

MÉTODO DAMC BIOMIMÉTICO: categorização e estudo de caso

BIOMIMETIC DAMC METHOD: categorization and case study

ABREU, Sophia Moreira; Graduanda em Design; UFMG

sophiamoreiraa21@gmail.com

OLIVEIRA, Caio Henrique; Graduando em Design; UFMG

caiohsoliveira2016@gmail.com

SILVA, Fernando José; Dr.; UFMG

fernandojsilva@ufmg.br

Resumo

O desenvolvimento de produtos sempre foi trilhado por questões sócio ambientais, econômicas e éticas, onde a inovação se faz pertinente quando inspiradas pela natureza através da Biomimética na busca por soluções adequadas aos modelos industriais. Assim, designers e projetistas utilizam métodos normalmente tradicionais e necessitam de ferramentas para aguçar a criatividade com diferentes fontes de inspiração. Este trabalho propõe um método derivado da taxonomia biomimética para auxiliar designers no desenvolvimento de alternativas projetuais. Pesquisou-se 69 exemplos naturais organizados em quatro categorias, na formulação de etapas com uso de *cards* digitais e alternativos para elaborar análises e propostas biomiméticas, além de recursos de checklist. O método proposto e validado em projeto apresentou-se capaz de gerar alternativas condizentes com as necessidades do usuário e variadas soluções, no uso das formas e sistemas provenientes da natureza. Exemplifica-se, portanto, um método capaz de auxiliar projetos utilizando premissas bioinspiradas.

Palavras Chave: taxonomia; biomimética; ferramenta projetual; processo metodológico;

Abstract

Product development has always been guided by socio-environmental, economic and ethical issues, where innovation is relevant when inspired by nature through Biomimetics in the search for solutions suitable for industrial models. Therefore, designers typically use traditional methods and need tools to sharpen their creativity with different sources of inspiration. This work proposes a method derived from biomimetic taxonomy to assist designers in developing design alternatives. 69 natural examples organized into four categories were researched, in the formulation of steps using digital and alternative cards to develop biomimetic analyzes and proposals, in addition to checklist resources. The method proposed and validated in the project was capable of generating alternatives consistent with the user's needs and varied solutions, using forms and systems originating from nature. Therefore, a method capable of assisting projects using bioinspired premises is exemplified.

Keywords: taxonomy; biomimetic; design tool; methodological process.

1 Introdução

A biomimética emerge em diversos cenários envolvendo pesquisadores, economistas, projetistas, industriais, e outros profissionais, como uma abordagem revolucionária ao integrar princípios evolutivos e adaptativos da natureza com desafios contemporâneos da sociedade humana. Fundamentada na ideia de que a natureza, ao longo de bilhões de anos, desenvolveu soluções eficientes e elegantes para uma enorme gama de problemas, essa estratégia e metodologia propõe um aprendizado atento e cuidadoso dos sistemas biológicos (BENYUS, 1997). Objetivando a aplicação desse conhecimento ancestral em diversas áreas, desde a agricultura até a engenharia de materiais e gestão empresarial, a biomimética não apenas busca imitar a natureza, mas principalmente compreender e adaptar seus princípios para a otimização de processos e inovações capazes de apresentar respostas adequadas para cada situação.

Essa capacidade da biomimética de inspirar novas estratégias no cultivo de alimentos, criar materiais sustentáveis e melhorar a eficiência energética em diversos campos, reflete sua premissa em uma abordagem verdadeiramente disruptiva no campo da ciência e da tecnologia. Ao observar e estudar as estruturas complexas e os sistemas adaptativos encontrados na natureza, pesquisadores são incentivados a explorar novas fronteiras de como a criatividade e a engenhosidade podem ser adaptadas às situações do cotidiano. Essa abordagem não apenas visa replicar a natureza, mas também a compreensão dos princípios fundamentais por trás de suas inovações, contornando desafios, elaborando alternativas e adaptando seus princípios de forma inteligente e sustentável na resolução de problemas contemporâneos, em especial projetos de design (ARRUDA et al, 2019).

Os organismos naturais oferecem um vasto repertório de soluções funcionais e eficazes, desde seus padrões mais simples até os mais sofisticados, cada um adaptado para maximizar a eficiência energética, aproveitar espaços e minimizar desperdícios na integração de diversas funções em uma única estrutura. Esta riqueza de inspiração biológica proporciona aos pesquisadores não apenas respostas para desafios específicos, mas também um modelo capaz de oferecer inovação de forma responsável e sustentável.

Contudo, é essencial reconhecer que a simples imitação da natureza não é suficiente. A correta adaptação e aplicação dos princípios biomiméticos exigem uma compreensão profunda de cada contexto e problema específico, além de um rigoroso processo de validação e adaptação para garantir que as soluções resultantes sejam não apenas eficazes, mas também éticas e viáveis. Estudos recentes demonstram essa prática, seja em disciplinas acadêmicas ou empresariais, comprovando reais possibilidades em casos aplicados, onde se observa melhorias em diversos setores sociais (SILVA et al, 2019; ROBINSON, 2023).

Assim, neste trabalho, realizou-se uma metódica pesquisa utilizando categorização de diversas características em 69 espécies naturais, elementos e fenômenos da natureza como as correntes marítimas e fotossíntese, passando por vírus, proteínas, aranhas e baleias, ilustrando uma vasta possibilidade que a biomimética oferece; na sequência, identificou-se possíveis aplicações destas características no design e áreas de atuação, com exemplos já no mercado.

Na sequência, foi elaborada uma ferramenta projetual, intitulada DAMC de categorização e aplicação prática, seja digital ou com cards, voltados a auxiliar projetistas e designers em seus projetos, gerando alternativas com base na taxonomia biomimética, utilizando aspectos de defesa, armazenamento, mobilidade e conexão. O intuito é incentivar designer e projetistas em geral a incorporarem ideias de biomimética em suas rotinas de projetos, e conseqüentemente aumentar a taxa de resultados que considerem aspectos, características e comportamentos presentes no meio

ambiente durante o desenvolvimento de ideias e conceitos.

2 Metodologia da Pesquisa Biomimética

O Laboratório de Design e Biomimética (LDBio) da UFMG tem, a cada semestre, incentivado alunos e pesquisadores voluntários, quer seja na disciplina de Biomimética e Biônica no curso de Design, quer em pesquisas com alunos bolsistas ou voluntários, a buscarem na observação e análise de elementos da natureza em sua composição e comportamento, aspectos válidos e possíveis de serem aplicados em projetos das áreas de Design e Arquitetura, nesta unidade da universidade.

Observa-se na pesquisa biomimética, um campo inovador que se inspira a cada problema e projeto desenvolvido, na busca por soluções de problemas às vezes complexos. Um dos processos fundamentais nessa abordagem é a análise detalhada de exemplos e comportamentos naturais. Nesta linha, a partir de conhecimentos pesquisados e discutidos em projetos desenvolvidos na disciplina Biônica e Biomimética (UFMG), buscou-se categorizar características encontradas na natureza para facilitar a busca em bases de dados, artigos científicos e sites como Ask Nature (ASK NATURE, 2024), 69 diferentes espécies e situações da natureza, cada uma oferecendo uma gama de oportunidades registradas como possíveis insights a soluções adaptativas para diversos desafios.

Assim, foi possível organizar a pesquisa em quatro categorias distintas, cada uma refletindo um conjunto específico de características naturais que podem ser aplicadas de maneira prática nos projetos. Essa taxonomia não apenas facilitou a compreensão dos padrões encontrados na natureza, por parte dos alunos e pesquisadores, mas também serviu como base sólida para o desenvolvimento do método aqui proposto.

A partir da análise e organização dessas categorias, desenvolveu-se então este método biomimético que integra conhecimentos biológicos com princípios de design. Ele visa não apenas imitar formas naturais, mas também entender seus princípios, como eficiência energética, resistência estrutural, defesa, mobilidade, capacidades de atração ou repulsa à umidade, aderências, conexões entre elementos, adaptação ao ambiente entre outras. Essa abordagem não só promove a sustentabilidade, ao minimizar o impacto ambiental, como também impulsiona a criação de produtos e tecnologias mais eficazes e resilientes frente aos desafios cada vez maiores numa sociedade dinâmica.

Após a dinâmica da pesquisa e desenvolvimento do método em si, optou-se pela aplicação do mesmo em um projeto, de modo a validar as suposições levantadas. No projeto utilizado para tal validação, em sua fase de desenvolvimento de alternativas e novas ideias, aplicou-se criativamente os conceitos biológicos identificados nas categorias propostas pelo método.

A abordagem multidisciplinar abriu novos horizontes para a criação das ideias, como se poderá observar no capítulo 6.

3 Fundamentação e Taxonomia Biomimética

No vasto campo da natureza, pode-se encontrar uma gama de exemplos com elementos que se unem de maneira harmoniosa e eficiente para alcançar diversos objetivos. Desde as intrincadas redes de micélios que dão base, sustentam e interconectam a vegetação em uma floresta até as colmeias meticulosamente elaboradas pelas abelhas, a natureza é uma fonte inesgotável de inspiração para o desenvolvimento de projetos biomiméticos que buscam criar sistemas e estruturas conectadas de forma inteligente e adaptativa. Neste sentido, Detanico (2021, p.46)

observa que “o design bio-inspirado é uma abordagem orientada para aplicar as lições da natureza nos problemas de projeto humanos”, não apenas funcionais, mas estéticos e de eficiência energética.

Em 1997 Janine Benyus lança sua obra “Biomimética: Inovação Inspirada pela Natureza”, a qual foi responsável por popularizar o termo “biomimética” e dar protagonismo para o ato de se inspirar na natureza de uma maneira mais ampla, tendo também preocupações acerca de sua preservação, um olhar com respeito. Nela, Benyus compara as criações da natureza como poemas, e mostra que “os biomimeticistas, estudando esses poemas, tomam-se de profundo respeito, que beira a reverência (...), e inovações inspiradas nela parecem mãos estendidas para fora do abismo” (BENYUS, 2003, p.15). Observa-se quão evidente é a capacidade que a natureza possui de mostrar para o ser humano soluções inteligentes e sustentáveis, sendo uma importante referência no desenvolvimento de projetos.

Paralelamente, a taxonomia biomimética é um sistema de identificação e classificação capaz de organizar informações sobre estruturas, processos e sistemas da natureza; apoderando-se deste sistema, métodos buscam inspirar projetos e inovações em diversas áreas da engenharia, arquitetura, design e tecnologia. Essa abordagem envolve estudos e análises de soluções encontradas pela natureza, evoluída ao longo de milhões de anos, e busca aplicar esses princípios e estratégias na criação de novos produtos, materiais e sistemas mais eficientes, adaptáveis e sustentáveis, assim como ocorre na natureza (ASK NATURE, 2008).

Com base na pesquisa levantada referente à biomimética, a identificação das quatro categorias foi possível. Observam-se a seguir, algumas de suas características e possíveis aplicações projetuais.

3.1 Defesa

Quanto ao sistema de defesa e proteção, qualquer espécie na natureza possui suas estratégias particulares, pois sem elas, não poderiam sobreviver em seu habitat natural.

Neste intuito, alguns organismos produzem adesivos naturais de forma a garantir forte aderência em diversas superfícies, como é o caso das lagartixas, com suas patas adesivas que as permite se fixar em substratos verticais, ou as ostras orientais que também fazem uso de um material adesivo secretado para se fixarem às rochas (BURKETT; HIGHT; WILKER. 2010, p.12531–12533). Assim, adesivos de alto desempenho permitem aos projetistas desenvolverem sistemas de fixação e ligação segura e duradoura em variedades de superfícies e condições de uso de produtos.

Além da aderência como forma de defesa, superfícies impermeáveis de recobrimento de organismos também os protegem contra a entrada de água e excesso de umidade. Plantas como o lótus desenvolveram folhas com capacidade de repelir a água devido à sua estrutura microscópica, enquanto certos insetos possuem exoesqueletos cobertos por ceras que evitam a perda de água em suas estruturas. Como inspiração, projetos podem utilizar essas estratégias naturais no desenvolvimento de materiais e revestimentos impermeáveis para proteção ou manutenção do nível de umidade, prevendo também a vida útil do material, sua época de corrosão e consequente desgaste natural, auxiliando na prevenção e combate a possíveis rompimentos e/ou colapsos de sistemas envolvendo ambientes, materiais e vidas humanas.

O recobrimento de organismos também pode ser realizado por meio de seu revestimento, servindo como um escudo de proteção para algumas espécies. Como é o caso das lagostas, que possuem em suas cascas alguns padrões helicoidais que podem garantir uma maior resistência ao revestimento de seu corpo, e também da cobertura de pelos presentes nas superfícies de certos

mamíferos, como os ursos, fornecendo um isolamento térmico e proteção contra alguns predadores. Outro exemplo de resistência está presente nas teias de aranha, que possuem a capacidade de se deformar e assim resistir ao impacto da colisão de insetos ou pequenos animais em suas teias. Essas características podem ser inspiração para o desenvolvimento de materiais de revestimento, como é feito na RMIT University (RMIT University, 2021), onde pesquisadores se inspiram nos padrões presentes nas cascas das lagostas para projetar padrões de impressão 3D de concreto, tendo como foco o aumento de sua resistência.

3.2 Armazenamento

A capacidade de armazenamento é fundamental para o mundo em que vivemos, uma vez que, com os hábitos desenvolvidos pelos seres humanos, existe a necessidade de estocagem de alimentos e armazenagem de diversos materiais e objetos que são úteis para a manutenção da vida como se conhece.

Observa-se que as embalagens são responsáveis por armazenar tudo que será transportado, guardado ou comercializado. Porém, esta necessidade não é uma exclusividade do ser humano; a natureza também precisa armazenar e transportar diversos materiais ou fluidos, como a água, um elemento essencial para quase a totalidade de seres vivos.

Quanto ao armazenamento no meio natural, a capacidade de impermeabilização é um fator de grande importância para diversas espécies, como as cobras, que possuem escamas que tornam a pele do animal praticamente impermeável, conferindo não apenas proteção mecânica, como também a manutenção da perda de água por evapotranspiração. Outro exemplo é o perdiz-da-areia-macho, que por viver em um ambiente com escassez de água, possui estruturas no interior de suas penas abdominais capazes de absorver e armazenar água. Com isso, ele é capaz de levar água para seu ninho, onde seus filhotes podem sugar a água presente em suas penas (MUELLER, GIBSON; 2023). Exemplos como estes capacitam e inspiram a produção de embalagens impermeáveis, servindo tanto para manter a água em seu interior, quanto do lado de fora, quando não se pode umedecer o material armazenado.

Além da capacidade de produzir meios de armazenamentos impermeáveis, materiais embaladores também são responsáveis por aquecimento e resfriamento, podendo ser de grande utilidade principalmente em transportes de objetos ou alimentos que necessitam da umidade do ar e não podem ficar totalmente isolados do ambiente externo ou de elementos que precisam ser mantidos em uma determinada temperatura, seja ela alta ou baixa.

Cascas de ovos de aves são compostas por membranas que mantêm a umidade interna e protegem o embrião em desenvolvimento. Outros organismos na natureza utilizam membranas seletivas para controlar a troca de substâncias entre diferentes compartimentos celulares ou ambientes. Por exemplo, algumas plantas possuem membranas celulares que permitem a entrada seletiva de água e nutrientes enquanto impedem a passagem de substâncias indesejadas, enquanto outras possuem sementes capazes de entrar em dormência para reduzir o consumo de energia e prolongar sua viabilidade durante condições adversas. Aves migratórias acumulam gordura corporal como reserva de energia e isolamento térmico durante longos voos, enquanto certos insetos como os besouros do deserto possuem estruturas que absorvem e retêm calor durante a noite e dissipam calor durante o dia, mantendo a temperatura corporal e protegendo contra variações ambientais.

Inspirados nestas estratégias, projetos industriais podem incorporar revestimentos impermeáveis e membranas em recipientes de armazenamento, protegendo materiais sensíveis à umidade, como alimentos, produtos químicos e eletrônicos, além de prolongar a vida útil e preservar suas qualidades. Em outros produtos, são capazes de atribuir sistemas de filtração e

separação que permitam o armazenamento seguro e eficiente de diferentes tipos de materiais, separando componentes valiosos de resíduos indesejados. E alguns materiais aplicados podem atribuir ao sistema a capacidade de armazenar energia e isolamento térmico, otimizando o uso de recursos, garantindo a estabilidade de temperatura em ambientes de armazenamento sensíveis ao calor. Assim, minimizam perdas, maximizando a disponibilidade de recursos, contribuindo para a sustentabilidade e eficiência de processos industriais.

Quanto ao material responsável pelo armazenamento e transporte de materiais, além da matéria prima em si e suas características estruturais, observa-se que a pigmentação também desempenha um papel fundamental na proteção contra danos ambientais e na camuflagem contra predadores, misturando-se ao ambiente, ou de se destacar com sinais de advertência, além de proteção à radiação solar, absorvendo ou refletindo a luz solar, minimizando os efeitos prejudiciais da radiação ultravioleta.

Ao integrar os princípios de pigmentação e impermeabilidade em projetos industriais, é possível criar uma ampla gama de produtos e serviços inovadores, extraíndo insights valiosos, inspirando projetos na criação de materiais e revestimentos que oferecem proteção contra intempéries, simultâneo na integração harmoniosa ao ambiente circundante. Assim, poderá proporcionar também segurança e estética em produtos e estruturas, além de aumentar a vida útil, reduzindo o desbotamento antecipado e outros danos causados pela exposição prolongada ao sol, aumentando sua durabilidade e desempenho de produtos e estruturas expostas ao ar livre. Estas características podem ser aplicadas desde roupas e calçados com revestimentos pigmentados que oferecem proteção contra umidade e radiação solar até materiais de construção com pigmentações que proporcionam resistência à corrosão e durabilidade em ambientes externos, dentre outros. Além disso, serviços como design de interiores e paisagismo podem se beneficiar da aplicação criativa de pigmentos e revestimentos para criar ambientes esteticamente agradáveis e funcionais.

3.3 Mobilidade

Quanto à mobilidade, a natureza oferece muitas inspirações eficientes através de seus organismos e sistemas adaptativos. Examinando princípios de resistência à gravidade, aerodinâmica, fluidez e elementos articulados observados em diversas formas de vida, projetistas podem elaborar suas concepções com desafios técnicos, e também que se integram harmoniosamente ao ambiente.

Organismos como insetos, aracnídeos e geckos desenvolveram notáveis habilidades na superação da gravidade, além de se moverem em superfícies verticais e até mesmo de cabeça para baixo. A partir de estudos e observação de características destas estruturas e mecanismos envolvidos no sistema de locomoção, projetos biomiméticos podem apresentar formas de aderência, como os pelos microscópicos presentes nas patas de um gecko, ou em técnicas de locomoção com o dinamismo e fluidez da escalada de um inseto, criando dispositivos e sistemas veiculares capazes de navegar com facilidade em ambientes desafiadores, seja em terra, ambientes submersos, ou mesmo projetos futurísticos como a exploração de outros planetas, fato já observado nos casos de veículos teleguiados em Marte.

A mobilidade conta também com exemplos como as aves, insetos e morcegos que são magistrais na aerodinâmica, usando formas e movimentos específicos no controle do voo, resultando numa tarefa realizada com eficiência, agilidade e elegância em espaços variados e desafiadores. Outros animais, como serpentes, peixes e enguias, com diferentes capacidades de flexão e torção, são fundamentais para a mobilidade em ambientes complexos, adaptando sua forma e movimento às características locais.

Inspirados por esses exemplos de sistemas de fluidez natural, projetos biomiméticos podem propiciar o desenvolvimento de robôs e veículos, sistemas de transporte terrestres ou aquáticos, aeronaves e/ou drones com designs inovadores, na redução do arrasto, no aumento da estabilidade e na maximização da eficiência energética, reduzindo custos operacionais.

3.4 Conexão e Comunicação

Em toda rede de ecossistemas, a conexão é uma estratégia essencial na sobrevivência e evolução das espécies. Neste âmbito, organismos vegetais e animais desenvolveram sofisticados mecanismos de comunicação e colaboração buscando compartilhar seus recursos, informações e proteção da espécie. Assim ocorre simbiose entre fungos e raízes de plantas, na facilitação de troca de nutrientes e água, promovendo o crescimento saudável das plantas (MOREIRA, 2014). Com base nesta conexão simbiótica, projetos biomiméticos podem explorar possibilidades e formas de criar sistemas onde seus componentes podem se comunicar e colaborar de maneira similar, otimizando o uso de recursos e aumentando sua resiliência.

No contexto natural, a união de elementos é frequentemente associada à resistência estrutural e à capacidade de suportar cargas e também equilibrar pressões sejam elas internas ou externas. Exemplos de estruturas como as teias de aranha, cascas de árvores ou conchas marinhas mostram a eficácia da união de materiais na criação de formas resilientes e adaptáveis às suas necessidades. Ao se inspirar nestes exemplos, projetistas biomiméticos podem desenvolver técnicas inovadoras de conexão entre materiais capazes de maximizar a resistência e a durabilidade das estruturas, simultâneo à minimização do uso de materiais e energia.

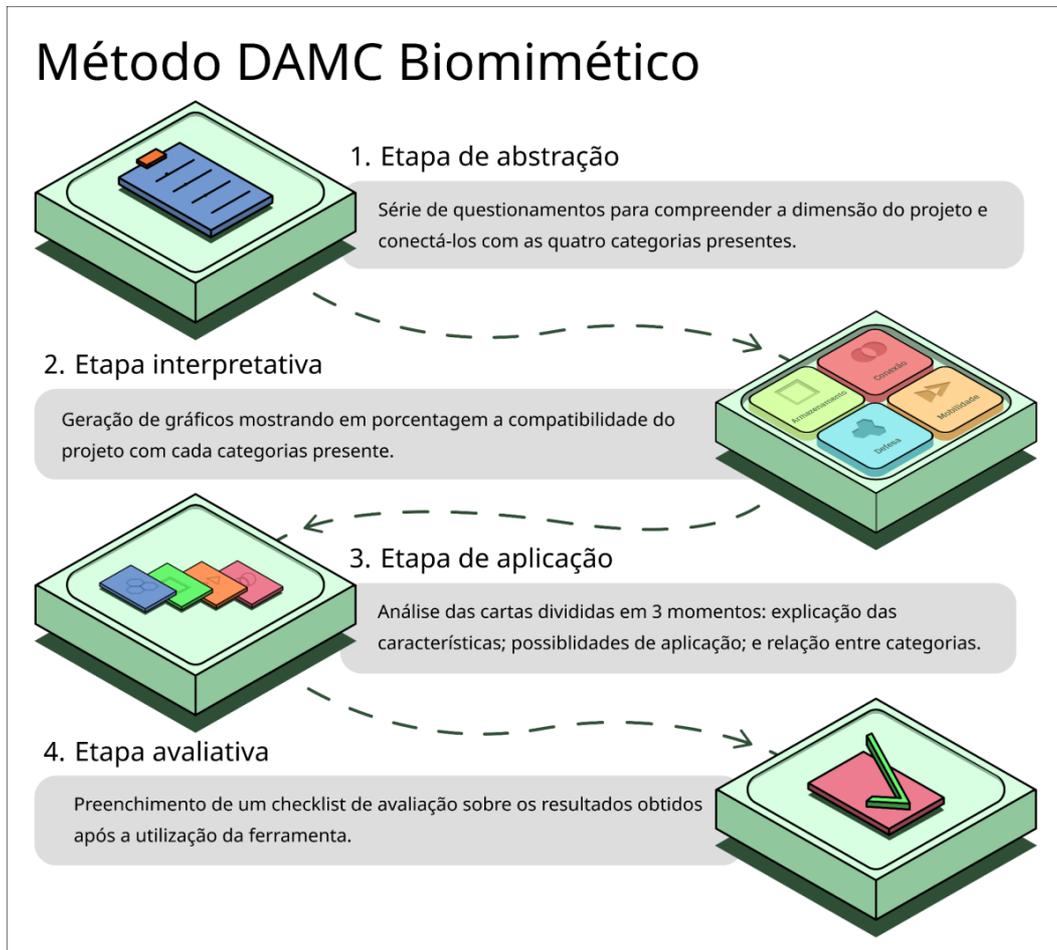
Um aspecto fundamental dessas conexões da natureza é sua capacidade de adaptação e flexibilização frente às mudanças ambientais e dinâmicas de demandas. Assim, estruturas como a rede de raízes de uma árvore se adaptam às condições de diferentes tipos de solos, bem como sua necessidade de sustentação, enquanto que um grupo de pássaros ajusta sua formação no ar para otimizar a eficiência do voo do bando. Projetos biomiméticos inspirados nestes exemplos podem incorporar a capacidade de adaptação e flexibilidade em suas soluções, criando sistemas dinâmicos que respondam de forma eficaz a mudanças e perturbações do ambiente, maximizando seus resultados, bem como fazer com que elementos trabalhem de forma harmoniosa, cooperativa e resiliente.

4 Método DAMC Biomimético

O Método DAMC Biomimético foi proposto para auxiliar o usuário a encontrar referências de características da natureza para aplicação direta em seus projetos, incentivando o uso da biomimética de maneira prática. O método conta com exemplos de espécies presentes no meio ambiente, suas características e exemplos de possíveis aplicações em projetos e áreas de atuação.

O processo metodológico proposto ocorre em quatro etapas, sendo que ao final da aplicação o usuário terá uma gama de exemplos para ajudar no processo de geração de alternativas em seu projeto. A Figura 1 mostra o fluxo de atividades do método, evidenciando a presença dos quatro passos para o usuário percorrer ao longo da aplicação da ferramenta.

Figura 1: Fluxo das etapas do método DAMC proposto.



Fonte: os próprios autores. (2024)

A **primeira etapa** é chamada de **Etapa de Abstração**, e nela o usuário é apresentado a uma série de questionamentos, nos quais ele fornece à ferramenta informações sobre o projeto que está desenvolvendo. Cada pergunta faz referência a uma das quatro categorias, que é simbolizado pela cor presente no contorno da forma que a pergunta está localizada, sendo que cada categoria é representada por apenas uma cor, como se observa na Figura 2. Caso tenha mais de uma cor presente no contorno da pergunta, o questionamento faz referência a mais de uma categoria. Todas as perguntas possuem três opções de resposta, sendo elas “SIM”, “NÃO” e “NÃO SE APLICA”, e conforme o usuário responde essas perguntas, uma pontuação é aplicada a cada resposta. Toda resposta afirmativa corresponde a um ponto creditado à categoria correspondente à cor da questão. Assim, caso haja mais de uma cor, todas as categorias presentes ganham a mesma quantidade de pontos. A cada resposta negativa ou que não se aplica, nenhum ponto é acrescentado. Após o preenchimento dos questionamentos, o usuário será direcionado à próxima etapa. A Figura 2 mostra como as perguntas se configuram e como elas estão dispostas na interface.

Figura 2: Etapa 1: Abstração, Método DAMC.

Método DAMC Biomimético

Etapa 1: Abstração

20 perguntas serão feitas e você deve responder "SIM", "NÃO" ou "NÃO SE APLICA". Estes questionamentos têm o intuito de analisar as características do seu projeto e orientá-lo a quais categorias se encaixam melhor com o que busca.

Legenda

Selecionado
 Não selecionado
 ■ DEFESA
 ■ Interação entre CONEXÃO e MOBILIDADE

O projeto pode causar algum risco à integridade física do usuário?

SIM

NÃO

NÃO SE APLICA

Acrescente um ponto para defesa
Nenhum ponto é acrescentado
Nenhum ponto é acrescentado

O projeto exige uma melhor aderência a superfícies ou em contato com outros objetos?

SIM

NÃO

NÃO SE APLICA

Acrescente um ponto para conexão e um para mobilidade
Nenhum ponto é acrescentado
Nenhum ponto é acrescentado

Fonte: os próprios autores. (2024)

Nesta **segunda etapa** do método, chamada **Etapa Interpretativa**, o usuário irá receber uma análise dos dados que foram fornecidos na primeira fase, incluindo um gráfico de porcentagem de acordo com a adequação do projeto com as quatro categorias presentes no método (defesa, armazenamento, mobilidade e conexão). Neste momento, espera-se informar o usuário a qual categoria (ou quais categorias) seu projeto mais se relaciona, e com isso, guiá-lo para exemplos que possuem uma chance maior de se adequarem ao que ele está buscando. Nesta etapa, mesmo que na análise dos dados tenha baixa compatibilidade com alguma das categorias, o usuário ainda poderá acessar os exemplos desta categoria. Neste caso, todos os exemplos estão liberados para o designer, ou profissional utilizador da ferramenta. A Figura 3 mostra exemplos de como os gráficos podem ser apresentados para o usuário nesta etapa.

Figura 3: Possíveis composições dos gráficos gerados.



Fonte: os próprios autores. (2024)

Na **terceira etapa**, chamada de **Fase de Aplicação**, o usuário terá a apresentação de exemplos das categorias que mais se destacaram em termos de pontuação da fase anterior, não descartando as demais categorias, para se optar em analisá-las para seu projeto. Nesta etapa, o nome da categoria e da subcategoria também estão presentes no topo de todas as cartas (cards), auxiliando o usuário em sua identificação. Alguns exemplos de cards do primeiro momento podem ser analisados na Figura 4:

Figura 4: Fase de aplicação: exemplos dos cards mostrando as categorias sugeridas.



Fonte: os próprios autores. (2024)

No segundo momento dos cards, existe uma análise individual de cada espécie citada anteriormente, contando com possíveis aplicações desta característica em projetos e uma separação de algumas áreas de atuação que podem estar relacionadas a estas referências. Estes cards possuem informações para ajudar o usuário na geração de alternativas de seus projetos, contendo inspirações para o desenvolvimento de ideias e soluções. Alguns exemplos de cards neste segundo momento podem ser observadas na Figura 5:

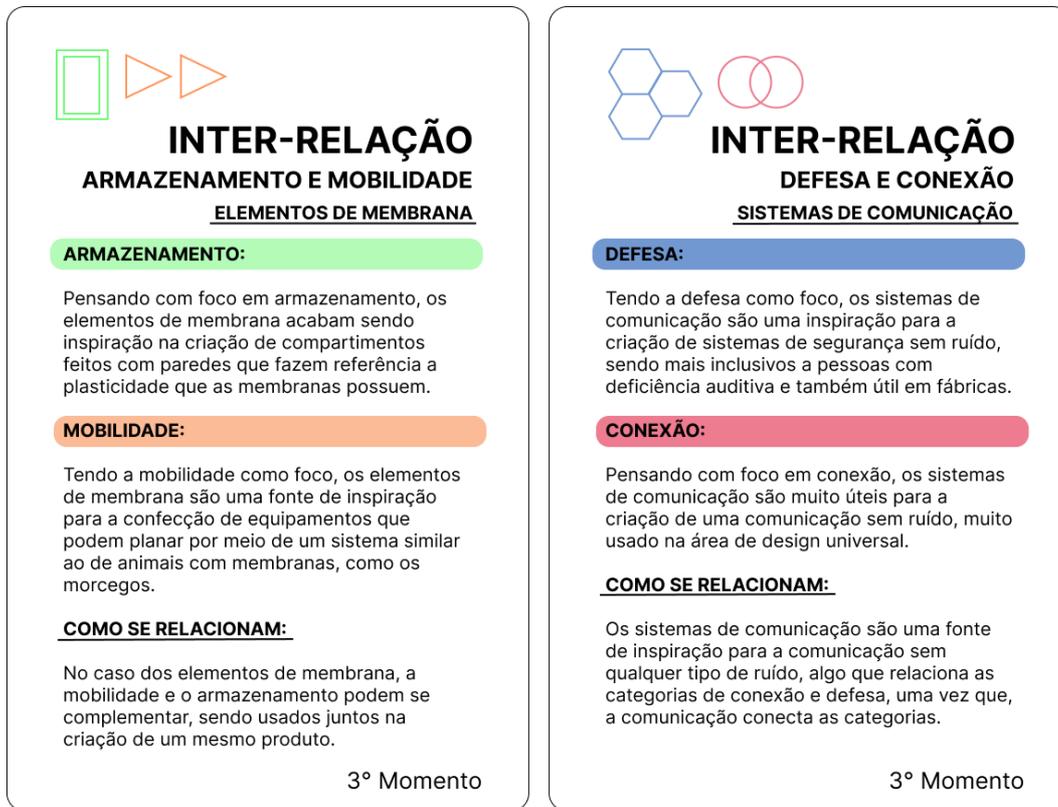
Figura 5: Cards apresentando possíveis aplicações das categorias ao projeto.



Fonte: os próprios autores. (2024)

O terceiro e último momento dos cards se realiza quando o usuário se depara com características que podem ser aplicadas a mais de uma categoria. Neste caso, o card conta com uma explicação de como a característica pode ser usada em cada categoria mencionada e como elas se inter relacionam entre si. Alguns exemplos desses cards do terceiro momento podem ser observados na Figura 6:

Figura 6: Cards apresentando características e inter relações aplicáveis ao projeto.



Fonte: os próprios autores. (2024)

Finalmente, a **quarta etapa** do método, chamada de **Etapa Avaliativa**, é constituída por um card de checklist do processo, onde o usuário poderá registrar sua avaliação da ferramenta. No Quadro 1, observam-se as 14 questões desta etapa do método, organizadas em categorias. E a Figura 7 apresenta exemplo do card com essa etapa avaliativa.

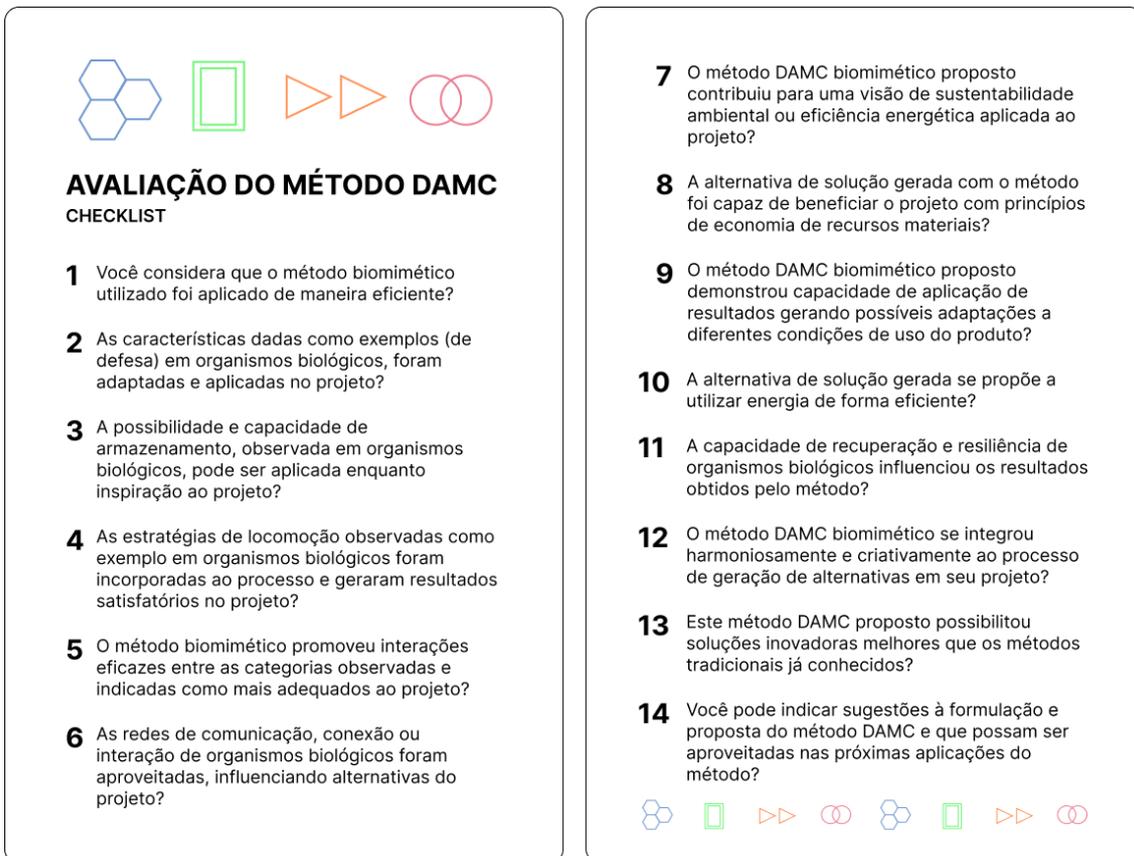
Quadro 1 - Questões do card da etapa avaliativa.

Categoria:	Crítérios de Avaliação:
i) Método	Você considera que o método biomimético utilizado foi aplicado de maneira eficiente?
ii) Defesa	As características dadas como exemplos (de defesa) em organismos biológicos, foram adaptadas e aplicadas no projeto?
iii) Armazenamento	A possibilidade e capacidade de armazenamento, observada em organismos biológicos, pode ser aplicada enquanto inspiração ao projeto?
iv) Mobilidade	As estratégias de locomoção observadas como exemplo em organismos biológicos foram incorporadas ao processo e geraram resultados satisfatórios no projeto?
v) Conexão	O método biomimético promoveu interações eficazes entre as categorias observadas e indicadas como mais adequadas ao projeto?
vi) Comunicação	As redes de comunicação, conexão ou interação de organismos biológicos foram aproveitadas, influenciando alternativas do projeto?

vii) Sustentabilidade	O método DAMC biomimético proposto contribuiu para uma visão de sustentabilidade ambiental ou eficiência energética aplicada ao projeto?
viii) Recursos materiais	A alternativa de solução gerada com o método foi capaz de beneficiar o projeto com princípios de economia de recursos materiais?
ix) Adaptação	O método DAMC biomimético proposto demonstrou capacidade de aplicação de resultados gerando possíveis adaptações a diferentes condições de uso do produto?
x) Energia	A alternativa de solução gerada se propõe a utilizar energia de forma eficiente?
xi) Resiliência	A capacidade de recuperação e resiliência de organismos biológicos influenciou os resultados obtidos pelo método?
xii) Integração	O método DAMC biomimético se integrou harmoniosamente e criativamente ao processo de geração de alternativas em seu projeto?
xiii) Inovação	Este método DAMC proposto possibilitou soluções inovadoras melhores que os métodos tradicionais já conhecidos?
xiv) Upgrade	Você pode indicar sugestões à formulação e proposta do método DAMC e que possam ser aproveitadas nas próximas aplicações do método?

Fonte: os próprios autores.

Figura 7: Frente e verso do card apresentando a Etapa Avaliativa (checklist).



Fonte: os autores. (2024)

A ferramenta de checklist proposta permite avaliar a eficácia do método biomimético a partir de diversas características chave observadas na natureza e em procedimentos metodológicos. Cada item do checklist buscou focar em aspectos naturais observáveis, como as categorias descritas dentre outras, as quais são fundamentais tanto para os organismos vivos quanto para os sistemas bio inspirados construídos pelo ser humano.

Assim, ao se utilizar do checklist, é possível identificar se o método biomimético é capaz de capturar e aplicar de modo eficaz os princípios adaptativos e funcionais de características da natureza. Ademais, permite verificar se o método contribuiu para a eficiência, sustentabilidade e inovação desejadas no contexto aplicado do projeto.

A avaliação dos resultados positivos pode ser determinada pela validação e capacidade do método biomimético em atingir os objetivos estabelecidos, como melhorias na eficiência, redução de problemas como impactos ambientais, ou na criação de soluções mais robustas e adaptáveis às diversas situações e realidades. Assim, caso o método tenha demonstrado sucesso nestes aspectos, pode-se concluir que a abordagem biomimética foi eficaz na geração de resultados positivos almejados. Vale ressaltar também que o formato digital irá contar com pontos do card para serem clicados e realizar o mecanismo de checklist. Além disso, a última pergunta terá um espaço para o usuário escrever comentários e sugestões, a fim de melhorar o funcionamento do método para o público.

Por se tratar de uma nova proposta de método, o usuário precisa de orientação quanto ao seu uso. Assim, antes de se iniciar a aplicação do Método DAMC Biomimético, o usuário tem acesso a um card de orientação, no qual todo o sistema de funcionamento é explanado. Este card conta com uma breve explicação sobre cada etapa. A Figura 8 mostra como este card é apresentado aos usuários.

Figura 8: Card apresentando a explicação do funcionamento do Método DAMC.

MÉTODO DAMC BIOMIMÉTICO
ORIENTAÇÕES DE USO

O método consiste em quatro fases que possuem o foco de auxiliar o usuário a encontrar na natureza características que podem ser aplicadas em seus projetos, incentivando o uso da biomimética.

PRIMEIRA ETAPA: ABSTRAÇÃO
O usuário será apresentado a uma série de perguntas, as quais ele deverá responder “SIM” ou “NÃO”. Cada pergunta possuirá uma cor de fundo correspondente a uma das quatro categorias da metodologia (defesa; armazenamento, mobilidade; e conexão), e a cada resposta afirmativa, um ponto será adicionado à categoria correspondente, a cada resposta negativa, nenhum ponto será adicionado.

SEGUNDA ETAPA: INTERPRETAÇÃO
Após responder todas as perguntas da fase anterior, o usuário receberá um gráfico indicando a porcentagem que cada categoria representa em seu projeto e um gráfico de intersecção das categorias. Ambos feitos para orientar o usuário a seguir em um caminho com maior compatibilidade ao que foi respondido sobre seu projeto.

MÉTODO DAMC BIOMIMÉTICO
ORIENTAÇÕES DE USO

TERCEIRA ETAPA: APLICAÇÃO
Esta fase consiste na análise de características presentes na natureza e exemplos de possibilidades de aplicação de cada uma em projetos de design. Cada categoria possui uma série de cartas divididas em três etapas. A primeira conta com uma explicação das características; a segunda possui as possibilidades de aplicação e áreas de atuação; e a terceira só aparece para características compartilhadas por mais de uma categoria, e conta com uma explicação de como elas se relacionam. O usuário é livre para analisar todas as características e aplicar em seus projetos o que achar pertinente.

QUARTA ETAPA: AVALIAÇÃO
Esta última fase consiste no preenchimento de um card em formato de checklist, que ajudará o usuário a fazer uma avaliação dos resultados encontrados por ele ao realizar o processo metodológico. Após o preenchimento do card avaliativo o usuário poderá avaliar se há necessidade de refazer alguma fase do método.

Fonte: os autores. (2024)

O principal modo de acesso ao Método DAMC é pelo formato virtual, observando que o mesmo foi idealizado para realizar interações com o usuário, e essa então, é uma maneira mais apropriada de se observar essa dinâmica de interatividade. A proposta do método está em fase final de implementação e testes, para em breve ser disponibilizada para uso gratuito no site do Laboratório de Design e Biomimética, da Escola de Arquitetura e Design da UFMG, no qual qualquer pessoa poderá ter acesso ao material desenvolvido.

Apesar da ferramenta ser disponibilizada para uso virtual, também faz parte do desenvolvimento, a implementação de uma cópia alternativa voltada para impressão e aplicação estática do método, sendo que, para viabilizar este modelo de aplicação, foram necessários alguns ajustes da dinâmica de funcionamento. Estas alterações necessárias ocorrem na primeira etapa, em relação à maneira de como o usuário responderá aos questionamentos feitos.

No modelo digital ele irá apenas clicar na resposta desejada, mas no caso de uma aplicação estática, o usuário terá uma tabela com quatro colunas e vinte linhas, sendo que cada coluna possui a cor correspondente a uma categoria e cada linha corresponde a cada pergunta da primeira etapa, onde um ponto será creditado às categorias no decorrer do preenchimento das questões. O modo de preenchimento da pontuação será realizado com a marcação de um “x”, no caso de respostas afirmativas, na linha da planilha que possua a cor presente no contorno da pergunta, correspondente a sua categoria. Por exemplo, se o usuário marcar “SIM” para uma pergunta que tenha o contorno rosa, significa uma resposta afirmativa para a categoria conexão, ou seja, o próximo passo do usuário é marcar um “x” no quadrado rosa presente na tabela. Ao final dos questionamentos, o usuário formará seu próprio gráfico (em substituição da segunda fase indicada para uso digital); isso irá acontecer em decorrência do preenchimento da tabela mencionada anteriormente. Com isso, o usuário terá conhecimento das categorias que melhor se aplicam ao seu projeto.

A terceira e quarta etapa possuem o mesmo funcionamento da versão digital, porém com cards impressos, os quais contém as mesmas informações dos cards digitais. Neles, o usuário possui todos os cards à sua disposição, podendo escolher entre quais poderão gerar melhores alternativas relacionadas ao seu projeto.

5 Inter-relações entre categorias

Dentre as quatro categorias escolhidas (defesa, armazenamento, mobilidade e conexão), é possível estabelecer algumas relações entre elas, uma vez que, algumas características podem estar relacionadas com mais de uma categoria, constituindo um conjunto de possíveis inter-relações dentro do projeto.

Algumas características presentes nos cards do primeiro momento da terceira etapa, como se observou na Figura 5, possuem possíveis aplicações previstas em mais de uma categoria, sendo que estas características podem ter diferentes direcionamentos de possíveis aplicações, dependendo da categoria em que está presente. A matriz montada durante a pesquisa, a fim de reunir informações de características aplicáveis em projetos com inspiração na natureza, possui uma série de tópicos montados com o intuito de reunir diferentes características que compartilham um elo em comum. Após a união destas características em tópicos, os mesmos foram divididos em quatro categorias (defesa; armazenamento; mobilidade; e conexão), e a inter-relação mencionada acima diz respeito a tópicos compartilhados por mais de uma categoria.

Um exemplo disso são as características presentes no tópico chamado Elementos de

Membrana, o qual possui três características citadas, sendo que elas estão presentes em duas categorias, armazenamento e mobilidade. Em cada categoria, as características se apresentam de uma forma, tendo possíveis aplicações e áreas de atuação diferentes para cada uma. Por isso o terceiro momento dos cards foi criado na terceira etapa, como se observou na Figura 7, para poder evidenciar como estas categorias se relacionam de acordo com as características que compartilham.

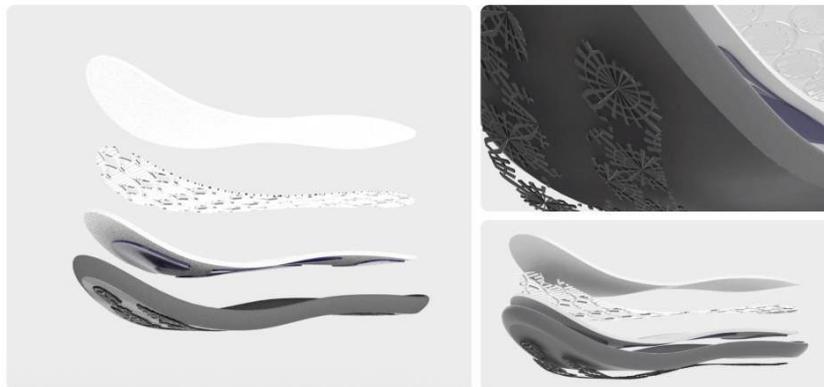
Do mesmo modo, outros tópicos de características também foram alocados em mais de uma categoria. O intuito é que todas as categorias possam se conectar com outras de alguma forma, ou seja, compartilhando pelo menos uma característica com outra categoria.

Como existe uma linha tênue entre as categorias, é possível reconhecer que algumas características acabam sendo compartilhadas entre elas. Também é possível identificar que algumas categorias possuem várias afinidades entre si, como é o caso de armazenamento e mobilidade, que em muitos casos podem ser aplicadas em conjunto, uma vez que, muitos projetos que fazem uso de mobilidade também acabam tendo o armazenamento como base e referência. Essa dinâmica pode ser observada com a junção de outras categorias; essa combinação dependerá do tipo de projeto que está sendo desenvolvido pelo usuário, e a proposta do método é poder ajudá-lo a identificar essas possíveis conexões entre categorias. Nesse sentido, durante a segunda etapa, a interpretação dos dados fornecidos pelo usuário irá gerar gráficos que evidenciam a compatibilidade com uma ou mais categorias, como se observou na Figura 4, sendo personalizado para cada projeto. No capítulo a seguir, tem-se a demonstração da compatibilidade de duas categorias em um projeto, como exemplo dessa interatividade.

6 Exemplo de uso do Método DAMC como ferramenta no design

Como exemplo de validação do método proposto, quanto ao funcionamento, entendimento e resultados obtidos, a Figura 9 apresenta um projeto desenvolvido, em que o método DAMC foi utilizado na geração e aperfeiçoamento de alternativas para o produto final. Esse exercício proporciona não somente a explanação da jornada do usuário com o fluxo, mas, também, os resultados que podem maximizar a produção de alternativas, levantar novas possibilidades de interação entre categorias de análise, resolver problemas identificados com perspectivas reais de aplicação, considerando itens como economia e reaproveitamento de matéria prima e energia, organização de fluxos operacionais.

Figura 9: Exemplo de resultado do método em projeto biomimético.



Fonte: Projeto do curso de Design (UFMG), alunos: Ana Clara Martorano, Caio H. Oliveira e Luísa de Souza. (2023)

No primeiro momento, 20 perguntas foram feitas, com opções de “SIM”, “NÃO” e “NÃO SE APLICA”. Estes questionamentos têm o intuito de analisar as características do projeto e orientá-lo a quais categorias se encaixam melhor de acordo com as respostas.

Figura 10: Algumas perguntas de abstração (etapa 1) do método DAMC em projeto biomimético.

Defesa
O projeto pode causar algum risco à integridade física do usuário?
SIM (Acrescente um ponto para Defesa) | NÃO (Nenhum ponto é acrescentado) | NÃO SE APLICA (Nenhum ponto é acrescentado)

Armazenamento
O projeto possui dificuldade em ser transportado conforme sua atual embalagem (ou configuração de sua forma)?
SIM (Acrescente um ponto para Armazenamento) | NÃO (Nenhum ponto é acrescentado) | NÃO SE APLICA (Nenhum ponto é acrescentado)

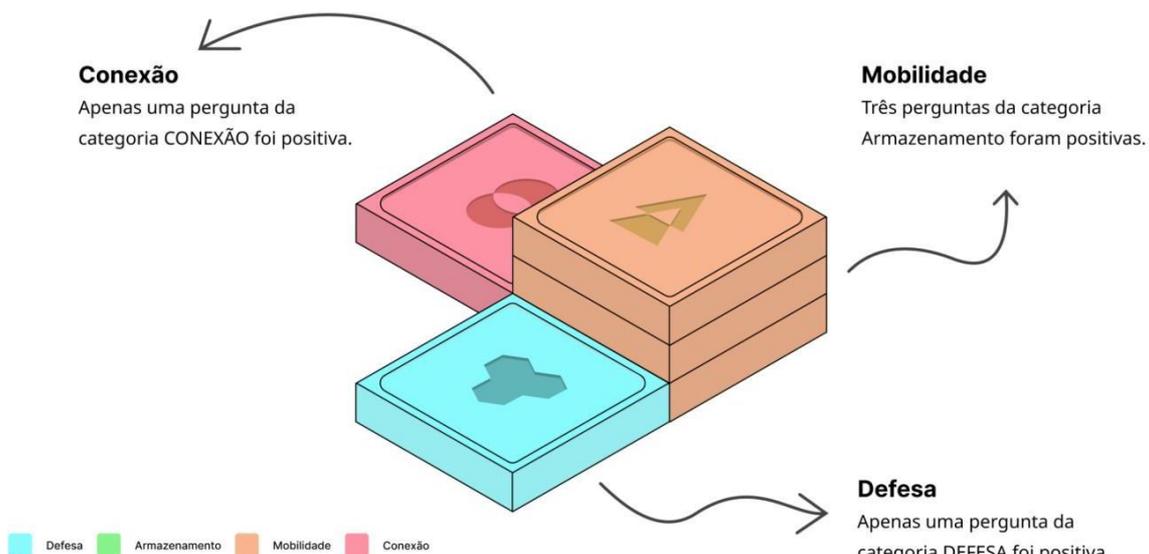
Mobilidade
O projeto exige uma melhor aderência a superfícies ou em contato com outros objetos?
SIM (Acrescente um ponto para Mobilidade) | NÃO (Nenhum ponto é acrescentado) | NÃO SE APLICA (Nenhum ponto é acrescentado)

Conexão
O projeto necessita conexão entre peças durante sua montagem?
SIM (Acrescente um ponto para conexão) | NÃO (Nenhum ponto é acrescentado) | NÃO SE APLICA (Nenhum ponto é acrescentado)

Fonte: os autores. (2024)

Com a utilização do método DAMC, o recurso aplicado pôde gerar pontuação entre as categorias, diferenciando-as no gráfico produzido pelo sistema interativo digital. Assim, tomou-se como referência a categoria mais pontuada, no caso, mobilidade, e partiu-se para produção de alternativas com base nos exemplos apresentados pelos cards. Observa-se na Figura 10, o gráfico contendo a categoria mais pontuada na aplicação deste exemplo.

Figura 11: Resultado da categorização (etapa 2) do método DAMC em projeto biomimético.

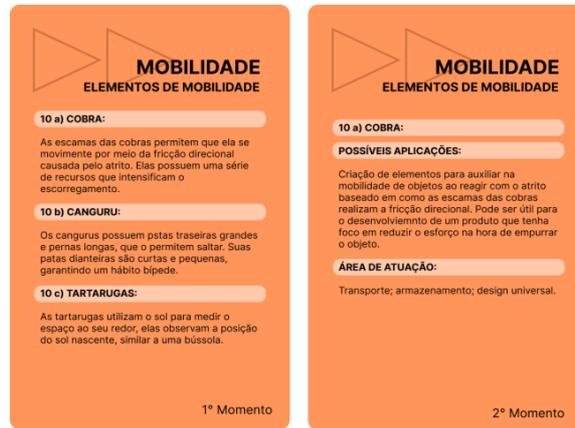


Fonte: os autores. (2024)

Após esta fase, o método apresentou os cards contendo exemplos da natureza condizentes com a análise do problema levantado, gerando possibilidades de desenvolvimento de alternativas com tais inspirações, como se pode observar na Figura 12. A aplicação proporcionou informações sobre a possibilidade de criação de objetos com base na mobilidade da cobra e suas escamas, de forma a reduzir o esforço no momento de empurrar o objeto, no caso, facilitar o andar com o

calçado. Por isso, se fez necessário pensar em diversas outras maneiras de atuar no desenvolvimento de um solado adequado ao calçado, com materiais que simulassem tal característica observada nas cobras.

Figura 12: Card com elementos de mobilidade (etapa 3) do método DAMC em projeto biomimético.



Fonte: os autores. (2024)

Partindo da análise de seis cards, sendo dois de cada uma das categorias, que aparecem no gráfico observado na Figura 11, foi possível definir alguns conceitos que fizessem sentido para o aperfeiçoamento do projeto do exemplo. Como a categoria MOBILIDADE teve a maior quantidade de pontos, é natural que os cards de MOBILIDADE tivessem mais atenção, ainda que os outros insights fossem muito bem-vindos. Para este uso em questão, foram definidos dois elementos da natureza para serem desenvolvidos no trabalho, o item 10 a) de MOBILIDADE e o item 1 a) de CONEXÃO.

Se tratando de um calçado, a ideia de desenvolver um solado com foco em reduzir o esforço do usuário no momento da passada, inspirado no movimento eficiente das cobras, se fez interessante, como se pode ver na Figura 12. Paralelamente a isso, o projeto trouxe o conceito de uma sola em 4 camadas para o funcionamento adequado, e para conectar estas partes o item 1 a) de CONEXÃO (Figura 13) pode auxiliar em uma solução adequada com ventosas baseadas nos tentáculos de polvos.

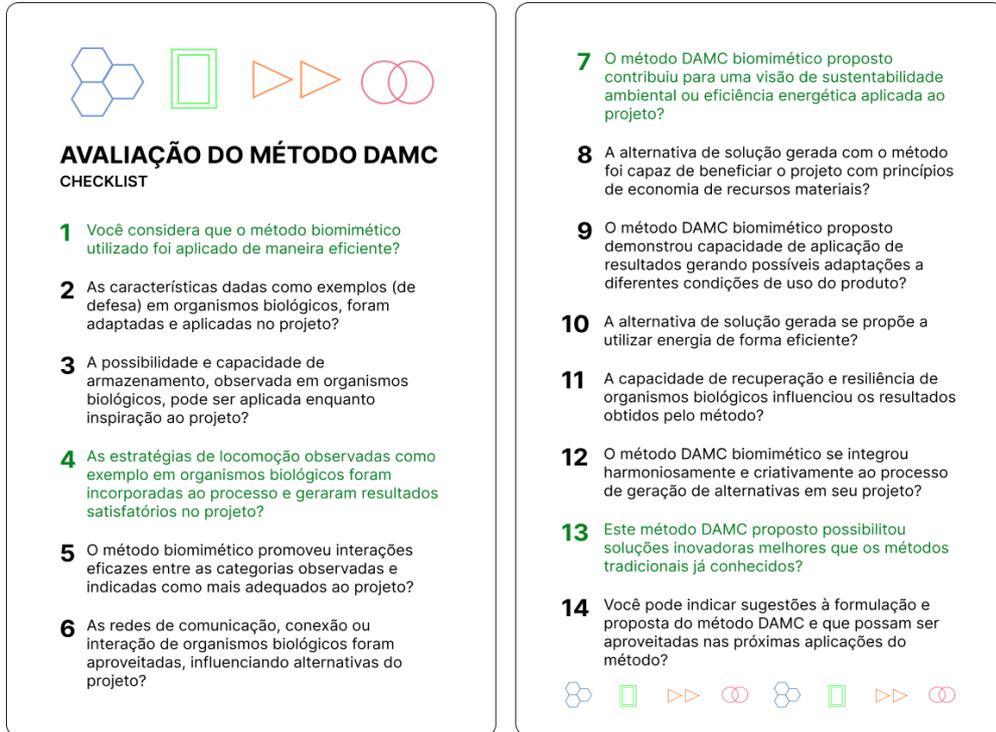
Figura 13: Card com elementos de conexão (etapa 3) do método DAMC em projeto biomimético.



Fonte: os autores. (2024)

Como conclusão do processo do método DAMC neste projeto, quatro perguntas da etapa de avaliação foram analisadas com maior destaque. De forma geral, o método DAMC se apresentou efetivo na etapa de categorização do projeto por meio dos questionamentos de abstração e apresentou bons resultados de possíveis aplicações que condizem com o trabalho. A categoria Mobilidade obteve maior destaque por ser mais compatível com o tipo de abordagem do projeto, logo, bons insights foram trazidos, como o meio que a cobra usa para se locomover de maneira eficiente. Na Figura 14, observa-se as quatro questões avaliadas (1, 4, 7 e 13, grifadas em verde):

Figura 14: Card avaliativo, aplicado no exemplo do projeto biomimético.



AVALIAÇÃO DO MÉTODO DAMC
CHECKLIST

- 1** Você considera que o método biomimético utilizado foi aplicado de maneira eficiente?
- 2** As características dadas como exemplos (de defesa) em organismos biológicos, foram adaptadas e aplicadas no projeto?
- 3** A possibilidade e capacidade de armazenamento, observada em organismos biológicos, pode ser aplicada enquanto inspiração ao projeto?
- 4** As estratégias de locomoção observadas como exemplo em organismos biológicos foram incorporadas ao processo e geraram resultados satisfatórios no projeto?
- 5** O método biomimético promoveu interações eficazes entre as categorias observadas e indicadas como mais adequadas ao projeto?
- 6** As redes de comunicação, conexão ou interação de organismos biológicos foram aproveitadas, influenciando alternativas do projeto?

- 7** O método DAMC biomimético proposto contribuiu para uma visão de sustentabilidade ambiental ou eficiência energética aplicada ao projeto?
- 8** A alternativa de solução gerada com o método foi capaz de beneficiar o projeto com princípios de economia de recursos materiais?
- 9** O método DAMC biomimético proposto demonstrou capacidade de aplicação de resultados gerando possíveis adaptações a diferentes condições de uso do produto?
- 10** A alternativa de solução gerada se propõe a utilizar energia de forma eficiente?
- 11** A capacidade de recuperação e resiliência de organismos biológicos influenciou os resultados obtidos pelo método?
- 12** O método DAMC biomimético se integrou harmoniosamente e criativamente ao processo de geração de alternativas em seu projeto?
- 13** Este método DAMC possibilitou soluções inovadoras melhores que os métodos tradicionais já conhecidos?
- 14** Você pode indicar sugestões à formulação e proposta do método DAMC e que possam ser aproveitadas nas próximas aplicações do método?

Fonte: os autores. (2024)

Por outro lado, o método se mostrou eficaz na proposição de soluções sustentáveis para a proposta do solado em quatro camadas, por meio de uma possível aplicação de mecanismos inspirados em ventosas dos polvos. Tal ideia pode evitar o uso de substâncias não sustentáveis comumente usadas para colar partes em calçados. Atualmente, os autores deste artigo estão aplicando o método proposto em outros contextos, de modo a validar sua eficácia com projetos de outras complexidades. Assim, dados quantitativos aplicados nestes projetos poderão fornecer informações quantitativas comparando sua eficiência em vários aspectos, inclusive questões de impacto ambiental e economia de recursos materiais e energéticos.

No caso do exemplo aplicado, comparando o projeto inicial (sem a utilização do método DAMC) e o projeto final (com a utilização do método DAMC) ficou evidente que mais oportunidades de atuação foram observadas no design do calçado, as quais só foram trazidas à tona por meio do processo metodológico idealizado aqui apresentado.

7 Limitações e futuras possibilidades do Método DAMC

O Método DAMC foi desenvolvido com o intuito de servir e auxiliar projetos de produtos

preferencialmente físicos que venham a se beneficiar das atribuições e características da natureza.

Sua aplicação em projetos gráficos, digitais e serviços ainda se faz plausível como uma maneira de trazer associação do conceito do projeto com elementos da natureza, por meio da forma, seja ela em ilustrações, ícones, padrões e grafismos; ainda assim, tais projetos não contemplam total amplitude do que a ferramenta pode oferecer, em termos de aplicação prática.

Nesta primeira versão do método, existem limitações quanto ao repertório inserido. Pensando no vasto cenário de possibilidades de projetos com características únicas, observa-se a realidade que, apesar das 69 análises presentes, o processo não tenha a capacidade de propor insights satisfatórios o suficiente para todo e qualquer projeto em que ele seja submetido, visto certos casos de projetos gráficos ou digitais com os exemplos dados nos cards.

7.1 Futuras possibilidades na aplicação do método

Como diretriz para pesquisas e aperfeiçoamento do método, é interessante o conceito e possibilidade de estruturá-lo como um algoritmo constantemente alimentado com novas informações, as quais poderão ser adicionadas conforme mais projetos forem submetidos à ferramenta e que trará retornos de como a plataforma poderá ser mais eficaz.

Numa versão mais avançada, é plausível pensar o método DAMC associado a inteligências artificiais (IA). Em uma estrutura ideal, o uso da inteligência artificial poderá auxiliar na aplicação da ferramenta de forma mais individualizada e personalizada para cada projeto, em que a IA terá o trabalho de processar informações acerca do trabalho submetido e direcionar o usuário a caminhos, categorias e características que façam mais sentido ao projeto. Ademais, a fusão do método com as IA's generativas poderá contribuir com gerações de alternativas preliminares na etapa de aplicação (etapa 3) do método.

8 Resultados e discussões

Esse tipo de abordagem biomimética com categorias identificadas possibilitou uma ampla visão na inter-relação entre elementos de projetos, envolvendo diversos aspectos, gerando um processo criativo com maior número de alternativas, obtendo-se uma alta probabilidade de se atingir boa qualidade no atendimento a aspectos antes não envolvidos.

Observou-se que a proposta prática desenvolvida e validada no exemplo obteve implicações práticas significativas ao ser aplicada a análise das categorias, definidas no método como defesa, armazenamento, mobilidade e conexões, inspiradas na natureza. No exemplo mostrado, utilizou-se de características e comportamento das cobras, do canguru e das tartarugas. De acordo com outros tipos de problemas apresentados ao método, o mesmo pode oferecer diversos exemplos numa abordagem que inicialmente contou-se com 69 análises naturais, envolvendo plantas, animais e fenômenos da natureza. Não obstante, esse número pode ser maior contanto com uma atualização da ferramenta de busca deste método digital apresentado, fazendo com que as respostas oferecidas sejam favoráveis às demandas de projetos, e assim, possam não apenas reduzir o consumo de matéria-prima e energia durante a fabricação, mas também minimizar o impacto ambiental ao longo do ciclo de vida do produto.

O uso deste método demonstrou uma facilitada adoção de práticas de pensamento heurístico voltado para produção sustentável, promovendo a inovação contínua das soluções encontradas.

A etapa final de avaliação (checklist) do método proporcionou, na prática realizada, uma

demonstração de que o mesmo pode oferecer mecanismos mais eficientes no desenvolvimento de produtos e serviços, com dinamismo no enfrentamento de desafios.

9 Considerações finais

A ferramenta metodológica proposta combina uma abordagem sistemática a partir de pesquisa bibliográfica referenciada com análise e exemplos práticos, fornecendo uma base passível de exploração e aplicação de princípios da taxonomia biomimética em produtos e serviços inovadores. Ao aplicar o método DAMC proposto, pesquisadores e profissionais podem aproveitar o potencial da biomimética para promover a eficiência em diversos setores produtivos e industriais, além de propiciar uma visão sustentável dos mesmos, assim como a natureza já o desempenha.

Um dos desafios observados em práticas projetuais é a tradução precisa de princípios biológicos para aplicações tecnológicas viáveis, considerando as limitações técnicas, sociais e econômicas. Daí a necessidade do pensamento interdisciplinar necessário para uma implementação bem sucedida dos projetos seja em qualquer âmbito.

Ao mesmo tempo, sugere-se que o método seja analisado e revisto, numa prática pouco ocorrida de se analisar o processo em si, ou seja: como se concebe novos projetos, fazendo com que projetistas, designers e outros participantes afins possam gerir melhor as práticas projetuais, atualizando-as e se beneficiando com as novas perspectivas do método proposto.

Espera-se que o uso deste método possa impulsionar avanços significativos no desenvolvimento de alternativas aplicáveis em diversas áreas, seja na indústria de produtos e serviços, construção civil, tecnologia industrial ou médica, sistemas de transportes, logística e comunicação, algoritmos para redes de serviços, dentre outras. E oportunamente, outras versões do método poderão aproveitar tecnologias digitais em expansão, para se beneficiar do processamento de novas informações, contribuindo na geração de alternativas e nutrindo o próprio sistema do método proposto.

Os autores agradecem o Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica, FAPEMG, Edital PRPq 04/2023.

Referências

ARRUDA, A. et al. **Tópicos em design: biomimética, sustentabilidade e novos materiais**. Curitiba, PR: Insight, 2019. ISBN 978-85-62241-65-9

ASK NATURE. **Biomimicry Taxonomy** v.6.1, 2008. Disponível em:

http://toolbox.biomimicry.org/wp-content/uploads/2014/12/Taxonomy_6.1_thumb.png

ASK NATURE, 2024. Disponível em: <https://asknature.org/>

BENYUS, Janine M. **Biomimética: Inovação Inspirada pela Natureza**. São Paulo: Cultrix, 2003.

BURKETT, Jeremy R.; HIGHT, Lauren M.; WILKER, Jonathan J. Oysters Produce an Organic–Inorganic Adhesive for Intertidal Reef Construction. **Journal of the American Chemical Society**. Ago/2010, v.132, n.36, p.12531–12533, Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ja104996y#>

DETANICO, Flora Bittencourt. **Método e Repositório Biosign: sistematização biomimética para aplicação dos princípios de solução da natureza no processo de desenvolvimento de produtos**. Tese. Porto Alegre: UFRGS. Escola de Engenharia. Faculdade de Arquitetura. Programa de Pós-

Graduação em Design, 2021. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/224269>

FRENCH, Michael. **Invention and Evolution: Design in Nature and Engineering**, 1994. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=SreFrH4u9tkC&hl=pt-BR&source=gbs_navlinks_s

MASTROTI, Ricardo. **Biomimética e Sustentabilidade: aprendendo com a natureza**, s.d. Disponível em: <http://www.biomimetica.com.br/>

MOREIRA, Catarina. Simbiose, **Revista Ciência Elementar**. V2(1):102. 2014. Disponível em: <https://rce.casadasciencias.org/rceapp/art/2014/102/>

MUELLER, J.; GIBSON, L. J. Structure and mechanics of water-holding feathers of Namaqua sandgrouse (*Pterocles namaqua*). **Journal of The Royal Society Interface**. 12 Abril 2023. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsif.2022.0878>

RMIT University. **Bio-inspired: How lobsters can help make stronger 3-D printed concrete**, 2021. Disponível em: https://techxplore.com/news/2021-01-bio-inspired-lobsters-stronger-d-concrete.html#google_vignette

ROBINSON, Ney. Contribuições para Biomimética no Brasil: Laboratório de Robótica da CENPES Petrobras. In: ARRUDA, Amilton J.V. **Map Research Bionics Transdisciplinary Ecosystems in Bionics, Biodesign and Biomimicry: scientific and technological aspects for a design culture**. São Paulo: Blucher, 2023.

SILVA, Itamar Ferreira; NASCIMENTO, Diego Lima; SOUSA, Geysla Bezerra; MENDES, Lucas Barros da Silva; ALVES, Daniel Ferreira. Biomimética como método criativo para concepção de artefatos nos cursos de Design de Produtos. In: **Tópicos em Design: biomimética, sustentabilidade e novos materiais**. Curitiba, PR: Insight, 2019.