

TRANS VERSO

06 Modelo de células de refrigeração inspiradas nos cogumelos: analogia da natureza e design generativo

recebido em 23/08/2025
aprovado em 23/09/2025

Modelo de células de refrigeração inspiradas nos cogumelos: analogia da natureza e design generativo

Maisa Rachman

maisarachman@gmail.com

Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC

Ana Veronica Pazmino

anaverpw@gmail.com

Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC

RESUMO (PT): O objetivo deste artigo é apresentar a investigação do conceito de Design Generativo e sua aplicação no desenvolvimento de um modelo em escala de células de refrigeração. O Design Generativo utiliza algoritmos para explorar múltiplas soluções de design a partir de parâmetros predefinidos, permitindo a criação de formas inovadoras e otimizadas para diversos critérios, como funcionalidade, estética e sustentabilidade. Adicionalmente, a Biomimética foi integrada ao processo criativo. A inspiração em processos e estruturas naturais buscou gerar soluções que promovam a conscientização infantil sobre temas ambientais, como o efeito das ilhas de calor urbanas. Essa abordagem foi aplicada tanto na forma quanto na função do modelo. A pesquisa incluiu uma revisão bibliográfica sobre temas centrais como Biomimética, manufatura aditiva e design generativo, utilizando ferramentas como o *software VOSviewer* para mapear as interconexões conceituais. Como resultado, o projeto gerou um modelo funcional utilizando manufatura aditiva, que se mostrou uma tecnologia fundamental para a materialização rápida e eficiente de produtos baseados no design generativo.

Palavras-chave: design generativo; biomimética; manufatura aditiva.

ABSTRACT (ENG): The objective of this article is to present the investigation of the concept of generative design and its application in the development of a scale model of refrigeration cells. Generative design uses algorithms to explore multiple design solutions based on predefined parameters, enabling the creation of innovative forms optimized for various criteria, such as functionality, aesthetics, and sustainability. Furthermore, biomimicry, which draws inspiration from natural processes and structures, was integrated into the creative process to generate solutions that promote children's awareness of environmental issues, such as the urban heat island effect, and applied to form and function. The research included a literature review on key topics such as biomimicry, additive manufacturing, and generative design, using tools such as *VOSviewer* software to map conceptual interconnections. As a result, the project generated a functional model using additive manufacturing, which has proven to be a fundamental technology for the rapid and efficient materialization of products based on generative design.

Keywords: generative design; biomimicry; additive manufacturing.

1. Introdução

A sustentabilidade, a preocupação com o meio ambiente e todas as suas esferas, bem como a busca constante por aplicações de tecnologias que auxiliem no propósito ecológico podem ser consideradas características fundamentais para todo profissional do Design. Sabe-se que o design de produtos possui como eixos temáticos o Design Sustentável e Tecnológico. Dessa forma, parece fundamental, para o processo de criação e produção envolvendo essa área de conhecimento, a busca por um desenvolvimento pensado em todos os possíveis impactos de um produto e, ainda, visando sempre a aplicação de tecnologias inovadoras que o otimizem.

Cada vez mais, os equilíbrios naturais dependerão das intervenções humanas. Um tempo virá em que será necessário empreender imensos programas para regular as relações entre o oxigênio, o ozônio e o gás carbônico na atmosfera terrestre. (Guattari, 1990).

Durante esta pesquisa de iniciação científica, buscou-se aprofundar sobre conhecer a tecnologia inovadora cujos impactos de sua aplicação revolucionaram a forma de se pensar o Design e o desenvolvimento de novos produtos. Tal tecnologia, denominada de Design Generativo, tem se tornado cada vez mais comum nas principais indústrias, sendo uma solução para otimizar o tempo de criação, desenvolvimento, prototipação e manufatura de um projeto.

A aplicação do Design Generativo, neste projeto específico, em conjunto com um viés ecológico, procura estabelecer soluções que atendam a sociedade, o meio ambiente e as tendências humanas, na mesma linha do conceito de três ecologias desenvolvido por Félix Guattari (1990).

Segundo Guattari (1990), o conceito de três ecologias define o ambiente em que vivemos como um todo. O autor propõe uma visão de mundo que busca compreender além do ser humano e suas necessidades, assim, estabelecendo uma visão ecológica abrangente que considera um cenário de reciprocidade entre o meio ambiente, as relações sociais e a subjetividade humana.

Através de uma revisão documental a respeito dos conceitos básicos, buscou-se aprofundar em diversos tópicos relacionados a Design Generativo e Biomimética. Tal pesquisa denota extrema relevância para o projeto, cuja temática engloba o Design Generativo e sua aplicação no design de um produto.

A metodologia aplicada no desenvolvimento do projeto foi a pesquisa documental sobre temas de design generativo, biomimética e aquecimento como problemática ambiental. Pesquisa de sistemas de resfriamento, geração de soluções e a materialização por meio de técnicas de fabricação digital.

2. Biomimética

No contexto atual, onde a preocupação com o meio ambiente e a necessidade de soluções sustentáveis são tópicos cada vez mais relevantes, o design desempenha um papel fundamental na promoção do desenvolvimento sustentável. Ao unir os princípios do design com a preocupação com o meio ambiente, é possível criar soluções inovadoras que não apenas atendam às necessidades dos usuários, mas também minimizem o impacto negativo no planeta.

A biomimética, derivada das raízes gregas “*bios*” (vida) e “*mimikos*” (imitar), refere-se, à prática de buscar inspiração no meio ambiente para resolver desafios, imitando processos biológicos, formas e ecossistemas (Kennedy, 2004). Como campo de ciência, tem-se tornado uma disciplina fundamental para promover a sustentabilidade e a inovação através de um direcionamento dos olhares para as soluções já existentes conforme mencionado por Kennedy:

Biomimética refere-se ao estudo dos desenvolvimentos mais bem-sucedidos da natureza e a imitação desses designs e processos para resolver problemas da humanidade. Pode-se pensar em inovação inspirada na natureza (Kennedy, 2004).

Lurie-Luke define a mimetização biológica como uma abordagem que utiliza os sistemas naturais para desenvolver inovações tecnológicas e produtos, aproveitando os 3,8 bilhões de anos de adaptação evolutiva da natureza. A aplicação da biomimética envolve a compreensão dos princípios fundamentais dos mecanismos biológicos e a adaptação desses conceitos que resultam em soluções inovadoras em diversos campos. Dessa forma, é possível proporcionar possibilidades transformadoras e ambientalmente amigáveis, muitas vezes contribuindo para o desenvolvimento sustentável no desenvolvimento de produtos e tecnologias (Lurie-Luke, 2014).

Ao adotar as soluções testadas pelo tempo da natureza, a biomimética busca criar produtos e sistemas que sejam não apenas eficientes, mas também ambientalmente amigáveis, muitas vezes contribuindo para o desenvolvimento sustentável. O conceito é particularmente relevante para o design de produtos, sendo um dos principais aspectos da biomimética no design a capacidade de enriquecer o processo criativo, expandindo o repertório do designer ao oferecer soluções que não são imediatamente aparentes por meio de abordagens tradicionais (Volstad & Boks, 2012).

No entanto Volstad e Boks apontam que é essencial que a biomimética não seja vista como uma solução universal para problemas de design, mas como uma ferramenta complementar que deve ser avaliada criticamente, dependendo do contexto de design. A biomimética deve ser usada de forma consciente, e, embora ofereça um potencial significativo para a inovação, seus benefícios plenos são realizados quando combinada com a criatividade humana e o avanço tecnológico (Volstad & Boks, 2012).

3. Design generativo

Para iniciar o desenvolvimento do projeto, foi realizada uma imersão teórica abrangente nos dois principais eixos temáticos do trabalho: Design Generativo e Biomimética. Para o primeiro eixo, foi conduzida uma pesquisa e respectiva análise detalhada, para compreender, identificar e definir os principais conceitos, terminologias e aplicações sobre Design Generativo oferecendo uma compreensão dos princípios, definições, principais softwares e linguagens, bem como suas aplicações específicas no design de produtos.

Para o segundo eixo temático, realizou-se uma revisão sistemática sobre o conceito de biomimética, contextualização histórica assim como suas aplicações em produtos. Além disso, foi fornecido um contexto enfatizando sua relevância em aplicações para a solução de problemas modernos avaliando-as do ponto de vista do design generativo.

Em relação a ambos os eixos, realizou-se uma análise bibliométrica utilizando o *software VOSviewer*¹. Foram realizadas pesquisas de palavras-chave consideradas relevantes para a temática do projeto no Scopus, cujo resultado de artigos relevantes foi exportado para o software mencionado. As palavras-chave pesquisadas foram “*Generative Design*”, “*Biomimicry*”, “*Additive Manufacturing*” e “*Product Design*”. A pesquisa foi limitada ao campo de estudos relacionados à engenharia, visando obter acesso a publicações consideradas essenciais para os respectivos campos de estudo, além de obter um panorama geral sobre os eixos de pesquisa e as principais palavras-chave relevantes. A Figura 1 apresenta as palavras chaves mais frequentes relacionadas a design generativo e biomimética.

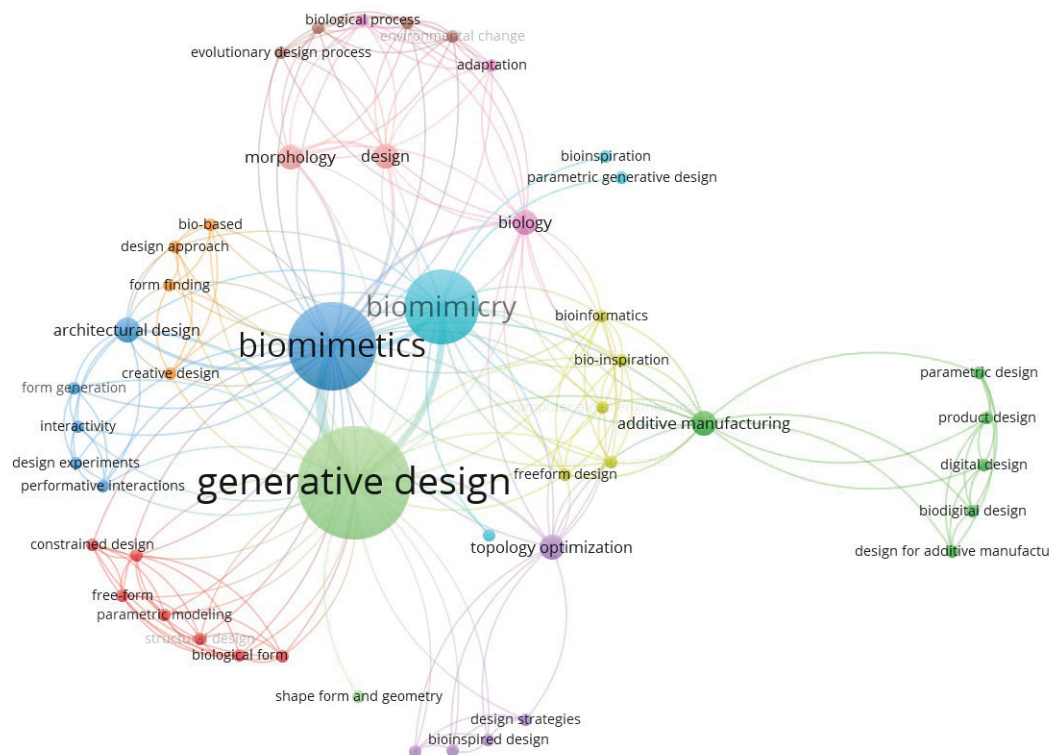


Figura 1 – Mapa mental da revisão documental. Fonte: elaborado pelas autoras.

O mapa mental apresentado mostra uma análise visual de como os conceitos de “design generativo”, “biomimética” e “manufatura aditiva” estão interligados com diversos outros termos e áreas de estudo. No centro do diagrama, “generative design” é o nó principal, com conexões que se estendem para diferentes conceitos relacionados, representados por diversas cores.

As conexões em verde, por exemplo, estão associadas a termos como “*additive manufacturing*”, “*parametric design*” e “*topology optimization*”, destacando a relação do design generativo com a fabricação aditiva e a otimização de formas e estruturas. Já as conexões em azul escuro e azul claro indicam a importância da “biomimética” e “*biomimicry*”, mostrando como esses conceitos de inspiração na natureza se conectam com o design generativo para explorar novas soluções de design.

¹ VOSviewer é um software para construção e visualização de mapas baseados em redes bibliométricas, ou seja, serve para quantificar e analisar literatura científica.

O grupo de conexões em roxo se concentra em termos como “biologia” e “*bio-inspiration*”, sublinhando a relação entre a biologia e o design inspirado por formas e processos naturais. As conexões em vermelho e laranja enfatizam a importância de “*parametric modeling*”, “*form finding*” e “*topology*”, sugerindo que o uso de algoritmos paramétricos e o desenvolvimento de formas inovadoras são centrais para o design generativo.

Essas interações visuais destacam a complexidade e a interconectividade dos campos de estudo, mostrando como o design generativo, a biomimética e a manufatura aditiva podem colaborar para criar soluções inovadoras e sustentáveis.

De acordo com Mortenson, a modelagem consiste na construção precisa da descrição matemática da forma de um objeto. A modelagem geométrica digital, termo cunhado com o avanço da computação gráfica nos anos 1970, engloba um conjunto de métodos utilizados para definir a forma e outras características geométricas dos objetos (Mortenson, 1985).

A dissertação de Vetoretto sobre parâmetros de projeto para sistemas de design generativo ressalta a revolução digital e seu impacto na forma como os designers abordam o processo de design. Com o CAD/CAM, os designers não só têm controle sobre a representação, mas também sobre a geração da forma, com um alcance de possibilidades de design que não possuem limites de regras tradicionais ou noções pré-concebidas, resultando em soluções inovadoras e frequentemente não esperadas (Vetoretto, 2010).

A tendência dos últimos anos dos avanços de tecnologias de manufatura aditiva como aliadas no design digital tem possibilitado a criação de formas de design orgânicas que não poderiam ser produzidas com técnicas de manufaturas tradicionais. Dessa forma, a partir da aplicação da manufatura aditiva, torna-se possível a exploração ao máximo do potencial de novas tecnologias de descoberta de formas, que não são limitadas por esse processo de manufatura, como o design generativo (Agkathidis, 2016).

3.1 Definição e contextualização do design generativo

O Design Generativo, é uma tecnologia transformadora inspirada pela evolução biológica. A partir da especificação de parâmetros e limitações de um produto, utiliza-se um software, que inicia um processo de evolução computacional em busca de soluções otimizadas. Durante esse processo, diversas formas são construídas, testadas e avaliadas de acordo com critérios predefinidos, selecionando aquelas que se aproximam dos objetivos para a próxima etapa. Essas ferramentas operam como caixas pretas, com entradas que incluem materiais, tecnologias de manufatura, limitações físicas, custos e restrições de design, gerando soluções que atendem à demanda inicial. (Almeida & Maranhão, 2021)

O livro *Generative Design* (Agkathidis, 2016) explora a fundo o impacto e a evolução do design generativo, destacando sua transição do método tradicional de “criação de formas” para o inovador paradigma de “descoberta de formas”. Esse paradigma não apenas redefine a relação entre função e forma, estética e sistemas de construção, mas também introduz discussões sobre a experiência do usuário e os custos de construção. A Figura 2 apresenta a diferença de uma abordagem tradicional e uma nova abordagem por meio do design generativo.



Figura 2 – Abordagem de design tradicional e generativo. Fonte: elaborado pelas autoras.

A interação entre o designer e o sistema no *generative design* é realizada tendo como base definições abstratas para gerar opções de projeto, permitindo a personalização em massa sem aumentar os custos (Vettoretti, 2010). Esse método redefine a relação entre designer e produto, incorporando ferramentas computacionais e parâmetros de projeto que podem ser ajustados conforme necessário.

A abordagem do design generativo transcende o ambiente digital, impactando não apenas a criação de produtos, mas também os processos de criação e as dinâmicas de design (Almeida & Maranhão, 2021). Os sistemas generativos, baseados em algoritmos, intermediam a interação entre o designer e a solução do problema de design, aumentando a expectativa de produtividade e otimização na seleção de designs.

Além disso, Barbieri e Muzzupappa apontam a ineficiência das investigações sobre o uso dessas ferramentas para criar formas inovadoras que também possuam significado estético, além de funcional. A estética de um produto desempenha um papel decisivo, especialmente quando produtos diferentes possuem funções e performances similares. Como o design generativo explora automaticamente uma grande quantidade de soluções na busca por formas funcionais, torna-se possível focar nos aspectos estéticos utilizando os resultados das gerações como gatilho para exploração de novas formas (Barbieri & Muzzupappa, 2024).

O design generativo, ao superar as limitações das abordagens tradicionais, oferece uma plataforma para a inovação contínua, alinhando-se com as demandas contemporâneas por produtos que conciliem alta performance mecânica e apelo estético.

3.1.1 Softwares e linguagens

A pesquisa sobre sistemas de Design Generativo teve início na década de 1970, com a criação do primeiro algoritmo de design que se inspirava na natureza. Ao longo da evolução das ferramentas CAD e sua parametrização, especialmente na primeira década do século 21, houve um aumento significativo nas pesquisas acadêmicas sobre a aplicação do design generativo, principalmente na arquitetura (Singh & Gu, 2012).

Apesar dos esforços ao longo dos anos, somente recentemente, devido ao avanço das ferramentas computacionais, é que os métodos generativos se tornaram sofisticados e flexíveis o suficiente para serem integrados aos sistemas CAD comerciais. Atualmente, os softwares generativos estão disponíveis como *plugins* em sistemas CAD, com interfaces cada vez mais interativas e simples, permitindo que profissionais e estudantes executem suas ideias sem dificuldades significativas (Barbieri & Muzzupappa, 2024).



Figura 3 – Softwares de Design Generativo. Fonte: elaborado pelas autoras.

A Figura 3 exemplifica os *softwares* comerciais que oferecem funcionalidades de Design Generativo: *Autodesk Fusion360* (Autodesk, San Rafael, EUA) (Autodesk, 2022); *PTC Creo* (Parametric Technology Corporation, Boston, EUA) (PTC: Parametric Technology Corporation Creo, 2022); *3DS Experience* (Dassault Systemes, França) (3DS: 3DExperience Function Driven Generative Design, 2022); *CogniCAD* (ParaMatters, San Ramon, EUA); *MSC Apex Generative Design* (MSC Software Corporation, EUA) (MSC Software Corporation: MSC Apex Generative Design, 2022); *nTop* (nTopology, EUA) (nTopology, 2022); e o *plug-in Rhinoceros and Grasshopper* (McNeely & Associate, Seattle, EUA) (Rhino: Rhinoceros, 2022).

4. Descrição do projeto

O público-alvo deste projeto foi cuidadosamente definido com base nas necessidades e características de educadores e alunos do ensino fundamental, especialmente em contextos que valorizam a sustentabilidade e o uso de novas tecnologias no processo de ensino-aprendizagem. O objetivo é atender professores que buscam métodos inovadores para engajar estudantes de 10 a 14 anos em temas como consciência ambiental, soluções sustentáveis e robótica. A compreensão desse público-alvo foi fundamental para direcionar o desenvolvimento do produto, garantindo que ele responda de maneira eficaz às demandas pedagógicas e ambientais presentes nas escolas públicas brasileiras.

O produto devia fazer parte de uma cidade inteligente que é um projeto de pesquisa do curso de Design de Produto da UFSC que é levada as escolas para contribuir com o ensino de robótica e de sustentabilidade. A Figura 4 mostra a cidade inteligente montada em escola pública em Florianópolis/SC no evento *Techday* de 2022.

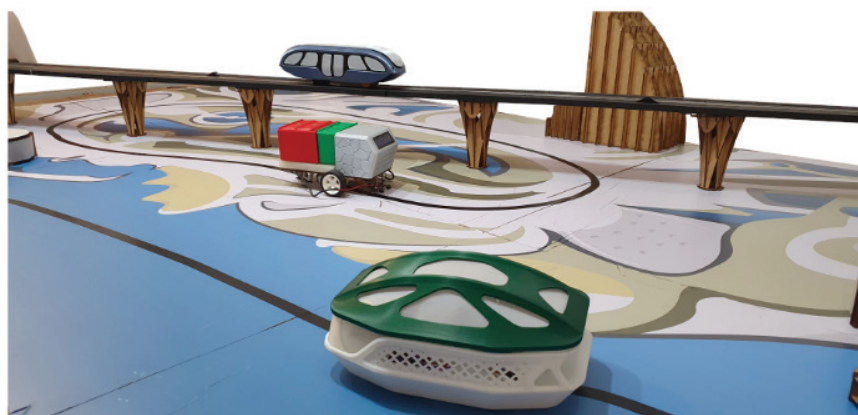


Figura 4 – Cidade inteligente na Techday. Fonte: elaborado pelas autoras.

O produto na cidade inteligente tinha as restrições de dimensões para que caiba dentro do tabuleiro da cidade e com relação aos outros produtos como balsa, monotrilha, caminhão de coleta de lixo que constam na Figura 4. Os produtos têm tecnologia embarcada que permite que se movimentem e apresentem suas funções por meio de tecnologias como o arduino.

4.1 Efeitos das ilhas de calor

Para definir o tipo de serviço para a cidade inteligente foram feitas pesquisas de problemáticas. Segundo a ONU (2022) com o aumento constante da população global, estima-se que até 2050 quase 68% das pessoas estarão vivendo em áreas urbanas, aumentando a demanda por recursos mundiais em 80% e as emissões de carbono de maneira alarmante. Para lidar com esses problemas, é necessária uma mudança nos valores sociais e no planejamento urbano.

Um dos desafios enfrentados pelas cidades devido ao crescimento urbano exponencial é o efeito de ilha de calor, que se refere às temperaturas mais altas experimentadas em áreas urbanas devido às atividades humanas e estruturas construídas, absorvendo e retraindo a radiação solar.

Como resultado, as cidades podem experimentar temperaturas mais altas que as áreas rurais circundantes, especialmente durante ondas de calor, levando a sérias consequências para a saúde dos residentes e aumentando a demanda por energia para refrigeração, piorando ainda mais o efeito de ilha de calor e contribuindo para as mudanças climáticas.

4.2 Efeitos das ilhas de frescor

As ilhas de frescor, ou *cool islands*, podem desempenhar um papel importante no desenvolvimento de cidades inteligentes e sustentáveis. Em muitas áreas urbanas, o efeito de ilha de calor urbana pode ser significativo, levando a temperaturas mais elevadas e desconfortáveis em áreas densamente construídas e com pouca vegetação.

Essas condições climáticas têm implicações para a saúde e o bem-estar dos residentes, além de aumentar a demanda por energia para refrigeração.

As ilhas de frescor são áreas com temperaturas mais baixas em comparação com as áreas circundantes devido à implementação de estratégias de resfriamento urbano, como o uso de vegetação, materiais reflexivos e sistemas de ar condicionado eficientes. Ao implementar essas soluções, as cidades podem reduzir o impacto da ilha de calor urbana, melhorar o conforto térmico dos moradores e reduzir a demanda por energia.

No contexto de cidades inteligentes, as ilhas de frescor podem ser integradas a outras tecnologias e infraestruturas urbanas para criar uma solução holística para os desafios ambientais e sociais que enfrentamos. Por exemplo, sensores e sistemas de gerenciamento de energia podem ser usados para monitorar a temperatura e a qualidade do ar em áreas urbanas e ajustar automaticamente as configurações de resfriamento.

Em resumo, as ilhas de frescor são uma estratégia importante para abordar os desafios do calor urbano em cidades inteligentes. Ao combinar soluções de resfriamento urbano com outras tecnologias e infraestruturas urbanas, as cidades podem criar ambientes mais confortáveis, sustentáveis e saudáveis para seus habitantes.

A formulação do problema de projeto foi: Como criar um brinquedo que represente o sistema de *climatização inteligente* que atue de forma mitigadora dos efeitos decorrentes da ilha de calor? "

4.3 Pesquisa de ambientes refrigerados nas cidades

Diversas cidades estão criando ambientes refrigerados, segundo *Archdaily* (2022):

- **Estados Unidos:** Os serviços de redução de calor da cobertura arbórea urbana nos Estados Unidos são estimados em US\$ 5,3 bilhões a US\$ 12,1 bilhões anualmente. Globalmente, investir US\$ 100 milhões anualmente em árvores de rua daria a 77 milhões de pessoas uma redução de 1°C nas temperaturas máximas em dias quentes.
- **Seul, Coreia do Sul:** Um esforço para restaurar o córrego *Cheonggyecheon* que atravessa a cidade substituiu 5,8 quilômetros de via expressa elevada cobrindo o córrego por um corredor de uso misto à beira-mar. O corredor à beira-mar diminuiu a temperatura de 3,3°C para 5,9°C em comparação com uma estrada paralela a poucos quarteirões de distância.
- **Medelín, Colômbia:** Optou por corredores verdes. De 2016 a 2019, a cidade criou 36 corredores, 18 ao longo de grandes vias e 18 ao longo de hidrovias, abrangendo mais de 36 hectares. As áreas com corredores verdes já sofreram reduções de temperatura de até 4°C.
- **Paris, França:** Paris abriga o primeiro e maior sistema de refrigeração distrital da Europa. Quando a temperatura da água no rio Sena que corta a cidade está abaixo de 8°C, essa água é usada para fornecer "resfriamento gratuito".
- **Toronto, Canadá:** O governo municipal implementou o maior sistema de resfriamento de fonte de lago do mundo. Comissionado em 2004, o sistema *Deep Lake Water Cooling (DLWC)* de refrigeração usa a água fria do Lago Ontário como fonte de energia renovável.
- **Guangzhou, China:** O governo municipal adotou o resfriamento centralizado regional como parte de um moderno centro urbano verde e ecologicamente correto na área central do desenvolvimento da Nova Cidade do Rio das Pérolas. A temperatura ambiental local na área central da cidade nova de Zhujiang foi reduzida em 2-3°C em comparação com o uso de sistemas de refrigeração distribuídos.

O projeto do brinquedo visa conscientizar, educar e envolver cidadãos de todas as idades na percepção de problemas e como a tecnologia pode melhorar seu ambiente urbano. A partir das pesquisas de ambientes refrigerados, das necessidades de educadores e crianças de 10 a 14 anos, e definição das funções que um sistema refrigerado urbano poderia oferecer, foram gerados os requisitos de projeto.

CATEGORIA	NUMERO	REQUISITO	OBJETIVO	GRAU DE IMPORTÂNCIA				ETAPA DO PROJETO
				DESEJÁVEL			OBRIGATÓRIO	
				1	2	3	4	
ESTRUTURAL	8	Representar acessibilidade	Largura mínima de locomoção: 1,20m Altura percentil: 99%			☑		Mapeamento das tendências: Cultura; Meio Ambiente; Normas ABNT 9050; Pesquisa de Contexto: Estudo de caso 3
	9	Projeção de sombra	≥25% da extensão do produto com elementos de sombra				☑	Índice de caminhabilidade ; Pesquisa de Contexto: Estudo de caso 3
	10	Ventilação cruzada	Aberturas de 15-25% da área total otimizando fluxo de ar				☑	Normas ABNT NBR 15220-3
	11	Isolamento térmico	Temperatura do ambiente de 18-26º C				☑	Mapa Mental; Pesquisa de Contexto: Estudo de caso 3
	12	Áreas de descanso	H: 0,45m L: 0,50m C: 0,45 A: 100-110º +Módulo de Referência			☑		Normas ABNT 9050, Pesquisa de Contexto: Estudo de caso 3
	13	Conter fonte de hidratação	Altura do solo: 0,90 m -1,10 m			☑		Norma ABNT 9050; Pesquisa de Contexto: Estudo de caso 3

CATEGORIA	NUMERO	REQUISITO	OBJETIVO	GRAU DE IMPORTÂNCIA				ETAPA DO PROJETO
				DESEJÁVEL			OBRIGATÓRIO	
				1	2	3		
SEMÂNTICO	2	Representar pessoas dentro do projeto	Percentis de antropometria 1-50-99%			☑		Mapeamento das tendências: Cultura
	3	Representar redução das emissões de carbono	Feedback visual com alteração em: Cenário A- Uso de ar condicionado/ Cenário B- Climatização limpa				☑	Mapeamento das tendências: Meio Ambiente; Efeito das ilhas de calor;
	4	Representar rede de 3+ abrigos climáticos	Diferença de cenários climáticos de 4-10°C				☑	Pesquisa de contexto: Estudo de caso 3; Efeito das ilhas de calor
	5	Representar conforto térmico	Escala de LED: Vermelho-Azul				☑	Pesquisa de contexto: Estudo de caso 3, 5; Efeito das ilhas de calor
	6	Representar energia renovável e autossuficiente	Feedback visual de LED em cenários com/sem sensoramento de SMARTGRID				☑	Questionário, Mapeamento das tendências: Meio Ambiente; Mapa Mental; Pesquisa de contexto: Estudo de caso 5;
	7	Representação do sistema de district cooling	Feedback das etapas em 2+ cenários 1-Captação de energia renovável; 2-Captação de água; 3-Refrigeração da água armazenada; 4-Refrigeração do ambiente;				☑	Pesquisa de contexto: Estudo de caso 1;

Tabela 1 – Requisitos de projeto. Fonte: elaborado pelas autoras.

Os requisitos estruturais do projeto têm como objetivo garantir acessibilidade, conforto e segurança. O produto deve estar em diversos pontos da cidade, ter a dimensão de 30cm para caber na cidade maquete, incluir pelo menos 25% de sua extensão com elementos de sombra. A ventilação deve ser otimizada com aberturas de 15-25% da área total, e o ambiente deve manter uma temperatura confortável entre 18-26°C. O design também inclui áreas de descanso atendendo a normas de acessibilidade e segurança, com foco em proporcionar um ambiente funcional e agradável para os usuários.

Os requisitos semânticos do projeto têm como objetivo garantir eficiência e sustentabilidade no uso e operação do produto. O design deve representar a diversidade de usuários, acomodando percentis de 1 a 99% da população em termos de antropometria. Além disso, deve haver *feedback* visual relacionado à redução das emissões de carbono, variando de acordo com o uso de climatização limpa ou ar-condicionado. A representação do conforto térmico será feita por meio de uma escala de LED em tons de vermelho e azul, enquanto o sistema de energia renovável e autossuficiente será monitorado com ou sem sensores de *SMARTGRID*. O projeto também deve incluir um sistema de *district cooling*, com *feedback* sobre a captação de energia e a refrigeração do ambiente, visando garantir um espaço eficiente, sustentável e conectado às necessidades climáticas. Sendo que o brinquedo simula as funções de um produto real.

O painel conceitual apresentado explora os fungos como bio-inspiração projetual, no qual através do uso de design generativo suas formas, estruturas e processos serão mimetizadas. Os fungos, com sua complexidade estrutural e eficiência ecológica, oferecem uma rica fonte de inspiração para o design, devido à sua rede de micélios e capacidade de regeneração e crescimento em diferentes ambientes.

As imagens mostram diferentes aspectos dos fungos, desde a sua morfologia, até estruturas subterrâneas complexas como os micélios, que formam redes extensas e interconectadas, muito semelhantes a sistemas generativos. A bio-inspiração dos fungos pode ser aplicada em projetos de design generativo para criar estruturas eficientes e otimizadas.

Assim, os fungos representam um modelo inspirador de resiliência, economia de recursos e otimização de estruturas, valores que podem ser replicados através de algoritmos de design generativo, proporcionando soluções inovadoras tanto esteticamente quanto funcionalmente.



Figura 5 – Painel de expressão visual do produto e alternativas. Fonte: elaborado pelas autoras.

O painel serve como uma referência visual para orientar o desenvolvimento das alternativas, alinhando-o com conceitos estéticos e funcionais inspirados pelo ambiente natural. A Figura 6 mostra o refinamento da alternativa selecionada para ser desenvolvida.

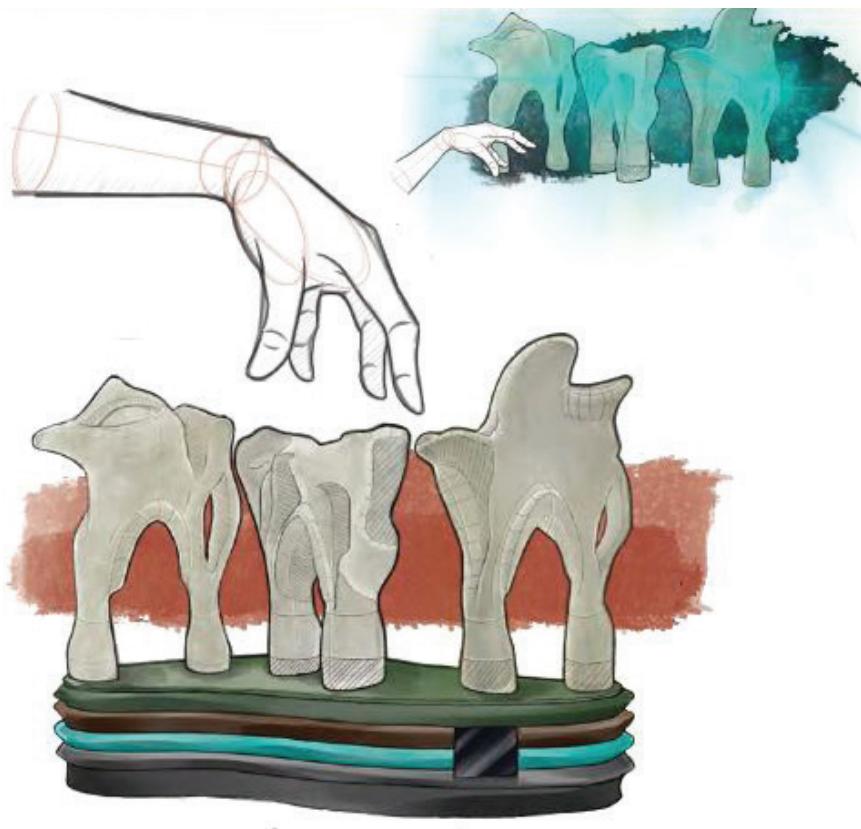


Figura 6 – Alternativa refinada. Fonte: elaborado pelas autoras.

Após a definição de funções foram decididos os componentes para que o modelo simule as funções de refrigeração e interação com o usuário. A Figura 7 mostra o esquema elétrico para que o produto simule o resfriamento.

SELEÇÃO DE COMPONENTES

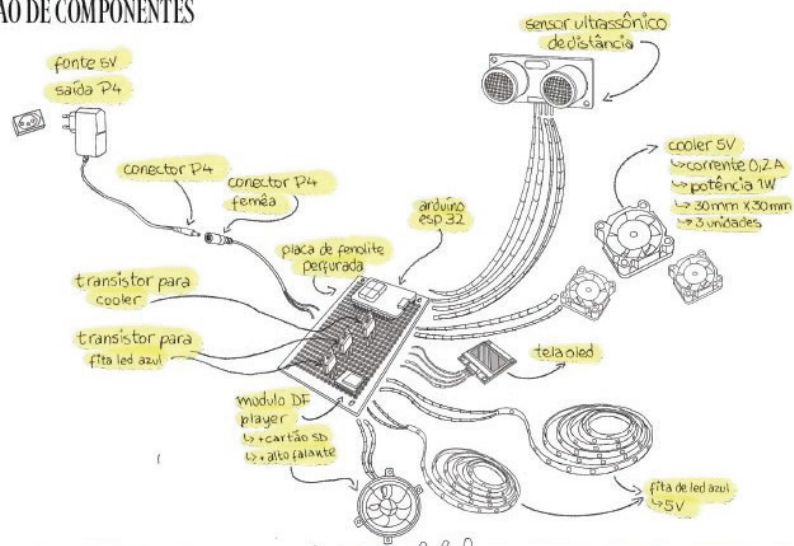


Figura 7 – Componentes para simular o funcionamento do sistema. Fonte: elaborado pelas autoras.

Alguns dos componentes da Figura 7: *Arduino Nano ESP32* que é uma placa de desenvolvimento compacta e adequada para prototipagens eletrônicas que necessitam de conectividade sem fio. *Cooler* é um dispositivo termoeletrônico que opera para aquecer e resfriar objetos em questão de minutos com uma alimentação elétrica simples através de seus terminais. Fita de led para mostrar visualmente a temperatura baixa do ambiente.

5. Resultados e discussões do produto

Nesta seção, são discutidos os principais resultados do projeto, destacando as implicações dos resultados no contexto teórico e prático, proporcionando uma reflexão crítica sobre o impacto da solução desenvolvida, suas limitações e possíveis melhorias.

5.1 Materialização

A etapa de materialização do projeto teve início com a definição de regras e parâmetros no *plugin Grasshopper*, dentro do software *Rhino*, permitindo a criação de um sistema generativo para explorar múltiplas alternativas para as peças do produto.

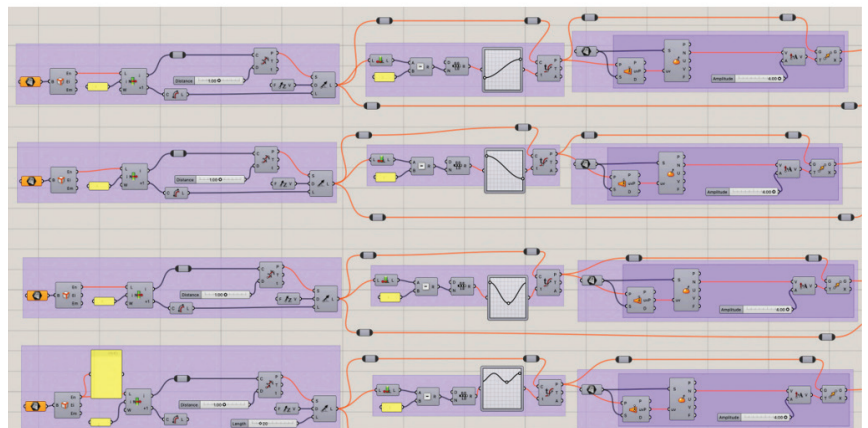


Figura 8 – Sistema generativo no *Grasshopper*. Fonte: elaborado pelas autoras.

Esse processo de design generativo possibilitou a criação de diversas iterações, baseadas em critérios predefinidos como forma, funcionalidade e otimização de material, maximizando a eficiência do projeto tanto em termos estéticos quanto estruturais.



Figura 9 – Modelagem 3D. Fonte: elaborado pelas autoras.

Após a definição da iteração final gerada pelo sistema, ajustes finos foram realizados na modelagem no *Rhino* para garantir a viabilidade da manufatura aditiva. Essas otimizações focaram em aprimorar aspectos como a espessura das peças, o encaixe entre os componentes e a economia de material, assegurando que o processo de impressão 3D pudesse ser executado com precisão e eficiência.

5.2 Prototipagem

A etapa de prototipagem do projeto foi realizada utilizando manufatura aditiva, uma tecnologia que possibilita a criação rápida de formas complexas a partir de um modelo digital. O uso de impressoras do FabLab Pronto 3D, Laboratório de Prototipagem Rápida da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), permitiu a materialização das formas orgânicas inspiradas pela biomimética, com alta precisão e controle sobre as geometrias desejadas.



Figura 10 – Modelo. Fonte: elaborado pelas autoras.

Após a impressão das peças, foi realizado um cuidadoso processo de acabamento para assegurar a qualidade visual e funcional dos protótipos. Esse processo incluiu o lixamento e polimento das superfícies, eliminando imperfeições resultantes da impressão e proporcionando uma textura mais suave. Adicionalmente, camadas de tinta e verniz foram aplicadas para aprimorar a durabilidade e a estética das peças. Posteriormente foram realizadas algumas alterações para colocar os componentes internos para simular o funcionamento de resfriamento.

6. Considerações finais

Este relato de projeto contribui com um campo de pesquisa inovador e de relevância do design generativo aplicado ao desenvolvimento de produtos. Neste artigo foi apresentado um produto aplicando essa tecnologia inspirado na biomimética, como uma abordagem inovadora para conciliar funcionalidade, estética e sustentabilidade. Ao longo do estudo, foi possível aplicar a forma e funcionamento dos cogumelos seguindo os princípios biomiméticos ao processo criativo de forma eficaz, o que resultou em uma solução projetual com formato natural de cogumelos e que pode possibilitar a conscientização ambiental na problemática de ambientes de calor e possíveis soluções para amenizar por meio de produtos de refrigeração urbanas necessários devido às mudanças climáticas e ao aquecimento em diversas cidades e os problemas de saúde na população global.

Este produto pode mostrar às crianças como um sistema disposto na cidade poderia amenizar o calor durante épocas de extremo calor. O modelo faz parte de um conjunto de objetos da cidade inteligente voltada ao ensino de robótica.

Referências

- AGKATHIDIS, A. **Generative Design**. 1 ed. London: Laurence King Publishing, 2016.
- ALMEIDA, M. D.; MARANHÃO, A. C. Design Generativo e Design da Informação: uma aproximação necessária. *In: Congresso Internacional de Design da Informação*, 10., Curitiba, 2021. **Anais [...]**. Curitiba, 2021.
- BARBIERI, L.; MUZZUPAPPA, M. Form innovation: investigating the use of generative design tools to encourage creativity in product design. **International Journal of Design Creativity and Innovation**, v. 12, p. 1-20, 2024.
- BENYUS, J. M. **Biomimicry: innovation inspired by nature**. New York: Harper Perennial, 2002.
- DATA-DRIVEN midsoles with new balance. **Nervous System**, 2015. Disponível em: <https://n-e-r-v-o-u-s.com/projects/tags/client/albums/new-balance-midsoles/>.
- GIBSON, I.; ROSEN, D. W.; STUCKER, B. **Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing**. New York: Springer, 2010.
- GUATTARI, Félix. **As três ecologias**. Campinas: Papirus, 1990.
- JAWAID, M.; KHALIL, A. Cellulosic/synthetic fibre reinforced polymer hybrid composites: a review. **Carbohydrate Polymers**, v. 86, n. 1, p. 1-18, 2011.
- KEITSCH, Martina; VOLSTAD, Nina Louise; BOKS, Casper. On the use of Biomimicry as a Useful Tool for the Industrial Designer. **Sustainable Development**, [s. l.], v. 20, n. 3, p. 189-199, 2012. Disponível em: <https://ideas.repec.org/a/wly/sustdv/v20y2012i3p189-199.html>. Acesso em: 10 abr. 2024.
- KENNEDY, S. Biomimicry/biomimetics: general principles and practical examples. **SCQ – Science Creative Quarterly**, 2004. Disponível em: <https://www.scq.ubc.ca/biomimicrybimimetics-general-principles-and-practical-examples/>. Acesso em: 21 out. 2025.
- LURIE-Luke, E. Product and technology innovation: What can biomimicry inspire? **Biotechnology Advances**, v. 32, n. 8, p. 1494-1505, 2014.
- MANZINI, E. **Design para a inovação social e sustentabilidade: comunidades criativas, organizações colaborativas e novas redes projetuais**. 1 ed. Rio de Janeiro: E-papers. 2008.
- MANZINI, E.; Carlo VEZZOLI. **O Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis: os requisitos ambientais dos produtos industriais**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2016.
- MORTENSON, M. E. **Geometric modeling**. New York: Wiley Computer Publishing, 1985.
- NOVAS diretrizes da OMS sobre qualidade do ar reduzem valores seguros para poluição. **Nações Unidas Brasil**, 2021. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/145721-novas-diretrizes-da-oms-sobre-qualidade-do-ar-reduzem-valores-seguros-para-polui%C3%A7%C3%A3o>.

ONU-HABITAT: população mundial será 68% urbana até 2050. **Nações Unidas Brasil**, 2022. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/188520-onu-habitat-popula%C3%A7%C3%A3o-mundial-ser%C3%A1-68-urbana-at%C3%A9-2050#:~:text=Relat%C3%B3rio%20Mundial%20das%20Cidades%202022,de%20pessoas%20anualmente%20at%C3%A9%202050>.

ONU lança guia que ensina como “refrescar” as cidades. **ArchDaily**, 2022. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/977314/onu-lanca-guia-que-ensina-como-refrescar-as-cidades>.

PIMENTA, S.; PINHO, S. T. Recycling carbon fibre reinforced polymers for structural applications: Technology review and market outlook. **Waste Management**, v. 31, n. 2, p. 378-392, 2011.

REIS, D. **Product Design In The Sustainable Era**. New York: Taschen America Llc. 2010.

SOBRE o nosso trabalho para alcançar os objetivos de desenvolvimento sustentável no Brasil. **Nações Unidas Brasil**, 2024. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 15 abr. 2024.

SINGH, V.; GU, N. Towards an integrated generative design framework. **Design Studies**, v. 33, n. 2, p. 185-207, 2012.

TOYOTA Uses AI and Generative Design in Fusion 360 for New Seat Frame. **Autodesk**, 2023. Disponível em: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog/toyota-ai-generative-design-fusion-360/>.

TSAI, D. *et al.* **Análise das Emissões dos Gases do Efeito Estufa e suas Implicações para as Metas Climáticas do Brasil**. SEEG, 2023. Disponível em: <https://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2024/11/SEEG-RELATORIO-ANALITICO-12.pdf>. Acesso em: 21 out. 2025.

URQUHART, L.; WODEHOUSE, A.; LOUDON, B.; FINGLAND, C. The Application of Generative Algorithms in Human-Centered Product Development. **Applied Sciences**, v. 12, n. 7, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/7/3682>.

VETTORETTI, A. C. **Bancos para ler e conversar**: parâmetros de projeto para sistema de design generativo. Orientador: Benamy Turkienicz. 2010. 226 p. Dissertação (Mestrado em Design) – Programa de Pós-Graduação em Design, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.