45°/55°; 3) 45°/65°; 4) 45°/75°; 5) 45°/90°. Os dois primeiros ensaios foram executados com uma velocidade de aplicação de carga de 0,1 mm/min e os restantes elevados, de forma gradual, até o último ensaio ser realizado com velocidade de 10 mm/min, para verificação de instabilidade do mecanismo. Para a análise dos caminhos de deformação gerados nos corpos de prova, foram adicionados dois pontos na zona de interesse, área central do corpo de prova, com o auxílio do software Gom Correlate, de modo que fosse possível observar o comportamento nos eixos X-Y. Os resultados para cada ensaio são apresentados nos gráficos da Figura 10, na mesma sequência de realização.



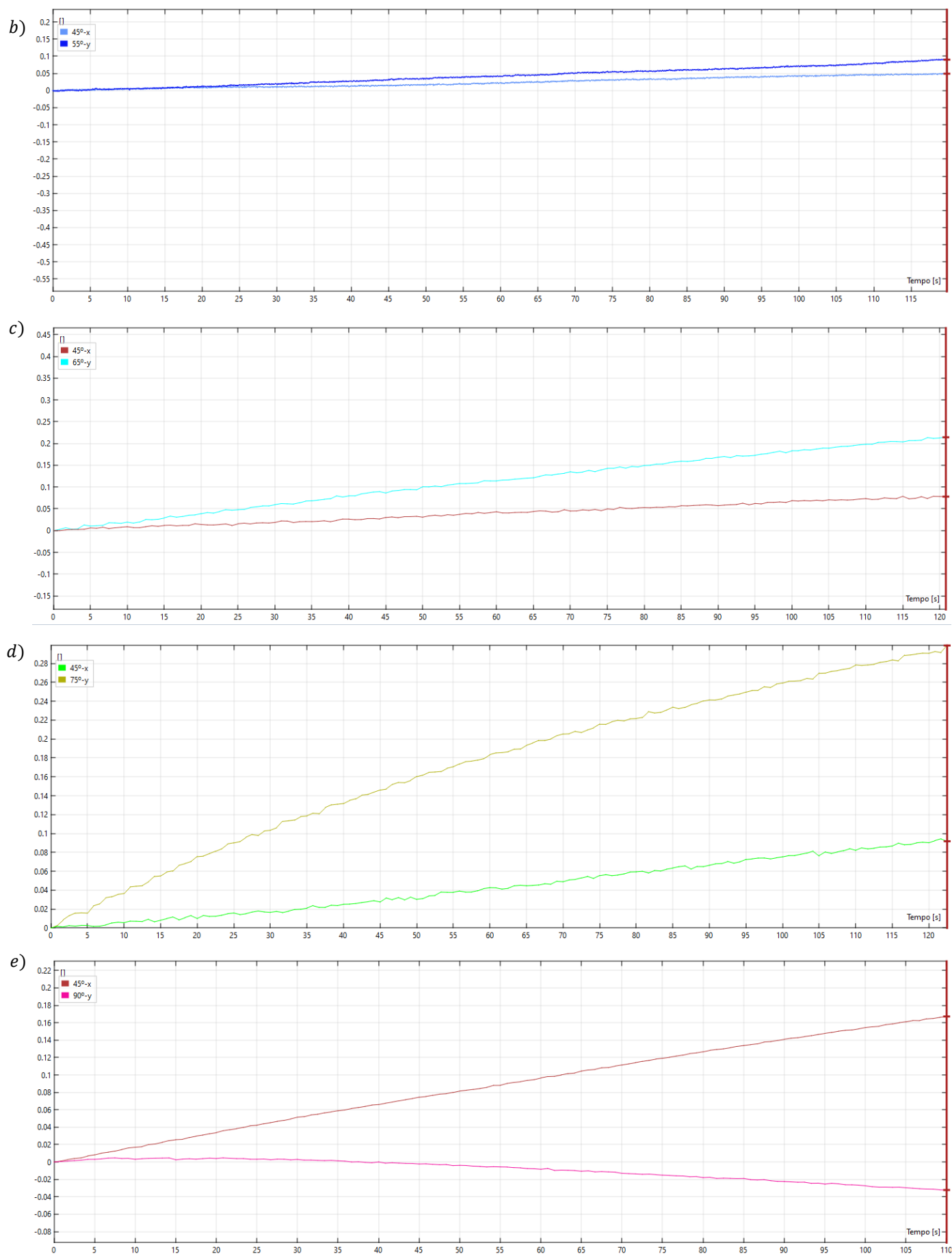


Figura 10: Gráfico Deformação x Tempo para as configurações a) 45°/45°; b) 45°/55°; c) 45°/65°; d) 45°/75°; e) 45°/90°.

Para a configuração equibiaxial (1:1), com as barras posicionadas inicialmente com um ângulo de 45° em relação à base, a ruptura do corpo de prova ocorreu em uma posição próxima do máximo curso fornecido pelo dispositivo, que é de 130 mm por eixo. A Figura 11 mostra que a máxima tensão foi alcançada no centro do corpo de prova, com a ruptura formando um ângulo de 45° , demonstrando a uniformidade do campo de tensão-deformação nessa região, o que também pode observado na Figura 12.



Figura 11: Corpo de prova após o ensaio equibiaxial (1:1).

Os resultados obtidos do campo de tensão para cada ensaio são apresentados na Figura 12. Importante destacar que comportamento da borracha de silicone observados com os resultados experimentais apresenta tendência semelhante ao de resultados fornecidos por modelagem numérica (Fig. 13), o que implica dizer que o novo dispositivo apresentou um desempenho dentro do esperado.

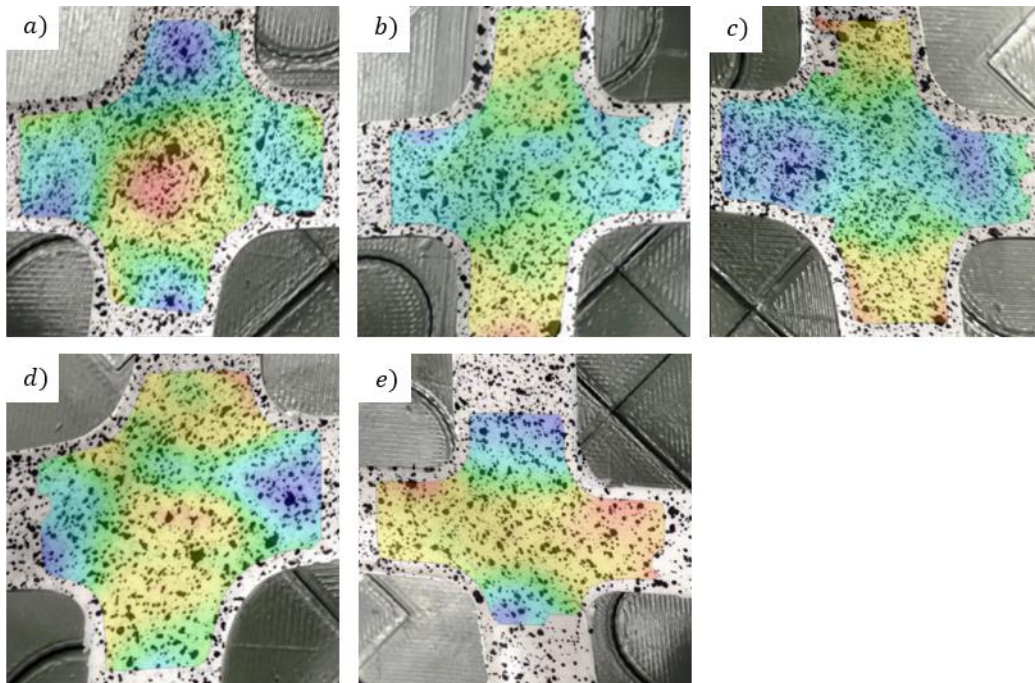


Figura 12: Critério de tensão de Von Mises por Gom Correlate para as configurações a) $45^\circ/45^\circ$; b) $45^\circ/55^\circ$; c) $45^\circ/65^\circ$; d) $45^\circ/75^\circ$; e) $45^\circ/90^\circ$.

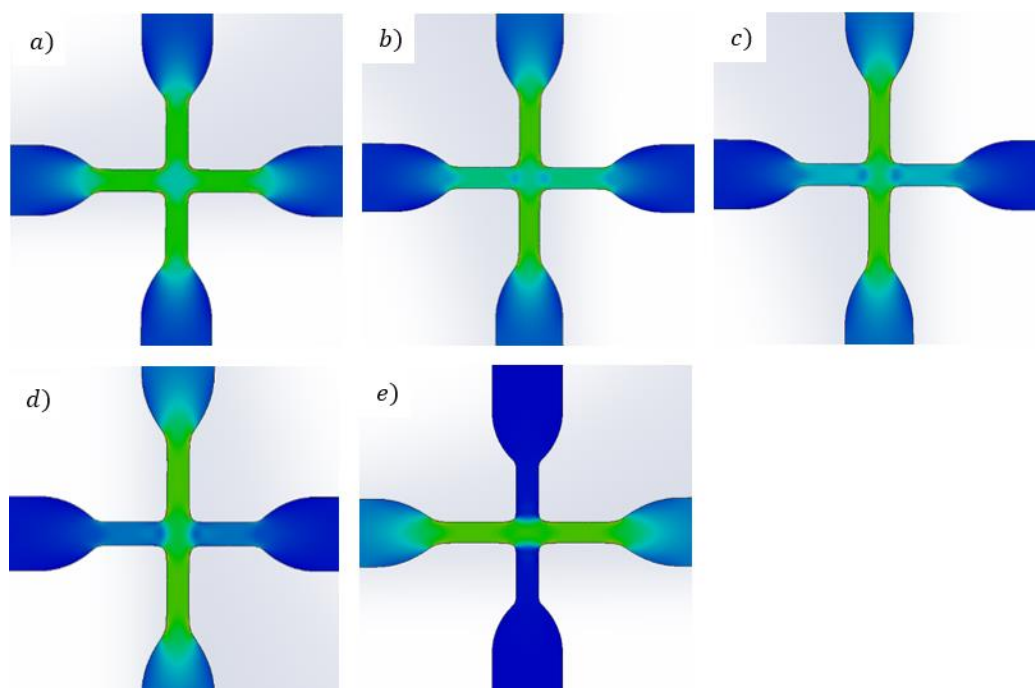


Figura 13: Critério de tensão de Von Mises por SolidWorks para as configurações a) 45°/45°; b) 45°/55°; c) 45°/65°; d) 45°/75°; e) 45°/90°.

A partir dos resultados fornecidos nos ensaios com a técnica DIC, pode-se perceber com os gráficos que pequenos desvios das taxas de deformação foram obtidos em alguns ensaios. Tal fato, pode ter ocorrido devido o ajuste irregular da inclinação do espelho, que era movimentado a cada novo ensaio com as trocas do corpo de prova, o que ocasiona, durante a leitura com o software, um aumento mais acelerado da deformação em um dos eixos. Além disso, o gráfico da Fig. 10(e) mostra uma condição muito próxima de deformação plana, pois, assim como mencionado por Zhao *et al.*, (2019), mesmo com dois braços opostos do corpo de prova travados, as regiões próximas da área central ainda podem ser deformar de forma quase imperceptível ao olho nu. Apesar dos desvios serem observados em alguns ensaios, a análise comparativa do campo de tensão mostra uma estabilidade dos resultados, tornando o dispositivo apto para realizar diferentes testes de tração biaxial.

4. CONCLUSÃO

Este estudo permitiu realizar o projeto e desenvolvimento de um novo dispositivo que é capaz de promover a aplicação de diferentes taxas de carregamento biaxial (1:1; 1:1,5; 1:2; 1:3) além de gerar um estado de deformação plana (1:0). O estudo do movimento do mecanismo foi realizado com a fabricação de um protótipo através do processo de manufatura aditiva. O critério de tensão de Von Mises foi comparado entre os softwares de correlação de imagem digital e CAE, o que mostrou uma boa correspondência dos resultados, gerando um desempenho dentro do esperado. Em relação à técnica de Correlação de Imagem Digital (DIC) utilizada é necessário ainda um aperfeiçoamento do método para uma interpretação mais precisa dos resultados, pois caso o ângulo do espelho seja diferente de 45° e não esteja posicionado sobre a zona de interesse, a câmera poderá interpretar um movimento diferente dos padrões impressos no corpo de prova, o que acarretará alterações na medição da deformação. O projeto do dispositivo, devido ao caráter inovador, gerou o depósito da patente BR102021024262-0.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal e Nível Superior (CAPES). Agradecemos ainda, a Universidade de Fortaleza (UNIFOR) pelo auxílio prestado para o desenvolvimento do projeto e, de um modo especial, à chefe do Laboratório de Inovação e Prototipagem (LIP), Clarissa Ribeiro Pereira de Almeida, e ao técnico especialista em impressão 3D, Erikson Queiroz Costa.

6. REFERÊNCIAS

- ABU-FARHA, Fadi; KHRAISHEH, Marwan, 2010. Uniaxially-Driven Controlled Biaxial Testing Fixture. Titular: The University Of Kentucky Research Foundation. US n. US 7,712,379 B2.
- ALEKSANDROVICH, Vansovich Konstantin, 2018. Modelo Elastoplástico de Crescimento de Rachaduras de Superfície de Fadiga sob Carregamento de Dois Eixos. 2018. 44 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Petróleo e Gás,

- Padronização e Metrologia, Petróleo e Gás - Dinâmica, Resistência de Máquinas, Aparelhos e Equipamentos, Omsk State Technical University, Omsk.
- ANDRUSCA, Liviu *et al.*, 2016. Design and Development of a Device Used in Biaxial Testing of Materials. Buletinul Institutului Politehnic Din Iași, Iași, v. 62, n. 66, p. 9-14.
- BARROSO, A. *et al.*, 2012. Biaxial Testing of Composites in Uniaxial Machines: Manufacturing of a Device, Analysis of the Specimen Geometry and Preliminary Experimental Results. In: 15TH EUROPEAN CONFERENCE ON COMPOSITE MATERIALS, 15., 2012, Sevilla. Conference. Venice: Eccm15, p. 1-8.
- BRIEU, M.; DIANI, J.; BHATNAGAR, N, 2007. A New Biaxial Tension Test Fixture for Uniaxial Testing Machine—A Validation for Hyperelastic Behavior of Rubber-like Materials. Journal of Testing and Evaluation, v. 35, n. 4, p. 100688.
- CLAY, Stephen B., 1999. Biaxial Testing Apparatus. Titular: Us Air Force. US n. US 5905205A.
- DONGSHENG, Liu; TONGYA, Shi; PUCHU, Xie; WEI, Chen; YONGGANG, Wang, 2021. Rail-guided static/dynamic biaxial tensile test technique. Explosion And Shock Waves, Zhejiang, v. 41, n. 6, p. 0641011-06410113.
- G. Ferron and A. Makinde, 1988. "Design and Development of a Biaxial Strength Testing Device," Journal of Testing and Evaluation 16, no. 3: p. 253-256.
- HANABUSA, Yasuhiro, 2014. Biaxial Tensile Testing Machine. JP n. US 8,671,771 B2.
- HANNON, A.; TIERNAN, P, 2008. A review of planar biaxial tensile test systems for sheet metal. *Journal of Materials Processing Technology*, NULL, v. 198, n. 1–3, p. 1–13.
- MARCELO, Herrera Caicedo Edison; ANDRÉS, Paguay Pinto Pablo, 2018. Diseño y Construcción de un Mecanismo para Realizar Ensayos de Tensión Biaxial en Materiales Anisotrópicos Adaptable a la Máquina de Ensayos Universal del Laboratorio de Esfuerzos y Vibraciones de la Facultad de Ingeniería Mecánica. 2018. 95 f. TCC (Graduação) - Curso de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- MARIBONDO, J. F., 2000. Desenvolvimento de uma metodologia de projeto de sistemas modulares, aplicada a unidades de processamento de resíduos sólidos domiciliares. 2000. 301 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- MEDELLÍN, Luis Fernando Puente; ELÍAS, Víctor Alfonso Ramírez; GARCÍA, Antonio de Jesús Balvantín; GÓMEZ, Perla Iris Vázquez; LAPEÑA, José Angel Diosdado de, 2019. On the implementation of FEA for the design and development of a new biaxial tensile test fixture for uniaxial testing machine: a validation for cruciform test specimens. Journal Of The Brazilian Society Of Mechanical Sciences And Engineering, [S.L.], v. 41, n. 9, p. 1-11. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s40430-019-1868-7>.
- ROHR, I.; HARWICK, W.; NAHME, H, 2005. Der biaxiale Kreuzzugversuch zur Ermittlung von Werkstoffkennwerten von Airbaggeweben am Beispiel von Polyamid 6.6. Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, v. 36, n. 5, p. 195–197.
- SEIBERT, H.; SCHEFFER, T.; DIEBELS, S., 2015. Biaxial Testing of Elastomers - Experimental Setup, Measurement and Experimental Optimisation of Specimen's Shape. Technische Mechanik; 34; 2; 72-89; Issn 2199-9244, [S.L.], v. 34, n. 2, p. 72-89. Otto von Guericke University Library, Magdeburg, Germany. <http://dx.doi.org/10.24352/UB.OVGU-2017-054>.
- SHAO, Z.; LI, N.; LIN, J.; DEAN, T. A., 2016. Development of a New Biaxial Testing System for Generating Forming Limit Diagrams for Sheet Metals Under Hot Stamping Conditions. Experimental Mechanics, [S.L.], v. 56, n. 9, p. 1489-1500. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11340-016-0183-9>.
- SHIRATORI, E.; IKEGAMI, K., 1967. A new biaxial tensile testing machine with flat specimen. *Bulletin of the Tokyo Institute of Technology*, v. 80, n. 51, p. 105–118.
- SILVA FILHO, Walter Belarmino da., 2017. Desenvolvimento de um Dispositivo de Tração Biaxial para Ensaios Mecânicos de Materiais. 182 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.
- SÒPHIA HIGH TECH (Itália) (org.), 2021. BIAxIAL TEST FIXTURE: Biaxial Tension Test Fixture for Uniaxial Testing Machine. Biaxial Tension Test Fixture for Uniaxial Testing Machine. Disponível em: <http://www.sophiahightech.com/en/biaxial-test-fixture/>.
- Terriault, P., Settouane, K., and Brailovski, V., 2003. "Biaxial testing at different temperatures of cruciform Ti-Ni samples," Proceedings of the International Conference on Shape Memory and Superelastic Technologies, ASM International, California, 247.
- VIGUERAS, Esau M. Rodriguez; CAMARGO, Jose A. Moctezuma; PINEDA, Luis M. Palacios; ZÑIGA, Alex Elías, 2019. Diseño de un dispositivo mecánico para pruebas biaxiales. In: XXV CONGRESO INTERNACIONAL ANUAL DE LA SOMIM, 25, Pachuca. XXV Congreso Anual de la SOMIM. Mazatlán: Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica A.C, p. 1-8.
- ZHAO, Kunmin *et al.*, 2019. Design of a biaxial tensile testing device and cruciform specimens for large plastic deformation in the central zone. Journal Of Materials Science, [s.l.], v. 54, n. 9, p. 7231-7245. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10853-019-03358-2>.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores Fernando Guimarães Vianna e Wanderley Ferreira de Amorim Júnior são os únicos responsáveis pelo material incluso neste trabalho.

DEVELOPMENT AND TESTING OF A NEW COUPLING DEVICE FOR PERFORMING IN-PLAN BIAXIAL TENSION TESTS WITH CRUCIFORM SPECIMENS

Fernando Guimarães Vianna, fernandoguvianna@gmail.com¹

Wanderley Ferreira de Amorim Junior, wanderley.ferreira@professor.ufcg.edu.br²

^{1,2}Federal University of Campina Grande (UFCG), Rua Aprígio Veloso, 882 – Universitário, Campina Grande – PB.

Abstract. *Biaxial tensile tests provide more reliable information regarding the analysis of damage onset and failure mechanisms, when compared to uniaxial tensile tests, for the characterization of materials such as anisotropic, hyperelastic and heterogeneous materials, as they approach conditions more realistic, which will be subject in practice. One of the most mentioned approaches in the literature to form the test configuration is the development of devices to be coupled to uniaxial machines. Such equipment has a wide variety of configurations and formats, as they are generally sized to be coupled to specific machines. However, the devices do not yet have the same level of technological maturity as autonomous biaxial machines. Therefore, analyzing the current needs, for the constant improvement of the test, a new coupling device for performing in-plane biaxial tensile tests with cruciform specimens was proposed in this work. The design methodology used includes the informational, conceptual, preliminary, detailed and fabrication and test design phases. The numerical-experimental model, Finite Element Method (FEM), was used for the stress analysis of the mechanism. In addition, a functional prototype, printed in 3D, was developed to obtain a model in real scale in order to facilitate the analysis of its functionality. The device allows carrying out tests with variations in loading rates between the two drive axes by adjusting the inclination angles of the load transmission bar at 45°, 55°, 65° and 75°. In addition, it is possible to generate a plane deformation state in the center of the specimen, with a load ratio of 1:0, by changing the angulation of two opposite load transmission bars to 90°. The mechanism presents a reduction of components and a simplification in the manufacture and construction, compared to other two found in the literature, where, until the present moment, they are the only ones that allow test configurations similar to those that will be presented in this work. Due to the innovative character of this coupling device for performing biaxial testing, the project generated a patent deposit.*

Keywords: *Biaxial, Cruciform, Device, Tensile.*