



Universidade Federal do ABC

# **PROJETO DE PESQUISA**

**INICIAÇÃO CIENTÍFICA**

## **MODELAGEM, SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DE "SMART MATERIALS"**

Área: Engenharia de Estruturas

Sub-área: Modelagem, Simulação e Otimização

**Junho de 2022**

## Resumo

A Manufatura Aditiva (MA) consiste na adição de material para gerar alguma peça, diferente da manufatura tradicional (Subtrativa) em que é realizada a retirada, como no processo de usinagem. Um exemplo de MA é o processo utilizado em impressoras 3D, em que o material é depositado sobre uma bandeja em camadas, formando o objeto desejado. O processo é iniciado a partir de um modelo em CAD (Computer-Aided Design) que possui uma grande flexibilidade para desenhos de peças, ou seja, dessa forma é possível adquirir formatos complexos que antes não era possível. Um passo além desse processo é a impressão 4D, em que é aplicada uma nova dimensão: o tempo. Isto é, o objeto pode mudar de formato em ciclos. Esse tipo de material se chama *Smart Materials* (SM) e sua utilização se mostra promissora. Esse tipo especial de material, a partir de um estímulo, pode mudar de cor, dimensão etc., ou seja, é possível utilizá-lo como mecanismo, por exemplo em válvulas, asas de aviões, aletas de foguetes etc. A predição do formato desejado com base na geometria inicial será o foco desse estudo.

**Palavras-chave:** Manufatura Aditiva, Impressão 4D, *Smart Materials*.

## **1. Introdução e Justificativas**

O ser humano, desde a época dos gregos antigos, observa e tenta entender como a natureza funciona, dessa diretriz surgiu o que conhecemos hoje como as ciências naturais a qual se deu origem a física, química e biologia, e que por consequência a engenharia e suas derivações. Como é apresentado em (MCGOWAN et al., 2003), essa mesma biologia provê um ramo fértil de hipóteses, descobertas e inspirações para novas tecnologias.

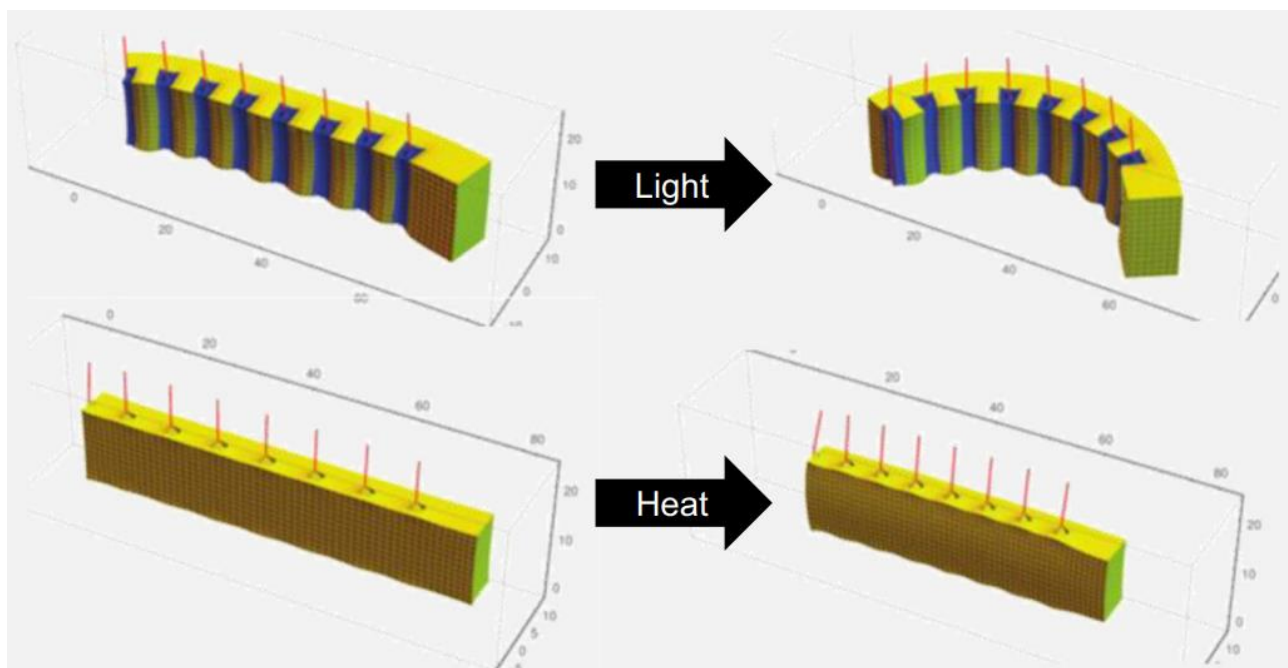
Um dos métodos mais notáveis utilizados na fabricação de componentes na indústria aeroespacial é a MA, que permite que peças complexas sejam produzidas de forma mais eficiente, em relação ao tempo e dinheiro. Essa abordagem de fabricação é fortalecida por sua diversidade, facilidade de operação e personalização. Aliado a esse tipo de manufatura podemos aplicar diferentes tipos de materiais, como os SM.

O avanço significativo na tecnologia de estruturas inteligentes, especificamente no ramo aeroespacial, faz com que novas possibilidades sejam criadas. SM ainda está na fase inicial de estudos, mas se mostram ter um grande potencial, uma vez que peças podem ser eliminadas, pois uma aplicação desse tipo de material é a deformação controlada, isto é, a auto ajustagem de formato. Dessa forma, a própria estrutura atua como mecanismo, dispensando componentes adicionais e barateando o produto final.

### **1.1. Deformação**

Uma possível aplicação dos SM é a deformação que ele pode oferecer, caso receba o estímulo correto, em tipo e intensidade. Alguns dos tipos de estímulo são: luz, eletromagnetismo, temperatura etc. Após a recepção, o material pode ser portar de diferentes maneiras, como mudando sua dimensão ou até mesmo sua cor. Um exemplo é visto na Figura 1, na parte superior, em que, após o recebimento de fótons (luz em formato de partícula), o material se contorce. Logo abaixo, na mesma figura, o tipo de estímulo recebido é o calor (com o aumento da temperatura), nesse caso o tipo de deformação foi a compressão, em que o material fica com uma maior densidade em determinada região e aumentando a rigidez naquele local.

**Figura 1: Deformação a partir de um estímulo.**



**Fonte:** "*Design for 4D printing: Modeling and computation of smart materials distributions*" G. SOSSOU, et al. (2019a).

A partir desse ponto, já é possível deixar mais palpável as possíveis aplicações para esse novo tipo de estrutura. Adicionalmente, os SM podem ser combinados com materiais convencionais, podendo ter características únicas, de acordo com a distribuição de cada tipo no local determinado.

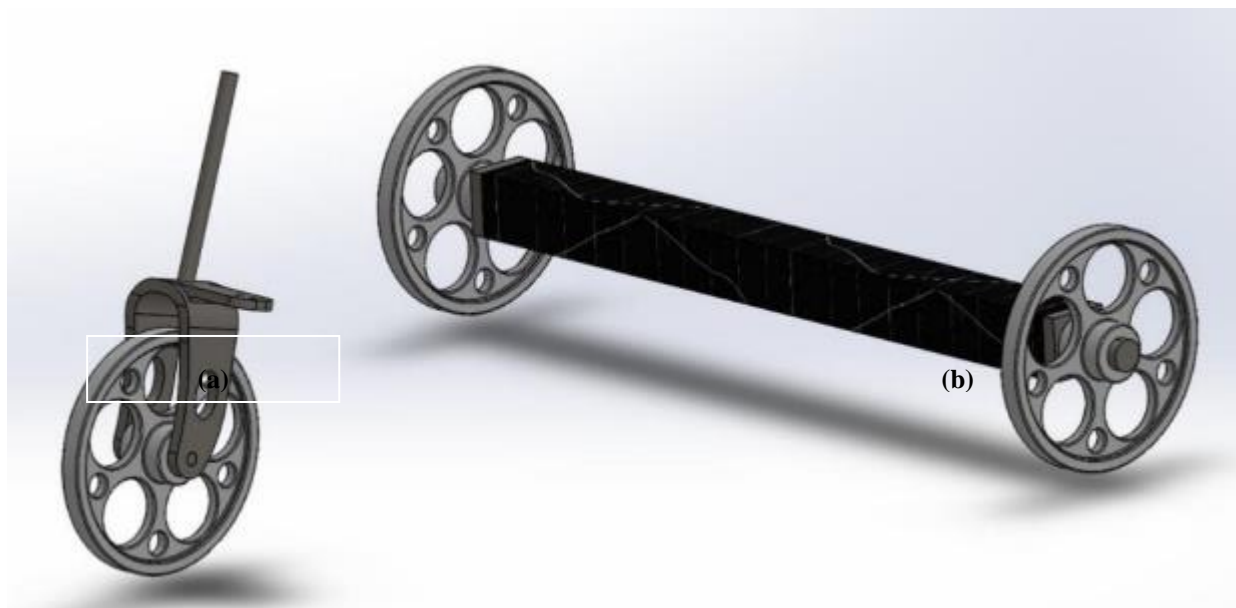
## **1.2. Possíveis aplicações**

### **1.2.1. Freio**

Uma possível aplicação seria a dilatação da peça ao sofrer um determinado estímulo, sendo possível utilizar essa dilatação para frear um avião, quando este em solo, ou qualquer outro veículo terrestre. Uma possibilidade é a utilização de um SM que se expande com a adição de calor e utilizar uma resistência para aquecer o material no momento correto.

A Figura 2 apresenta a modelagem de uma possível geometria em que o SM pode ser aplicado. Nela o trem de pouso principal pode possuir uma combinação entre o compósito em fibra de carbono com resina epóxi e o material inteligente, dessa forma a estrutura é usada como mecanismo. O mesmo princípio pode ser utilizado na bequilha, em que uma combinação entre o alumínio e SM e, até mesmo, a completa utilização do material inteligente pode ser aplicada.

**Figura 2: Trem de Pouso e Bequilha da aeronave C-Nimbus.**



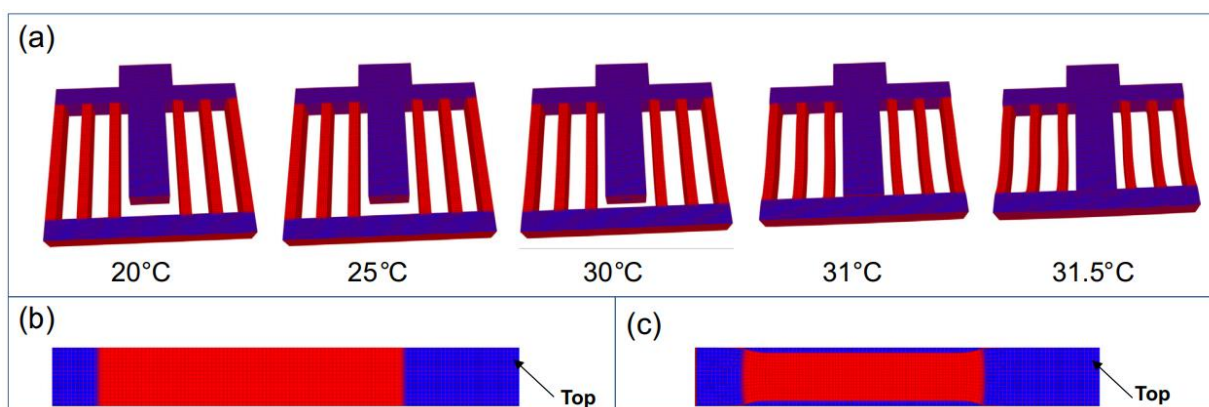
**Fonte: Do próprio autor.**

### 1.2.2. Válvula

Uma outra utilidade dos materiais inteligentes pode ser em válvulas em que, por exemplo, se um fluido de refrigeração de um motor do foguete atingir determinada temperatura, a passagem é bloqueada e uma outra é aberta, com o líquido refrigerantes na temperatura ideal. Dessa forma, é possível garantir que o motor será resfriado da maneira correta, garantindo sua total funcionalidade e integridade do sistema.

Um estudo nesse sentido foi apresentado em (G. SOSSOU, et al. 2019b), mostrado na Figura 3, em que uma combinação de SM (em vermelho) e um material tradicional (em azul) foram usados.

**Figura 3: Válvula Modelada.**



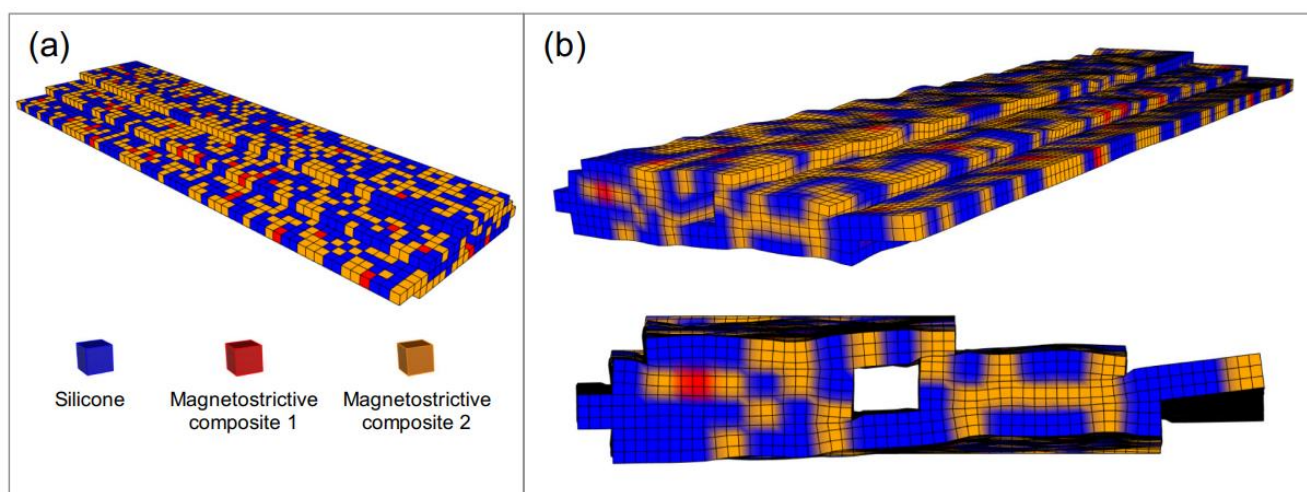
**Fonte: "Design for 4D printing: a voxel-based modeling and simulation of smart materials " G. SOSSOU, et al. (2019b).**

É observável a contração do material: em (a) é mostrado a mudança na topologia com o aumento de temperatura, onde o material em azul encosta em uma parede, em que antes possuía uma abertura. Em (b) é exibido a válvula em seu estado natural e, por fim, em (c) é possível ver a contração do material em vermelho, fazendo com que a mudança no formato seja possível

### 1.2.3. Morfologia de uma asa

Mais uma aplicabilidade do revolucionário material é em asas de aviões. Tal estrutura possui diversos componentes para garantir a missão da máquina como, por exemplo a utilização de flaps para aumento da sustentação, na decolagem, e o uso de *aerodynamic speed brakes*, no pouso. Tal aplicação foi estudada por (G. SOSSOU, et al. 2019b) e é mostrada na Figura 4.

**Figura 4: Asa com três tipos de materiais**



Fonte: "*Design for 4D printing: Modeling and computation of smart materials distributions*" G. SOSSOU, et al. (2019a).

Em (a) é possível observar a asa com a distribuição de dois SM (em vermelho e em amarelo), com características magnéticas e um material tradicional de silicone (na cor azul). A visão em perspectiva exibe a estrutura sem nenhum tipo estímulo. Já em (b) é mostrado a mudança em seu formato a partir da excitação pelo magnetismo. Levando isso em consideração, é possível em que slats, ailerons, flaps etc. não precisem de mecanismos adicionais que aumentam o arrasto da aeronave e, com essa uniformidade que a deformação diretamente pelo material oferece, aumentar a eficiência do veículo voador.

## 2. Objetivos do Projeto

Os objetivos do presente projeto de pesquisa são:

- Etapa 1: primeiramente fazer uma revisão bibliográfica sobre os principais tipos de aplicação de SM e como realizar a modelagem certa para encontrar o comportamento do material a partir de um estímulo externo, como alteração do pH, fótons, temperatura etc;
- Etapa 2: na sequência, a partir dos modelos selecionados na Etapa 1, fazer estudos de casos envolvendo as técnicas de análise e simulação aplicáveis para o desenvolvimento de um foguete destinado a competições estudantis.

## 3. Recursos Computacionais

Para este projeto, faz-se necessária a utilização de *softwares* e computadores para modelagem e simulação baseados no MEF (Método dos Elementos Finitos), mais especificamente sobre Voxels, que serão a base para visualização da simulação; técnicas de CAD (Computer-Aided Design) para realizar a geometria inicial.

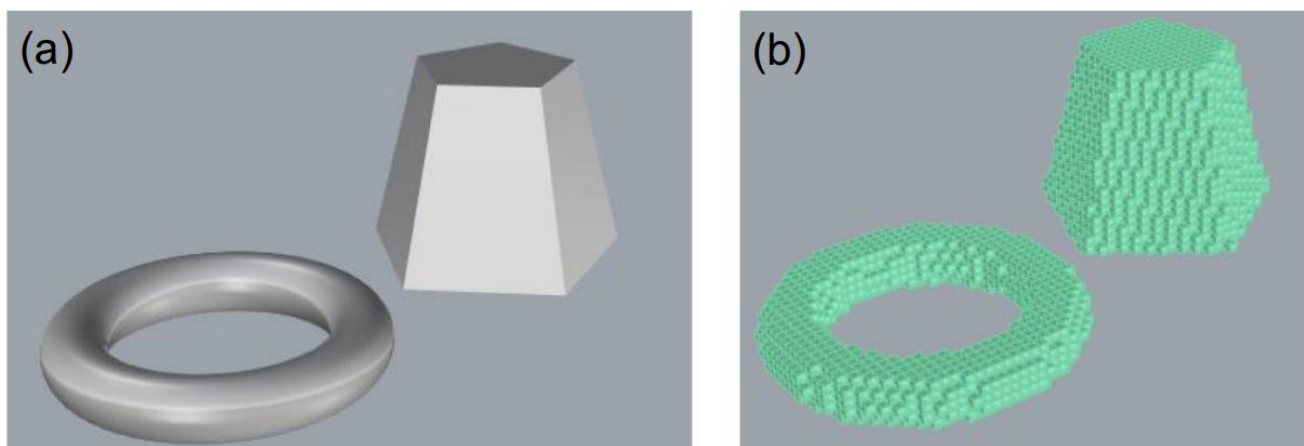
Nesse pretende-se utilizar os aplicativos e computadores já disponíveis nos laboratórios computacionais da UFABC como, por exemplo, Altair HyperWorks, Matlab, entre outros. Ressalta-se também que os referidos aplicativos existem em versões estudantis, disponíveis gratuitamente para aplicações não comerciais e de pesquisa acadêmica garantindo, portanto, a viabilidade do projeto em termos de infraestrutura computacional.

## 4. Metodologia Proposta

A partir da revisão bibliográfica preliminar para este projeto de pesquisa, a metodologia a ser aplicada no será baseada – inicialmente – na combinação das referências (G. SOSSOU, et al, 2019b, 2019a), buscando aliar ao estado na arte nessa área de pesquisa, como relatado por exemplo em (BRIGHENTI, et al, 2020). Entretanto, dependendo dos resultados da Etapa 1 descrita nos objetivos (Seção 2), outras referências poderão ser selecionadas e combinadas para a realização dos estudos de caso previstos na Etapa 2.

Inicialmente, a modelagem será feita com base em *voxels* que, de grosso modo, são equivalentes a *pixels*, só que em três dimensões, isto é, com volume. A partir de um modelo 3D, que pode ser criado em qualquer programa CAD, será realizada a “voxelização”, como exemplificado na Figura 5, da peça e aplicada a distribuição de material em cada um dos elementos infinitesimais.

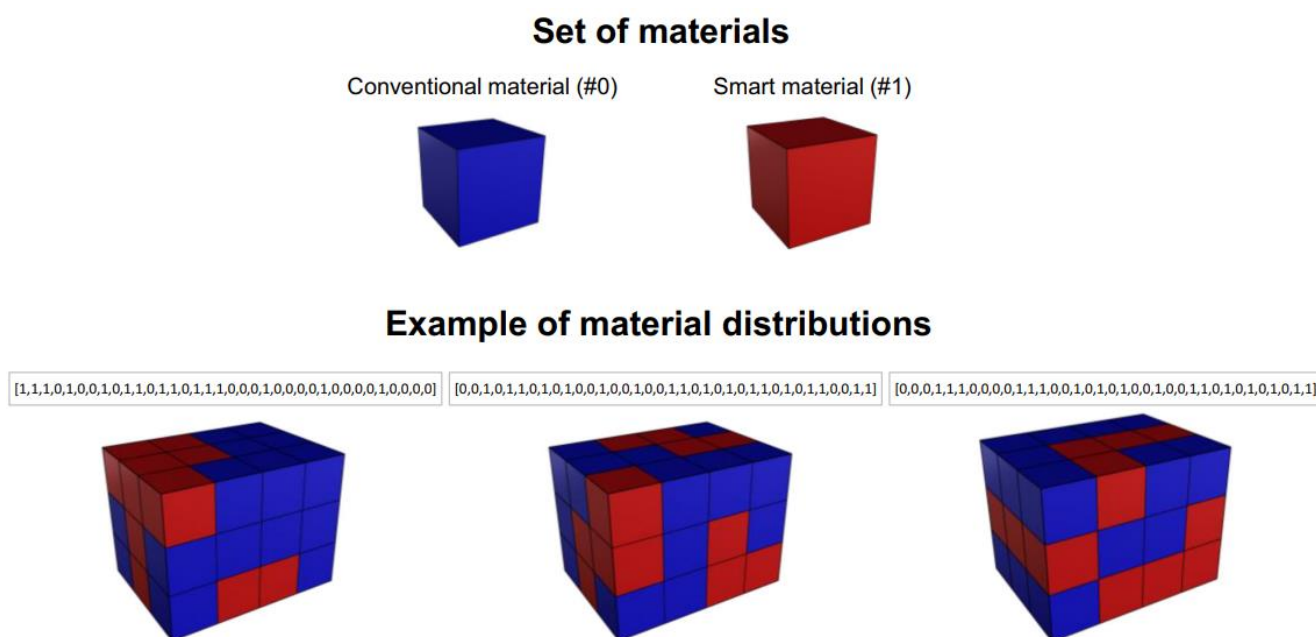
**Figura 5: Voxelização do Modelo**



Fonte: "*Design for 4D printing: Modeling and computation of smart materials distributions*" G. SOSSOU, et al. (2019a).

Na seção (a) é exemplificado modelos em CAD que são transformados em voxels, em (b). Dessa forma é possível analisar cada um dos elementos individualmente e, a partir de então, realizar a iteração entre eles, a partir de um algoritmo, para que a correta distribuição do material, exposto na Figura 6, seja realizada. Esse looping, com base no código escrito, provavelmente em Python, acontecerá até a correta dispersão do material, almejando o formato final desejado.

**Figura 6: Distribuição do Material**



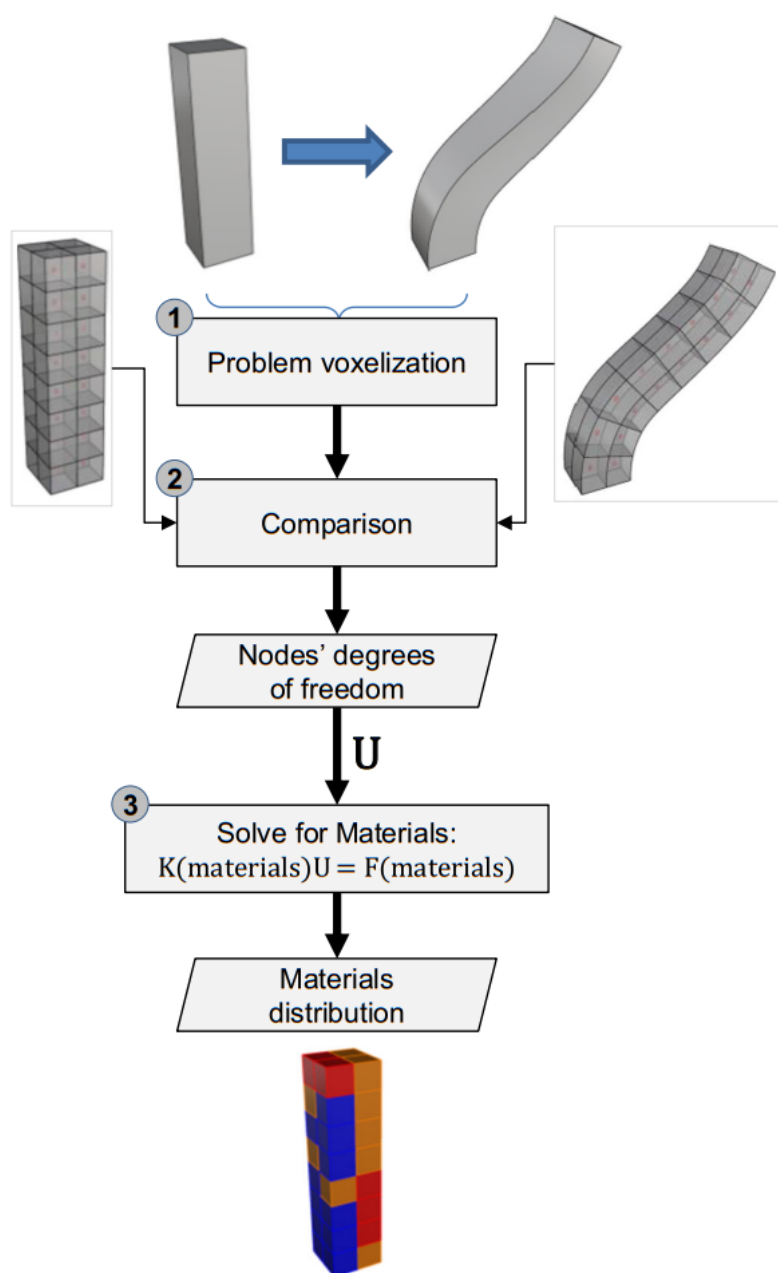
Fonte: "*Design for 4D printing: Modeling and computation of smart materials distributions*" G. SOSSOU, et al. (2019a).



É possível notar que com a MA, a possibilidade de alocação do material correto na posição determinada é uma real possibilidade. Por conta de o processo ser feito computacionalmente, e com o auxílio da automação do processo, a confiabilidade de correta disposição é um fator muito importante para a fabricação.

Na Figura 7, tem-se esquematicamente a metodologia aplicada por (G. SOSSOU, et al, 2019a). Serão analisadas diferentes distribuições de materiais para que seja possível a obtenção da geometria final desejada, a partir da peça inicial que será fabricada.

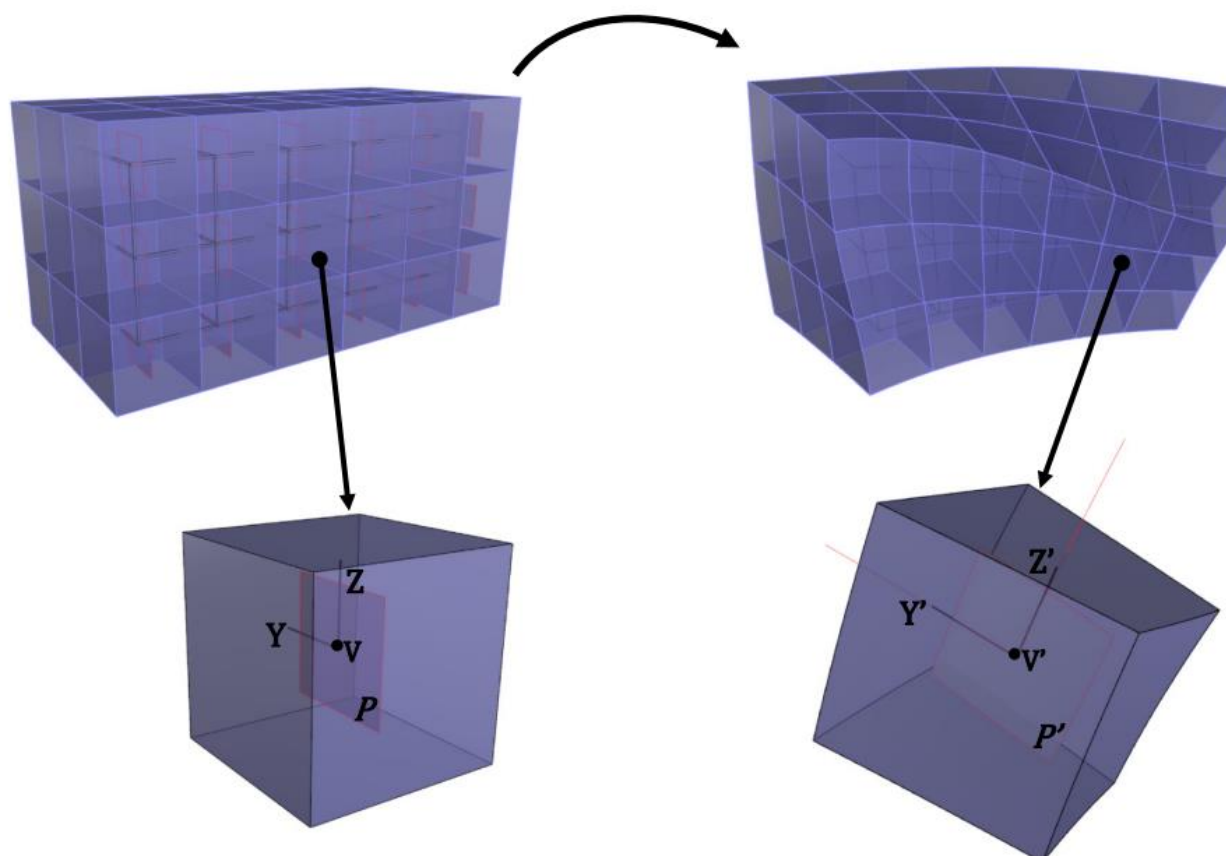
**Figura 7: Esquematização da metodologia**



Fonte: "Design for 4D printing: Modeling and computation of smart materials distributions" G. SOSSOU, et al. (2019a).

A deformação será computacionada levando em consideração cada voxel individualmente, assim, a precisão necessária para que seja possível a correta propagação do material na peça será alcançada. Na Figura 8 é exemplificado como o modelo computacional realiza a mudança na geometria.

**Figura 8: Deformação Computacional**



**Fonte:** "*Design for 4D printing: Modeling and computation of smart materials distributions*" G. SOSSOU, et al. (2019a).

Em sua posição neutra é gerada um plano YZ, ao longo do eixo longitudinal X. A interação entre os elementos será dada a partir desse plano, tomando como base o centro V. A partir da deformação gerada, um novo plano (Y'Z') e um novo centro V', essa mudança causará uma mudança no elemento mais próximo que, por sua vez, deformará o seguinte e assim por diante.

## 5. Cronograma de Execução

O projeto possui duração prevista de um ano. A duração de cada etapa, separada em meses, está contida na Tabela 1.

Tabela 1: Calendário de Execução.

Atividades	out/22	nov/22	dez/22	jan/23	fev/23	mar/23	abr/23	mai/23	jun/23	jul/23	ago/23	set/23
I – Revisão bibliográfica												
II – Seleção de modelos da literatura												
III – Elaboração de modelos preliminares												
IV – Análise de resultados preliminares												
V – Simpósio UFABC 2022 (resultados preliminares)												
VI – Relatório parcial												
VII – Elaboração e atualização de modelos definitivos												
VIII – Análise de resultados e ajuste fino de modelos												
IX – Atualização bibliográfica												
X – Relatório final												
XI – Elaboração de artigo para congresso ou periódico												
XII – Apresentação para Simpósio UFABC 2023												

Fonte: (autor)

## Referências Bibliográficas

- MCGOWAN, A.-M. R. et al. Biologically inspired technologies in NASA's morphing project. **Smart Structures and Materials 2003: Electroactive Polymer Actuators and Devices (EAPAD)**, v. 5051, p. 1, 2003.
- G. SOSSOU, et al., Design for 4D printing: a voxel-based modeling and simulation of smart materials. **Material and Design – Elsevier**, 2019b.
- G. SOSSOU, et al., Design for 4D printing: Modeling and computation of smart materials distributions. **Material and Design – Elsevier**, 2019a.
- QADER, et al., A Review of Smart Materials: Researches and Applications. **Journal of Science and Engineering – ECJSE**, 2019.
- BRIGHENTI, et al., Smart Polymers for Advanced Applications: A Mechanical Perspective Review. **Frontiers in Materials**, 2020.
- ZHANG, et al., Developments in 4D-printing: a review on current smart materials, technologies, and applications. **International Journal of Smart and Nano Materials**, 2019.