



Reconectando Pessoas,  
Ciências, Artes e  
Tecnologia

Anais do

XI Congresso de Engenharias da UFSJ

Part of ISSN 2237-0358

Conteúdo disponível em: [doi.org/10.29327/1317088.11-1](https://doi.org/10.29327/1317088.11-1)



## SIMULAÇÃO NUMÉRICA APLICADA NO DESENVOLVIMENTO DE CRASH BOX AUTOMOTIVO DE ESTRUTURA ORIGAMI

André Luiz Barreto Simas<sup>(1)</sup> ([andresjdr72@gmail.com](mailto:andresjdr72@gmail.com))

Márcio Eduardo Silveira<sup>(1)</sup> ([msilveira@ufs.ju.br](mailto:msilveira@ufs.ju.br))

<sup>(1)</sup> UFSJ - DEMEC—Endereço: Praça Frei Orlando, nº 17, Centro, Campus Santo Antônio

**RESUMO:** Os crash boxes são componentes estruturais de paredes finas dos veículos, projetados para absorver energia durante eventuais colisões, em média e baixa velocidade. Dessa forma, esses atenuadores de impacto devem garantir uma absorção de energia progressiva e controlada, evitando picos de força e, portanto, aceleração, que podem danificar o chassi do veículo e, sobretudo, ocasionar lesões nos passageiros. Nos últimos anos, entre as soluções mais promissoras, a estrutura origami é cada vez mais considerada em diversas pesquisas, com o objetivo de implementar um crash box que permite maior absorção de impacto em comparação ao modelo quadrado utilizado na indústria. No entanto, devido a sua complexidade geométrica, a sua aplicação na indústria automotiva ainda não se mostrou viável, além do seu modo de falha frágil e irregular. Dessa forma, neste trabalho, seguindo essa nova concepção, é proposto o desenvolvimento de um crash box automotiva de inspiração origami. Foi realizado um estudo comparativo da resposta de deformação de duas versões modificadas da estrutura origami, comparando com o modelo tradicional e o modelo de seção quadrada. Assim, o presente trabalho teve como objetivo principal desenvolver uma crash box baseada na geometria origami, mas com as viabilidades de soldagem a ponto dos crash boxes de seção retangular. Os resultados foram comparados com a origami original e uma retangular de mesma dimensão. A forma adaptada apresentou resultados teóricos semelhantes com a estrutura origami tradicional, além de oferecer uma alternativa viável de fabricação do componente. No entanto, sugere-se novos estudos para verificar se os resultados obtidos nas simulações também se refletem em um teste de impacto experimental.

**PALAVRAS-CHAVE:** Segurança veicular, absorvedor de impacto, crash box, origami.



Os autores são os únicos detentores dos direitos autorais.

São João del-Rei, Minas Gerais, Brasil

25-29 de setembro de 2023

[B.L. Resende](#), [C.M. Vale](#) & [R.J. Silva](#) (Organização & Edição)

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, de acordo com estatísticas do Departamento Nacional de Transporte (DNT) (2018), foram registradas 327.542 colisões nas estradas no ano de 2018, sendo que, deste total, 38.281 colisões resultaram em óbitos. Estima-se que uma parte significativa dessas colisões tenha sido de maneira frontal. Em 58% dos casos de acidentes como esses, a principal vítima é o condutor.

Considerando a urgência desse cenário e a necessidade de se promover a segurança veicular, dispositivos de absorção de colisão são componentes projetados para absorver energia cinética em caso de impacto de automóveis. Esses componentes atenuam a carga transferida para a célula do ocupante do veículo, dissipando energia, por meio de deformação plástica. Dessa forma, é obrigatório, em projeto estrutural automotivo, limitar a carga de impacto inicial, uma vez que transferem altas acelerações para a cabine, resultando em possíveis lesões aos passageiros (MORELLO, 2011).

Especificamente, os *crashes box* (absorvedores de impacto) desempenham um papel decisivo no índice de reparabilidade de um veículo, além de auxiliar na integridade estrutural da carroceria dianteira do mesmo, durante o impacto de baixa velocidade. Os *crash boxes* são estruturas de parede fina, que conectam o para-choque às longarinas do veículo (Figura 1). São projetados para funcionar como um “fusível” em impactos de baixa velocidades, colapsando sem afetar a estrutura principal de deformação (longarinas). De acordo com diversos estudos, a resposta de absorção de energia e o modo de colapso desse componente, são altamente influenciados por sua geometria e material (MORELLO, 2011).

Além dos desafios característicos de projetar um dispositivo para absorver energia de forma estável, o tipo de carregamento e montagem da estrutura na linha de produção, a viabilidade econômica, manutenção e outras condições devem ser atendidas para implementar o projeto. Nesse sentido, estruturas de paredes finas, como vigas e tubos, devido a significativa capacidade de absorver energia via deformação plástica, são as geometrias mais comuns utilizadas no setor automotivo e têm sido intensamente estudadas (BOREANAZ e BELIGARDI, 2018).

O uso de simulação numérica baseado no Método dos Elementos Finitos tem sido fundamental para acelerar o tempo de projeto dos *crash boxes*, bem como otimizar a sua forma (Figura 2). Estas simulações geralmente são baseadas em integração explícita no tempo, com formulações adequadas para lidar com grandes deformações, plasticidade e contato, tornando a

simulação robusta e confiável. Atualmente, há softwares comerciais que são baseados nestas formulações, onde é possível configurar com razoável precisão as condições de contorno de um ensaio real, bem como os parâmetros envolvidos no processo de fabricação dos *crash boxes* (ASCENÇÃO, SILVEIRA e POCKSZEVNICKI, 2021).

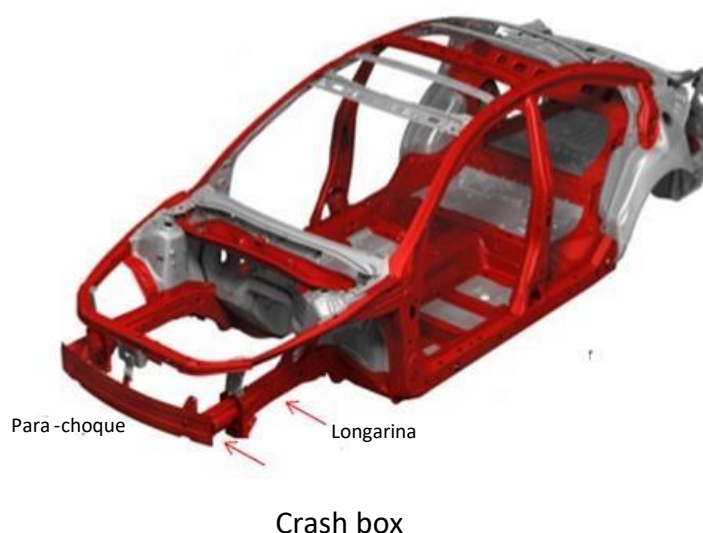


**FIGURA 1.** Posicionamento do *crash box* e das longarinas na carroceria de um automóvel (Fonte: Elétrico Automobilístico, 2015).

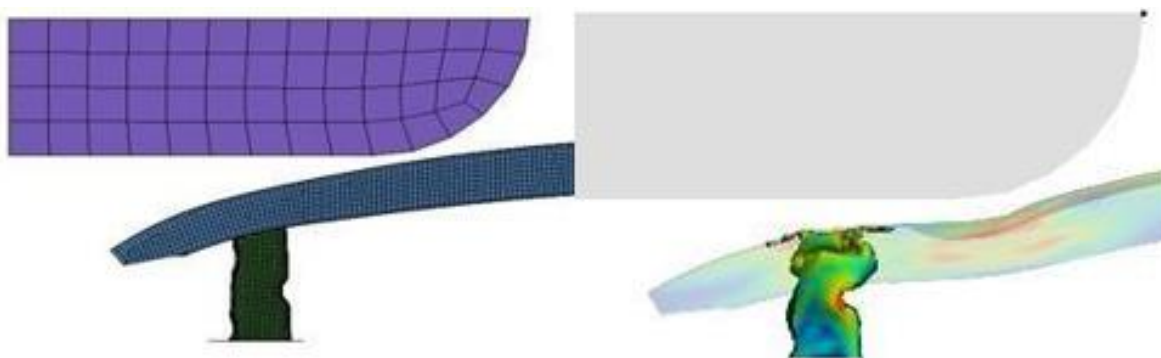


**FIGURA 2.** Simulação numérica de impacto em um para-choque evidenciando a deformação programada do *crash box*. (Fonte: autor).

No entanto, nos últimos anos, com o objetivo de reduzir a carga de impacto inicial e maximizar a absorção de energia nos *crash boxes*, novas tecnologias, como o padrão *Origami Engineering*, para estruturas de paredes finas, têm sido investigadas (Figura 3).

Ma e You (2014), estudaram, mediante otimização numérica, os efeitos da compressão axial em um *crash box* origami, e demonstraram que essa geometria gerava um modo de

deformação diferente dos absorvedores de seção quadrada e circular, classificado por eles como “octogonal”, com maior formação de rótulas, devido às dobraduras. De acordo com os resultados obtidos pela simulação numérica, essa estrutura oriental mostrou capacidade de reduzir a carga de impacto inicial em 20%, ao mesmo tempo em que promoveu um incremento no nível de absorção de energia de até 50%, comparativamente, com os absorvedores tradicionais.

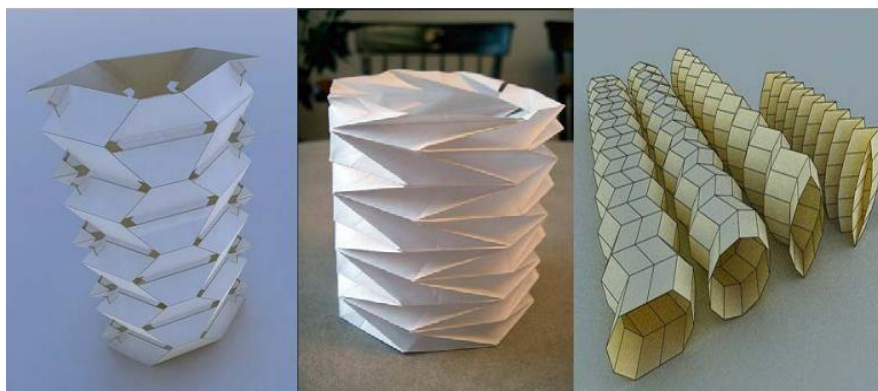


**FIGURA 3.** Exemplos de modelos de tubos em estruturas origami (Fonte: LI e YOU, 2019).

Posteriormente, outras pesquisas (BOREANAZ, BELINGARDI e MAIA, 2020; LI e YOU, 2019; ZHOU et al., 2016) confirmaram esse estudo pioneiro, mediante otimização numérica e testes experimentais, em tubos de origami, demonstrando o benefício desta geometria sob carregamento axial. De maneira geral, esses trabalhos contribuíram para a compreensão atual das características de absorção de energia ao introduzir padrões de origami nas estruturas de parede fina, observando que a dobradura geométrica é responsável por maior formação de rótulas plásticas, o que promove maior tempo de deformação e, conseqüentemente, reduz o impacto brusco gerado pela colisão frontal, conforme se visualiza na Figura 4. Entretanto, esses mesmos autores pontuaram que, nos testes experimentais, o modo de deformação octogonal ocorria raramente e era muito sensível às imperfeições geométricas de fabricação.

Em concordância com os resultados dessas pesquisas, em estudos recentes, realizados por Maia (2021) e Ascensão (2022), ao se analisar os efeitos de diferentes técnicas de soldagem empregadas na junção de *crash boxes* tipo origami, também foi observado que essa estrutura apresenta lacunas de viabilidade sob ponto de vista de fabricação, devido à complexidade geométrica, além dos resultados teóricos obtidos com a simulação numérica não terem apresentado uma boa correlação com os testes experimentais.

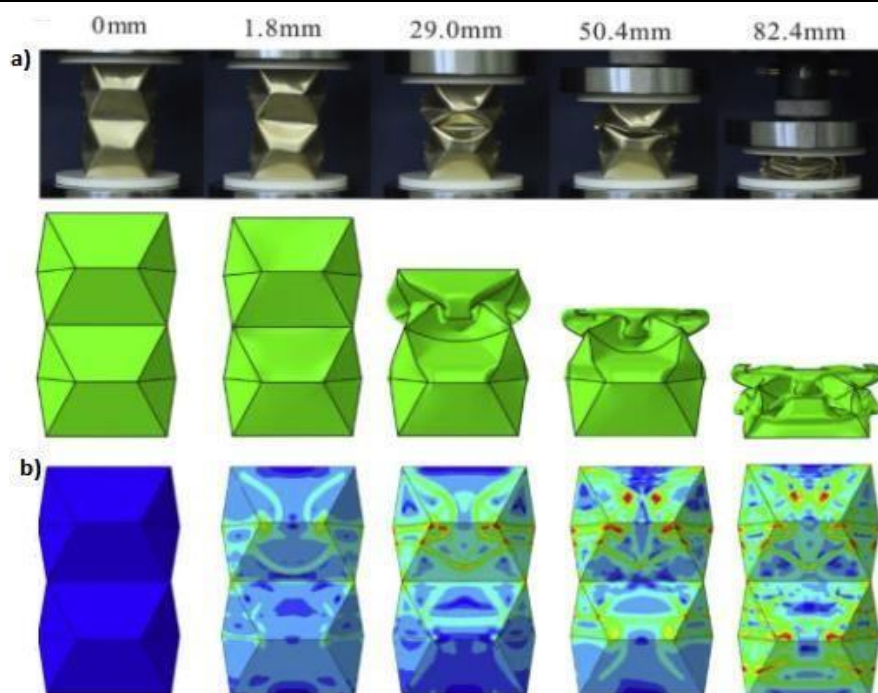


**FIGURA 4.** Deformação sob carregamento axial de um crash box origami: a) teste experimental; b) simulação numérica (**Fonte:** MA e YOU, 2014).

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado utilizando a infraestrutura computacional (hardwares e softwares) disponíveis no Laboratório de Simulação Numérica Aplicada (LASIN) do DEMEP-UFSJ. Por se tratar de um estudo apenas teórico, todo o trabalho se desenvolveu mediante simulação numérica.

Foram utilizadas como ferramentas de estudo o *software* de engenharia 3D CAD *Fusion 360*, na versão 2021, para o esboço e desenvolvimento das crash boxes. Além desse software, foi também utilizado o *Hyperworks 2021, Radioss*, para a simulação numérica de um teste de impacto entre um bloco rígido e os crash boxes.

Em uma primeira etapa, foi realizado um estudo sobre as principais geometrias de *crash boxes* disponíveis na literatura, assim como na indústria automotiva, avaliando o desempenho estrutural durante colisões, viabilidade de fabricação e custo. A estrutura origami original também foi avaliada nesta etapa. Para fins de comparação, todos os *crash boxes* foram feitos do mesmo material, mesma espessura, com dimensões e massa semelhantes.

A próxima etapa, baseado em normas nacionais e internacionais, consistiu no desenvolvimento de um modelo de *crash box* origami “híbrido”, o qual foi proposto uma geometria de deformação baseada na estrutura origami, com a viabilidade de fabricação dos *crash*

boxes tradicionais (Figura 5c e 5d). Nesta etapa, além dos softwares de simulação numérica, baseado no Método dos Elementos Finitos, para análise de desempenho estrutural, também foram utilizados softwares de otimização numérica, a fim de ter um esboço inicial da estrutura.

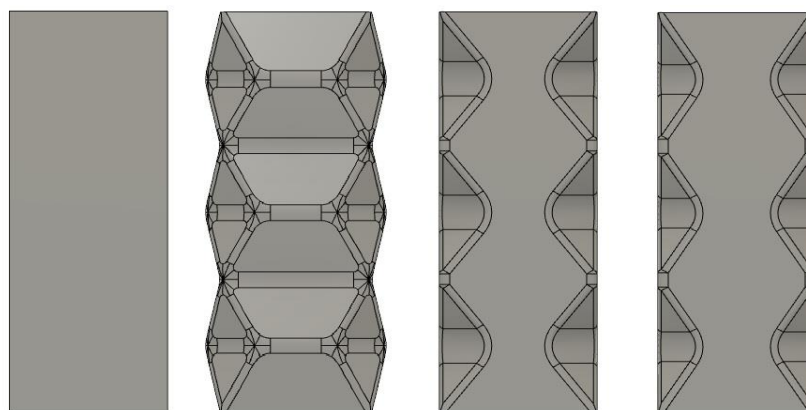


**FIGURA 5.** Visão frontal do crash box: a) quadrada; b) origami; c) modificada 1; d) modificada 2 (Fonte: autor).

A versão modificada 1 e 2 possuem estruturas similares, porém, conforme se observa na Figura 5c e 5d, na versão modificada 1, as arestas do losango são menores quando comparadas com a versão modificada 2. De acordo com a literatura e estudos anteriores, as variações dessas características geométricas primam diferentes mecanismos de deformação quando o componente é submetido à deformação axial, podendo apresentar flambagem da face, dobra para dentro ou para fora ou o modo de deformação octogonal.

A proposta deste trabalho foi adaptar uma crash box baseada na geometria origami, sem comprometer a viabilidade de fabricação. Considerando que crash boxes origamis são unidas mediante processo de solda Metal Inert Gas (MIG), que além de mais caro e demorado, induz uma rigidez que pode dificultar o empacotamento octogonal durante o impacto. Assim sendo, a principal desvantagem da soldagem MIG é a sua maior sensibilidade a variação dos parâmetros elétricos de operação do arco de soldagem, que influenciam diretamente na qualidade do cordão de solda depositado. Além disso, o maior custo do equipamento, associado com necessidade de manutenção, são outras limitações desse processo. Já as versões modificadas, com paredes laterais planas, semelhantes aos *crash boxes* de seção retangular, a principal vantagem é o processo de soldagem por solda a resistência (*spot welding*), que contribui para o modo de deformação octogonal.

## 2.1. Versão modificada 1 e 2

Os parâmetros geométricos da estrutura origami, desenvolvida por Maia (2021), foram utilizados para criar as versões modificadas 1 e 2 elaboradas no presente estudo (Figura 6).

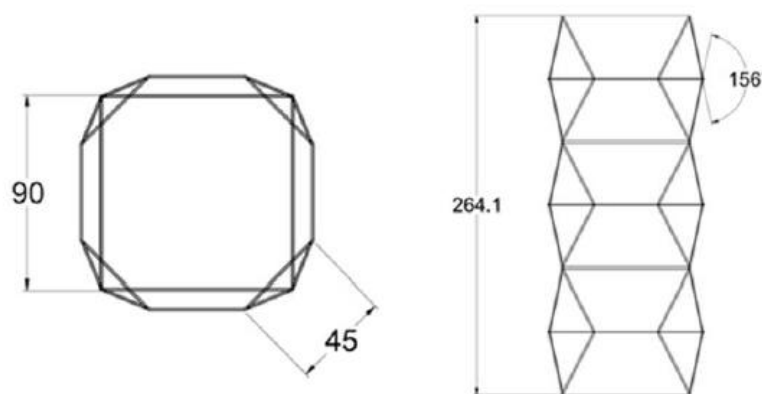


**FIGURA 6.** Parâmetros geométricos crash box Origami (**Fonte:** MAIA, 2021).

A versão modificada 1 foi construída a partir de um octógono, com as diagonais em 45mm e os demais lados 26,3mm. Como a versão é uma adaptação do origami tradicional, observa-se que essa modificação gerou, como consequência geométrica, um estreitamento na dimensão de um dos lados, conforme demonstrado na Figura 7.

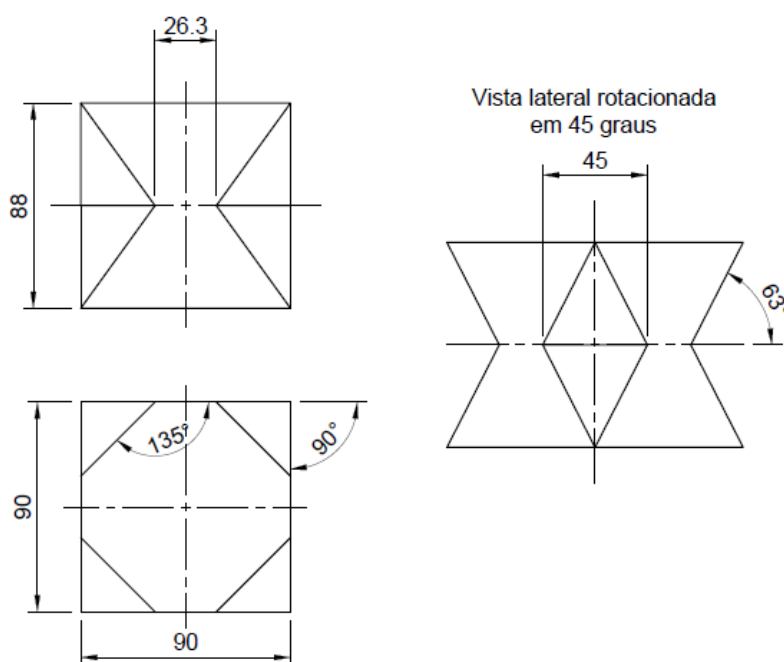


**FIGURA 7.** Esboço 2D das dimensões e ângulos da versão modificada 1 (**Fonte:** autor).

Na versão modificada 2, por sua vez, a medida dos lados foi definida pela dimensão do octógono. Considerando um octógono regular circunscrito em circunferência de raio 45mm, as medidas das diagonais apresentaram 37,3mm (Figura 8).

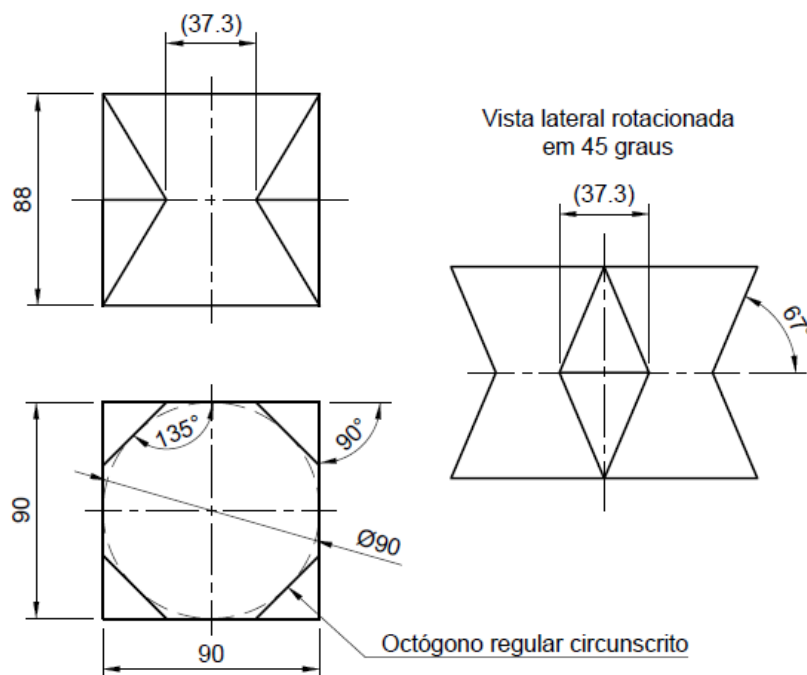


**FIGURA 8.** Esboço 2D das dimensões e ângulos da versão modificada 2 (**Fonte:** autor).

Por fim, após vários testes de simulação, por tentativa e erro, obtiveram-se dois formatos adaptados da geometria origami, além do modelo tradicional e a versão quadrada, conforme se visualiza na Figura 9.

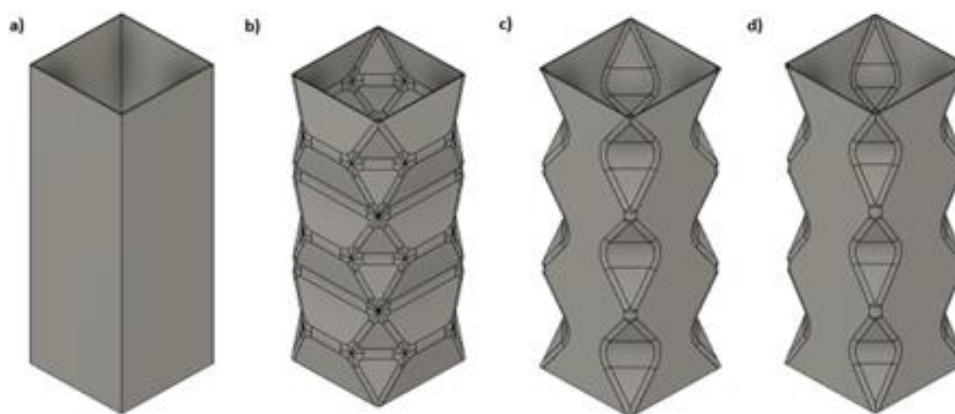


**FIGURA 9.** Visão 3D: a) quadrada; b) origami; c) modificada 1; d) modificada 2 (**Fonte:** autor).

É importante destacar que, no presente trabalho, como o objetivo consistiu em analisar apenas a influência da geometria como um todo. As estruturas foram simuladas considerando como se fosse um corpo único, isto é, sem o processo de união dos semicorpos estampados.

## 2.2. Modelo de simulação numérica da colisão do crash box no bloco rígido

A simulação de impacto a 10 m/s do crash box com o bloco rígido foi realizada, mediante o método de elementos finitos, utilizando o solver RADIOSS, *Hyperworks* 2021. O modelo numérico é demonstrado na Figura 10 e consiste no *crash box* origami (amarelo) e no bloco com massa de 141Kg (cinza). A geometria do crash box é de uma seção transversal, caracterizada como uma estrutura de paredes finas. Para modelagem, os elementos da geometria foram definidos com um tamanho médio de malha de 3mm, enquanto o bloco rígido foi modelado com elementos tetraédricos.

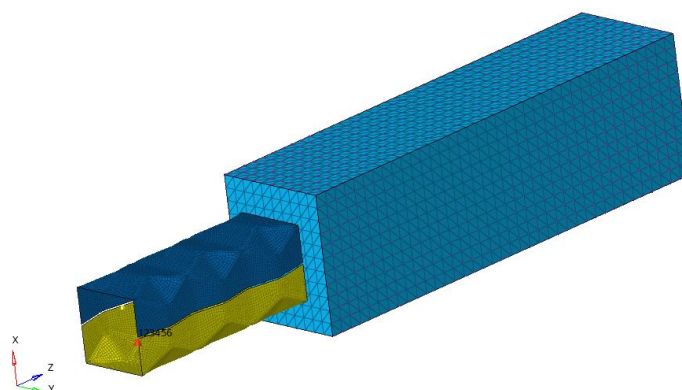


**FIGURA 10.** Modelo de simulação numérica do teste de impacto entre *crash box* e o bloco rígido (Fonte: Autor).

A espessura nominal dos *crash boxes* é 1,2mm, com base nos dados da literatura. O material das *crash boxes* é o aço comercial de elevada ductilidade, amplamente utilizado em estruturas automotivas. Para o presente estudo, não considerou a união dos semicorpos por soldagem, mas apenas como um corpo único. Todas as versões de *crash box* foram modeladas com o material M36\_PLAST\_TAB, tendo como parâmetros os valores apresentados na Tabela 1.

**TABELA 1.** Propriedades fixas dos materiais utilizados (Fonte: Autor)

| Massa (kg) | Módulo de Elasticidade (GPa) | Coefficiente de Poisson |
|------------|------------------------------|-------------------------|
| 141        | 210                          | 0,3                     |

## 2.3. Condições de contorno

O bloco rígido foi definido para colidir com o crash box em uma velocidade de impacto de 10 m/s, na direção longitudinal, com energia cinética variando de 7050 J, dependendo do tipo de geometria. Os nós de base do modelo do crash box foram fixados em a todos os graus de liberdade. O coeficiente de atrito de Coulomb entre os corpos foi considerado 0,5. Na definição de contato, a crash box foi fixada em uma das extremidades, de modo que durante a colisão do bloco rígido, a geometria não se deslocou, absorvendo todo impacto.

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Deslocamento

A Figura 11 mostra uma comparação visual entre o teste de impacto das quatro geometrias antes da simulação de impacto.

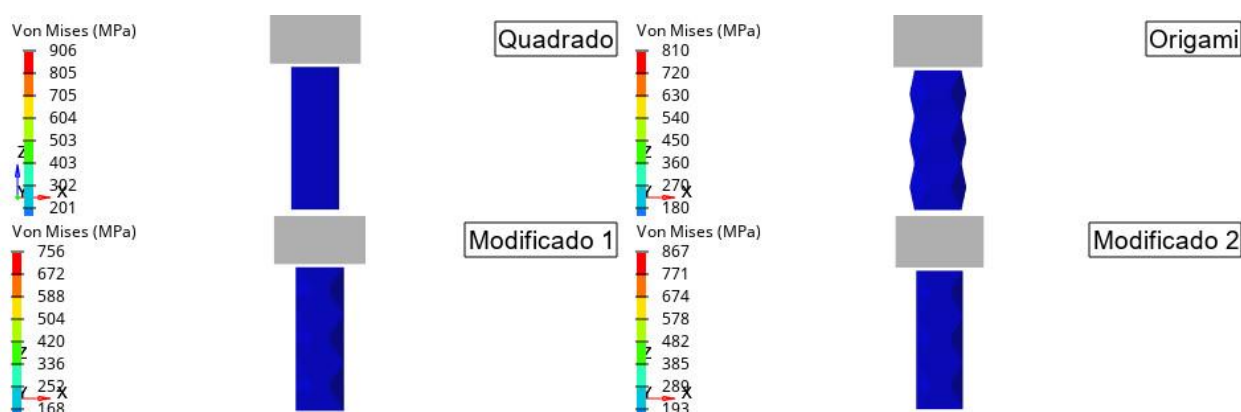


**FIGURA 11.** Comparação da vista lateral das geometrias antes do teste de impacto (**Fonte:** autor).

Na Figura 12 observa-se o momento 0,01s da simulação de impacto. Nota-se uma deformação plástica mais acentuada em todos os modelos. Neste instante, também se percebe que as geometrias estão no início do modo de colapso. Destaca-se que a geometria origami e a modificada 2 é possível visualizar algumas rótulas, características do modo de deformação octogonal, enquanto que na versão modificada 1, percebe-se uma deformação com menos tendência a formação de dobraduras.

A Figura 13 representa o instante 0,06s do teste de colisão. Nesse momento, observa-se o final do teste e as geometrias com seus respectivos modos de deformação. A estrutura origami e a de seção quadrada apresentaram modo de deformação em conformidade com os resultados

demonstrados na literatura (BOREANAZ, BELINGARDI e MAIA, 2020; LI e YOU, 2019; ZHOU et al., 2016). A geometria modificada 1, devido a sua base mais estreita, o contato entre uma das paredes e o bloco de impacto não foi uniforme. Conforme se observa Figura 13, o contato ocorreu de maneira irregular, apresentando, dessa forma, uma tendência ao empacotamento da estrutura. Por outro lado, a geometria modificada 2 foi a que mais se aproximou do modo de deformação observado na estrutura origami.

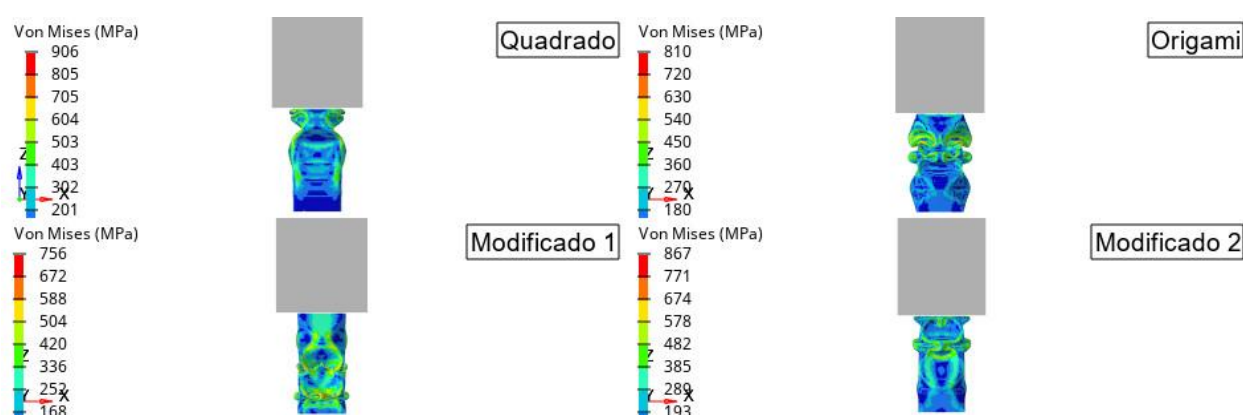


**FIGURA 12.** Comparação visual da deformação do crash box: quadrado; modificado 1; modificado 2; origami (Fonte: autor).

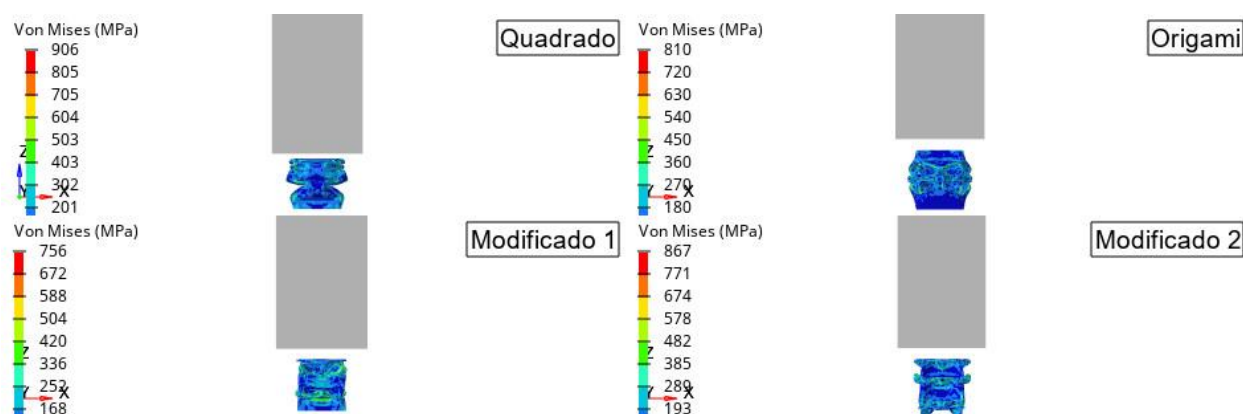


**FIGURA 13.** Comparação visual da deformação do crash box: quadrado; modificado 1; modificado 2; origami (Fonte: autor).

Por fim, na Figura 14 é possível comparar, pela vista superior, o modo de colapso de cada geometria após o fim do teste. Observa-se que as geometrias quadrada, origami e modificada 2 obtiveram uma deformação mais uniforme, enquanto a modificada 1 ocorreu empacotamento da estrutura.

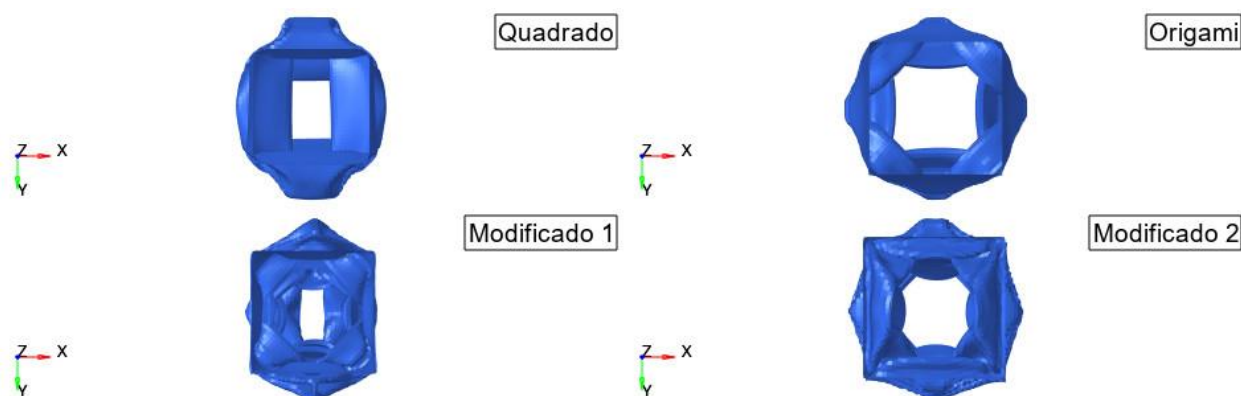


**FIGURA 14.** Vista superior modo de colapso (Fonte: autor).

### 3.2. Energia interna

O gráfico da Figura 15 apresenta os resultados comparativos da energia interna absorvida por cada geometria.

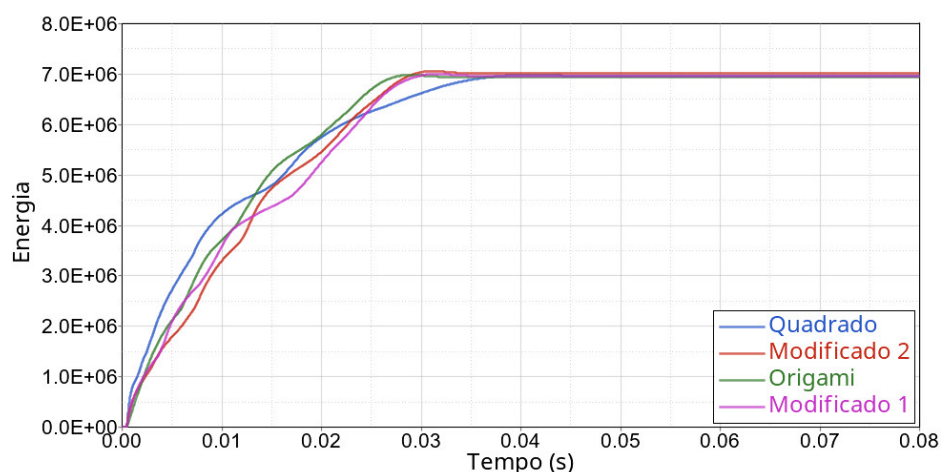


**FIGURA 15.** Gráfico comparativo de absorção de energia interna por cada geometria (Fonte: autor).

De acordo com a literatura, a geometria origami, teoricamente, por apresentar o modo de deformação octogonal, tem a tendência a maior absorção de energia, sobretudo, comparando com o modelo quadrado. No entanto, analisando os resultados obtidos nas simulações numéricas, observa-se que as geometrias adaptadas do esboço origami demonstraram absorção semelhante, seguindo uma tendência semelhante de absorção. Cabe ressaltar que a crash box quadrada tem uma absorção de energia ligeiramente superior no início do processo, enquanto a estrutura origami e as versão modificadas absorvem mais ao final da colisão.

### 3.3. Aceleração

As curvas de aceleração da simulação numérica são comparadas na Figura 16.

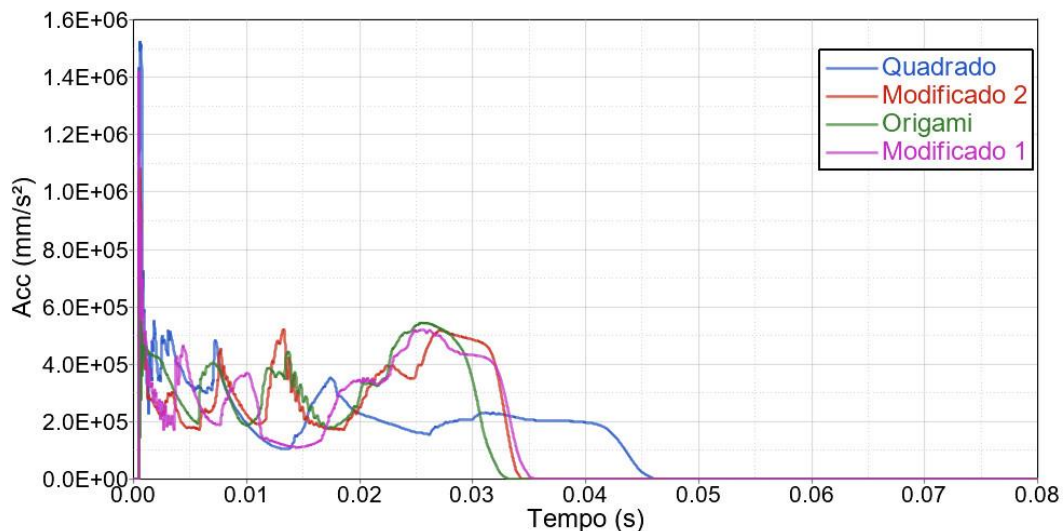


**FIGURA 16.** Gráfico comparativo de absorção de energia interna por cada geometria (Fonte: autor).

A curva verde que representa a geometria origami mostra uma deformação progressiva e gradual após o impacto da colisão em torno de  $1,07 \cdot 10^6 \text{ mm/s}^2$ . Por outro lado, a curva de força-deslocamento da estrutura quadrada indica mais do dobro desse valor. Essa perda de capacidade de carga deve-se ao mecanismo de deformação da seção quadrada, que desencadeia a flexão das faces superior e inferior. Ambos os valores, comparados, estão em conformidade com os estudos iniciais sobre o tema (MA e YOU, 2014).

No entanto, observando a curva de aceleração para as duas geometrias propostas pelo presente estudo, constata-se que ambas as adaptações apresentaram resultados similares, ocorrendo a deformação por mais tempo, inclusive, em relação a estrutura origami. Por outro lado, é importante pontuar que a versão quadrada obteve o maior tempo de deformação, o que indica pouca resistência do material a colisão.

### 3.4. Aceleração máxima

A comparação das cargas iniciais ( $A_{\text{máx}}$ ) de aceleração são mostradas na Figura 17. Observa-se que o modelo quadrado tradicional possui maior carga inicial de aceleração durante o impacto. A geometria origami, por sua vez, apresenta uma significativa redução nesse fator,

comprovando a sua eficiência durante a atenuação do impacto inicial. Nesse mesmo sentido, a estrutura modificada 2 também obteve resultado semelhante para essa variável, evitando altos valores de desaceleração. De acordo com a literatura, a aceleração máxima das estruturas origami e suas modificações é mais de 50% menor do que o crash box quadrada, considerando um mesmo material. Assim sendo, percebe-se que embora nos testes de simulação não foram obtidos esses valores, as geometrias origami do presente estudo obtiveram redução da carga de impacto inicial, ainda que em proporção menor.

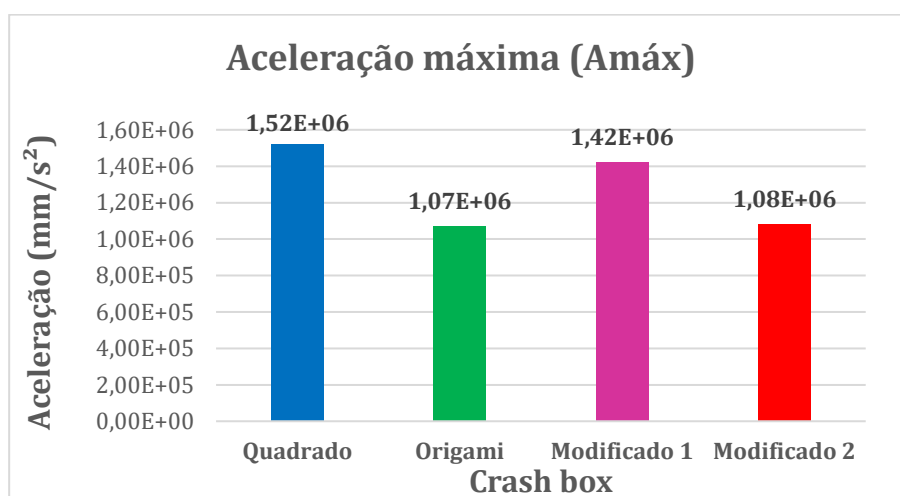


**FIGURA 17.** Gráfico comparativo da aceleração máxima ( $P_{máx}$ ) para cada geometria (Fonte: autor).

#### 4. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou um estudo preliminar da resistência ao impacto de um inovador *crash box*, feito a partir de um esboço de geometria origami, para aplicação automotiva. Em um primeiro momento, a viabilidade de fabricação foi investigada a partir de possíveis adaptações que pudessem facilitar a fabricação do componente. A partir dos parâmetros do modelo original de um estudo anterior (MAIA, 2021), foram construídos dois esboços semelhantes. Os quatro modelos de geometria, desenvolvidos neste estudo, foram submetidos ao teste de impacto, mediante simulação numérica, pelo método dos elementos finitos. Em particular, a modificação 2 obteve resultados mais satisfatórios, considerando potencial de absorção e redução de impacto.

De início, foi analisada a influência dos parâmetros geométricos na resposta de deformação, a fim de buscar a forma ideal de um *crash box* em termos de maximização da energia

absorvida e limitação do pico máximo da força de deformação. O processo de tentativas de modelagem da estrutura origami demonstrou que o comportamento geral do crash box depende da geometria dos módulos individuais.

Por fim, constatou-se que a *crash box* origami adaptada apresenta propriedades aprimoradas em relação a uma *crash box* de seção quadrada convencional, em termos de eficiência de deformação. Isso confirmou a possibilidade de se ajustar as propriedades de deformação e impacto de um crash box, modificando sua geometria, sem afetar as demais propriedades, como a massa, material, dentre outros. Consequentemente, ao modificar a estrutura original de um crash box origami, os parâmetros de forma podem ser considerados uma variável de projeto para facilitar a sua fabricação e implementação.

Dessa forma, sugere-se que, em trabalhos futuros, seja investigado se há correlação entre os resultados obtidos com a simulação numérica e testes de impacto experimentais, a fim de conferir aos resultados teóricos maior credibilidade em uma situação de colisão experimental. Além disso, é fundamental avaliar as estruturas dos dois semicorpos unidos por um processo de soldagem viável, pois a posição e número de pontos de solda pode influenciar consideravelmente no modo de colapso e absorção de energia.

## 5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao apoio do CNPq na concessão da bolsa que financiou a presente pesquisa (bolsa de Iniciação Científica).

## 6. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo das informações contidas neste artigo.

## 7. REFERÊNCIAS

ASCENÇÃO, F. A.; SILVEIRA, M. E.; POCKSZEVINICKI, B. C. *Evaluation of the Effects of the Forming Process on the Simulation of a Crash Test of an Automotive Bumper*. SAE Technical Papers, v. 2021, p. 0147, 2021.

ASCENÇÃO, F. A. Avaliação da influência do processo de fabricação na simulação numérica de impacto de crash boxes automotivas. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós- Graduação em

Engenharia Mecânica, Universidade Federal de São João del-Rei, São João del-Rei, Minas Gerais, 105 p. 2022.

BORENAZ, M; BELINGARDI, G.; MAIA, C, F. *Development of crash box for automotive application*. Politecnico di Torino, Italy, 2018.

BORENAZ, M., BELINGARDI, G., MAIA, C, F. *Application of the origami shape in the development of automotive crash box*. Mat Design Process Commun, 2 vol. 4. n. 2, 2020.

DNT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO, *Frota de veículos - 2018. Relatórios Estatísticos*. 2018 [cited 2018 Sep 8]. Disponível em: <http://www.denatran.gov.br/estatistica/635-frota-2018> > Acesso em: 30 de abr. 2021.

ELÉTRICO AUTOMOBILÍSTICO ONLINE. *¿Qué es un automóvil?*, 2015. Disponível em: <http://electricoautomovilisticoonline.blogspot.com/2015/06/que-es-unautomovil.html>>. Acesso em 20 ago. 2019.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA. (2015). *Estimativa dos custos dos acidentes de trânsito no Brasil com base na atualização simplificada das pesquisas anteriores do ipea* Brasília: IPEA.

LI, Y; YOU, Z. *Origami concave tubes for energy absorption*. Int J Solids Struct, n. 169 , p. 21-40, 2019.

MA, J; YOU, Z. *Energy absorption of thin-walled square tubes with a prefolded origami pattern - part I: geometry and numerical simulation*. Journal of Applied Mechanics, v. 81, n. 1, p. 1-11, 2014.

MAIA, C, F. *Avaliação da absorção de energia durante colisão de uma longarina origami soldada pelos processos RSW e GMAW*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 143 p. 2021.

MORELLO, L. *The Automotive Body: Volume II: System Design*. Springer Science & Business Media, 2011.

ZHOU, C; WANG, B; MA, J; YOU, Z. You, *Dynamic axial crushing of origami crash boxes*. International journal of mechanical sciences, v. 118, p. 1-12, 2016.

## **NUMERICAL SIMULATION APPLIED IN THE DEVELOPMENT OF AUTOMOTIVE CRASH BOX OF ORIGAMI STRUCTURE**

André Luiz Barreto Simas<sup>(1)</sup> ([andresjdr72@gmail.com](mailto:andresjdr72@gmail.com))

Márcio Eduardo Silveira<sup>(1)</sup> ([msilveira@ufs.ju.br](mailto:msilveira@ufs.ju.br))

<sup>(1)</sup> UFSJ- DEMEC—Endereço: Praça Frei Orlando, nº 17, Centro, Campus Santo Antônio

**ABSTRACT:** *Crash boxes are structural components of thin walls of vehicles, designed to absorb energy during possible collisions, at medium and low speed. Thus, these impact attenuators must guarantee a progressive and controlled absorption of energy, avoiding force peaks and, therefore, acceleration, which can damage the vehicle's chassis and, above all, cause injuries to passengers. In recent years, among the most promising solutions, the origami structure is increasingly considered in several studies, with the aim of implementing a crash box that allows greater impact absorption compared to the square model used in the industry. However, due to its geometric complexity, its application in the automotive industry has not yet proved to be viable, in addition to its fragile and irregular failure mode. Thus, in this work, following this new conception, it is proposed the development of an origami-inspired automotive crash box. A comparative study of the deformation response of two modified versions of the origami structure was carried out, comparing with the traditional model and the square section model. Thus, the main objective of the present work was to develop a crash box based on origami geometry, but with the spot welding feasibility of rectangular section crash boxes. The results were compared with the original origami and a rectangle of the same size. The adapted form presented similar theoretical results with the traditional origami structure, in addition to offering a viable alternative for manufacturing the component. However, further studies are suggested to verify whether the results obtained in the simulations are also reflected in an experimental impact test.*

**KEYWORDS:** *Automotive safety, crash absorption, crash box, origami.*