

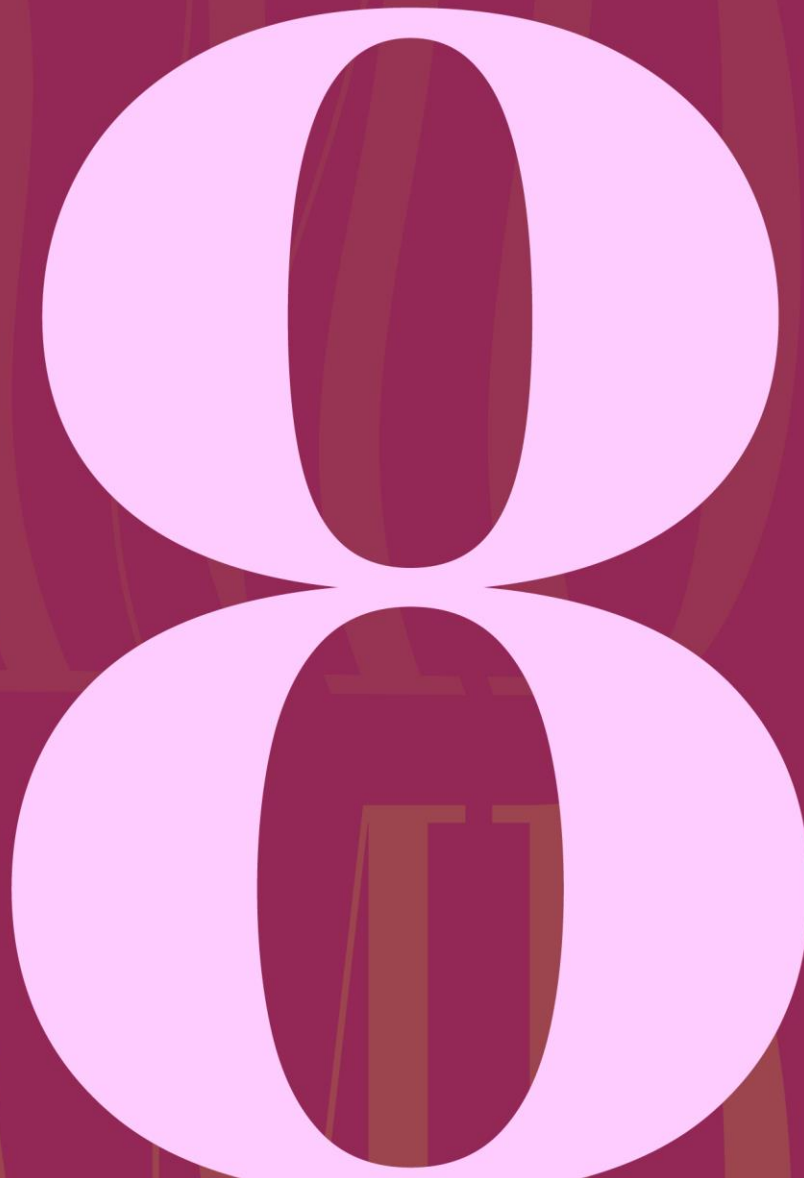
# Construção e simulação de estruturas têxteis entrançadas: considerações para o ensino de design têxtil<sup>1</sup>

*Construction and simulation of braided textile structures:  
considerations for teaching textile design*

*Construcción y simulación de estructuras textiles trenzadas:  
consideraciones para la enseñanza del diseño textil*

Ivis de Aguiar Souza<sup>2</sup>

Lais Kohan<sup>3</sup>



## Resumo

O objetivo do trabalho foi desenvolver estruturas fibrosas entrançadas para aplicação em implantes de scaffolds, utilizando simulação gráfica através do software Rhinoceros 3D® (versão 6) com o plugin Grasshopper. A pesquisa buscou evidenciar e selecionar os aspectos mais importantes das estruturas têxteis entrançadas, além de fornecer suporte ao ensino no campo do design têxtil. Para atingir os objetivos definidos, foi realizada uma pesquisa em duas etapas. Etapa 1 – exploratória-descritiva com uma breve revisão sobre o tema. Etapa 2 – pesquisa aplicada de natureza qualitativa e descritiva. Os resultados das análises morfológicas das estruturas entrançadas revelaram que o ângulo médio de entrelaçamento foi consistentemente influenciado pelo diâmetro do fio, número de fios, orientação, tensão aplicada, material e diâmetro da estrutura. Os achados corroboram a literatura existente e destacam a importância da simulação gráfica e do uso de software avançado no desenvolvimento e ensino de design têxtil.

**Palavras-chave:** Entrançados Têxteis; ensino; design têxtil; Rhinoceros 3D®; Grasshopper.

## Abstract

*The aim of this study was to develop braided fibrous structures for scaffold implant applications, utilizing graphical simulation with Rhinoceros 3D® software (version 6) and the Grasshopper plugin. The research aimed to emphasize key aspects of woven textile structures and support textile design education. To achieve these goals, the study proceeded through two stages. Stage 1 involved an exploratory-descriptive phase with a brief literature review, while Stage 2 comprised applied qualitative and descriptive research. Morphological analyses of the braided structures indicated that the average interlacing angle was consistently influenced by wire diameter, number of wires, orientation, applied tension, material, and structure diameter. These findings align with existing literature and underscore the significance of graphic simulation and advanced software in advancing both the development and pedagogy of textile design.*

**Key-words:** Braid; education; textile design; Rhinoceros 3D®; Grasshopper.

<sup>1</sup> Este artigo é um desdobramento da dissertação intitulada Design de Estruturas Fibrosas Implantáveis para Tratamento de Lesões da Medula Espinhal, de autoria de Ivis de Aguiar Souza. A dissertação está disponível em: <https://hdl.handle.net/1822/88389>.

<sup>2</sup> Ivis de Aguiar Souza possui Mestrado em Design e Marketing de Produto Têxtil, Vestuário e Acessórios pela Universidade do Minho e Bacharel em Economia Doméstica pela Universidade Federal de Viçosa. Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0938522048973770> . ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4535-7989> . E-mail: [aguiarivis@gmail.com](mailto:aguiarivis@gmail.com).

<sup>3</sup> Lais Kohan possui Doutorado com Duplo Diploma em Engenharia Têxtil pela Universidade do Minho e em Engenharia e Ciências dos Materiais pela Universidade de São Paulo. Sua produção acadêmica inclui publicações em temas como têxteis para reforço de compósitos cimentícios, compósitos poliméricos, têxteis técnicos, fibras naturais e sustentabilidade. Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4023405959608243> . ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8274-0648> . E-mail: [laiskohan@usp.br](mailto:laiskohan@usp.br).

## Resumen

*El objetivo del trabajo fue desarrollar estructuras fibrosas entrelazadas para su aplicación en implantes de andamios, utilizando simulación gráfica mediante el software Rhinoceros 3D® (versión 6) con el plugin Grasshopper. La investigación buscó destacar y seleccionar los aspectos más importantes de las estructuras textiles entrelazadas, además de brindar apoyo para la enseñanza en el campo del diseño textil. Para alcanzar los objetivos definidos, se llevó a cabo una investigación en dos etapas. Etapa 1: exploratoria-descriptiva con una breve revisión del tema. Etapa 2: investigación aplicada de naturaleza cualitativa y descriptiva. Los resultados de los análisis morfológicos de las estructuras entrelazadas revelaron que el ángulo promedio de entrelazado fue consistentemente influenciado por el diámetro del hilo, número de hilos, orientación, tensión aplicada, material y diámetro de la estructura. Los hallazgos corroboran la literatura existente y destacan la importancia de la simulación gráfica y el uso de software avanzado en el desarrollo y la enseñanza del diseño textil.*

**Palabras clave:** Entrelazados têxtil; enseñanza; diseño têxtil; Rhinoceros 3D®; Grasshopper.

## 1 Introdução

Os entrançados são possivelmente um dos tipos de estruturas têxteis mais conhecidos por diversas culturas ao longo da história (Araújo; Fangueiro; Hong, 2001). Por exemplo, em culturas indígenas brasileiras, há uma intensa produção de utensílios domésticos em estruturas entrançadas, utilizadas no processamento e refino de subprodutos da mandioca. Essas estruturas consistem em cilindros cônicos ocios, entrançados com boa elasticidade e resistência à tração, características típicas das estruturas entrançadas (Falco et al., 1987).

A utilização do sistema CAD (*Computer Aided Drawing*) apresenta soluções a problemas que variam desde o projeto de peças do vestuário até a tricotagem de roupas e outras finalidades no desenvolvimento do projeto em design. Os avanços dessa tecnologia têm possibilitado a simulação de propriedades geométricas, mecânicas e físicas e suas variáveis (Silva, 2022). Recentemente, o design paramétrico, que utiliza algoritmos e cálculos matemáticos para compor geometrias complexas por meio de critérios previamente estabelecidos, tem ganhado destaque.

A simulação tem ganhado visibilidade devido à sua capacidade de proporcionar imersão em estruturas, com foco na construção e representação de dados, visualização de desempenho, análise das estruturas e simulação de construção interativa e imersiva (Malkawi, 2004). Além disso, o processo de simulação serve como base para a otimização e automação, permitindo ao designer operar sob uma perspectiva de constante aprimoramento e aplicação prática no processo de design (Humppi, 2015).

O ensino em Design de Moda pode ser beneficiado pelas ferramentas CAD aplicadas ao ensino, sobretudo, das estruturas têxteis. Na era da informação, o uso das Tecnologias de Informação e Comunicação TIC no ensino e construção têxteis tem recebido pouco destaque, apesar da crescente relevância das estruturas têxteis em áreas além do têxtil e da moda, nomeadamente, na *Tissue engineering* (Engenharia de Tecidos Vivos) (Aguiar Souza, 2023; Aibibu et al., 2016).

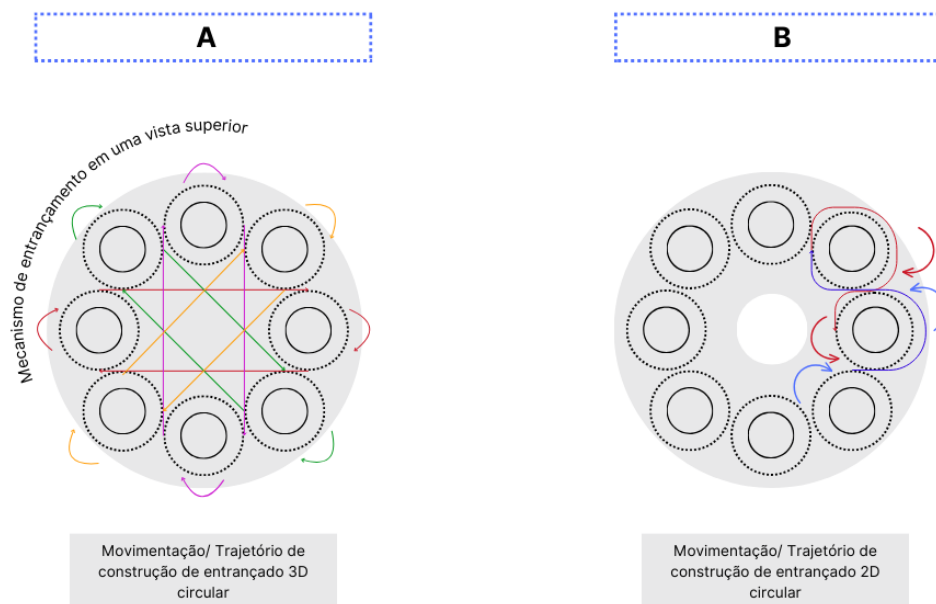
Estruturas têxteis são construídas com base no uso de geometrias complexas. Os entrançados, como uma destas estruturas, podem ser moldados com a introdução de moldes sólidos no seu interior. Estas estruturas se destacam ainda

em duas classes principais de entrançados têxteis: I. bidimensionais (2D) — compostos por dois ou mais fios entrançados num plano cartesiano XY; II. tridimensionais (3D) — estruturas em que os fios progridem de três direções definidas num plano cartesiano XYZ (Liu *et al.*, 2022; Araújo; Fanguero; Hong, 2000).

Entrançados têxteis 2D são produzidos a partir de um dispositivo entrançador (entrançadeira), que pode ser utilizado para produzir estruturas, principalmente, cilíndricas/tubulares, mas também planas, como geometrias assimétricas (geometrias axiais). Essas estruturas 2D consistem em fios dispostos numa configuração biaxial em relação à direção longitudinal das tranças, com ângulos de  $\pm\theta^\circ$ . Já as estruturas 3D utilizam máquinas entrançadeiras cartesianas ou rotativas. Máquinas cartesianas são projetadas em arranjo coluna-trilha (ou coluna-fila). Nesse sistema, os transportadores de fios são movimentados em uma trajetória contínua, avançam colunas e linhas sistematicamente para frente e para trás; as estruturas produzidas são biaxiais, triaxiais e 3D (Li *et al.*, 2022; Melenka e Ayranci, 2020).

Na Figura 1, observa-se uma vista superior do mecanismo de entrançamento em uma máquina de trança circular. O Grupo A representa a entrançadeira hexagonal circular, que produz uma estrutura trançada cartesiana (ou *track and column*). Este processo envolve a movimentação seletiva das bobinas em uma rede de trilhos e colunas, utilizando movimentos alternados. Ainda na Figura 1, o Grupo B demonstra o mecanismo de entrançamento das estruturas trançadas 2D circulares produzidas em voltas contínuas em círculos concêntricos (no sentido horário), encontrando-se simultaneamente com outros fios e entrelaçando-se mutuamente ao redor uns dos outros (Schreiber, 2016; Aguiar Souza, 2023).

Figura 1. Movimentação/ trajetória das máquinas para construção das geometrias entrançadas. **Grupo – A.** Entrançados hexagonal 3D circular. **Grupo – B.** Entrançado 2D circular.



Fonte: Elaborado pelo Autor

No atual contexto, estruturas entrançadas têm sido mais aplicadas no campo biomédico, especialmente as estruturas 2D circulares e os entrançados 3D em forma hexagonal. As simulações da geometria estrutural das tranças hexagonais, como *horngears*<sup>3</sup> (Figura 2 - Grupo A) possibilitam a criação de estrutura bifurcada para aplicações médicas, como próteses arteriais bifurcadas ou *stents*<sup>4</sup>. Estruturas 2D também apresentam vantagens no campo biomédico na produção de *stents*, *scaffold*<sup>5</sup>

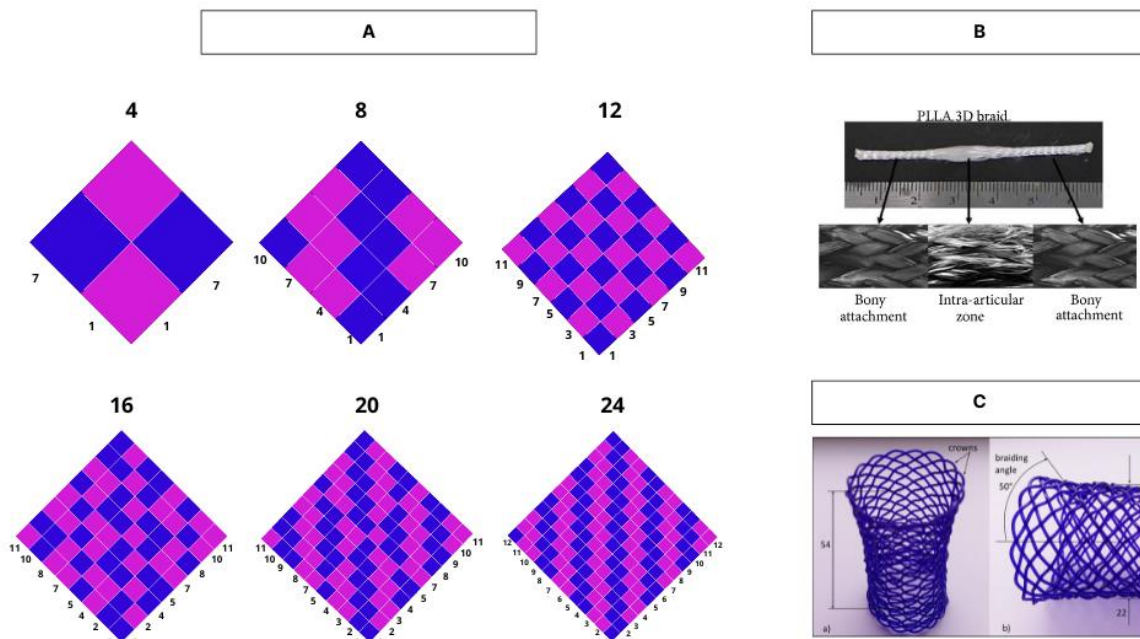
<sup>3</sup> Estrutura produzida por uma máquina de trançar circular de 12 engrenagens Horngear, que oferece 24 posições potenciais para acomodar um fuso (12 no sentido horário e 12 no sentido anti-horário). Conforme os fusos completam suas rotações, eles passam sobre e sob os fusos que se movem na direção oposta, entrelaçando o fio por cima e por baixo desses fios. A remoção de um ou vários fusos permite criar tranças com estruturas e geometrias significativamente diferentes. Essas geometrias podem ser analisadas e comparadas, resultando não apenas em tranças esteticamente distintas, mas também em materiais com propriedades mecânicas variáveis. Quando uma máquina de trança com engrenagem Horngear está totalmente carregada com fusos, ela produz uma trança regular (Nawaz *et al.*, 2013).

<sup>4</sup> Um *stent* é um dispositivo médico em forma de pequeno tubo ou malha, geralmente feito de metal ou polímero, utilizado para manter abertos dutos ou vasos sanguíneos estreitados ou obstruídos.

<sup>5</sup> Os *scaffolds* são estruturas compostas por biomateriais poliméricos que apresentam características micro e nanoestruturais, morfologia e propriedades de superfície adequadas para fornecer suporte estrutural à fixação celular e ao subsequente desenvolvimento de células e tecidos vivos. (Ashammakhi *et al.*, 2022; Chan e Leong, 2008)

como observado na Figura 2-Grupo B (Schreiber, 2016; Aguiar Souza, 2023; Rebelo *et al.*, 2015; Vila, 2009).

Figura 2. **Grupo – A.** Ligamentos ou topologias de estruturas entrançadas utilizando diferentes números de fios em uma máquina de trançar de 12 engrenagens horngear. **Grupo – B.** Estrutura scaffold entrançada para reparo de ligamento LCA. Fonte: extraído e adaptado James & Laurencin (2014). **Grupo – C.** Estrutura entrançada do tipo Stent. Fonte: extraído e adaptado de Shanahan *et al.* (2017).

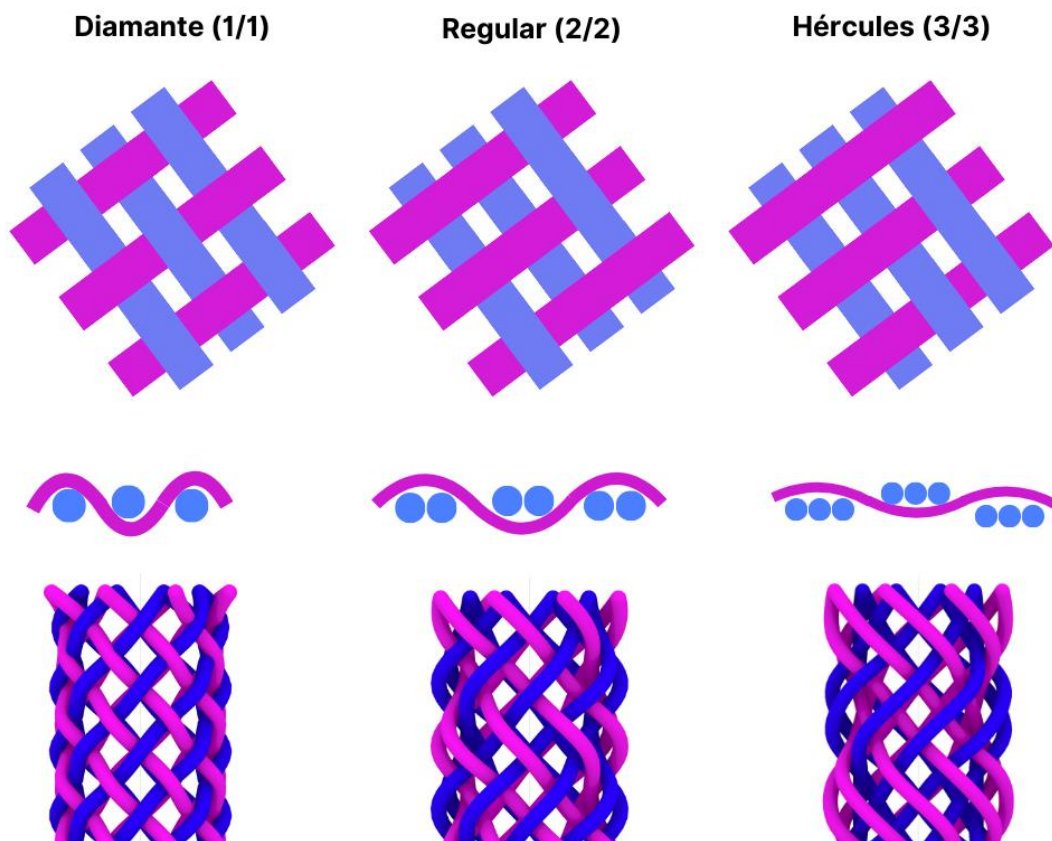


Fonte: Elaborado pelo Autor

As geometrias dos entrançados são notáveis e apresentam propriedades diferentes; por exemplo, o entrançado do tipo 2/2 (regular) exibe maior resistência e módulo de elasticidade, além de maior rigidez e força de cisalhamento em comparação as estruturas 1/1, também apresenta menor angulação de crimpagem das fibras (ondulação dos fios), o que se correlaciona com a aumento de rigidez e resistência (Chai *et al.*, 2020). Melenka e Carey (2017) desenvolveram estruturas entrançadas paramétricas utilizando um *script Python* personalizado e um pacote de *software* de design auxiliado por computador (Rhinoceros 3D® 5.0, Robert McNeel & Associates, Seattle, WA, EUA) para visualizar as geometrias de entrançados tridimensionais.

Em relação à construção da geometria estrutural, pode-se estabelecer uma analogia simplista entre os entrançados têxteis e os têxteis planos. Assim como os têxteis planos são classificados de acordo com sua construção — como tafetá (armação simples), sarja e cetim — os entrançados também se diferenciam pelo padrão de cruzamento dos fios, conhecido como "ligamento" ou "cruzamento". As estruturas entrançadas são destacadas pelos tipos: Diamante (1/1), Regular (2/2) e Hércules (3/3). Na estrutura Diamante, por exemplo, os fios se entrelaçam um a um, com um fio flutuando enquanto o outro passa por baixo, invertendo-se na volta seguinte. Na estrutura Regular, dois fios flutuam e dois passam por baixo, enquanto na estrutura Hércules, esses fios alternam-se três a três, conforme ilustrado na Figura 3 (Aguiar Souza, 2023; Kim *et al.*, 2019; Melenka e Ayranci, 2020).

Figura 3. Estruturas entrançadas com modelo de representação dos ligamentos. Também é possível observar os três tipos de estruturas entrançadas mais comuns Diamante (1/1), Regular (2/2), Hércules (3/3). As três estruturas foram projetadas com utilização da programação algorítmica com uso do software Rhinoceros 3D® e plugins Grasshopper.



Fonte: Elaborado pelo Autor



O uso dos sistemas Computer Aided Design (CAD) marca uma ruptura com processos tradicionais de concepção, planejamento e concretização de diversos artefatos/objetos. Anteriormente, esses processos fundamentavam-se no conhecimento de um técnico, que manualmente desenhava à mão em papel. Agora, essa atividade se transforma em um design de processos, que inclui: 1. *Processo de concepção* (i. Identificação do problema; ii. Aplicação do produto; iii. Preparação de uma possível solução; iv. Materiais aplicáveis); 2. *Processo de análise* (i. Identificação dos métodos de análise do produto; ii. Ferramentas de análise de propriedades dos produtos; iii. Circularidade ou fim de vida) e; 3. *Processo de Análise de dados* (i. Coleta de resultados durante todo o processo de construção da solução; ii. Verificação de resultados; iii. Redesenhar/ aperfeiçoar o produto) (Vargas-Rojas, 2022).

No campo da produção de estruturas médicas, a tecnologia CAD/CAM tem sido utilizada com êxito na produção de modificação de *scaffolds* de titânio (estruturas implantáveis) (Fischer *et al.*, 2022). Isso inclui a construção de *scaffold* com design baseados em imagens. O design de superfície implícito nos modelos criados por CAD e nas técnicas de criação de imagens na área médica tem produzido estruturas de elevada qualidade e com pouca mão de obra, atendendo a critérios como porosidade e topografia da superfície de forma eficiente, com metodologias aplicadas na engenharia de tecidos ósseos (Top *et al.*, 2021).

Diante do exposto, haja vista que a sociedade está propensa a valorizar o domínio e a construção de uma inteligência visual, na qual códigos visuais estruturam a aquisição de informação e guiam o processo de ensino-aprendizagem, essas ferramentas podem ser empregadas no ensino (Cadena *et al.*, 2013). Assim, é importante frisar que a linguagem visual, dentro desse contexto de comunicação e ensino, se estabelece por meio da interação entre estudantes e professores, tanto no domínio visual quanto auditivo, mas, sobretudo, no visual, expresso através de modos gráficos (Twyman, 1981).

Neste contexto, o objetivo do trabalho foi desenvolver estruturas fibrosas entrançadas para aplicação em implantes de *scaffolds*, por meio de simulação gráfica com a utilização do *software* Rhinoceros 3D® (versão 6) (McNeel, 2019), com *plugin* Grasshopper, de modo a evidenciar e selecionar os aspectos mais importantes das

estruturas têxteis entrançadas, além de dar suporte ao ensino no campo do design têxtil.

## 2 Procedimentos metodológicos

Etapa 1 — a pesquisa se caracteriza como exploratória-descritiva a partir da revisão sobre o desenvolvimento de estruturas têxteis e do aprofundamento bibliográfico realizado em livros, artigos, teses e dissertações.

Etapa 2 — para corresponder aos objetivos definidos foi realizada uma pesquisa de natureza aplicada com abordagem qualitativa e quanto ao objetivo, descritiva. O foco da pesquisa aplicada é gerar conhecimentos para aplicação prática e solucionar problemas. O caráter descritivo se estabelece na descrição detalhada dos procedimentos de desenvolvimento das estruturas entrançadas (Merino et al., 2020). Como parte da pesquisa aplicada, foram desenvolvidas estruturas entrançadas com uso de *software* Rhinoceros 3D® e *plugin* Grasshopper.

A escolha do *software* justifica-se pela sua capacidade de manipular objetos Non-Uniform Rational Basis Spline (NURBS), um tipo de superfície e curva amplamente utilizado em programas gráficos (Hsu *et al.*, 2015). O uso de NURBS tem sido amplamente empregado em programação visual, especialmente com a adição do *plugin* Grasshopper, utilizado para projetos de geometrias paramétricas. Esse *plugin* permite a visualização e criação isométrica de elementos finitos de diversas maneiras, oferecendo: I. Aprimoramento na modelagem de geometrias complexas; II. Garantia de precisão nas geometrias, eliminando erros geométricos; III. Fornecimento de abordagens sistemáticas de refinamento (Bazilevs *et al.*, 2006). O *plugin* Grasshopper tem se destacado nos campos da medicina, arquitetura, moda e design, devido à sua capacidade de lidar com múltiplos parâmetros e renderizar modelos complexos (Eltaweel e Su, 2017).

### 2.1 Método criativo

O modelo metodológico usado para o desenvolvimento da estrutura foi por meio de modelagem paramétrica no *software* Rhinoceros® e *plugin* Grasshopper, também foi analisado um grupo de metodologias projetuais do design,

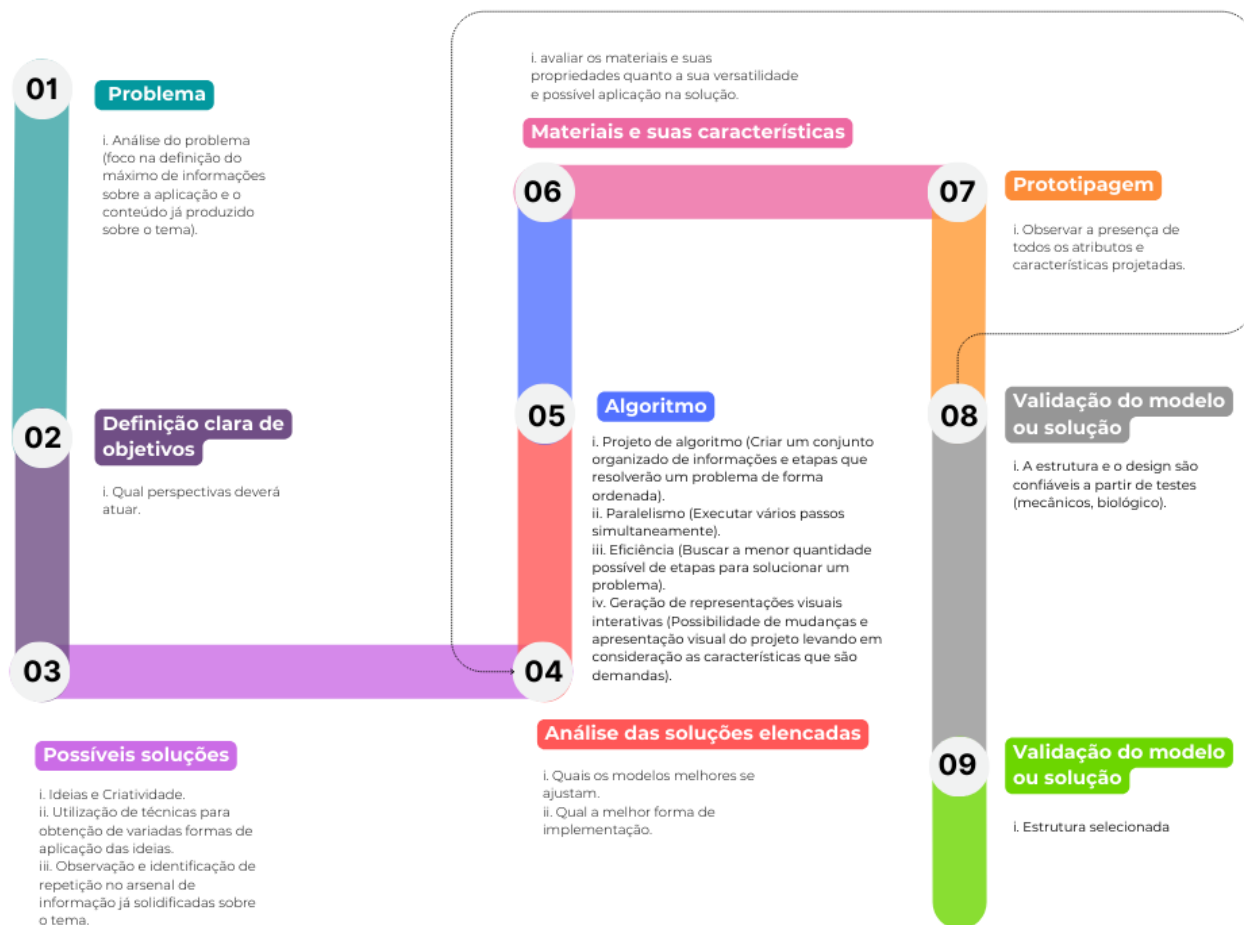
nomeadamente, as de Löbach (2001); Munari (1981) e Simlinger, (2007). Após a análise foram definidos os passos comuns a todos e incorporado o pensamento computacional de Shute *et al.* (2017) através do algoritmo paramétrico.

Na Figura 4, é demonstrado o método criativo e seus passos. O passo 1 — identificação detalhada do problema, seguida pelo passo 2 — análise abrangente do contexto e do conhecimento já existente sobre o tema. Com base nessa análise, é crucial definir objetivos claros, estabelecendo a perspectiva específica de atuação.

Em seguida, passo 3 — propõem-se possíveis soluções, incentivando a criatividade e a utilização de diversas técnicas para explorar diferentes aplicações das ideias. Durante esse processo, é importante observar e identificar padrões no conhecimento consolidado. Passo 4 — análise das soluções propostas envolve selecionar os modelos que melhor se ajustam e definir a forma mais eficaz de implementação.

O passo 5 — elaboração de um algoritmo bem-estruturado é fundamental, englobando o projeto organizado das etapas, paralelismo para execução simultânea de tarefas, eficiência na minimização de etapas e a geração de representações visuais interativas. O passo 6 — a escolha dos materiais deve ser cuidadosa, avaliando suas propriedades e aplicabilidade na solução. O passo 7 — fase de prototipação permite verificar a presença de todos os atributos projetados, enquanto o passo 8 — validação do modelo garante a confiabilidade do design por meio de testes rigorosos. Nesta etapa a não validação do modelo implica no retorno ao passo 4. Por fim, o passo 9 — solução final é consolidada, proporcionando uma resposta robusta e eficiente ao problema inicial.

Figura 4. Modelo gráfico de representação do método criativo no design de estruturas.



Fonte: Elaborado pelo Autor

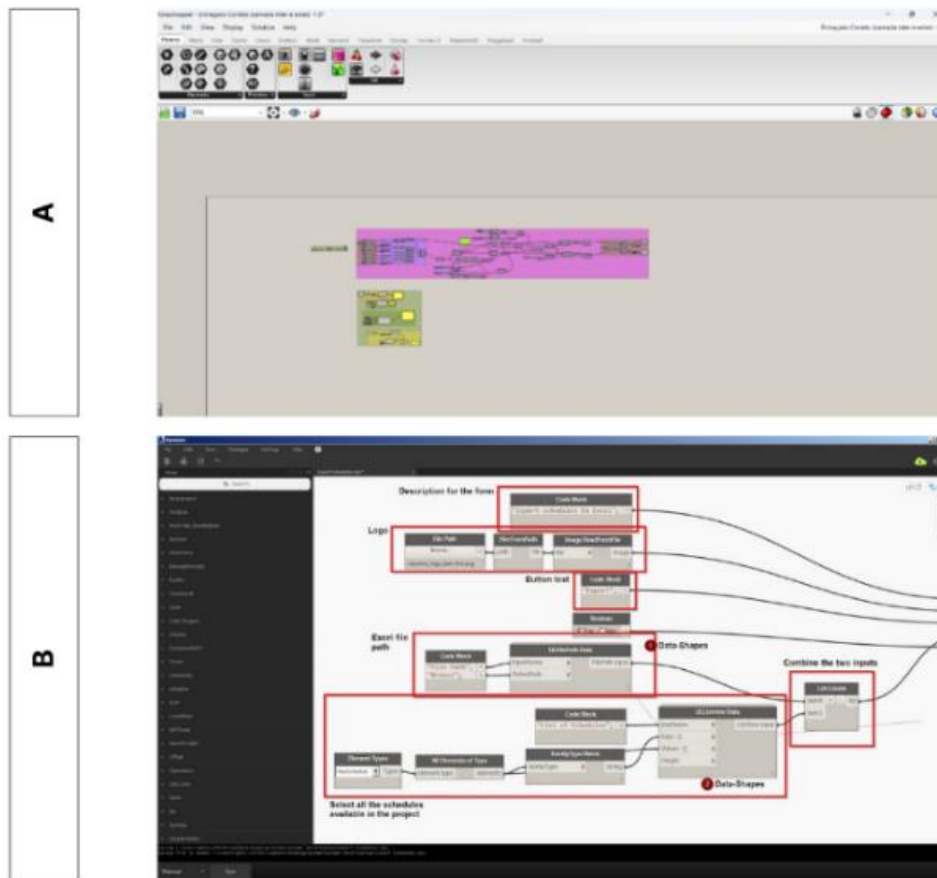
O modelo aplicado ao projeto de estrutura têxtil (Figura 4) articula o pensamento projetual na delimitação e expansão do problema, na definição de objetivos, nas possíveis soluções, na análise das soluções elencadas e na validação do modelo. Ademais, o pensamento computacional é integrado ao projeto por meio do uso de um algoritmo que possibilita projetar e simular diferentes estruturas, com o objetivo de desenvolver um protótipo de estrutura têxtil considerando os principais critérios do projeto. Além disso, o modelo algorítmico é concebido de maneira a prever as características morfológicas das estruturas entrançadas.

### 3 Programação visual e interface dos *softwares*

Um dos maiores contributos para a popularização do termo "design paramétrico" advém do uso de pacotes de programação visual. A programação visual pode ser definida como uma modalidade de representação que dispensa o uso direto de código, encapsulando-o em módulos, cada um com suas "entradas" (inputs) e "saídas" (outputs), que se interconectam em uma forma de arranjo lógico, processando informações a cada conexão. Ao comparar a programação convencional com a programação visual, esta última apresenta uma abordagem mais intuitiva, tornando-se relativamente mais acessível para iniciantes. Isso facilita sua aplicação direta em design, arquitetura, engenharia e construção, promovendo o uso de pacotes de programação visual (Ajouz, 2021).

Os pacotes mais destacados atualmente são o Grasshopper, que trabalha em conjunto com o Rhinoceros 3D® e é orientado à geometria, permitindo cálculos rápidos; e o Dynamo, que opera com o software Revit e é principalmente aplicado na arquitetura para projetos de edifícios e estruturas metálicas. Existe uma diferença nas interfaces: o Grasshopper utiliza cores vivas e logotipos, enquanto o Dynamo possui uma interface com menor presença de ícones, conforme ilustrado na Figura 5 (Ajouz, 2021).

Figura 5. Interface de programação visual do Grasshopper (A). Interface de programação visual do Dynamo (B).



Fonte: Elaborado pelo Autor

Em relação ao sistema Rhinoceros 3D® ou Rhino (abreviação), após a adição do plugin Grasshopper o programa trabalha com duas formas de programação distintas. O uso de linguagem de script que permite a programação para além das limitações da interface do usuário, contudo, é necessário conhecimento de linguagem programação para manusear o código. Outra forma de desenvolvimento de estruturas é programação gráfica (linguagem visual) que consiste na interligação das pilhas ou nós. A Tabela 1, descreve as diferenças e particularidades dos métodos e suas respectivas funções e diferenças (Voltolini *et al.*, 2020).

Tabela 1. Funções de cada um dos métodos de programação.

PROGRAMAÇÃO TEXTUAL	PROGRAMAÇÃO VISUAL
Script	Bypass-code
Linha de texto	Ligação entre pilhas
Compilação	Resultado em tempo real
Especialista	Intuitiva
Permite programação mais refinada	Baseado em editáveis contidos nas pilhas

Fonte: extraído de Voltolini *et al.*, (2020).

O *software* em questão possibilita a integração de um conjunto de plugins que ampliam suas funcionalidades. Um exemplo relevante é o Ladybug, que, ao incorporar esses plugins, permite a avaliação do consumo energético em edificações, bem como a análise de aspectos climáticos, entre outros. Por outro lado, o Karamba facilita a análise estrutural, permitindo, com base nas definições inseridas na programação visual, a simulação do comportamento do material selecionado para a estrutura quando submetido a diferentes tipos de esforços, como tração e compressão.

## 4 Resultados

Utilizou-se um algoritmo que é um procedimento empregado para resolver um problema específico ou executar determinadas atividades. Ele é composto por um conjunto finito de instruções básicas e bem definidas. No contexto da modelagem em Grasshopper, a criação de um algoritmo envolve: I. A definição de um conjunto específico de entradas (inputs); II. O desenvolvimento de um algoritmo consistente, constituído por um conjunto claro e definido de instruções; III. A geração de uma saída (output) clara e bem definida, conforme ilustrado na Figura 6 (Tedeschi, 2014).

Figura 6. Representação do algoritmo projetado em Grasshopper.



Fonte: Elaborado pelo Autor

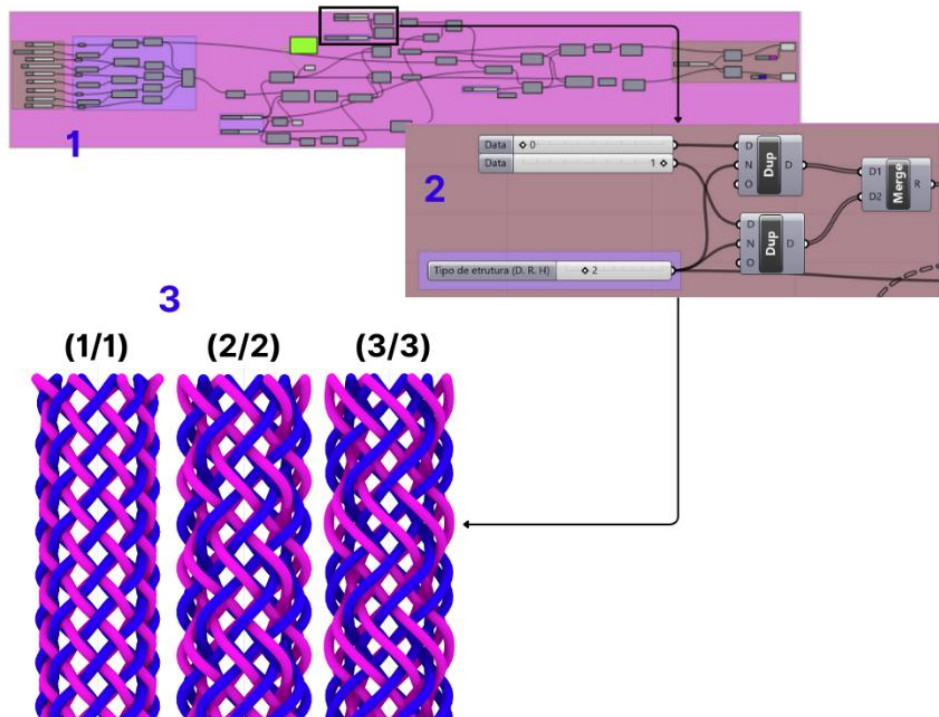
A construção inicial no software Grasshopper inicia-se com um ponto, que é inicialmente conectado e duplicado. Os pontos duplicados são então deslocados para um conjunto de posições previamente definidas no eixo Z, sendo organizados em torno de uma estrutura cilíndrica que simula um molde. Adicionalmente, são geradas várias subdivisões horizontais ao longo do eixo Z, as quais são responsáveis pela formação dos ligamentos e cruzamentos nas estruturas entrançadas. Também foi implementado um sistema de posicionamento dos pontos para permitir a alteração dos tipos de estruturas entrançadas produzidas. Os pontos foram conectados para formar estruturas de fios com a ajuda de curvas NURBS, e um comando foi adicionado para o controle do diâmetro dos fios (Aguiar Souza, 2023).

## 4.1 Parâmetros utilizados na construção de uma estrutura entrançada utilizados no algoritmo

Tipo de estrutura escolhido – o modelo projetado pelo algoritmo permite a escolha entre os três mais comuns de estruturas (ligamento): Diamante, Regular e Hércules (Figura 7). Além disso, permite a experimentação de estruturas com ligamentos diferentes.



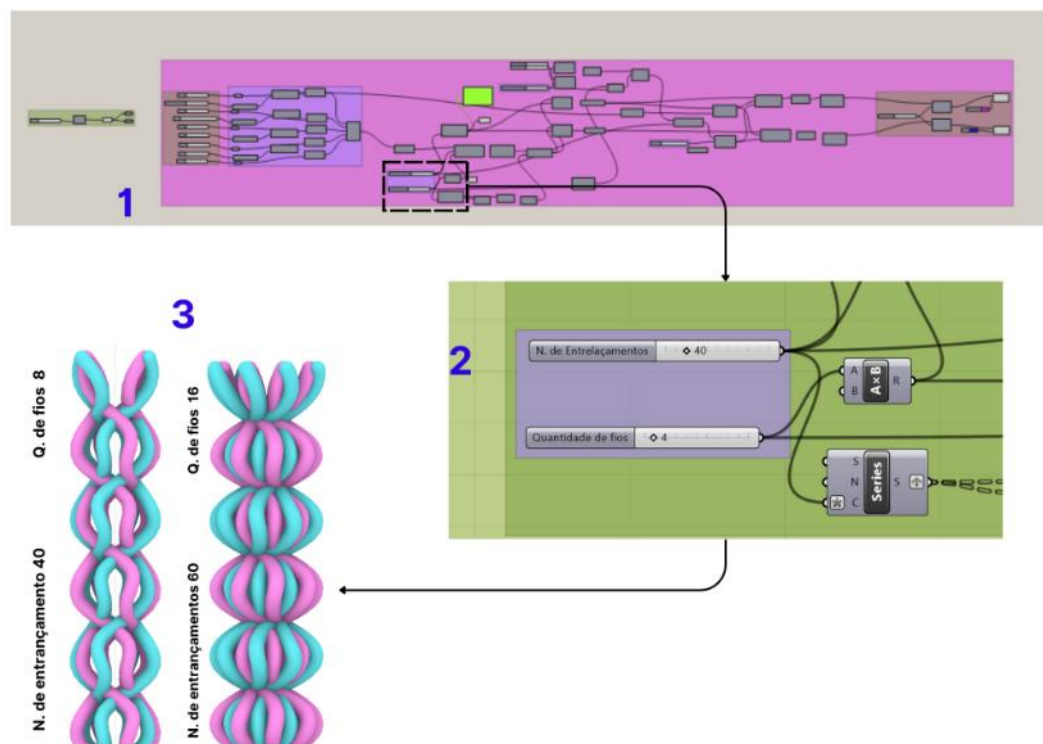
Figura 7. **1.** Na cor rosa estrutura completa do algoritmo. **2.** Parte do algoritmo responsável pela definição do parâmetro/tipo de estrutura quanto ao ligamento. **3.** Os tipos de estruturas resultantes da definição do ligamento, Diamante (1/1); Regular (2/2) e Hércules (3/3).



Fonte: Elaborado pelo Autor

Número de fios – o número de fios que é um elemento importante na construção de estruturas entrançadas, visto que quanto maior a quantidade de fios mais complexa é a geometria. Além disto, é possível controlar a quantidade de ligamento por centímetro (Figura 8), ou seja, o número de vezes que o fio cruza com o outro.

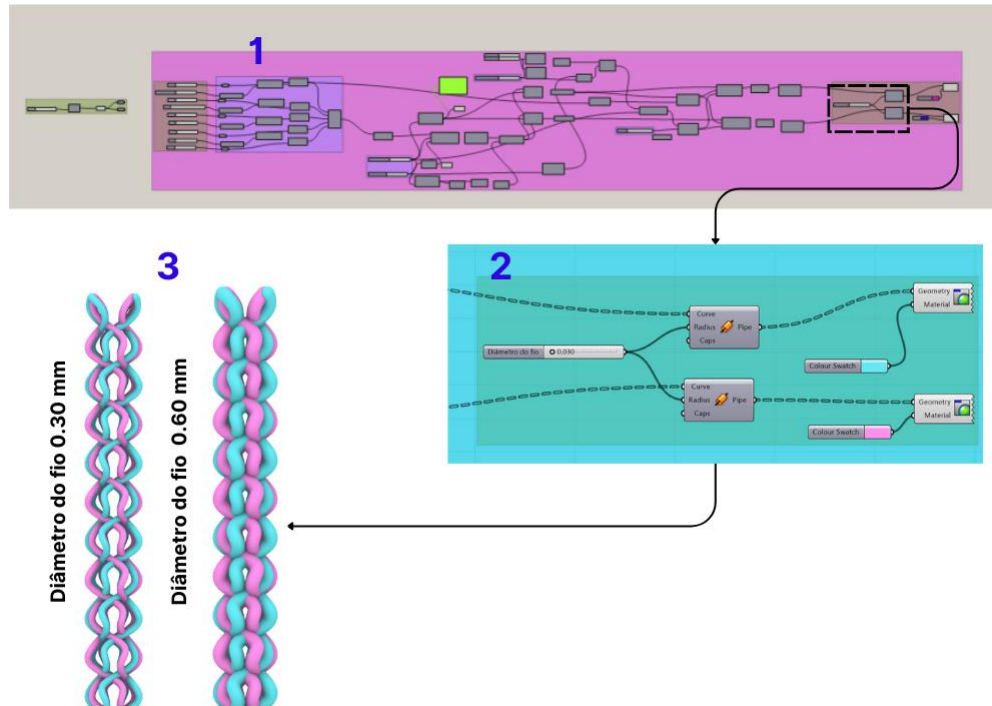
Figura 8. **1.** Na cor rosa estrutura completa do algoritmo. **2.** Parte da estrutura responsável pela definição do número de entrançamentos e pela quantidade de fios da estrutura entrançada. **3.** Os tipos de estruturas resultantes das modificações nos parâmetros número de fios e número de entrançamentos.



Fonte: Elaborado pelo Autor

**Diâmetro do fio** – O diâmetro do fio desempenha um papel crucial na fabricação de estruturas entrançadas, uma vez que influencia diretamente a arquitetura da estrutura e os ângulos formados no entrançado. Um aumento no diâmetro do fio pode resultar em uma maior rigidez e resistência mecânica da estrutura entrançada, devido ao seu impacto na distribuição das forças e na estabilidade geral do sistema (Figura 9).

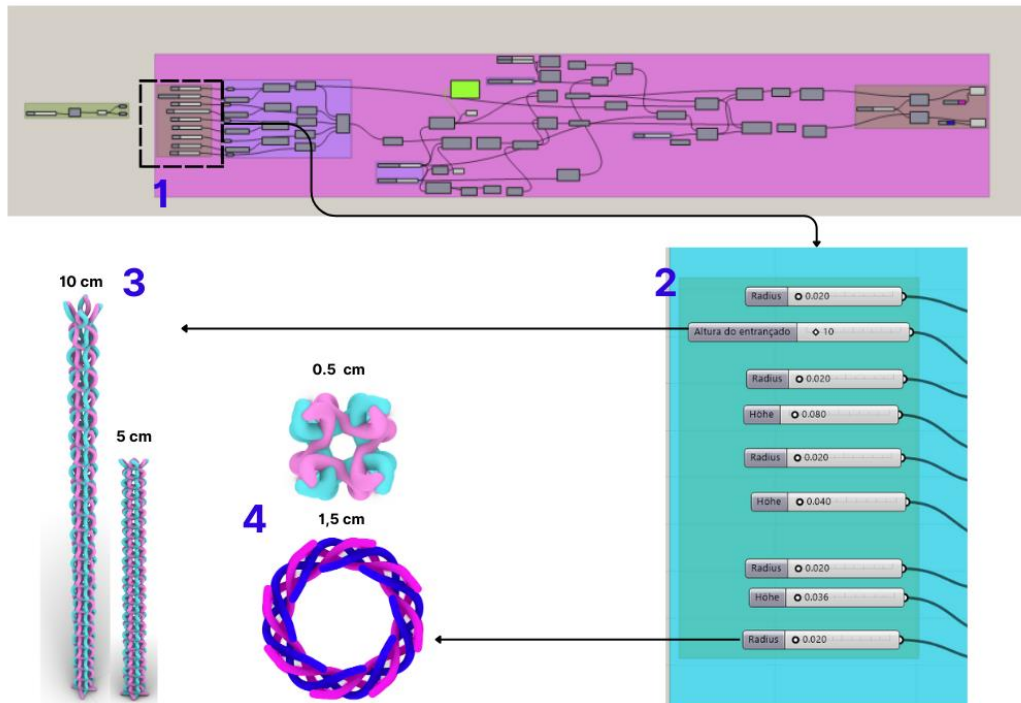
Figura 9. 1. Na cor rosa estrutura completa do algoritmo. 2. Parte da estrutura responsável pela “extrusão” e regulação do diâmetro do fio. 3. Os tipos de fios com dimensões diferentes, respectivamente 0,30mm e 0,60mm.



Fonte: Elaborado pelo Autor

Diâmetro da estrutura – A variação do tamanho do diâmetro da estrutura também afeta na geometria da estrutura e conseqüentemente no ângulo (Figura 10), pois quanto maior o diâmetro menor será o ângulo.

Figura 10. 1. Na cor rosa estrutura completa do algoritmo. 2. Parte da estrutura responsável definição do diâmetro da estrutura e altura. 3. Altura da estrutura entrançada de 10 cm e 5 cm. 4. Diâmetro da estrutura entrançada 1,5 cm e 0,5 cm.



Fonte: Elaborado pelo Autor

A tiragem é por definição o processo de remoção e puxamento da estrutura entrançada da entrançadeira que sofrerá influências da velocidade de tração da estrutura como um dos parâmetros que podem alterar a arquitetura do entrançado têxtil – A tiragem no algoritmo pode ser controlada por meio de parâmetros como altura do entrançado, número de entrançamentos por centímetro e diâmetro do fio (Figuras 8,9 e 10).

## 4.2 Métodos de caracterização física

O processo de caracterização física é crucial na produção de estruturas entrançadas, tanto para aplicações biomédicas quanto para outras áreas, como a construção civil, onde essas estruturas são utilizadas. No campo biomédico, a porosidade é um critério de análise fundamental, pois permite a permeabilidade, adesão e crescimento celular. Especificamente, a porosidade, a permeabilidade e a topografia são características importantes. Assim, os cientistas enfatizam que essas

propriedades facilitam as trocas de fluidos e nutrientes (permeabilidade), promovem a adesão superficial e aumentam a área de superfície de contato nas cavidades da estrutura (porosidade), além de orientar o crescimento dos neurônios (pista topográfica) (Pawelec *et al.*, 2018; Aguiar Souza, 2023).

#### 4.2.1 Avaliações de fator de cobertura e porosidade

A porosidade é um parâmetro imprescindível na análise de estruturas entrançadas. Para sua avaliação, é necessário considerar a quantidade de material fibroso depositado na superfície do mandril. O fator de cobertura é calculado com base na proporção da área do mandril que está revestida pelos fios, servindo também como um indicativo da uniformidade da trama. O fator de cobertura pode ser definido pelas seguintes equações (Aguiar Souza, 2023):

I. Definição do fator de cobertura  
(Eq.6)

$$Fator\ de\ cobertura = 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{W_y \times N_c}{4\pi R \cos\alpha}\right)^2}$$

Onde:

**W<sub>y</sub>** – Diâmetro do monofilamento (mm);

**N<sub>c</sub>** – Número de bobinas;

**R** – Raio do mandril (mm);

**α** – Ângulo de entrançamento (rad).

II. Definição da Porosidade  
(Eq.7)

$$Porosidade = 1 - Fator\ de\ cobertura$$

Neste contexto, a porosidade é definida como a área da superfície que não está coberta. Portanto, quanto maior a porosidade, menor é a uniformidade da trama, caracterizando-se como uma medida inversamente proporcional ao fator de cobertura.

#### 4.2.2 Variações na célula estrutural e modificação do ângulo

A célula estrutural de um entrançado constitui um aspecto necessário na avaliação da qualidade tanto durante quanto após o processo de produção (Hunt & Carey, 2019). Observa-se uma correlação entre a cobertura proporcionada pela largura do fio e o ângulo de entrançamento, permitindo a análise da distribuição do entrançamento (Aguiar Souza, 2023; Vila, 2009). Ademais, o ângulo é determinado pela posição longitudinal das fibras. Variações na célula estrutural resultam em alterações no ângulo, sendo que um ângulo de trança reduzido, em geral, leva a um incremento nas propriedades mecânicas, especialmente na resistência radial, e o efeito oposto também é verdadeiro (Omeroglu, 2006).

É possível determinar a cobertura e o ângulo utilizando as seguintes equações:

(Eq. 1)

$$WL + (WB/\cos\theta) = P/2N$$

Onde:

**WL** – Representa a largura dos fios longitudinais;

**WB** – Representa a largura dos fios enviesados;

**N** – Representa o número de bobinas em funcionamento;

**Θ** – Representa o ângulo entre os fios entrançados;

**P** – Representa o perímetro da alma.

(Eq. 2)

$$D_m = ((D_i + D_e)/2)$$

Onde:

**Dm** – Representa o diâmetro médio (mm);

**Di** – Representa o diâmetro interno (mm);

**De** – Representa o diâmetro externo (mm).

I. Definição do ângulo da estrutura

(Eq.5)

$$tg\theta = \frac{\pi \times D_m}{h}$$

A análise morfológica das amostras (Tabela 2 e 3) demonstra características importantes acerca de aspecto como ângulo médio das estruturas. Aparentemente, o que demonstra impacto sobre o ângulo será o diâmetro do fio; o números de fios; a orientação dos mesmos; a tensão; o material; a tiragem e diâmetro da estrutura (Aguiar Souza, 2023).

Tabela 2. Caracterização das estruturas produzidas no software com fios 0,50 mm (camada externa).

IMAGENS	ESTRU.1	ESTRU. 2	ESTRU. 3	ESTRU. 4	ESTRU. 5	ESTRU.6
Diâmetro	5 mm	5 mm	5 mm	5 mm	5 mm	5 mm
N. De entrelaçamento (10cm)	40	50	50	50	50	50
Quantidade de fios	6	8	10	12	14	16
Diâmetro do fio (mm)	0,50 mm	0,50 mm	0,50 mm	0,50 mm	0,50 mm	0,50 mm
Ângulo médio (°)	±31,415	±31,415	±31,415	±31,415	±31,415	±31,415
Fator de cobertura (%)	±13,55%	±17,85%	±22,0%	±26,13%	±30,10%	±33,96%
Porosidade (%)	±86,44%	±82,14%	±77,95%	±73,86%	±69,89%	±66,03%
External interna	Regular (2/2)	Regular (2/2)	Regular (2/2)	Regular (2/2)	Regular (2/2)	Regular (2/2)

Fonte: Elaborado pelo Autor

Os resultados da Tabela 2 evidenciam que o ângulo médio de entrançamento não apresentou variações. Isso pode ser explicado pela constância do diâmetro da estrutura, pela manutenção do número de entrelaçamentos e pelo diâmetro do fio. Excluindo a estrutura 1, que possui um número de entrelaçamentos diferente das demais, a Tabela 2 revela também que, à medida que se acrescentam dois fios no entrançamento, a estrutura ganha um acréscimo médio de 4,03% no fator de cobertura e perde, em contrapartida, um valor médio de 4,03% da porosidade. Neste sentido, entre a estrutura 2 e 6 ocorreu um aumento médio de 16,11% do fator de cobertura e perda do mesmo valor na porosidade estrutural.

Tabela 3. Caracterização das estruturas produzidas no software com fios de 0,40 mm (camada interna).

IMAGENS	ESTRU. 1	ESTRU. 2	ESTRU. 3	ESTRU. 4
Diâmetro	1,8 mm	1,8 mm	1,8 mm	1,8 mm
N. De entrelaçamento (10cm)	50	50	50	50
Quantidade de fios	8	12	14	16
Diâmetro do fio (mm)	0,40 mm	0,40 mm	0,40 mm	0,40 mm
Ângulo médio (°)	±21,36	±21,36	±21,36	±21,36
Fator de cobertura (%)	±15,22%	±22,36%	±25,81%	±29,18%
Porosidade (%)	±84,77%	±77,63%	±74,18%	±70,81%
Estrutura interna	Regular (2/2)	Regular (2/2)	Regular (2/2)	Regular (2/2)

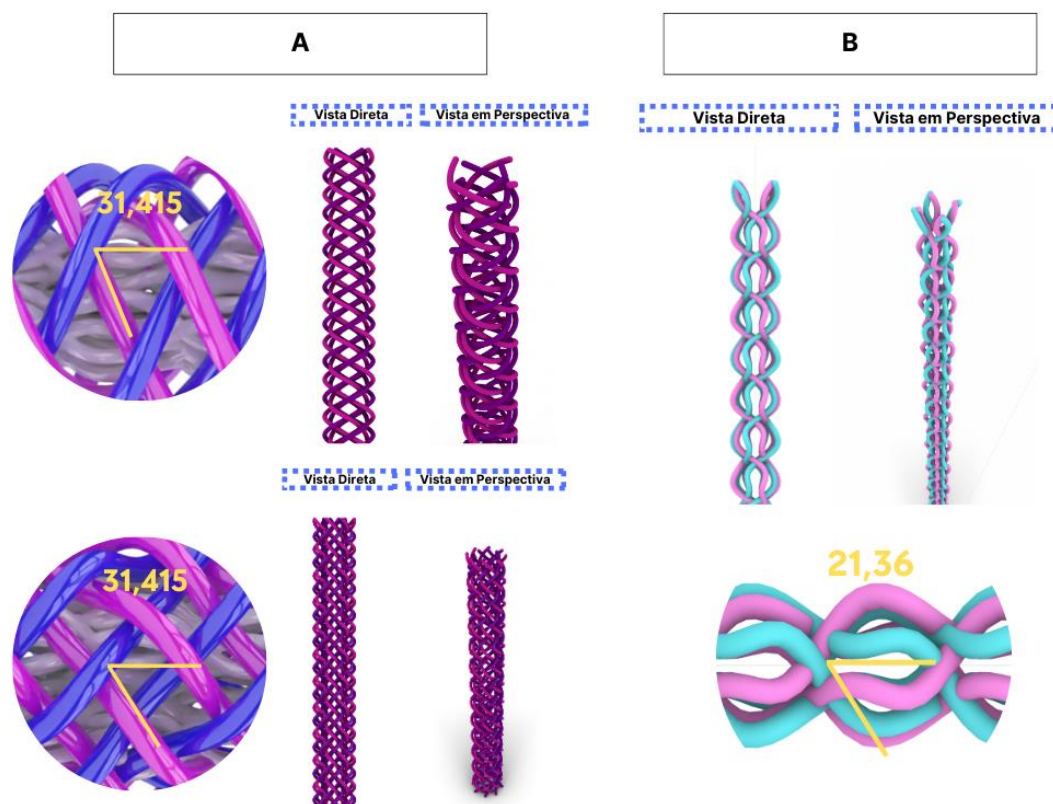
Fonte: Elaborado pelo Autor

A Tabela 3 também apresenta um ângulo semelhante nas quatro estruturas analisadas, devido à semelhança dos parâmetros. A estrutura entrançada com 6 fios foi excluída como opção para a camada interna, pois não apresenta uma geometria de entrelaçamento adequada. Dessa forma, as estruturas entrançadas com melhor geometria estrutural são aquelas projetadas com 8 fios, já que apresentam melhor porosidade. As estruturas 2, 3 e 4 apresentam uma densidade maior em comparação com a estrutura 1; portanto, a estrutura 1 pode ser classificada quanto ao cumprimento do principal requisito, porosidade.

O algoritmo e os parâmetros nele incorporados ampliam as possibilidades e oportunidades no design de estruturas, possibilitando a manipulação das relações que definem as geometrias. Deste modo, o parâmetro diâmetro desempenhou um papel fundamental no que tange ao ângulo, estrutura com 5 mm apresentaram ângulo médio de 31,415°, já estruturas 1,8 mm apresentaram ângulo médio de 21,36°; os fios apresentaram pouca diferença (Figura 11). O ponto que merece destaque é que quanto menor ângulo (mais próximo ao eixo longitudinal do entrançado têxtil) tende ocorrer um aumento a resistência e rigidez axial da estrutura. Isso ocorre porque as fibras são mais alinhadas com a direção de aplicação da carga. Além disso, quanto menor o ângulo, maior densidade de fibras por unidade de área, ou seja, maior fator de cobertura e menor porosidade.



Figura 11. **A.** Representação gráfica da estrutura têxtil da camada externa, produzida no software. Estrutura com 8 fios e 16 fios, com ângulo médio de  $\pm 31,415^\circ$ . **B.** Representação gráfica da estrutura têxtil da camada externa, produzida no software. Estrutura com 8 fios e ângulo médio de  $\pm 21,36^\circ$ .



Fonte: Elaborado pelo Autor

Como mencionado anteriormente, as Tabelas 2 e 3 confirmam os achados da literatura que indicam que uma maior quantidade de fios e fios de maior diâmetro resultam em maior cobertura e menor porosidade. Neste sentido, destacamos a estrutura 1 e a estrutura 6 da Tabela 1: a estrutura 1 apresenta 13,55% de cobertura e 86,44% de porosidade, enquanto a estrutura 6 apresenta 33,96% de cobertura e 66,03% de porosidade. Estas evidências são fundamentais na análise morfológica da estrutura. Emonts *et al.* (2022) demonstram que a porosidade e o tamanho do poro, bem como a tridimensionalidade, são variáveis cruciais para a adequação dos scaffolds. A distribuição e a conectividade dos poros influenciam diretamente a adesão celular, a permeabilidade e o crescimento do tecido.

A geometria das estruturas entrançadas apresenta diferenças quanto à forma do entrançamento. Estruturas têxteis entrançadas circulares e planas

demonstram pouca diferença em termos de porosidade dos scaffolds. Contudo, entrançados multilayer (camadas múltiplas) conectados ao centro apresentaram um aumento na porosidade comparado com aqueles sem conexão entre as camadas. A porosidade pode ser ajustada conforme a necessidade fisiológica dos tecidos (Emonts *et al.*, 2022).

## 5 Considerações

O objetivo do trabalho consistia em desenvolver estruturas fibrosas entrançadas para aplicação em implantes de scaffolds, por meio de simulação gráfica com a utilização do *software* Rhinoceros 3D® (versão 6) (McNeel, 2019), com *plugin* Grasshopper, de modo a evidenciar e selecionar os aspectos mais importantes das estruturas têxteis entrançadas, além de dar suporte ao ensino no campo do design têxtil.

Os resultados das Tabelas 2 e 3 revelaram importantes insights sobre a influência do número de fios e do diâmetro na geometria das estruturas entrançadas. A constância do ângulo médio de entrançamento, associada à manutenção do diâmetro da estrutura e do fio, garante uma estabilidade estrutural significativa. Ao aumentar o número de fios, observa-se um incremento no fator de cobertura e uma correspondente diminuição na porosidade.

Estruturas com 8 fios demonstraram a melhor geometria estrutural devido à maior porosidade, enquanto a estrutura 1, apesar de sua menor densidade, atende ao principal requisito de porosidade adequada. Adicionalmente, a análise do diâmetro das estruturas revela que menores ângulos de entrançamento resultam em maior resistência e rigidez axial, devido ao alinhamento mais próximo das fibras com a direção de aplicação da carga.

Esses achados corroboram a literatura, indicando que uma maior quantidade de fios e maiores diâmetros proporcionam maior cobertura e menor porosidade, aspectos cruciais para a funcionalidade de scaffolds têxteis. Em suma, a manipulação desses parâmetros oferece valiosas oportunidades para a otimização

das propriedades morfológicas e mecânicas das estruturas entrançadas, visando aplicações específicas na engenharia de tecidos<sup>6</sup>.

---

<sup>6</sup> Revisão realizada por:

**Gilvanete Oliveira dos Santos**, Licenciada em Letras – Língua Portuguesa pela Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (2020).

**Helena Ramos Pereira**, Licenciada em Letras e Artes pela Universidade Federal do Pará (1999).

## Referências

- AGUIAR SOUZA, Ivis Aguiar. **Design de estruturas fibrosas implantáveis para tratamento de lesões da medula espinal**. 2023. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Design e Marketing de Produto Têxtil Vestuário e Acessórios, Departamento de Engenharia Têxtil, Universidade do Minho, Guimarães - Portugal, 2023. Disponível em: <https://hdl.handle.net/1822/88389>. Acesso em: 20 jan. 2024.
- AIBIBU, D. et al. Textile cell-free scaffolds for in situ tissue engineering applications. **Journal of Materials Science: Materials in Medicine**, v. 27, n. 3, p. 63, 22 mar. 2016.
- ARAÚJO, M.; FANGUEIRO, R.; HONG, H. **Produto Braidtex**: Entaçados 2D e 3D para indústrias de compósitos (Preformas) e de cordoarias. Aplicações tecnologias e métodos de ensaio. Em: ARAÚJO, M.; FANGUEIRO, R.; HONG, H. (Eds.). **Têxteis técnicos: materiais do novo milénio**, Vol. III–Aplicações, Novos Processos e Novos Produtos. Braga, Portugal: Williams/DGI, 2001. p. 1–144.
- ARAÚJO, M.; FANGUEIRO, R.; HONG, H. **Têxteis técnicos**: materiais do novo milénio, Vol. II–Aplicações, Tecnologias e Métodos de Ensino. Williams/DGI, Braga, Portugal, 187p, 2000.
- ASHAMMAKHI, N.; et al. Highlights on Advancing Frontiers in Tissue Engineering. **Tissue Engineering Part B: Reviews**, [S.L.], v. 28, n. 3, p. 633-664, 1 jun. 2022. Mary Ann Liebert Inc. DOI: <http://dx.doi.org/10.1089/ten.teb.2021.0012.9-695>.
- BAZILEVS, Y. et al. Isogeometric analysis: approximation, stability and error estimates for h-refined meshes. **Mathematical Models and Methods in Applied Sciences**, v. 16, n. 07, p. 1031–1090, 21 jul. 2006.
- CADENA, R. A.; COUTINHO, S. G.; ANDRADE, B. A linguagem gráfica em artefatos educacionais gerados com ferramentas de TIC. **InfoDesign - Revista Brasileira de Design da Informação**, v. 9, n. 1, p. 33–44, 11 abr. 2013.
- CHAI, Y. et al. Following the effect of braid architecture on performance and damage of carbon fibre/epoxy composite tubes during torsional straining. **Composites Science and Technology**, v. 200, p. 108451, nov. 2020.
- CHAN, B. P.; LEONG, K. W.. Scaffolding in tissue engineering: general approaches and tissue-specific considerations. **European Spine Journal**, [S.L.], v. 17, n. 4, p. 467-479, 13 nov. 2008. Springer Science and Business Media LLC. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00586-008-0745-3>.
- ELTAWHEEL, A.; SU, Y. Parametric design and daylighting: A literature review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 73, p. 1086–1103, jun. 2017.
- EMONTS, C., et al. 3D-Braided Poly-ε-Caprolactone-Based Scaffolds for Ligament Tissue Engineering. **Journal Of Functional Biomaterials**, [S.L.], v. 13, n. 4, p. 230, 8 nov. 2022. MDPI AG. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/jfb13040230>.

ERDOLU, E. Lines, triangles, and nets: A framework for designing input technologies and interaction techniques for computer-aided design. **International Journal of Architectural Computing**, v. 17, n. 4, p. 357–381, 6 dez. 2019.

FALCO, J. R.; PAZINATTO, R. P.; AYTAL, D. Tipiti — contribuição ao seu estudo. **Revista do Museu Paulista**, Nova Série, v. 32, p. 131–153, 1987.

FISCHER, H. *et al.* Histological Processing of CAD/CAM Titanium Scaffold after Long-Term Failure in Cranioplasty. **Materials**, v. 15, n. 3, p. 982, 27 jan. 2022.

HSU, M.C. *et al.* An interactive geometry modeling and parametric design platform for isogeometric analysis. **Computers & Mathematics with Applications**, v. 70, n. 7, p. 1481–1500, out. 2015.

HUMPPPI, H. **Algorithm-Aided Building Information Modeling: Connecting Algorithm-Aided Design and Object-Oriented Design**. Hervanta: Tampere University of Technology, 9 dez. 2015.

HUNT, A. J.; CAREY, J. P. A machine vision system for the braid angle measurement of tubular braided structures. **Textile Research Journal**, v. 89, n. 14, p. 2919–2937, 24 jul. 2019.

JAMES, R.; LAURENCIN, C. T.. Musculoskeletal Regenerative Engineering: biomaterials, structures, and small molecules. **Advances In Biomaterials**, [S.L.], v. 2014, p. 1-12, 24 jun. 2014. Hindawi Limited. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/123070>.

KIM, T. *et al.* Highly Flexible Precisely Braided Multielectrode Probes and Combinatorics for Future Neuroprostheses. **Frontiers in Neuroscience**, v. 13, 18 jun. 2019.

LI, X. *et al.* Research Status of 3D Braiding Technology. **Applied Composite Materials**, v. 29, n. 1, p. 147–157, 13 fev. 2022.

LIU, D. *et al.* Estimating the elastic modulus of unidirectional over-braided multilayer composites. **Textile Research Journal**, v. 92, n. 13–14, p. 2410–2423, 1 jul. 2022.

LÖBACH, B. **Design industrial: bases para a configuração dos produtos industriais**. 1ª edição ed. São Paulo: Editora Edgard Blüncher, 2001.

MALKAWI, A. M. Developments in environmental performance simulation. **Automation in Construction**, v. 13, n. 4, p. 437–445, jul. 2004.

MCNEEL, Robert. Rhinoceros 3D® (Version 6.0.). Titular: Proprietário Eula. Seattle-EUA. Computer Software. 2019.

MELENKA, G. W.; AYRANCI, C. Advanced measurement techniques for braided composite structures: A review of current and upcoming trends. **Journal of Composite Materials**, v. 54, n. 25, p. 3895–3917, 15 abr. 2020.

MELENKA, G. W.; CAREY, J. P. Development of a generalized analytical model for tubular braided-architecture composites. **Journal of Composite Materials**, v. 51, n. 28, p. 3861–3875, 21 dez. 2017.

MERINO, G. S. A. D.; VARNIER, T.; MAKARA, E. Guia de Orientação Para o Desenvolvimento de Projetos - GODP - Aplicado à Prática Projetual no Design de Moda. **Modapalavra e-periódico**, Florianópolis, v. 13, n. 28, p. 8–47, 2020. DOI: 10.5965/1982615x13272020008. Disponível em: <https://www.revistas.udesc.br/index.php/modapalavra/article/view/15386>. Acesso em: 23 jun. 2024.

MUNARI, B. **Das coisas nascem coisas**. Lisboa - Portugal : Edições 70, Lda., 1981.

NAWAZ, S., et al. Study of braid topology and effect of braid pattern on composite properties. In: **ICCM International Conferences on Composite Materials**. 2013. p. 68

NEMER, L.; KLEIN, I. . Rhinoceros 3D e Grasshopper: as apropriações da modelagem e da programação no desenho urbano para habitação social – uma experiência didático pedagógica. **Revista Brasileira de Expressão Gráfica**, [S. l.], v. 9, n. 1, p. 69–85, 2021. Disponível em: <https://rbeg.net/index.php/rbeg/article/view/109>. Acesso em: 23 jun. 2024.

OMEROGLU, S. The effect of braiding parameters on the mechanical properties of braided ropes. **Fibres and Textiles in Eastern Europe**, v. 14, n. 4, p. 53, 2006.

PAWELEC, K M; KOFFLER, J; SHAHRIARI, D; A GALVAN,; TUSZYNSKI, M H; SAKAMOTO, J. Microstructure and in vivo characterization of multi-channel nerve guidance scaffolds. **Biomedical Materials**, [S.L.], v. 13, n. 4, p. 044104, 25 abr. 2018. IOP Publishing. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1748-605x/aaad85>.

REBELO, R. *et al.* Influence of design parameters on the mechanical behavior and porosity of braided fibrous stents. **Materials & Design**, v. 86, p. 237–247, dez. 2015.

SCHREIBER, F. Three-dimensional hexagonal braiding. **Advances in Braiding Technology**. [s.l.] Elsevier, 2016. p. 79–88.

SHANAHAN, C.; TOFAIL, S. A. M.; TIERNAN, P. Viscoelastic braided stent: finite element modelling and validation of crimping behaviour. **Materials & Design**, [S.L.], v. 121, p. 143-153, maio 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2017.02.044>.

SHUTE, V. J.; SUN, C.; ASBELL-CLARKE, J. Demystifying computational thinking. **Educational Research Review**, v. 22, p. 142–158, nov. 2017.

SILVA, L. C. **Desenvolvimento de elementos construtivos com base em pré-formas têxteis**. Guimarães: Universidade do Minho, 2022.

SIMLINGER, P. Information Design: Core Competencies What information designers know and can do. Viena, Áustria: **International Institute for Information Design - IIID**, 2007.

TEDESCHI, A. **AAD\_Algorithms-Aided Design**: Parametric Strategies using Grasshopper®. Brienza, Potenza - ITALY: Le Penseur, 2014.

TOP, N. *et al.* Computer-aided design and additive manufacturing of bone scaffolds for tissue engineering: state of the art. **Journal of Materials Research**, v. 36, n. 19, p. 3725–3745, 14 out. 2021.

TWYMAN, M. The graphic presentation of language. **Information Design Journal**, v. 3, n. 1, p. 2–22, 1 jan. 1981.

VARGAS-ROJAS, E. Prescriptive comprehensive approach for the engineering of products made with composites centered on the manufacturing process and structured design methods: Review study performed on filament winding. **Composites Part B: Engineering**, v. 243, p. 110093, 2022.

VILA, N. T. **Design de stents híbridos entrançados**. Guimarães: Universidade do Minho, 2009.

VOLTOLINI, G.; PUPO, R. T.; QUEIROZ, N. Design paramétrico e modelagem algorítmica: os efeitos de seus conceitos e técnicas para o estudante de arquitetura. **Revista Geometria Gráfica**, [S.L.], v. 4, n. 1, p. 75, 19 maio 2020. Universidade Federal de Pernambuco. DOI: <http://dx.doi.org/10.51359/2595-0797.2020.245789>.

**Data de submissão:** 22/03/2024

**Data de aceite:** 17/08/2024

**Data de publicação:** 22/08/2024