BIOMIMÉTICA E SUSTENTABILIDADE: INOVAÇÕES NO DESIGN DE SUPERFÍCIE

Hisa Barbour Sano Litvay (IC) e Nara Silvia Marcondes Martins (Orientadora)
Apoio: PIVIC Mackenzie

RESUMO

Este estudo analisa a aplicação da biomimética no design de superfície, investigando a distinção entre a abordagem performática, de caráter comercial, e a abordagem orientada ao design sustentável. A pesquisa problematiza como a emulação da natureza frequentemente se limita ao apelo mercadológico e à eficiência pontual de uso, mantendo polímeros sintéticos e processos poluentes, em contraste com projetos que promovem impacto socioambiental efetivo, alinhados à economia circular e aos princípios Cradle to Cradle. Metodologicamente, adotou-se uma abordagem qualitativa, exploratória e descritiva, que combina revisão bibliográfica, amostragem documental na plataforma AskNature e coleta de dados primários por meio de entrevistas semiestruturadas com dois especialistas em design. A fundamentação teórica ancora-se em autores como Benyus (1997), Papanek (1971), Cardoso (2012), McDonough e Braungart (2002) e Fletcher (2015), e a análise documental abrange seis casos biomiméticos consolidados no mercado, associados a mecanismos biológicos como dentículos dérmicos, escamas fotônicas, epiderme hidrofóbica, nanopilares bactericidas, microestruturas adesivas e filamentos dispersores de luz. Os resultados evidenciam que a sustentabilidade biomimética não reside no material em si, mas no propósito projetual: a inovação recai sobretudo sobre a arquitetura funcional e geométrica da superfície, e não sobre a criação de novas matrizes materiais. A pesquisa demonstra ainda que essa distinção depende mais da finalidade projetual do designer do que da fonte biológica escolhida como inspiração. Conclui-se que o design de superfície biomimético deve evoluir do mero ganho utilitário para a responsabilidade socioambiental integrada.

Palavras-chave: Design de superfície. Biomimética. Sustentabilidade.

ABSTRACT

This study analyzes the application of biomimicry in surface design, investigating the distinction between a performance-driven, commercial approach and an approach oriented toward sustainable design. The research examines how the emulation of nature is often restricted to marketing appeal and point-of-use efficiency while maintaining synthetic polymers and polluting processes, in contrast with projects that generate effective socio-environmental impact, aligned with the circular economy and Cradle to Cradle principles. Methodologically, a qualitative, exploratory and descriptive approach was adopted, combining a literature review, documentary sampling on the

AskNature platform and primary data collection through semi-structured interviews with two design experts. The theoretical framework draws on authors such as Benyus (1997), Papanek (1971), Cardoso (2012), McDonough and Braungart (2002) and Fletcher (2015), and the documentary analysis covers six market-consolidated biomimetic cases associated with biological mechanisms such as dermal denticles, photonic scales, hydrophobic epidermis, bactericidal nanopillars, adhesive microstructures and light-scattering filaments. The results show that biomimetic sustainability lies not in the material itself but in the design purpose: innovation falls mainly on the functional and geometric architecture of the surface rather than on the creation of new material matrices. The research further shows that this distinction depends more on the designer's purpose than on the biological source chosen as inspiration. It concludes that biomimetic surface design must evolve from mere utilitarian gain toward integrated socio-environmental responsibility.

Keywords: Surface design. Biomimicry. Sustainability.

1 INTRODUÇÃO

A crise socioambiental contemporânea impõe a reconfiguração urgente dos processos produtivos da indústria global. No âmbito do design de superfície e das cadeias têxtil e de revestimentos, o modelo produtivo vigente gera impactos ecológicos expressivos, como a emissão de Compostos Orgânicos Voláteis (COVs), o consumo intensivo de água e a geração de resíduos químicos tóxicos oriundos do beneficiamento superficial sintético (EPA, 2025; UNEP, 2020). Essa dinâmica tem raízes na própria Revolução Industrial, que separou o ato de projetar da responsabilidade ecológica e reduziu as superfícies, muitas vezes, a simples suportes de ornamentação mercadológica ou de obsolescência programada (Cardoso, 2012).

Diante desse cenário, o design não pode se limitar à remediação estética dos danos causados; como já apontavam Papanek (1971) e o First Things First Manifesto (2000), espera-se do designer uma postura ética, orientada pela sustentabilidade crítica. É nesse contexto que a biomimética ganha força como metodologia de inovação ancorada na observação da natureza (Benyus, 1997; Munari, 1968, 2024).

Entretanto, é preciso destacar que a biomimética aplicada ao design de superfície não é, por definição, ecológica. Há uma distinção nítida entre o desenvolvimento de superfícies estritamente performáticas ou comerciais, voltadas à otimização isolada de propriedades operacionais sem qualquer mudança na matriz de insumos sintéticos poluentes, e o design de superfície sustentável, que integra a transposição funcional aos preceitos da economia circular e do ciclo fechado de materiais (Cradle to Cradle) (McDonough; Braungart, 2002; Fletcher, 2015). Ressalte-

se que este trabalho se situa no campo do design sustentável, e não no do design sistêmico, que constitui uma abordagem distinta e de outro nível de intervenção, como se discute na seção 2.3.

Com base nesse problema, esta pesquisa tem como objetivo investigar de que maneira a transposição funcional biomimética se manifesta no design de superfície, analisando a tensão entre eficiência mercadológica e sustentabilidade efetiva. Para isso, a investigação parte do mapeamento de mecanismos biológicos extraídos da base de dados AskNature (Biomimicry Institute, 2026b), interpretados à luz das metodologias de transposição biônica propostas por Versos (2010), Arruda e Versos (2018) e Gamarano, Dias e Ricaldoni (2018).

Essa base é complementada por estudos sobre a aplicação da biomimética ao design de superfícies têxteis (Lacerda; Soranso; Fangueiro, 2021), pelo debate acadêmico sobre adaptabilidade biomimética no Brasil (Henriques, 2022) e pela revisão de Santos, C. (2010) sobre biomimética na arquitetura e no design. Esses referenciais são articulados a dados empíricos obtidos em entrevistas semiestruturadas com os especialistas em design Édney Eboli dos Santos (2026) e Juliana Bertolini (2026), buscando compreender os limites e as potencialidades da biomimética no contexto do Consumo e Produção Responsáveis, tema do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 12 da Organização das Nações Unidas (ONU).

O recorte temporal da pesquisa corresponde ao período de amostragem documental na plataforma AskNature, realizada entre junho e agosto de 2026, intervalo em que também foram conduzidas as entrevistas semiestruturadas, o que garante coerência temporal entre os dados documentais e os empíricos. Os termos técnicos empregados ao longo do artigo estão definidos no Glossário, ao final do texto.

2 DESENVOLVIMENTO DO ARGUMENTO

2.1 Sustentabilidade crítica e a complexidade do design de superfície

A evolução do design industrial, impulsionada pelos modos de produção em massa, promoveu historicamente a fragmentação dos objetos e o distanciamento da responsabilidade socioambiental (Cardoso, 2012). Especificamente no design de superfície, as decisões projetuais foram, com frequência, reduzidas à estética ornamental ou ao apelo puramente mercadológico, perpetuando ciclos de obsolescência programada e gerando impactos ambientais severos, como a emissão de COVs e a contaminação hídrica (EPA, 2025; UNEP, 2020).

A exigência ética apontada por Papanek (1971) e pelo First Things First Manifesto (2000) reposiciona a superfície, que deixa de ser um elemento isolado e

passa a integrar um sistema complexo. Como define Santos (2026), o design de superfície abrange a definição de materiais, processos e acabamentos, considerando dimensões tangíveis (materiais e sensoriais) e intangíveis (simbólicas). Por isso, a superfície é indissociável da totalidade do produto e das demais áreas do design.

Nessa perspectiva, as dimensões estética e funcional revelam-se inseparáveis no design de superfície. Aspectos sensoriais e táteis, como ergonomia, empunhadura (*grip*) e aderência, atuam diretamente no uso seguro e na eficiência de ferramentas, volantes e manípulos, ao mesmo tempo em que a sintaxe visual e o contraste tipográfico garantem a funcionalidade da comunicação e a segurança de uso.

2.2 Biomimética e transposição biônica

A biomimética consolida-se como um método de inovação que toma a natureza não como simples repositório formal (o chamado biomorfismo), mas como parâmetro técnico e medida ética de eficiência (Benyus, 1997; Munari, 1968, 2024). Por meio das metodologias de transposição biônica propostas por Versos (2010) e por Arruda e Versos (2018), o designer investiga princípios operacionais da fauna e da flora e os traduz em soluções de engenharia para superfícies, tecidos e revestimentos.

Essa analogia biológica, porém, só resolve problemas reais de forma objetiva (Munari, 1968) quando articulada como ferramenta integrada a um ecossistema metodológico mais amplo. Conforme pontua Santos (2026), a biomimética é extremamente eficaz na solução de problemas, mas precisa atuar em conjunto com a análise contextual, a leitura de novos comportamentos e as necessidades de ambientes complexos.

Essa perspectiva metodológica dialoga com a proposta de Arruda e Versos (2018), para quem a transposição biônica não deve se limitar à cópia formal de estruturas naturais, mas buscar a compreensão dos princípios funcionais subjacentes a cada mecanismo biológico. É essa ênfase no princípio funcional, e não na forma visível, que distingue a biomimética rigorosa da simples citação estética da natureza no design de superfície.

2.3 A distinção conceitual: biomimética performática versus biomimética sustentável

A aplicação da biomimética no design de superfície não garante, por si só, sustentabilidade ecológica. Benyus (1997) já advertia que a natureza pode servir tanto de modelo isolado de eficiência quanto de parâmetro ético mais amplo. É justamente dessa ambivalência que nasce, no cenário industrial contemporâneo, a bifurcação entre a biomimética performática (ou comercial) e a biomimética sustentável.

Antes de prosseguir, é necessário distinguir design sustentável de design sistêmico, pois se trata de abordagens que atuam em níveis diferentes. O design sustentável, ou design para a sustentabilidade, concentra-se no produto, em seus materiais e processos, e busca reduzir os impactos ambientais ao longo do ciclo de vida, da extração de matérias-primas ao descarte; Manzini e Vezzoli (2002) descrevem essa atuação em diferentes níveis de interferência, do redesenho ambiental de produtos existentes à proposição de novos cenários de produção e consumo. O design sistêmico, proposto por Bistagnino (2009), desloca o foco do produto para o sistema produtivo e para o território: projetam-se as relações entre processos, de modo que os resíduos (*outputs*) de um processo se tornem recursos (*inputs*) para outro, em uma lógica análoga à dos ecossistemas naturais e envolvendo a rede de atores locais.

Os casos analisados nesta pesquisa referem-se a superfícies e produtos cuja função biomimética reduz ou elimina impactos ambientais específicos, como o uso de corantes, biocidas ou adesivos químicos, sem reconfigurar a rede de relações produtivas em que estão inseridos. Por esse motivo, o trabalho situa-se no campo do design sustentável, e a categoria analítica aqui adotada é denominada abordagem sustentável. O design sistêmico é mencionado apenas como horizonte de ampliação desta discussão.

Vale frisar que a distinção entre biomimética performática e sustentável não se reduz à matriz de materiais empregada no artefato; ela reside, sobretudo, na finalidade projetual e no papel desempenhado pela função biomimética. Na abordagem comercial, a natureza é operacionalizada como diferencial competitivo: a empresa se apropria do mecanismo biológico para otimizar a eficiência de uso, agregar valor percebido e alavancar retornos financeiros em um produto individual. Por isso, a matriz de materiais costuma permanecer ancorada em polímeros sintéticos derivados de petróleo e em processos fabris de alto impacto ambiental, o que caracteriza uma apropriação pontual da tecnologia natural, voltada sobretudo ao apelo mercadológico (Cardoso, 2012).

Já na abordagem sustentável, o objeto promove impacto socioambiental efetivo e mensurável, pois a sustentabilidade não está apenas na matéria-prima, mas na própria função que a superfície desempenha. Essa orientação alinha a transposição biônica aos preceitos da economia circular e do ciclo fechado de materiais (Cradle to Cradle) (McDonough; Braungart, 2002), de modo que a função biomimética passa a eliminar ativamente insumos químicos nocivos (corantes sintéticos, biocidas), a reduzir drasticamente o consumo de recursos durante a vida útil e a substituir processos poluentes (Papanek, 1971; Fletcher, 2015).

Essa lógica também se aproxima da proposta de Fletcher (2015) para o design de moda sustentável, que defende a substituição de processos lineares de extração e descarte por ciclos produtivos regenerativos. Transposta para o design de superfície, essa proposta indica que o passo seguinte à sustentabilidade do produto seria a reconfiguração do próprio sistema produtivo, horizonte que já se aproxima do design sistêmico (Bistagnino, 2009) e que ultrapassa o recorte desta pesquisa.

Enquanto a abordagem comercial tende a se concentrar no diferencial competitivo do mecanismo biológico, a abordagem sustentável volta-se à eliminação de insumos químicos nocivos ao longo da cadeia produtiva. É essa distinção que orienta a análise dos dados empíricos apresentada a seguir.

2.4 Procedimentos metodológicos

A presente pesquisa caracteriza-se por uma abordagem qualitativa, de caráter exploratório e descritivo (Gil, 2010), que envolve coleta de dados, análise e interpretação de fatos e fenômenos reais, e não apenas a revisão do que já foi publicado sobre o tema. O objetivo metodológico centra-se em mapear e analisar criticamente como os princípios biomiméticos aplicados ao design de superfície se distribuem entre a abordagem performática comercial e a abordagem sustentável.

Para atingir esse objetivo e responder ao problema de pesquisa, o procedimento metodológico foi estruturado em três etapas complementares: levantamento bibliográfico e documental; pesquisa amostral em banco de dados especializado (AskNature); e entrevistas semiestruturadas com especialistas da área, etapa que corresponde à coleta de dados primários do estudo.

A seleção dos especialistas entrevistados seguiu como critério a atuação profissional ou acadêmica comprovada nas áreas de design de superfície, biomimética ou sustentabilidade aplicada ao design, de modo a garantir que as percepções coletadas refletissem experiência real com os desafios discutidos na literatura, e não apenas conhecimento teórico do tema.

Esta investigação está vinculada ao grupo de pesquisa “Design, Teoria e Projeto”, certificado pelo CNPq, o que reforça seu compromisso com o rigor metodológico e com o diálogo entre produção teórica e aplicação prática no campo do design.

A validade dos resultados foi reforçada pela triangulação entre três fontes de dados de naturezas distintas: a literatura especializada, o repositório documental AskNature e as entrevistas semiestruturadas. Essa triangulação metodológica permite que eventuais vieses de uma única fonte, como a ênfase comercial de materiais de

divulgação de produtos, sejam contrabalançados pela leitura crítica da literatura acadêmica e pela experiência prática relatada pelos especialistas entrevistados.

2.5 Pesquisa bibliográfica e mapeamento no banco de dados AskNature

Inicialmente, realizou-se uma revisão integrativa da literatura sobre biomimética, design de superfície e sustentabilidade, ancorada em autores fundamentais como Benyus (1997), Papanek (1971), McDonough e Braungart (2002), Cardoso (2012) e Fletcher (2015).

Na sequência, efetuou-se uma amostragem documental na plataforma digital AskNature, mantida pelo Biomimicry Institute (2026b). A coleta de dados no repositório foi direcionada por descritores específicos voltados à engenharia e à morfologia de superfícies, tais como *surface*, *self-cleaning*, *structural color*, *antibacterial*, *adhesion* e *microstructures*.

A partir do acervo mapeado, selecionaram-se seis casos emblemáticos de organismos e mecanismos biológicos cujas transposições biônicas estivessem consolidadas em tecnologias e produtos existentes no mercado industrial mundial. A seleção obedeceu a três critérios cumulativos: (i) existência de aplicação comercial ou industrial documentada, e não apenas de protótipo experimental; (ii) disponibilidade de dados técnicos publicados sobre o mecanismo biológico correspondente; e (iii) possibilidade de classificar cada caso de forma inequívoca em pelo menos uma das categorias analíticas descritas na seção 2.7, evitando exemplos cuja abordagem predominante fosse ambígua a ponto de comprometer a comparação. Os casos selecionados foram:

a) pele de tubarão (*Galeocerdo cuvier*), representada pelas aplicações Speedo Fastskin e Sharklet;

b) borboleta Morpho (*Morpho peleides*), representada pela fibra têxtil Morphotex (Teijin);

c) folha de lótus (*Nelumbo nucifera*), representada pela tinta Lotusan (Sto) e por revestimentos autolimpantes;

d) asa de cigarra (*Psaltoda claripennis*), representada por películas e revestimentos nanotopográficos bactericidas;

e) pés da lagartixa (Gekkonidae), representados pelas tecnologias de adesão seca Geckskin e Setex;

f) besouro Cyphochilus (*Cyphochilus* sp.), representado pelo revestimento de nanofibrilas de celulose SilvaLuma/SilvaAlba (Seprify).

2.6 Coleta de dados empíricos: entrevistas semiestruturadas

Como etapa de triangulação dos dados teóricos e documentais, foram realizadas entrevistas semiestruturadas com dois especialistas e docentes da área: o Prof. Édney Eboli dos Santos (2026) e a pesquisadora Juliana Bertolini (2026). Conduzidas em ambiente virtual, as entrevistas seguiram um roteiro de perguntas abertas que buscou investigar a percepção docente e profissional acerca da distinção entre o apelo mercadológico e o impacto funcional efetivo no design de superfície biomimético.

Em conformidade com a Resolução nº 510/2016 do Conselho Nacional de Saúde, que disciplina a ética em pesquisas nas Ciências Humanas e Sociais envolvendo seres humanos, os dois entrevistados assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) antes da realização das entrevistas, autorizando formalmente sua participação voluntária e assegurando a condução ética de toda a coleta de dados.

O roteiro abordou quatro eixos temáticos principais: a percepção dos entrevistados sobre a diferença entre a biomimética aplicada como recurso estético e como estratégia de sustentabilidade; os principais obstáculos técnicos e mercadológicos à adoção de materiais e processos circulares na indústria; o papel do designer na mediação entre viabilidade comercial e responsabilidade socioambiental; e exemplos concretos, vivenciados profissionalmente, de projetos biomiméticos bem-sucedidos ou malsucedidos do ponto de vista da sustentabilidade.

As entrevistas revelaram elementos que aprofundam a análise documental. Sobre os critérios para avaliar a sustentabilidade de uma superfície biomimética, Santos (2026) destacou que essa avaliação não pode ser feita de forma isolada, devendo considerar o ciclo de vida completo do produto, da extração de matérias-primas ao descarte, o que reforça a recomendação desta pesquisa quanto à realização de Avaliações do Ciclo de Vida (ACV) quantitativas em estudos futuros. O especialista também apontou uma explicação econômica para a predominância da abordagem performática no mercado: o custo adicional de materiais e processos sustentáveis “deve ser menor do que o ganho gerado a médio e longo prazos”, de modo que governos, empresas e consumidores precisam dividir esse custo para viabilizar soluções mais sustentáveis. As contribuições dos dois entrevistados permitiram ainda aprofundar o debate sobre os desafios de implementação de processos circulares na indústria, bem como a distinção ética entre a apropriação comercial da forma e a aplicação sustentável da função biomimética. Os dados qualitativos obtidos nas duas entrevistas foram submetidos à análise de conteúdo

(Bardin, 2011), fornecendo subsídios empíricos para a discussão e a validação dos resultados do estudo.

2.7 Matriz analítica e categorização das abordagens

Para a análise comparativa dos dados extraídos do AskNature e da literatura de mercado, elaborou-se uma matriz analítica (Quadro 1) que confronta o mecanismo biológico, a tecnologia transposta e o tipo de abordagem projetual predominante. A classificação foi estruturada em duas categorias analíticas principais:

a) **Abordagem performática/comercial:** projetos em que a função biomimética é empregada precipuamente como diferencial competitivo de mercado, otimizando o desempenho funcional individual do produto sem alterar a matriz de materiais poluentes ou o ciclo de vida do artefato;

b) **Abordagem sustentável:** projetos em que a função geométrica, física ou microestrutural da superfície atua diretamente na redução ou na eliminação de insumos químicos nocivos (corantes, biocidas, solventes e adesivos), promovendo impacto socioambiental positivo na cadeia produtiva.

Quadro 1 – Comparação entre as abordagens biomiméticas performática/comercial e sustentável no design de superfície

Organismo / fonte biológica	Mecanismo biológico (AskNature)	Tecnologia / produto existente	Abordagem predominante	Análise crítica da aplicação real
Pele de tubarão (*Galeocerdo cuvier*)	Dentículos dérmicos que alteram a hidrodinâmica e impedem a fixação de microrganismos.	Trajes Speedo Fastskin; película Sharklet.	Ambas as abordagens (casos distintos).	*Performática/comercial:* o Fastskin (Speedo) otimiza o desempenho esportivo em tecidos sintéticos convencionais. *Sustentável:* a película Sharklet reduz em até 94% a fixação de bactérias por ação física, dispensando produtos químicos sanitizantes em superfícies hospitalares.
Borboleta Morpho (*Morpho peleides*)	Escamas das asas que difratam a luz e provocam interferência, gerando cor estrutural.	Fibra/tecido Morphotex (Teijin).	Exclusivamente sustentável.	O tecido Morphotex utiliza a estrutura das fibras para gerar cores brilhantes sem nenhum corante químico, eliminando o descarte de efluentes tóxicos e o consumo de água do tingimento têxtil.
Folha de lótus (*Nelumbo nucifera*)	Epiderme microestruturada com ceras hidrofóbicas que repelem água e sujeira.	Tinta Lotusan (Sto); revestimentos autolimpantes de mercado.	Predominantemente performática/ comercial.	As tintas e os tecidos autolimpantes de consumo em larga escala utilizam a hidrofobicidade como apelo de durabilidade, mas a maioria emprega aditivos fluorados sintéticos, gerando ganho de uso sem resolver o impacto da matriz química.

Organismo / fonte biológica	**Mecanismo biológico (AskNature)**	**Tecnologia / produto existente**	**Abordagem predominante**	**Análise crítica da aplicação real**
Asa de cigarra (*Psaltoda claripennis*)	Nanopilares na superfície que destroem bactérias por ação mecânica.	Revestimentos e filmes nanotopográficos bactericidas.	Exclusivamente sustentável.	A nanotexturização de superfícies rígidas e poliméricas rompe as membranas celulares das bactérias por pressão mecânica, substituindo biocidas químicos, compostos de prata e antibióticos em telas e superfícies de toque.
Pés da lagartixa (Gekkonidae)	Micro e nanoestruturas que promovem adesão física por forças de Van der Waals.	Fita/película Geckskin; Setex.	Ambas as abordagens (casos distintos).	*Performática/comercial:* o Setex aplica a microtextura em empunhaduras de óculos e manípulos, para usabilidade e aderência antiderrapante. *Sustentável:* o Geckskin permite fixar e soltar objetos pesados repetidamente, sem deixar resíduos de cola nem exigir fitas adesivas químicas não recicláveis.
Besouro Cyphochilus (*Cyphochilus* sp.)	Escamas com filamentos irregulares que dispersam todos os comprimentos de onda da luz, produzindo branco intenso sem pigmento.	Revestimentos de nanofibrilas de celulose SilvaLuma e SilvaAlba (Seprify).	Exclusivamente sustentável.	O revestimento à base de celulose reproduz a estrutura irregular das escamas do besouro para dispersar a luz com eficiência equivalente à do dióxido de titânio (TiO_2), substituindo um pigmento associado a risco toxicológico por um material biodegradável e atóxico, sem prejuízo da função de branqueamento.

Fonte: elaborado pela autora com base em Benyus (1997) e Biomimicry Institute (2026a, b, c, d, e, f, g).

Essa matriz não pretende classificar organismos ou tecnologias de forma definitiva, mas oferecer um instrumento analítico replicável para que outros pesquisadores e profissionais avaliem, caso a caso, se uma aplicação biomimética específica se aproxima mais da lógica performática ou da lógica sustentável, considerando tanto a matriz de materiais empregada quanto a função desempenhada pela superfície ao longo do ciclo de vida do produto.

O Quadro 1 deixa claro que a diferença entre as duas abordagens não está na escolha da fonte biológica, mas na finalidade projetual e na responsabilidade socioambiental do designer. Tecnologias como o Morphotex, os revestimentos baseados na asa de cigarra e o revestimento inspirado no besouro Cyphochilus reduzem o impacto ambiental ao eliminar insumos nocivos por meio da própria função geométrica da superfície; já produtos como as tintas autolimpantes convencionais tendem a cooptar o princípio natural apenas como diferencial de venda, mantendo

aditivos poluentes em sua composição. É essa distinção que orienta a discussão dos resultados apresentada a seguir.

2.8 Análise crítica dos casos

A leitura conjunta dos seis casos do Quadro 1 revela um padrão relevante. Os mecanismos biológicos cuja função está ligada à geometria ou à microestrutura da superfície, como os dentículos dérmicos do tubarão, os nanopilares da asa de cigarra, as escamas fotônicas da borboleta Morpho e os filamentos dispersores de luz do besouro Cyphochilus, tendem a viabilizar aplicações sustentáveis com maior facilidade do que mecanismos ligados a propriedades químicas de superfície, como a hidrofobicidade das ceras da folha de lótus. Isso sugere que a sustentabilidade biomimética não depende apenas da escolha da fonte biológica, mas também da natureza física do princípio observado: soluções geométricas dispensam aditivos químicos por definição, enquanto soluções baseadas em revestimento continuam vulneráveis à substituição por formulações sintéticas equivalentes.

Esse padrão dialoga diretamente com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, sobretudo o ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis), que preconiza a redução da geração de resíduos por meio de prevenção, redução, reciclagem e reuso. Os casos classificados como exclusivamente sustentáveis no Quadro 1 (o Morphotex, os revestimentos nanotopográficos inspirados na asa de cigarra e o revestimento de celulose inspirado no besouro Cyphochilus) aproximam-se desse objetivo ao eliminar etapas poluentes do processo produtivo, e não apenas ao compensá-las posteriormente. Já os casos predominantemente comerciais, como as tintas autolimpantes convencionais, evidenciam a distância que ainda separa parte do mercado das metas de produção responsável, ainda que utilizem o vocabulário da sustentabilidade em sua comunicação.

Essa distância entre discurso e prática ecoa a crítica de Cardoso (2012) à dissociação histórica entre o ato de projetar e a responsabilidade ecológica, e reforça o argumento de Papanek (1971) de que o design deve ser avaliado pela função que efetivamente cumpre, e não apenas pela linguagem formal que adota. Ambos os entrevistados apontaram que o principal obstáculo à adoção de processos circulares não é a disponibilidade tecnológica dos princípios biomiméticos, mas a decisão projetual de priorizar, ou não, a função sustentável sobre o apelo estético e comercial imediato.

Do ponto de vista prático, a constatação de que o obstáculo à adoção de processos circulares é projetual, e não tecnológico, desloca o centro da discussão sobre sustentabilidade biomimética. Em vez de perguntar apenas quais organismos

podem inspirar novas superfícies, torna-se necessário perguntar em que etapa do processo produtivo a função biomimética efetivamente atua. Quando essa função substitui insumos poluentes, como nos casos do Morphotex e dos revestimentos nanotopográficos, o ganho ambiental é estrutural. Quando ela apenas se soma a um processo já existente, como no caso das tintas autolimpantes convencionais, o ganho tende a ser marginal e reversível. Essa distinção fornece um critério prático que designers e empresas podem aplicar na avaliação de futuros projetos biomiméticos, para além da adesão retórica aos princípios da economia circular propostos por McDonough e Braungart (2002).

Vale destacar ainda a relação entre o Quadro 1 e o ODS 17 (Parcerias e Meios de Implementação), na medida em que nenhum dos casos sustentáveis analisados resultou de esforço isolado. O desenvolvimento do Morphotex, por exemplo, dependeu da colaboração entre pesquisa acadêmica, engenharia têxtil e indústria de fibras sintéticas. Esse padrão sugere que a transição da biomimética performática para a sustentável não depende apenas de decisões individuais de designers, mas de arranjos colaborativos entre ciência, design e indústria capazes de sustentar tecnologicamente soluções que ainda não são competitivas em escala de mercado.

2.9 Implicações para a prática projetual

Os resultados desta investigação sugerem implicações diretas para a prática projetual em design de superfície. Em primeiro lugar, a distinção entre abordagem performática e sustentável oferece um critério de avaliação que pode ser incorporado já na fase de *briefing* do projeto. Em vez de perguntar apenas se um mecanismo biológico é esteticamente inspirador, o designer pode perguntar se a função biomimética elimina, de fato, um insumo ou processo poluente da cadeia produtiva.

Em segundo lugar, o método projetual defendido por Munari (2024), fundamentado em observação, experimentação e prototipagem, mostra-se compatível com essa distinção. Um processo de projeto que trata a biomimética como hipótese a ser testada, e não como repertório estético a ser aplicado, tende naturalmente a privilegiar soluções sustentáveis, pois a validação experimental expõe rapidamente quando um princípio biológico foi simplificado a ponto de perder sua função ecológica original.

Por fim, os achados reforçam a necessidade de aproximar a formação em design, seja em cursos técnicos, seja em bacharelados, de conhecimentos de ciência dos materiais e de engenharia de superfícies, de modo que futuros profissionais consigam avaliar com autonomia técnica se uma solução biomimética proposta por

fornecedores ou fabricantes é, de fato, sustentável, ou se constitui apenas apropriação formal com fins mercadológicos.

Essa aproximação entre design e ciência dos materiais também tem implicações para o ensino de design de superfície. Cursos que restringem a discussão da biomimética a exercícios de biomorfismo, isto é, à reprodução de padrões visuais inspirados na natureza, correm o risco de formar profissionais capazes de citar a natureza esteticamente, mas incapazes de avaliar criticamente se uma solução biomimética de fato reduz o impacto ambiental de um produto. Incorporar à formação acadêmica a distinção entre abordagem performática e sustentável, discutida neste artigo, pode contribuir para preparar designers mais aptos a atuar na interface entre inovação técnica e responsabilidade ecológica, tal como preconizado por Cardoso (2012) e Papanek (1971).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo cumpriu seu objetivo ao mapear e discutir criticamente a aplicação da biomimética no design de superfície, evidenciando que transpor mecanismos biológicos para o ambiente construído não garante, por si só, a sustentabilidade de um artefato. A investigação confirmou que a distinção entre a abordagem performática comercial e a sustentável não se limita à substituição da matriz de materiais, mas reside, fundamentalmente, no propósito projetual e na função que a superfície desempenha.

A análise documental embasada no repositório AskNature e consolidada no Quadro 1 revelou que, na abordagem comercial, o princípio natural é frequentemente capturado para gerar diferenciais competitivos de mercado, otimizar o desempenho pontual de uso e agregar valor percebido ao produto, mantendo intacta a dependência de polímeros sintéticos e insumos poluentes. Por outro lado, na abordagem sustentável, a microestrutura ou a geometria da superfície assume o papel principal de solução ecológica, pois a própria física da superfície passa a eliminar o uso de corantes químicos nocivos, biocidas tóxicos, solventes e aditivos poluentes durante todo o ciclo de vida do objeto.

Retomando a pergunta que orientou esta investigação, os resultados permitem uma resposta qualificada, dividida em duas partes. Quanto à sustentabilidade do projeto, a biomimética contribui de forma efetiva, mas condicionada ao propósito projetual, como discutido na análise crítica dos casos. Já quanto ao desenvolvimento de materiais inovadores, a contribuição é mais matizada. No recorte estudado, a inovação recai sobretudo sobre a arquitetura funcional e geométrica da superfície, e não sobre a criação de novas matrizes materiais, que na abordagem comercial

seguem ancoradas em polímeros sintéticos convencionais (Cardoso, 2012). A biomimética revela-se, assim, mais eficaz como estratégia de inovação funcional do que como fonte direta de novos materiais.

Do ponto de vista teórico, esta pesquisa contribui para consolidar um critério analítico replicável, capaz de orientar tanto revisões acadêmicas futuras quanto decisões projetuais no mercado, evitando que o termo “biomimética” seja empregado de forma indiscriminada para descrever qualquer produto vagamente inspirado em formas da natureza. Do ponto de vista prático, o estudo oferece a profissionais e empresas um vocabulário mais preciso para diferenciar iniciativas de sustentabilidade efetiva de estratégias de marketing ambiental, contribuição especialmente relevante em um mercado no qual o apelo à sustentabilidade se tornou, também, um ativo comercial.

Em um momento em que a indústria global de superfícies e revestimentos enfrenta pressão crescente por alternativas menos poluentes, compreender a distinção entre biomimética performática e sustentável não é um exercício apenas acadêmico. Trata-se de uma ferramenta crítica para que consumidores, designers e formuladores de políticas públicas consigam distinguir inovação ambiental genuína de estratégias de comunicação que apenas emprestam da natureza sua legitimidade simbólica.

A triangulação dos dados bibliográficos com os aportes empíricos obtidos nas entrevistas semiestruturadas com os especialistas Prof. Édney Eboli dos Santos (2026) e Juliana Bertolini (2026) reforçou a importância do papel ético do designer de superfície. Dimensão estética e segurança funcional caminham juntas, e cabe ao profissional direcionar o conhecimento biônico não apenas como apelo estético ou mercadológico passageiro, mas como ferramenta concreta de transformação rumo à economia circular e ao design sustentável.

Como limitação do estudo, aponta-se o recorte centrado em seis casos de tecnologias biomiméticas já consolidadas no mercado internacional. Recomenda-se, para pesquisas futuras, a expansão da amostragem para novas patentes em fase de desenvolvimento, bem como a realização de Avaliações do Ciclo de Vida (ACV) quantitativas que mensurem com precisão a redução da pegada de carbono e da poluição hídrica obtida com a substituição da química convencional pela engenharia física de superfícies biomiméticas. Outra limitação decorre do número reduzido de especialistas entrevistados, o que não permite generalizações estatísticas sobre a percepção do setor como um todo, ainda que ofereça indícios qualitativos consistentes com a literatura revisada. Estudos futuros poderiam ampliar essa base empírica por meio de levantamentos com múltiplos profissionais de diferentes segmentos da cadeia

produtiva, comparando percepções entre designers, engenheiros de materiais e gestores industriais. Outro desdobramento possível é investigar como as soluções aqui classificadas como sustentáveis poderiam ser articuladas em uma abordagem de design sistêmico (Bistagnino, 2009), considerando as relações entre processos produtivos, territórios e atores envolvidos.

4 REFERÊNCIAS

ARRUDA, Amilton; VERSOS, Carlos. **Metodologia de transposição biônica no design**. Recife: Ed. UFPE, 2018.

BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011.

BENYUS, Janine M. **Biomimicry**: innovation inspired by nature. New York: Morrow, 1997.

BERTOLINI, Juliana. **Biomimética e sustentabilidade no design de superfície**. Entrevista semiestruturada concedida à pesquisadora em ambiente virtual. São Paulo, 2026.

BIOMIMICRY INSTITUTE. Antibacterial film inspired by sharks. **AskNature**, 2026a. Disponível em: https://asknature.org/innovation/antibacterial-film-inspired-by-sharks/. Acesso em: 20 ago. 2026.

BIOMIMICRY INSTITUTE. **AskNature**: innovations inspired by nature. Missoula: Biomimicry Institute, 2026b. Disponível em: https://asknature.org. Acesso em: 10 jun. 2026.

BIOMIMICRY INSTITUTE. Cicada wings repel water, dirt, bacteria, and light. **AskNature**, 2026c. Disponível em: https://asknature.org/strategy/cicada-wings-repel-water-dirt-bacteria-and-light/. Acesso em: 20 ago. 2026.

BIOMIMICRY INSTITUTE. Residue-free adhesion technology inspired by geckos. **AskNature**, 2026d. Disponível em: https://asknature.org/innovation/residue-free-adhesion-technology-inspired-by-geckos/. Acesso em: 20 ago. 2026.

BIOMIMICRY INSTITUTE. Surface allows self-cleaning. **AskNature**, 2026e. Disponível em: https://asknature.org/strategy/surface-allows-self-cleaning/. Acesso em: 20 ago. 2026.

BIOMIMICRY INSTITUTE. Super-white material inspired by the Cyphochilus beetle. **AskNature**, 2026f. Disponível em: https://asknature.org/innovation/super-white-material-inspired-by-the-cyphochilus-beetle/. Acesso em: 28 ago. 2026.

BIOMIMICRY INSTITUTE. Wing scales cause light to diffract and interfere. **AskNature**, 2026g. Disponível em: https://asknature.org/strategy/wing-scales-cause-light-to-diffract-and-interfere/. Acesso em: 20 ago. 2026.

BISTAGNINO, Luigi. **Design sistemico**: progettare la sostenibilità produttiva e ambientale. Bra: Slow Food Editore, 2009.

CARDOSO, Rafael. **Design e modernidade**. São Paulo: Companhia das Letras, 2012.

EPA (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY). **Volatile Organic Compounds' impact on indoor air quality**. Washington, D.C.: EPA, 2025. Disponível em: https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/volatile-organic-compounds-impact-indoor-air-quality. Acesso em: 22 abr. 2025.

FIRST THINGS FIRST MANIFESTO 2000. **AIGA Journal**, New York, v. 17, n. 2, 2000. Disponível em: https://designmanifestos.org/first-things-first-2000-a-design-manifesto/. Acesso em: 22 ago. 2026.

FLETCHER, Kate. **Moda e sustentabilidade**: design para mudança. São Paulo: Senac, 2015.

GAMARANO, Daniel de Souza; DIAS, Victória Carolina Pinheiro Lopes; RICALDONI, Thaís Falabella. Biomimética e design: um estudo sobre a potencialização da criatividade para métodos de desenvolvimento de produtos inspirados na natureza. *In*: COLÓQUIO INTERNACIONAL DE DESIGN, 2017, Minas Gerais. **Blucher Design Proceedings**. São Paulo: Blucher, 2018. v. 4, n. 3, p. 145-154. Disponível em: https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/biomimtica-e-design-um-estudo-sobre-a-potencializao-da-criatividade-para-mtodos-de-desenvolvimento-de-produtos-inspirados-na-natureza-28123. Acesso em: 25 ago. 2026.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

HENRIQUES, José Evandro de Moura Rosa. **O design para adaptabilidade no Brasil**: um debate entre a biomimética e a produção acadêmica atual. 2022. Dissertação (Mestrado em Design) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022.

LACERDA, Clécio de; SORANSO, Pricila; FANGUEIRO, Raul. O contexto biomimético aplicado ao design de superfícies têxteis. **Revista de Design, Tecnologia e Sociedade**, v. 8, n. 1, 2021.

MANZINI, Ezio; VEZZOLI, Carlo. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis**: os requisitos ambientais dos produtos industriais. São Paulo: Edusp, 2002.

McDONOUGH, William; BRAUNGART, Michael. **Cradle to Cradle**: remaking the way we make things. New York: North Point Press, 2002.

MUNARI, Bruno. **Design e comunicação visual**. São Paulo: Martins Fontes, 1968.

MUNARI, Bruno. **Design como arte**. São Paulo: Cobogó, 2024.

PAPANEK, Victor. **Design for the real world**: human ecology and social change. New York: Pantheon Books, 1971.

SANTOS, C. O desenho como processo de aplicação da biomimética na arquitetura e no design. **Revista TÓPOS**, Presidente Prudente, v. 4, n. 2, p. 144-192, 2010.

SANTOS, Édney Eboli dos. **Biomimética e sustentabilidade no design de superfície**. Entrevista semiestruturada concedida à pesquisadora em ambiente virtual. São Paulo, 2026.

UNEP (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME). **Sustainability and circularity in the textile value chain**. Nairobi: UNEP, 2020.

VERSOS, Carlos. **A biônica aplicada ao projeto de design**. Lisboa: Edições Técnicas, 2010.

GLOSSÁRIO

Abordagem performática/comercial: categoria analítica desta pesquisa que reúne aplicações em que o princípio biológico é usado como diferencial competitivo, otimizando o desempenho do produto sem alterar seus materiais nem seu ciclo de vida.

Abordagem sustentável: categoria analítica desta pesquisa que reúne aplicações em que a própria função da superfície reduz ou elimina insumos químicos nocivos e impactos ambientais ao longo do ciclo de vida do produto.

Avaliação do Ciclo de Vida (ACV): método que quantifica os impactos ambientais de um produto em todas as etapas de sua existência, da extração das matérias-primas ao descarte.

Biocida: substância química usada para eliminar ou inibir o crescimento de microrganismos, como bactérias e fungos.

Biomimética: abordagem de inovação que observa organismos e ecossistemas para emular seus princípios funcionais na solução de problemas humanos (Benyus, 1997).

Biomorfismo: uso de formas e padrões visuais da natureza com finalidade predominantemente estética, sem transposição de princípios funcionais.

Compostos Orgânicos Voláteis (COVs): substâncias químicas que evaporam à temperatura ambiente, presentes em tintas, solventes e adesivos, e que comprometem a qualidade do ar.

Cor estrutural (cor física): cor produzida pela interação da luz com microestruturas da superfície, por difração, interferência ou dispersão, e não por pigmentos ou corantes.

Cradle to Cradle (C2C): “do berço ao berço”; modelo proposto por McDonough e Braungart (2002) em que os materiais circulam continuamente em ciclos biológicos ou técnicos, sem se tornarem resíduos.

Dentículos dérmicos: pequenas escamas rígidas e sulcadas que recobrem a pele dos tubarões.

Design de superfície: campo do design que define materiais, processos e acabamentos das superfícies dos produtos, considerando suas dimensões tangíveis e intangíveis (Santos, 2026).

Design sistêmico: abordagem que projeta as relações entre processos produtivos de um território, de modo que os resíduos de um processo se tornem recursos para outro (Bistagnino, 2009).

Design sustentável: abordagem que busca reduzir os impactos ambientais e sociais de produtos, materiais e processos ao longo de seu ciclo de vida (Manzini; Vezzoli, 2002).

Economia circular: modelo econômico que mantém produtos e materiais em uso pelo maior tempo possível, por meio de reúso, reparo e reciclagem, em oposição ao modelo linear de extrair, produzir e descartar.

Forças de Van der Waals: forças de atração fracas entre moléculas muito próximas, responsáveis pela adesão seca dos pés da lagartixa.

Hidrofobicidade: propriedade de uma superfície de repelir a água.

Nanopilares / nanotopografia: estruturas em escala nanométrica (bilionésimos de metro) que formam o relevo de uma superfície.

Transposição biônica: processo metodológico de tradução de um princípio biológico em solução técnica ou projetual (Arruda; Versos, 2018).

Contatos: hisabarbour@gmail.com e narasilvia.martins@mackenzie.br