

PROJETO DE PESQUISA

Iniciação Científica – UFABC

Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas – CECS

Área: Estrutura e Projeto em Engenharia Aeroespacial

Simulação Computacional, Fabricação e Caracterização de Estruturas Celulares Auxéticas

Resumo

Ao se comprimir um material pelo seu comprimento, o esperado é que sua largura aumente, porém, nem todos os materiais funcionam assim, ou seja possuem o coeficiente de Poisson positivo. Os chamados materiais auxéticos possuem o Coeficiente de Poisson negativo diminuindo sua largura ao se comprimir o comprimento. Tal efeito provém da característica estrutural dos materiais, também sendo construído a partir de uma microestrutura projetada. Materiais auxéticos são raros de serem encontrados na natureza, sua manufatura se faz necessária e por conta desse fato começaram a ganhar destaque na comunidade científica a algumas décadas por serem promissores em diversas áreas, como na área biomédica ou de equipamentos de proteção. Em princípio, o presente projeto de Iniciação Científica tem por objetivo explorar a simulação computacional, fabricação e caracterização de estruturas que possuem efeito auxético. A estrutura projetada, com auxílio de um software de CAD, será fabricada por técnica de manufatura aditiva (impressão 3D), na qual um objeto é construído camada por camada (adição de material). A estrutura fabricada será caracterizada através de ensaios experimentais para verificar o seu desempenho.

Palavras-chave: estruturas auxéticas, metamaterial, simulação computacional.

Introdução e Motivação

Materiais que aumentam as dimensões da sua seção transversal quando tracionados, ou diminuem sua seção transversal ao serem pressionados têm o coeficiente de Poisson negativo, e são chamados de materiais auxéticos. O efeito auxético está presente em uma gama de materiais, sendo uma propriedade natural decorrente de suas características e estruturas, que podem ser desenvolvidas com a construção a partir de microestruturas projetadas [1]. Gibson et al. [2] idealizou que o efeito auxético poderia ser obtido a partir da deformação de uma 2 estrutura reentrante bidimensional (2D), constituída por pequenas células hexagonais (“honeycombs”), feita de alumínio ou borracha de silicone, cujas paredes ou ligações na estrutura giram enquanto que uma tensão é aplicada, ocorrendo a expansão do material, não somente no eixo onde a tensão foi aplicada, como também no eixo contrário.

O efeito auxético pode conferir aos materiais muitos benefícios, como por exemplo: aumento da rigidez, melhoria da tenacidade à fratura e melhora na rigidez de cisalhamento [6]. Um ramo promissor para aplicação dos materiais auxéticos é a indústria aeroespacial. Materiais auxéticos raros, que possuem naturalmente coeficiente de Poisson negativo (grafite pirolítico, por exemplo), têm sido aplicados para proteção térmica na indústria aeroespacial [7] e em palhetas para motores de turbina a gás de aeronaves [8]. Esses materiais possuem boas propriedades de resistência à indentação (marca profunda) e absorção de energia. Ou seja, ao contrário dos materiais tradicionais, nos materiais auxéticos o material “flui” para o ponto de impacto, reforçando a região atingida. Assim, eles podem potencialmente ser aplicados como armaduras para prevenir danos a equipamentos aeronáuticos e suas cargas [9]. Além de terem apresentado resultados promissores para a utilização na área biomédica através de diferentes estruturas celulares. Tal como representado por Abate *et al* [18], onde o Software Autodesk Netfabb desenvolveu estruturas celulares para serem estudadas.

Existem diversas maneiras para se produzir um material com coeficiente de Poisson negativo (auxético) que, em resumo, visam a obtenção de materiais auxéticos através da transformação estrutural de materiais convencionais, tais como espumas ou polímeros [10]. Isso tem sido feito através de processos convencionais de fabricação (conformação e extrusão). No entanto, uma solução que recentemente vem sendo explorada para se obter um material com o coeficiente de Poisson negativo é projetar uma célula unitária com propriedade auxética (microestrutura), usando o auxílio de métodos computacionais, e aplicar padrões de repetição desta célula num domínio para produzir uma macroestrutura (ou

material) que apresenta o comportamento auxético. Como a estrutura desenvolvida por Abate et al. [18]

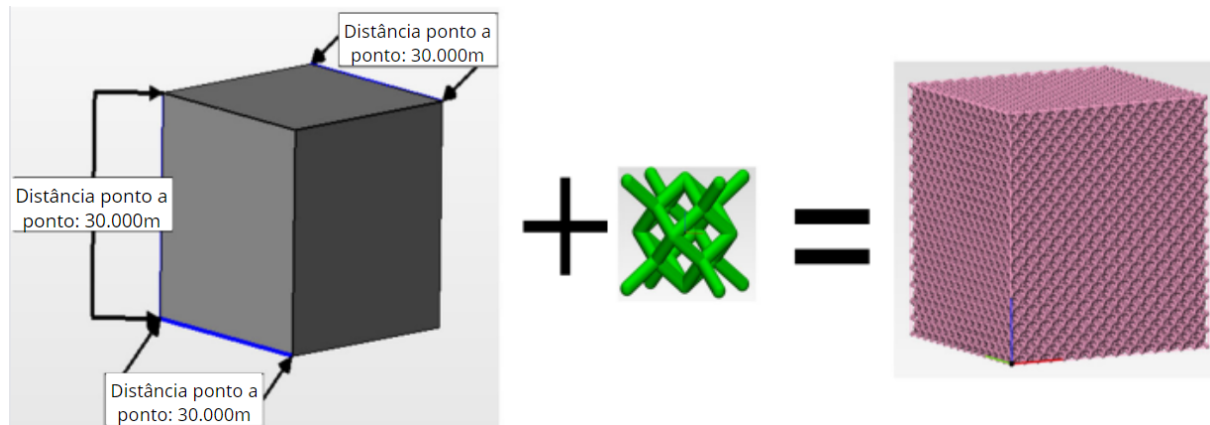


Fig 1. Processo de design de uma estrutura celular proposto por Abate et al. [18]

Embora essa maneira não possa garantir o desempenho auxético em 100% dos casos (como demonstrado por Wang et al. [13]), a introdução a esse modelo por Gibson et al. [2] para ilustrar o comportamento em 2D desencadeou em avanços na área por meio de diversos outros estudos. Schwerdtfeger et al. [14] foi o primeiro a estender os conceitos 2D para produzir uma estrutura 3D com sucesso. A primeira estrutura ortotrópica foi reportada por Evans et al. [12] (anteriormente citado). Grima et al. [15] estudou estruturas com formato de estrela, sendo de grande importância pois demonstrou que o comportamento de estruturas periódicas sobre pressões aplicadas pode ser facilmente estudado. Aplicações de estruturas celulares gradientes para pás de motores de avião foram estudadas por Lira et al. [16]. E Aplicações de estruturas celulares gradientes para aplicação biomédica foram estudadas por Abate et al.[18]. Desenvolvidas com ferramentas CAD.

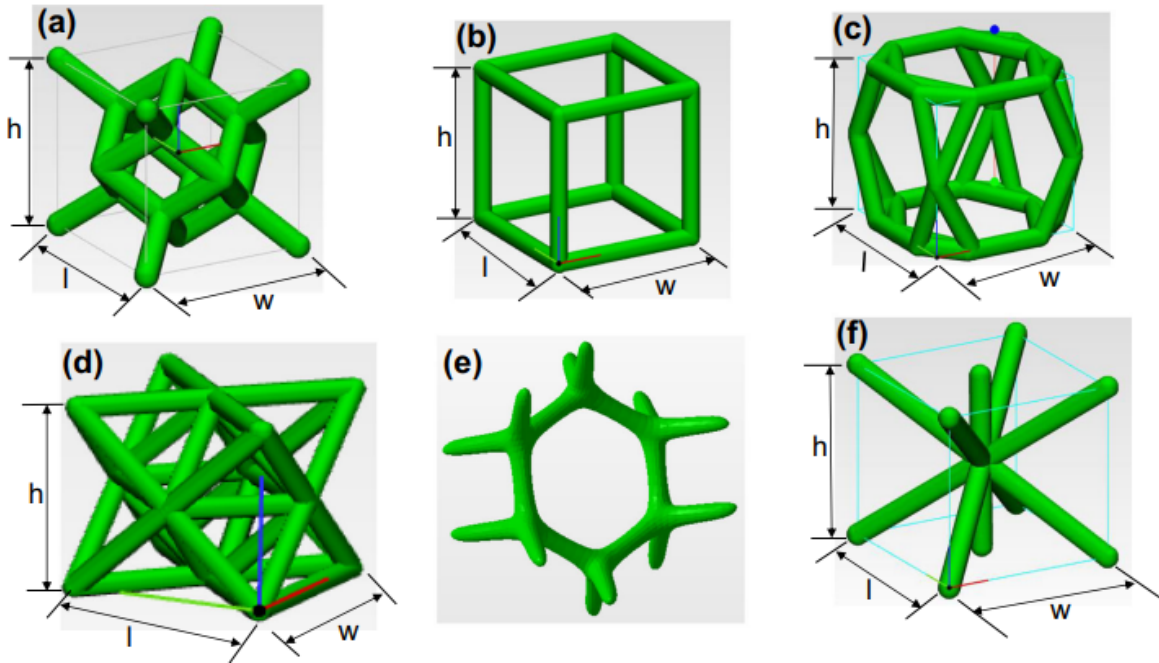


Fig 2. Estruturas celulares propostas por Abate et al. [18], sendo **a** dodecaedro rômico, **b** cúbica, **c** hexagonal, **d** octagonal, **e** ventiles, **f** tetra.

O objetivo deste projeto de Iniciação Científica é estudar conceitos desde a modelagem, simulação computacional, fabricação e caracterização de uma estrutura auxética obtida através de um solver de Otimização Topológica.

Para isso utilizaremos de algumas ferramentas disponíveis no mercado como software de CAD para modelagem da geometria e software de elementos finitos para simulação de modelos computacionais da estrutura auxética. Através de simulações computacionais serão realizadas análises e verificação do comportamento da célula auxética otimizada. Um protótipo será fabricado através de processo de manufatura aditiva (impressão 3D), para fins de ensaios experimentais e caracterização das propriedades mecânicas alcançadas para a macroestrutura auxética obtida.

A maneira mais viável para fabricar uma estrutura auxética complexa é a utilização de técnicas de manufatura aditiva (MA), nas quais objetos tridimensionais (3D) são construídos camada por camada (adição de material). Assim, neste trabalho de iniciação científica o aluno irá explorar a técnica de MA conhecida por Modelagem por Fusão e Deposição (FDM) para fabricar o protótipo da estrutura auxética otimizada. Nesta técnica, o objeto é construído por deposição de um material extrudado, em geral o ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno), que se solidifica rapidamente ao entrar em contato com a superfície da camada anterior (Volpato [17]).

Objetivo

O objetivo desse trabalho de iniciação científica consiste em explorar a modelagem e simulação em elementos finitos, fabricação e caracterização da estrutura hexagonal. Este projeto será realizado através de modelagem da estrutura auxética em software de CAD, bem como simulações computacionais em software de CAE, fabricação e ensaios para caracterização experimental da macroestrutura auxética desenvolvida.

Plano de Trabalho

1ª. ETAPA

Revisão bibliográfica sobre o tema, incluindo os conceitos fundamentais sobre elementos finitos, otimização e manufatura aditiva (fabricação por adição de camadas). O orientador indicará a bibliografia a ser estudada pelo aluno e fornecerá o material necessário (artigos, teses, livros, apostilas, etc), atribuindo-lhe essencialmente os tópicos básicos para desenvolver o trabalho de iniciação científica proposto.

2ª. ETAPA

Essa etapa envolve a familiarização com um software de CAD para modelagem geométrica da estrutura auxética obtida por técnica de otimização. Isto será feito através do estudo e uso de manuais e tutoriais do software para diferentes exemplos de aplicação.

3ª. ETAPA

Em seguida, consolidado o conhecimento básico software de CAD, será realizada a modelagem em elementos finitos em um software de CAE e executadas simulações computacionais para análise o comportamento da estrutura auxética otimizada. Ajustes ao projeto da estrutura serão feitos durante essa etapa. Desta forma, definir-se-á o projeto da estrutura a ser fabricada.

4ª. ETAPA

Definido o projeto da estrutura auxética, nessa etapa a estrutura projetada será fabricada para avaliação de seu comportamento estrutural. O aluno aprenderá a exportar o arquivo do modelo sólido (CAD) da estrutura 3D para a área de trabalho do software da máquina de prototipagem rápida (impressora 3D). O aluno deverá estudar o princípio da técnica de FDM e aprender a operar o equipamento para executar a impressão 3D da estrutura projetada.

5ª. ETAPA

Nessa etapa, será realizada a caracterização experimental da estrutura auxética fabricada pela técnica de FDM para levantamento de suas propriedades físicas e determinação do coeficiente de Poisson produzido. Será construído um aparato experimental, que envolverá instrumentos de medição (micrômetro, relógio comparador, etc) e equipamento de ensaios de tração, compressão e flexão.

6ª. ETAPA

Essa etapa envolve a elaboração e escrita do relatório científico final, que irá descrever todas as atividades realizadas, apresentando e discutindo resultados obtidos e as dificuldades encontradas.

Cronograma do Projeto

O cronograma de execução do plano de trabalho, proposto para o período de 12 meses, é mostrado na tabela abaixo:

Etapas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. ^a												
2. ^a												
3. ^a												
4. ^a												
5. ^a												
6. ^a												

Materiais e Métodos

O desenho do modelo sólido da estrutura auxética otimizada será feito com o auxílio de um software de CAD (SolidWorks), que permite a confecção de desenhos 3D. Para processamento dos softwares envolvidos no projeto será utilizado um computador de alta performance (2 processadores Xeon Quad Core e 24Gb de memória). O software de CAD e o computador necessário para o desenvolvimento do projeto, encontram-se disponíveis no Laboratório de Mecânica Computacional do CECS coordenado pelo orientador do aluno.

A estrutura projetada será construída em ABS, que é o material disponível no equipamento de prototipagem rápida (impressora 3D), disponível no Laboratório de Estruturas Aeroespaciais da UFABC. Os instrumentos de medição e equipamento de ensaios universal, necessários para a realização dos testes experimentais da estrutura projetada, também estão disponíveis no mesmo laboratório. A literatura necessária para o desenvolvimento do projeto está disponível em livros da biblioteca da universidade e do orientador, bem como em periódicos internacionais disponíveis no portal da CAPES e assinaturas de revistas eletrônicas adquiridas pela universidade.

Referências

- [1] Y. Prawoto, Seeing auxetic materials from the mechanics point of view: A structural review on the negative Poisson's ratio, *Computational Materials Science*, 58, 140–153, 2012.
- [2] L. Gibson, M. Ashby, G. Schajer, C. Robertson, The mechanics of two-dimensional cellular materials, *Proc. Lond. Roy. Soc.*, 382, 25–42, 1982.
- [3] R. S. Lakes, Foam structures with a negative Poisson's ratio, *Science*, 235, 1038-1040, 1987.
- [4] K. Evans, M. Nkansah, I. Hutchinson, S. Rogers, Molecular network design, *Nature*, 353, 124–128, 1991.
- [5] Y. Liu, H. Hu, A review on auxetic structures and polymeric materials. *Scientific Research and Essays*, 5 (10), 1052-1063, 2010.
- [6] M. Mir, M. N. Ali, J. Sami and U. Ansari, Review of mechanics and applications of auxetic structures, *Advances in Mat. Sci. and Eng.*, 2014, <http://dx.doi.org/10.1155/2014/753496>
- [7] A. M. Garber, Pyrolytic materials for thermal protection systems, *Aerospace Eng.*, 22, 126- 137, 1963.

- [8] R. H. Baughman, J. M. Shacklette, A. A. Zakhidov and S. Stafstrom, Negative Poisson's ratios as a common feature of cubic metals, *Nature*, (392), 362-365, 1998.
- [9] Q. Liu, Literature review: materials with negative poisson's ratios and potential applications 7 to aerospace and defence. DSTO – Defence Science and Technology Organisation, 2006.
- [10] K. L. Alderson, A. Alderson, G. Smart, V. R. Simkins and P. J. Davies, Auxetic polypropylene fibres: Part 1 – Manufacture and characterisation, *Plastics, Rubber and Composites*, 31 (8), 344-349, 2002.
- [11] Yang L, Harrysson O, West H and Cormier D 2015 Mechanical properties of 3D re-entrant honeycomb auxetic structures realized via additive manufacturing *Int. J. Solids Struct.* 69– 70 475–90.
- [12] Evans K E, Nkansah M A and Hutchinson I J 1993 Auxeticfoams: modelling negative Poisson's ratios *Acta Metall. Mater.* 42 1289–94.
- [13] Wang Y C, Shen M W and Liao S M 2017 Microstructural effects on the Poisson's ratio of star-shaped two-dimensional systems *Phys. Status Solidi b* 254 1700024
- [14] Schwerdtfeger J, Heintl P, Singer R F and Körner C 2010 Auxetic cellular structures through selective electron-beam melting *Phys. Status Solidi b* 247 269–72
- [15] Grima J N, Gatt R, Alderson A and Evans K E 2005 On the potential of connected stars as auxetic systems *Mol. Simul.* 31 925–35
- [16] Lira C, Scarpa F and Rajasekaran R 2011 A gradient cellularcore for aeroengine fan blades based on auxetic configurations *J. Intell. Mater. Syst. Struct.* 22 907–17
- [17] N. Volpato, *Prototipagem rápida: tecnologias e aplicações*, Edgard Blucher, São Paulo, 2007.
- [18] Abate K, Nazir A, Yeh Y, Chen J and Jeng J. Design, optimization, and validation of mechanical properties of different cellular structures for biomedical application. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* (2020) 106:1253–1265.
- [19] Duncan O, Foster L, Senior T, Allen T and Alderson A. A comparison of novel and conventional fabrication methods for auxetic foams for sports safety applications. *Procedia Engineering* 147 (2016) 384 – 389.
- [20] Allen T, Martinello N, Zampieri D, Hewage T, Senior T, Foster L, Alderson A. Auxetic foams for sport safety applications. *Procedia Eng* 2015;112:104–9.

