



Módulos de Formação WP3 sobre Design de Processos de Biomimética

Tarefa 3.1/ A1. Desenvolvimento de Kit de Autoaprendizagem para alunos de Veteranos - LP: ATS / CPs: TODAS AS SOLUÇÕES LET'S MIMIC

Uma solução refere-se aos passos aplicados para resolver o desafio identificado, através da biomimética.

Solução: Impressões 3D com alteração de cor

PROJETO DE BIOMIMETISMO	Descrição
Passo 2 – Biologise	2.a Pergunta-te como é que a natureza pode resolver isto. Como é que os animais são capazes de uma mudança rápida de cor em situações críticas com menor consumo de energia? Contexto Na natureza, o camaleão muda de cor usando células especializadas chamadas cromatóforos, que ajustam rapidamente o pigmento e refletem diferentes comprimentos de onda da luz. Estímulos externos controlam este processo e não requerem uma grande quantidade de energia. 2.b Pergunte a si próprio o que o seu design pretende fazer. Determine as funções-chave do seu projeto e identifique contextos na natureza. Funções podem referir-se ao papel desempenhado por um organismo adaptações ou comportamentos que lhe permitem sobreviver. Também podem referir-se a algo que precisa que a sua solução de design realize. • Mudança dinâmica de cor: Os camaleões mudam de cor para camuflagem e comunicação. • Eficiência do material: A pele do Camaleão ajusta o pigmento sem desperdício. • Alta precisão: Cromatóforos em tons de controlo de pele camaleão. 2.c Inverta a questão. Considere funções opostas. Como é que os organismos na natureza conseguem mudar de cor para se adaptarem rapidamente ao seu ambiente?
Passo 3 – Descobrir	3.A Procure modelos naturais que correspondam às mesmas funções e contexto da sua solução de design. Função Mudança rápida de cor para camuflagem e comunicação. Modelos naturais • Cefalópode: Utilização de um sistema complexo de células pigmentárias para adaptações instantâneas.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

- **Borboletas:** Mudam de cor consoante o ângulo de visão, melhorando a atração e proteção do parceiro.
- **Aranhas:** Utilizam pigmentação e textura para se misturarem com o habitat.

3.b Identificar especialistas e conectar-se com comunidades de biólogos e naturalistas.

- Universidades e instituições de investigação (Universidade de Harvard, Instituição Smithsonian)
- Comunidades profissionais (Sociedade Internacional de Biologia, Sociedade de Ecologia)
- Fóruns e grupos online (ResearchGate)
- Organizações e eventos locais

Passo 4 – Resumo

4.a Resumir os elementos-chave da estratégia biológica. Destacar as funções principais e palavras-chave. Se possível, crie um diagrama ou desenho e/ou encontre imagens que possam informar o design.

Funções principais

- **Mudança de cor:** Os camaleões mudam de cor para camuflagem, comunicação e regulação da temperatura.
- **Pigmento e cores estruturais:** Os camaleões usam tanto pigmentos como cores estruturais para conseguir as suas mudanças de cor.
- **Cromatóforos:** Os camaleões possuem células portadoras de cor que contêm pigmentos responsáveis pela sua mudança de cor.
- **Iridóforos:** Os camaleões têm células iridóforas que produzem cores estruturais através de cristais de tamanho nanométrico que refletem a luz.

Palavras-chave

Adaptabilidade, camuflagem, comunicatividade, instantaneidade, controlo e reflexão.



<https://asknature.org/innovation/colourful-3d-printing-inspired-by->

chameleons/

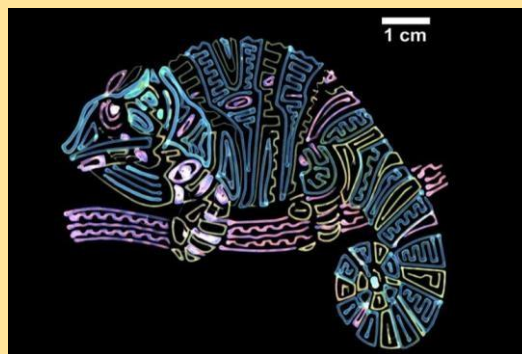


**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

4.b Traduzir lições da natureza em estratégias de design. Reescreva a estratégia sem usar termos biológicos e ligue-a às funções e ao contexto a partir de uma perspectiva humana.

- **Adaptação dinâmica de cores:** Crie a impressora para permitir alterações imediatas de cor com base nas preferências do utilizador ou em pistas ambientais.
- **Utilização eficiente dos materiais:** Otimize o processo de impressão para usar um único tipo de material, alcançando uma ampla gama de cores e efeitos.
- **Precisão e detalhe:** Incorpore mecanismos de controlo avançados para garantir uma aplicação de cor precisa e detalhada durante a impressão.
- **Interface centrada no utilizador:** Desenvolva uma interface intuitiva que permita aos utilizadores selecionar e personalizar facilmente cores e padrões.



<https://news.illinois.edu/view/6367/809468>

Passo 5 – Emular

5.a Liste as suas informações principais e explore o máximo de ideias possível. Características

Adaptação dinâmica de cores.

Ideias

Joalharia personalizada, vestuário adaptativo, arte dinâmica, capas de telemóvel, exteriores ou interiores de carros, brinquedos interativos, monitores de saúde vestíveis, próteses, embalagens de produtos

5.b Organize as suas ideias em categorias que incluam as funcionalidades, o contexto, as restrições, etc., e selecione os conceitos de design que melhor se adequam à sua solução.

Características

- Muda a cor com base na iluminação ou na preferência do utilizador.
- Ajusta a cor para combinar com diferentes roupas ou ambientes.
- Muda a cor por motivos estéticos ou funcionais.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Passo 6 – Avaliar

- Muda a cor por personalização ou segurança.
- Muda a cor para atrair atenção ou transmitir mensagens diferentes.

Contexto

Aplicações na indústria, educação, ambientes militares e saúde.

Restrições

- Complexidade de integrar mistura de cores em tempo real.
- Desafios em manter a qualidade da impressão durante as transições de cor.
- Investimento inicial em tecnologia e materiais.
- Equilibrar a acessibilidade com funcionalidades avançadas.
- Garantir que a interface é intuitiva para utilizadores não técnicos.
- Fornecer apoio e recursos para diferentes origens de utilizadores.

Ideia selecionada

Roupa adaptativa que ajusta a sua cor para combinar com diferentes roupas ou ambientes.

6.a Avaliar o(s) conceito(s) de design em relação ao seu alinhamento com os critérios e restrições do desafio de design, bem como a sua compatibilidade com os sistemas da Terra. Avaliar a viabilidade do modelo técnico e de negócio.

Os conceitos de design para a impressora 3D que muda de cor alinham-se em grande parte com os critérios do desafio de design, especialmente em termos de inovação e sustentabilidade. No entanto, é necessário enfrentar desafios na implementação técnica e na gestão de custos. O modelo de negócio parece viável, especialmente se apoiado por parcerias estratégicas e um foco na sustentabilidade, que esteja alinhado com as tendências atuais do mercado e as preferências dos consumidores. No geral, com planeamento e execução cuidadosos, o projeto tem potencial para o sucesso.

6.b Revê e revisita os passos anteriores conforme necessário para gerar uma solução viável.

Ao rever e refinar cada etapa, a solução proposta para uma impressora 3D que muda de cor pode tornar-se mais viável. Focar-se em tecnologia simplificada, materiais sustentáveis, design centrado no utilizador e um modelo de negócio robusto aumentará as hipóteses de sucesso, garantindo alinhamento com os objetivos ambientais e as exigências do mercado. O feedback regular e a colaboração serão fundamentais para adaptar a solução à medida que esta evolui.

Recursos adicionais:

<https://biomimicry.org>



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



<https://asknature.org/innovation/colourful-3d-printing-inspired-by-chameleons>



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Módulos de Formação WP3 sobre Design de Processos de Biomimética

Tarefa 3.1/ A1. Desenvolvimento de Kit de Autoaprendizagem para alunos de

Veteranos - LP: ATS / CPs: TODOS AS SOLUÇÕES LET'S MIMIC

Uma solução refere-se aos passos aplicados para resolver o desafio identificado, através da biomimética.

Solução: O pigmento branco natural do escaravelho *Cyphochilus*

PROJETO DE BIOMIMETISMO	Descrição
Passo 2 – Bibliologizar	2.a Pergunta-te como é que a natureza pode resolver isto. Como é que certos organismos podem refletir a luz de forma eficaz para melhorar a sua camuflagem? Contexto Alguns organismos refletem a luz de forma eficiente através de estruturas especializadas, como escalas microscópicas ou nanoestruturas, que manipulam a luz a um nível de comprimento de onda. Estas adaptações permitem-lhes fundir-se perfeitamente com o ambiente, refletindo as cores e padrões à sua volta. Ao imitar as condições de luz circundantes, melhoram a sua camuflagem, dificultando que predadores ou presas os detectem. Esta reflexão eficiente da luz requer frequentemente energia mínima, permitindo que estes organismos conservem recursos enquanto maximizam a sua sobrevivência. 2.b Pergunte a si próprio o que o seu design pretende fazer. Determine as funções-chave do seu projeto e identifique contextos na natureza. Funções podem referir-se ao papel desempenhado por um organismo adaptações ou comportamentos que lhe permitem sobreviver. Também podem referir-se a algo que precisa que a sua solução de design realize. • Reflexão de luz: Organismos que usam estruturas microscópicas para se camuflar, como o escaravelho <i>Cyphochilus</i>. • Composição não tóxica: Plantas e microrganismos que produzem pigmentos naturais como a clorofila. • Durabilidade e estabilidade: Pigmentos nas asas de borboleta que resistem aos UV e às condições meteorológicas. 2.c Inverta a questão. Considere funções opostas. Como é que os animais camuflam as suas cores para se adaptarem a diferentes ambientes de habitat?



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Passo 3 – Descobrir

3.a Procure modelos naturais que correspondam às mesmas funções e contexto da sua solução de design.

Função

Reflexão de luz.

Modelos naturais

- **Asas de borboleta:** As borboletas têm estruturas microscópicas nas asas que interagem com a luz, gerando efeitos iridescentes. Isto permite-lhes camuflar-se no seu ambiente natural e atrair parceiros.
- **Pele de camaleão:** Os camaleões têm células especiais chamadas cromatóforos que lhes permitem mudar rapidamente de cor dependendo do ambiente ou estado emocional, ajudando-os a esconder-se de predadores ou a comunicar com outros camaleões.
- **Corais:** Os corais desenvolvem pigmentos naturais que protegem os seus tecidos dos danos causados pela radiação ultravioleta, ao mesmo tempo que possuem cores vibrantes que contribuem para a diversidade dos corais nos recifes.
- **Aranhas:** Certas aranhas desenvolvem teias com padrões e cores que correspondem ao seu fundo natural, protegendo-se de predadores e ajudando-as a atrair presas.

3.b Identificar especialistas e conectar-se com comunidades de biólogos e naturalistas.

- Universidades locais.
- Instituições de investigação.
- Sociedade Entomológica da América.
- Sociedade para a biologia integrativa e comparada.
- Comunidades e fóruns online.
- Conferências e workshops.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Passo 4 – Resumo

4.a Resumir os elementos-chave da estratégia biológica. Destacar as funções principais e palavras-chave. Se possível, faça um diagrama/desenho e/ou encontre imagens que possam informar o design.

Funções principais:

- **Dispersão da luz:** A função principal das microestruturas no exoesqueleto do escaravelho *Cyphochilus* é dispersar a luz, resultando numa aparência branca brilhante.
- **Produção de cor:** Na natureza, as microestruturas podem produzir cores através da interferência e dispersão das ondas de luz. Isto é diferente dos pigmentos químicos, pois a cor é gerada pela estrutura física e não por um composto químico.
- **Otimização da interação com a luz:** As escamas não uniformes no exoesqueleto do escaravelho *Cyphochilus* são otimizadas para interagir com a luz de forma a melhorar a sua visibilidade. Esta otimização garante que a coloração branca do escaravelho é altamente eficaz no seu ambiente natural.



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Palavras-chave

Microestruturas, ondas de luz, dispersão da luz, exoesqueleto, escamas não uniformes, filamentos espaçados irregularmente.



<https://asknature.org/innovation/super-white-material-inspired-by-the-Ciphochilus-Escaravelho/>

4.b Traduzir lições da natureza em estratégias de design. Reescreva a estratégia sem usar termos biológicos e ligue-a às funções e ao contexto a partir de uma perspectiva humana.

- **Superfícies brilhantes e refletoras:** Desenvolva superfícies que refletem eficazmente a luz, criando uma aparência brilhante e apelativa.
- **Materiais seguros e ecológicos:** Utilize materiais de origem natural e amigas do ambiente, garantindo que não representam riscos para a saúde dos indivíduos nem prejudicam o planeta.
- **Desempenho duradouro:** Desenvolva produtos resilientes a vários fatores ambientais, garantindo que mantenham a sua qualidade e aparência ao longo do tempo.
- **Opções de cor versáteis:** Desenvolva produtos que se adaptem a diferentes ambientes ou preferências pessoais, permitindo alterações de cor ou aparência conforme necessário.



<https://www.jacksonsart.com/blog/2021/09/10/pigment-colour-index-pigmentos brancos/>

Passo 5 – Emular

5.a Liste as suas informações principais e explore o máximo de ideias possível. Características

Superfícies brilhantes e refletoras, materiais seguros e ecológicos, desempenho duradouro, opções de cor versáteis



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Ideias

Alimentos saudáveis e funcionais, ingredientes estáveis na prateleira, tintas ecológicas, revestimentos para edifícios, cosméticos, embalagens, têxteis, decoração exterior e interior, brinquedos

5.b Organize as suas ideias em categorias que incluam as funcionalidades, o contexto, as restrições, etc., e selecione os conceitos de design que melhor se adequam à sua solução.

Características

- **Superfícies brilhantes e refletoras:** tintas ecológicas, revestimentos refletivos e resistentes à água para edifícios, produtos cosméticos.
- **Materiais seguros e ecológicos:** embalagens biodegradáveis, materiais não tóxicos, moda e têxteis, alimentos saudáveis e funcionais, ingredientes estáveis na prateleira.
- **Performance duradoura:** equipamento para exteriores, decoração durável.
- **Opções de cores versáteis:** moda e têxteis, brinquedos e produtos educativos, paletas de cores personalizáveis.

Contexto

Bens de consumo, casa e habitação, aplicações ao ar livre, educação e envolvimento comunitário.

Restrições

- **Limitações dos materiais:** É necessário obter materiais sustentáveis e não tóxicos, que sejam eficazes e esteticamente agradáveis.
- **Considerações de custo:** Os produtos devem ser acessíveis para incentivar a adoção generalizada, mantendo a qualidade.
- **Requisitos de durabilidade:** Os itens devem resistir a fatores ambientais sem se degradarem rapidamente.
- **Conformidade regulamentar:** Garantir que os produtos cumprem os padrões de segurança e cumprem as regulamentações ambientais relevantes.

Ideia selecionada

Ingredientes Estáveis à Conservação: Desenvolva produtos alimentares com ingredientes com longa vida útil sem necessidade de conservantes artificiais, garantindo que permanecem frescos e seguros para consumo



Passo 6 – Avaliar

6.a Avaliar o(s) conceito(s) de design relativamente à sua alinhamento com os critérios e restrições do desafio de design, bem como a sua compatibilidade com os sistemas da Terra. Avalie a viabilidade tanto do modelo técnico como do modelo de negócio.

Os conceitos de design inspirados no escaravelho *Cyphochilus* alinham-se bem com os critérios do desafio de design e demonstram compatibilidade com os sistemas da Terra através de práticas sustentáveis. Os avanços em bioquímica apoiam a viabilidade técnica de obter e produzir um



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



pigmento branco natural, enquanto o modelo de negócio é reforçado pelas tendências do mercado que favorecem produtos ecológicos. Enfrentar restrições e investir em investigação e desenvolvimento será fundamental para levar estes conceitos ao mercado com sucesso.

6.b Rever e rever os passos anteriores conforme necessário para gerar uma solução viável.

Ao rever e refinar as etapas anteriores do processo de design, podemos criar um plano robusto para desenvolver um pigmento branco natural e não tóxico, inspirado no escaravelho *Cyphochilus*. Focar no refinamento do produto, superar desafios e executar um plano de implementação abrangente irá aumentar a viabilidade desta solução no mercado. Esta abordagem não só responderá às exigências dos consumidores por produtos sustentáveis, como também promoverá uma relação mais saudável com o nosso ambiente.

Recursos adicionais:

<https://biomimicry.org>

<https://asknature.org/innovation/super-white-material-inspired-by-the-cyphochilus-beetle>



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Módulos de Formação WP3 sobre Design de Processos de Biomimética

Tarefa 3.1/ A1. Desenvolvimento de Kit de Autoaprendizagem para alunos de

Veteranos - LP: ATS / CPs: TODAS AS SOLUÇÕES LET'S MIMIC

Uma solução refere-se aos passos aplicados para resolver o desafio identificado, através da biomimética.

Solução: Os túneis dos montes de térmitas

PROJETO DE BIOMIMETISMO	Descrição
Passo 2 – Biologizar	2.a Pergunta-te como é que a natureza pode resolver isto. Qual é a estratégia da natureza para criar sistemas naturais de ventilação que regulem a temperatura e o fluxo de ar sem necessidade de energia externa? Contexto Os montes de térmitas são concebidos com uma rede de túneis que puxam ar fresco da base e expulsam ar quente pelo topo, utilizando correntes de convecção. Os montículos de térmitas aproveitam o fluxo natural de ar, usando diferenças de temperatura para criar circulação. Mesmo em calor extremo, os termiteiros mantêm um ambiente interno estável. A estrutura do monte fornece arrefecimento e fluxo de ar sem qualquer consumo de energia, dependendo exclusivamente do design e da dinâmica natural do fluxo de ar. 2.b Pergunte a si próprio o que o seu design pretende fazer. Determine as funções-chave do seu projeto e identifique contextos na natureza. Funções podem referir-se ao papel desempenhado por um organismo adaptações ou comportamentos que lhe permitem sobreviver. Também podem referir-se a algo que a sua solução de design precisa de cumprir. • Melhorar a eficiência energética: Os montes de térmitas utilizam ventilação natural e massa térmica para regular as temperaturas internas com um consumo mínimo de energia. • Manter o conforto térmico: Os materiais de construção dos montículos de térmitas, como o solo e a argila, têm elevada capacidade térmica. Isto permite que o monte absorva e armazene calor durante o dia e o liberte durante a noite mais fresca, ajudando a estabilizar as temperaturas internas. • Regulação da humidade: As térmitas mantêm um ambiente húmido dentro do túmulo, o que ajuda a regular a temperatura e a humidade. A humidade no solo e as atividades das térmitas contribuem para um microclima estável. • Arquitetura adaptativa: A arquitetura dos montículos de térmitas pode variar consoante o ambiente externo. Em habitats mais frescos, os montes são concebidos para minimizar



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



rados para melhorar a ventilação e o arrefecimento

2.c Inverta a questão. Considere funções opostas.

a
p
e
r
d
a
d
e
c
a
l
o
r
,
e
n
q
u
a
n
t
o
e
m
á
r
e
a
s
m
a
i
s
q
u
e
n
t
e
s
s
ã
o
e
s
t
r
u
t

	Qual é a estratégia da natureza para criar sistemas naturais de controlo da humidade que manteram níveis ótimos de humidade?
Passo 3 – Descobrir	3.a Procure modelos naturais que correspondam às mesmas funções e contexto da sua solução de design. Funções • Regulação térmica: arrefecimento passivo e regulação da temperatura. • Ventilação natural: consumo mínimo de energia. Modelos naturais • Térmitas (<i>Macrotermes michaelseni</i>): As térmitas em África mantêm temperaturas internas estáveis apesar das condições externas extremas. Conseguem isto através de sistemas de ventilação complexos, massa térmica e materiais isolantes. • Brânquias dos peixes e os seus pulmões: As brânquias nos peixes e os pulmões em animais que respiram ar são altamente eficientes na troca gasosa, permitindo uma função respiratória ótima com energia mínima. • Colmeias: As abelhas regulam a temperatura dentro das colmeias abanando as asas para criar fluxo de ar e agrupando-se para gerar calor. Este sistema de ventilação natural ajuda a manter um ambiente estável para a colmeia • Espinhos de cacto: Os cactos em ambientes áridos usam os espinhos para recolher e direccionar gotas de água do nevoeiro. Os espinhos também fornecem sombra e reduzem o movimento do ar em redor do cacto, minimizando a perda de água e ajudando a regular a temperatura • Ninhos de formigas: Algumas espécies de formigas constroem ninhos com sistemas de túneis intrincados que promovem o fluxo de ar e regulam a temperatura. Estes túneis permitem a ventilação passiva, ajudando a manter o ninho fresco em climas quentes • Estruturas foliares: Muitas plantas têm folhas com estruturas que promovem a ventilação natural e o arrefecimento. Por exemplo, os estomas das folhas abertas e fechadas para regular a troca de gases e a perda de água, ajudando a manter condições internas ótimas • Pinguins agrupam-se: Pinguins-imperador juntam-se para conservar calor e proteger-se do frio. Este comportamento coletivo reduz a perda de calor e ajuda a manter uma temperatura estável dentro do huddle 3.b Identificar especialistas e conectar-se com comunidades de biólogos e naturalistas.



- Departamentos universitários e institutos de investigação.
- Institutos de investigação.
- Instituto de Biomimética.



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Passo 4 – Resumo

- Sociedades de ecologia (por exemplo, Ecological Society of America (ESA)).
- Museus de história natural.
- Revistas científicas e conferências.

4.a Resuma os elementos-chave da estratégia biológica. Destacar as funções principais e palavras-chave. Se possível, crie um diagrama ou desenho e/ou encontre imagens que possam informar o design.

Funções principais

- **Regulação térmica:** Os montes são construídos com base em solo e argila, que têm elevada capacidade térmica. Isto permite que o monte absorva e armazene calor durante o dia e o liberte durante a noite mais fria, estabilizando as temperaturas internas.
- **Ventilação natural:** Os montículos de térmitas têm uma rede de túneis e chaminés que facilitam a circulação natural do ar. O ar quente sobe e sai pelas chaminés, criando uma corrente de convecção que puxa ar mais frio da base.



Gerado com ferramenta de IA.

4.b Traduza lições da natureza em estratégias de design. Reescreva a estratégia sem usar termos biológicos e ligue-a às funções e ao contexto a partir de uma perspectiva humana.

- **Regulação térmica:** Criar edifícios com sistemas de ventilação bem desenhados e elementos de massa térmica. Incorpore características como paredes espessas ou materiais isolantes que mantenham a temperatura interior estável sem depender de mecânica aquecimento ou arrefecimento. Certifique-se de que a disposição do edifício promove a circulação natural do ar para manter o conforto em condições meteorológicas variadas.
- **Ventilação natural:** Incorpore ventilações e aberturas estrategicamente colocadas para promover a circulação natural de ar por todo o edifício. Use elementos de design como tetos altos, aberturas de ventilação cruzada e aberturas de ar ajustáveis para melhorar a circulação de ar e manter



uma boa qualidade do ar interior.

Passo 5 – Emular

5.a Liste as suas informações principais e explore o máximo de ideias possível.



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Características

Temperaturas interiores estáveis com consumo mínimo de energia, melhoram a qualidade do ar e reduzem a dependência de sistemas mecânicos.

Ideias

Ventilação de chaminés, captadores de vento, materiais de alta capacidade térmica, materiais de mudança de fase, telhados verdes, paredes habitáveis, janelas e alavancas operáveis, fachadas dinâmicas, ventilação por purga noturna, dispositivos de sombreamento, orientação do edifício, pátios e átrios

5.b Organize as suas ideias em categorias que incluam as funcionalidades, o contexto, as restrições, etc., e selecione os conceitos de design que melhor se adequam à sua solução.

Características

- **Regulação térmica (temperaturas interiores estáveis com consumo mínimo de energia):** materiais de alta capacidade térmica, materiais de mudança de fase (PCMs), telhados verdes, paredes habitáveis, fachadas dinâmicas, orientação do edifício.
- **Ventilação natural (melhora a qualidade do ar e reduz a dependência de sistemas mecânicos):** ventilação em chaminés, captadores de vento, janelas operáveis, alavancas de ventilação, ventilação por purga noturna, dispositivos de sombra, pátios e átrios.

Contexto

- Climas com variações significativas de temperatura.
- Climas onde a ventilação natural pode melhorar significativamente a qualidade do ar interior.
- Novas construções ou grandes renovações onde a gestão térmica pode ser integrada cedo no processo de design.
- Novos edifícios e renovações onde o fluxo de ar possa ser otimizado.

Restrições

- Custos iniciais mais elevados e potencial complexidade na instalação.
- Pode ser necessário suporte estrutural adicional, e a manutenção pode ser intensiva.
- Flexibilidade limitada para estruturas existentes e adaptações.
- Pode exigir modificações estruturais significativas.
- Potencial para falhas mecânicas e manutenção.

Ideia selecionada



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



- **Materiais de alta capacidade térmica:** Tal como os montículos de térmitas, usam solo e argila para absorver e armazenar calor, utilizando materiais de alta



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

	A massa térmica nos edifícios pode ajudar a estabilizar as temperaturas interiores ao armazenar calor durante o dia e libertá-lo à noite.
Passo 6 – Avaliar	6.a Avaliar o(s) conceito(s) de design relativamente à sua alinhamento com os critérios e restrições do desafio de design, bem como a sua compatibilidade com os sistemas da Terra. Avaliar a viabilidade do modelo técnico e de negócio. Materiais com alta capacidade térmica têm a capacidade de absorver, armazenar e libertar quantidades significativas de calor. Nos edifícios, a utilização de materiais com elevada massa térmica pode ajudar a estabilizar as temperaturas interiores ao moderar as flutuações de temperatura. Restrições • Adequação climática: Os materiais de massa térmica são mais eficazes em climas com variações significativas de temperatura entre o dia e a noite. Em regiões com temperaturas consistentemente amenas ou extremas, os seus benefícios podem ser limitados. • Custos iniciais de construção: A incorporação de materiais de alta massa térmica, como betão, tijolo ou terra compactada, pode aumentar os custos iniciais devido à necessidade de materiais e técnicas de construção especializadas. • Considerações estruturais: O peso dos materiais de massa térmica requer um forte suporte estrutural, o que pode complicar o projeto e aumentar os custos. • Integração do projeto: O uso eficaz da massa térmica requer um design cuidadoso e colocação dentro do edifício para maximizar a absorção e libertação de calor. Uma má integração pode levar a um desempenho subótimo. • Requisitos de isolamento: É necessário isolamento adequado para garantir que o calor armazenado é retido e não se perde para o ambiente exterior. Compatibilidade com os sistemas da Terra • Reduza o consumo de energia. • Promover a sustentabilidade. • Melhorar a qualidade do ar interior. Viabilidade técnica • Disponibilidade de materiais: Materiais de alta massa térmica, como betão, tijolo e terra batida, estão amplamente disponíveis e podem ser obtidos localmente, tornando-os tecnicamente viáveis para a maioria dos projetos de construção.

- **Flexibilidade de design:** Estes materiais podem ser integrados em vários designs de edifícios, desde os tradicionais aos modernos, permitindo flexibilidade nos estilos arquitetónicos.
- **Desempenho:** Quando devidamente desenhados e integrados, os materiais de massa térmica podem melhorar significativamente o desempenho térmico dos edifícios, reduzindo o consumo de energia e melhorando o conforto dos ocupantes.

Viabilidade do modelo de negócio

- **Poupança de custos:** Embora os custos iniciais de construção possam ser mais elevados, as poupanças a longo prazo nos custos energéticos podem tornar os materiais de massa térmica economicamente viáveis. A redução da dependência de sistemas mecânicos traduz-se em custos operacionais mais baixos.
- **Procura de mercado:** Existe uma procura crescente por soluções de construção energeticamente eficientes e sustentáveis, tornando os materiais de massa térmica uma opção atrativa para promotores e investidores.
- **Apoio regulatório:** Códigos de construção e regulamentos cada vez mais rigorosos, promovendo a eficiência energética e a sustentabilidade, apoiam a adoção de materiais de massa térmica.

6.b Rever e rever os passos anteriores conforme necessário para gerar uma solução viável.

Recursos adicionais:

<https://biomimicry.org>

Para gerar uma solução viável para manter temperaturas interiores estáveis com consumo mínimo de energia, melhorar a qualidade do ar e reduzir a dependência de sistemas mecânicos, o projeto proposto deve abordar: adequação climática, integração do projeto, avaliação do suporte estrutural e equilíbrio dos custos iniciais com poupanças a longo prazo.

<https://asknature.org/innovation/passively-cooled-building-inspired-by-termite-mounds>



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Módulos de Formação WP3 sobre Design de Processos de Biomimética

Tarefa 3.1/ A1. Desenvolvimento de Kit de Autoaprendizagem para alunos de

Veteranos - LP: ATS / CPs: TODAS AS SOLUÇÕES LET'S MIMIC

Uma solução refere-se aos passos aplicados para resolver o desafio identificado, através da biomimética.

Solução: Aerodinâmica das sementes de sicómoro

PROJETO DE BIOMIMETISMO

Descrição

Passo 2 – Bibliologizar

2.a Pergunta-te como é que a natureza pode resolver isto.

Como pode a natureza resolver o desafio com menos energia para criar um fluxo de ar substancial?

Contexto

Na natureza, a forma das asas da semente de sicómoro permite-lhe deslizar pelo ar, criando um movimento em espiral.

2.b Pergunte a si próprio o que o seu design pretende fazer.

Determine as funções-chave do seu projeto e identifique contextos na natureza. Funções podem referir-se ao papel desempenhado pelas adaptações ou comportamentos de um organismo que lhe permitem sobreviver. Também podem referir-se a algo que a sua solução de design precisa de cumprir.

Resumo das funções-chave e dos contextos da natureza

Função de Conceção	Contexto da Natureza (Adaptação)
Circulação eficiente de ar	Barbatanas de peixe, nadadeiras de baleia
Operação silenciosa	Asas de coruja, pele de tubarão
Durabilidade e design leve	Seda de aranha, estrutura óssea de pássaro
Regulação do calor	Térmitas, orelhas de elefante
Adaptabilidade e flexibilidade	Folhas de plantas (tropismo), termorregulação de pinguins
Sustentabilidade e materiais ecológicos	Bambu, conchas de molusco
Fluxo de ar disperso e uniforme	Peixes cardumes e regulação do fluxo de ar em colmeias

2.c Inverta a pergunta. Considere funções opostas

Como pode a natureza tentar restringir ou bloquear o fluxo de ar?



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Passo 3 – Descobrir	3.A Procure modelos naturais que correspondam às mesmas funções e contexto da sua solução de design. Funções
----------------------------	---



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

- **Circulação eficiente do ar:** Movimentar o ar de forma eficiente com energia mínima.
- **Operação silenciosa:** Funcionamento silencioso com ruído mínimo.
- **Semente de sicómoro (semente de ácer):** A estrutura em forma de asa da semente permite-lhe rodar e planar pelo ar de forma eficiente, usando princípios aerodinâmicos para cobrir grandes distâncias com energia mínima.

Modelos naturais

- **Asas de libélula:** As libélulas têm asas altamente eficientes que criam sustentação e propulsão com energia mínima, permitindo voos rápidos e ágeis.
- **Asas de morcegos:** Os morcegos utilizam uma membrana flexível que adapta a sua forma para um voo eficiente e controlado, otimizando o fluxo de ar à volta das asas para maior manobrabilidade.
- **Asas de coruja:** As corujas têm penas de asa especializadas com bordas serrilhadas que reduzem a turbulência e o ruído, permitindo um voo quase silencioso.
- **Asas de escaravelho:** Alguns escaravelhos, como o escaravelho titã, têm estruturas de asas que reduzem o ruído durante o voo graças à sua textura única das asas.
- **Penas do beija-flor:** Os beija-flores usam penas especializadas para minimizar o ruído enquanto pairam e se movem rapidamente.

3.b Identificar especialistas e conectar-se com comunidades de biólogos e naturalistas.

- Universidade e Instituições de Investigação (Universidade da Califórnia, Berkeley, Universidade de Harvard)
- Especialistas Específicos (Janine Benyus, Daniel Pauly, Mark Miodownik)
- Instituto de Biomimética
- Sociedade Americana de Engenheiros Mecânicos (ASME)
- Sociedade para a Biologia da Conservação.
- Revistas e publicações especializadas.
- Fóruns Online e Redes Sociais.
- Conferências e workshops (Biomimicry Global Design Challenge, Conferência Internacional sobre Sistemas Biomiméticos e Biohíbridos, Reunião Anual da Ecological Society of America (ESA)).
- Sociedade Internacional de Arquitetura Bioclimática (ISBA).



- Instituto Americano de Arquitectos (IAA).



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Passo 4 – Resumo

- Centros de natureza locais e jardins botânicos.
- Capítulos da Sociedade Audubon.
- Academia.edu.

4.a Resuma os elementos-chave da estratégia biológica. Destacar as funções principais e palavras-chave. Se possível, faça um diagrama/desenho e/ou encontre imagens que possam informar o design.

Funções principais

- **Circulação eficiente do ar:** Alcança um movimento de ar suave e eficiente com energia mínima e menos ruído
- **Autorotação:** Permite que a vaginha permaneça no ar por mais tempo e percorra distâncias maiores.
- **Forma curva:** Facilita a autorrotação da vagem de sementes.
- **Equilíbrio de peso e comprimento da asa:** Garante autorrotação suave durante a queda livre.



Direitos de Autor @Adobe Stock

4.b Traduza lições da natureza em estratégias de design. Reescreva a estratégia sem usar termos biológicos e ligue-a às funções e ao contexto a partir de uma perspectiva humana.

- **Circulação eficiente do ar:** Projete as pás do ventilador para criar um fluxo de ar suave e sem esforço. As lâminas devem ser moldadas para mover o ar de forma eficaz, usando energia mínima, garantindo um efeito de arrefecimento de alto desempenho.
- **Garantir um funcionamento silencioso:** Incorpore funcionalidades que minimizem o ruído durante a operação. Projete as pás do ventilador e o motor para reduzir as vibrações e o som, criando um ambiente calmo e agradável.
- **Equilíbrio de peso e comprimento da asa:** Use materiais que

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

sejam tanto resistentes como leves. Isto garante que o ventilador é durável e fácil de manusear, mas suficientemente robusto para suportar o uso regular.



- **Regule a temperatura de forma eficiente:** Integre elementos de design que ajudem a gerir e manter uma temperatura confortável. Isto pode envolver a otimização dos padrões de fluxo de ar para melhorar o arrefecimento e melhorar o controlo geral da temperatura.



Gerado com IA

Passo 5 – Emular

5.a Liste as suas informações principais e explore o máximo de ideias possível. Características

Maximizar o fluxo de ar com energia mínima, redução de ruído, otimização de materiais e materiais sustentáveis

Ideias

Lâminas curvas, lâminas aerodinâmicas, menos pás e pás equilibradas em termos de peso e comprimento.

5.b Organize as suas ideias em categorias que incluam as funcionalidades, o contexto, as restrições, etc., e selecione os conceitos de design que melhor se adequam à sua solução.

Características

- **Design das lâminas:** Lâminas semelhantes a asas modeladas a partir das sementes de sicómoro e asas de libélula para aumentar a eficiência do fluxo de ar.
- **Mecanismo de velocidade variável:** Ângulos ou velocidades ajustáveis das pás para otimizar o fluxo de ar com base no tamanho e nas condições da sala.

Contexto

- **Uso residencial:** O ventilador deve ser adequado para vários ambientes domésticos, incluindo salas de estar, quartos e escritórios.

Restrições

- **Orçamento:** As considerações de custo para materiais e processos de produção precisam de ser equilibradas com as funcionalidades e funcionalidades desejadas.



Passo 6 – Avaliar	6.a Avaliar o(s) conceito(s) de design relativamente ao seu alinhamento com o os critérios e restrições do desafio de design, bem como a sua compatibilidade
--------------------------	---



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

com os sistemas da Terra. Avalie a viabilidade tanto do modelo técnico como do modelo de negócio.

Os conceitos de design para o ventilador de teto inspirado em sementes de sicômoro alinham-se bem com os critérios do desafio, oferecendo movimento eficiente do ar, operação silenciosa, resistência, adaptabilidade e sustentabilidade ambiental. São compatíveis com os sistemas da Terra, promovendo a eficiência energética e reduzindo o desperdício. Os modelos técnicos e de negócio são viáveis, embora sejam necessárias considerações para custos e educação de mercado para uma implementação bem-sucedida — as funcionalidades inovadoras e o design ecológico posicionam o adepto de forma favorável num mercado em crescimento para produtos sustentáveis para o lar.

6.b Rever e rever os passos anteriores conforme necessário para gerar uma solução viável.

Ao rever e refinar cada conceito de design, o ventilador de teto pode ser melhor alinhado com os critérios de desafio de design, garantindo movimento eficiente do ar, operação silenciosa e adaptabilidade, aproveitando materiais ecológicos. A abordagem revista aborda a viabilidade técnica e empresarial, com foco na sustentabilidade e na procura do consumidor. O design final incorporará funcionalidades avançadas e práticas ambientalmente conscientes, posicionando-o como um produto competitivo e inovador no mercado.

Recursos adicionais:

<https://biomimicry.org/>

<https://asknature.org/innovation/aerodynamic-ceiling-fan-inspired-by-sycamore-seedpods>



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Módulos de Formação WP3 sobre Design de Processos de Biomimética

Tarefa 3.1/ A1. Desenvolvimento de Kit de Autoaprendizagem para alunos de

Veteranos - LP: ATS / CPs: TODAS AS SOLUÇÕES LET'S MIMIC

Uma solução refere-se aos passos aplicados para resolver o desafio identificado, através da biomimética.

Solução: Sanitas portáteis e sem água

PROJETO DE BIOMIMETISMO	Descrição
Passo 2 – Bibiologizar	2.a Pergunta-te como é que a natureza pode resolver isto. Como é que a natureza resolve a filtração natural? Contexto A natureza oferece várias soluções para os desafios do saneamento através da gestão eficiente de resíduos e reciclagem de recursos. Por exemplo, as zonas húmidas filtram poluentes da água através da ação das raízes das plantas e da atividade microbiana. Este princípio pode ser aplicado a sistemas de saneamento que tratam resíduos e reciclam água, garantindo limpeza e equilíbrio ecológico. 2.b O que quero que o meu design faça? Determine as funções-chave do seu projeto e identifique contextos na natureza. Funções podem referir-se ao papel desempenhado pelas adaptações ou comportamentos de um organismo que lhe permitem sobreviver. Também podem referir-se a algo que a sua solução de design precisa de cumprir. Funções-chave do design • Contenção de resíduos. • Decomposição natural. • Controlo de odor. • Conservação de água. • Facilidade de transporte. • Operação fácil de usar. Modelos naturais • Ecossistemas de zonas húmidas. • Sistemas de compostagem. • Armazenamento de água nas plantas. • Copas da floresta. • Habitats de insetos. 2.c Inverta a questão. Considere funções opostas.



Co-funded by
the European Union

Como pode a natureza investigar a restrição ou bloqueio da filtração natural?

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Passo 3 – Descobrir

3.a Procure modelos naturais que correspondam às mesmas funções e contexto da sua solução de design.

Plantas de zonas húmidas (por exemplo, taboas e juncos).

- **Função:** Contenção de resíduos e filtração natural
- **Modelo:** As plantas de zonas húmidas prosperam em ambientes encharcados e ajudam a filtrar poluentes da água através dos seus sistemas radiculares. Contêm e gerem nutrientes, tornando-se eficazes na manutenção da saúde do ecossistema.

Térmitas

- **Função:** Decomposição natural e controlo do odor.
- **Modelo:** Os montículos de térmitas mantêm um ambiente interno estável que promove a decomposição dos materiais orgânicos. Os montes possuem sistemas de ventilação que regulam a temperatura e a humidade, ajudando a controlar os odores e a facilitar a decomposição.

Minhocas de compostagem (por exemplo, red wigglers).

- **Função:** Decomposição de resíduos e ciclo de nutrientes.
- **Modelo:** Estas minhocas desempenham um papel crucial na compostagem ao decompor resíduos orgânicos em solo rico em nutrientes. O seu comportamento de escavação areia o composto, promovendo a decomposição e melhorando a qualidade do solo.

Plantas suculentas (por exemplo, aloe vera).

- **Função:** Conservação e armazenamento de água
- **Modelo:** As suculentas armazenam água nas folhas, permitindo-lhes sobreviver em condições áridas. Esta estratégia adaptativa pode inspirar projetos que minimizam o consumo de água e gerem eficazmente os resíduos sem necessitar de grandes quantidades de água.

Ciclo de nutrientes em ecossistemas florestais.

- **Função:** Decomposição e enriquecimento do solo.
- **Modelo:** O processo natural nos ecossistemas florestais, onde o material vegetal morto se decompõe e enriquece o solo, pode informar o design de sanitas de compostagem que reciclam resíduos em composto utilizável para enriquecer o solo.

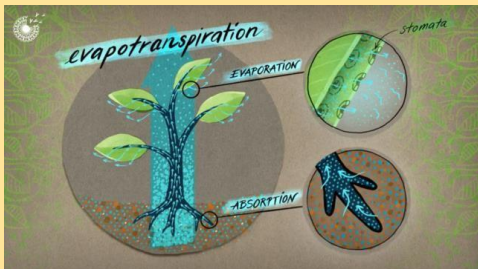
3.b Identificar especialistas e conectar-se com comunidades de biólogos e naturalistas.

- Universidades com departamentos de ciências ambientais ou biologia.
- Centros de investigação.
- Sociedade Ecológica da América (ESA).





- Sociedade para a Biologia da Conservação.
- A Conservação da Natureza.

	• ResearchGate. • Conferências ecológicas. • Oficinas locais de natureza
Passo 4 – Resumo	4.a Resuma os elementos-chave da estratégia biológica. Destacar as funções principais e palavras-chave. Se possível, faça um diagrama/desenho e/ou encontre imagens que possam informar o design. Funções Principais • Transporte de água: A evapotranspiração envolve o movimento da água do solo através da planta e para fora através dos estomas nas folhas. Este processo ajuda a transportar nutrientes essenciais do solo para várias partes da planta. • Mecanismo de arrefecimento: À medida que a água evapora dos estomas, arrefece a planta, de forma semelhante a como o suor arrefece o corpo humano. Isto ajuda a manter temperaturas ótimas para os processos metabólicos. • Absorção de nutrientes: O movimento ascendente da água através da planta ajuda na absorção e distribuição dos nutrientes dissolvidos na água. Isto é crucial para o crescimento e desenvolvimento da planta. • Contribuição para o ciclo da água: A evapotranspiração contribui para o ciclo da água ao devolver o vapor de água à atmosfera. Este processo é essencial para manter o equilíbrio da água no ambiente.  https://thekidshouldseethis.com/post/how-did-trees-inspire-the-sustainable-superestrela das casas de banho 4.b Traduza lições da natureza em estratégias de design. Reescreva a estratégia sem usar termos biológicos e ligue-a às funções e ao contexto a partir de uma perspetiva humana. Estratégias de design inspiradas na natureza • Contenção de resíduos: Crie uma estrutura robusta que retenha os resíduos de forma segura para evitar fugas e odores, garantindo segurança e higiene. • Decomposição natural: Implemente um sistema que incentive a decomposição dos resíduos em materiais inofensivos, utilizando processos simples e eficazes.

- **Gestão de odores:** Projete um sistema de ventilação que permita a circulação de ar fresco, controlando eficazmente os odores desagradáveis.



- **Eficiência hídrica:** Use água mínima ou nenhuma para a operação, maximizando a eficiência e reduzindo a dependência dos recursos hídricos.
- **Portabilidade:** Torne a sanita leve e fácil de transportar, permitindo uma instalação rápida em vários locais, seja para eventos, zonas rurais ou situações de emergência.



<https://thekidshouldseethis.com/post/how-did-trees-inspire-the-sustainable-superestrela-das-casas-de-banho>

Passo 5 – Emular

"Emulação é um processo exploratório que procura captar uma "receita" ou "plano" no exemplo da natureza que pode ser modelado nos nossos próprios desenhos."

<https://toolbox.biomimicry.org/methods/emulate/>

5.a Liste as suas informações principais e explore o máximo de ideias possível. Características

Prevenção de fugas e odores, armazenamento seguro de resíduos humanos, decomposição segura dos resíduos, utilização de processos microbianos ou técnicas de compostagem, ventilação adequada e controlo de odores, conforto e higiene, minimização do consumo de água, opções secas ou com descarga mínima, transporte fácil e instalação rápida

Ideias

Design modular, materiais biodegradáveis, integração de uma funcionalidade de compostagem e sistemas de fluxo de ar com ventiladores ou passivos.

5.b Organize as suas ideias em categorias que incluam as funcionalidades, o contexto, as restrições, etc., e selecione os conceitos de design que melhor se ajustam à sua solução.

Características

- **Contenção de resíduos:** Armazenamento seguro para evitar fugas e odores.
- **Decomposição natural:** mecanismo de compostagem para reciclagem de nutrientes., materiais biodegradáveis para aumentar a sustentabilidade.



- **Gestão de odores:**
Sistema de ventilação eficaz (passivo ou ativo).
- **Eficiência da água:**
Opções secas ou com descarga mínima.
- **Portabilidade:**
Leve e design modular para transport e fácil.



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

- **Funcionalidades inteligentes:** Sensores para

Contexto

Áreas rurais com infraestruturas limitadas, eventos ao ar livre (festivais, concertos), zonas de ajuda em desastres e áreas urbanas em desenvolvimento.

- **Custo:** Limites iniciais de investimento, especialmente para
- **Manutenção:** Necessidade de educação do utilizador e manutenção contínua.
- **Conformidade Regulamentar:** Navegar pelas regulamentações locais de saúde e segurança.

Ideia seleccionada

- **Sanita modular de compostagem:** Combina armazenamento seguro de resíduos com uma funcionalidade de compostagem. Leve e portátil, pode ser facilmente instalado em vários locais.



Passo 6 – Avaliar

6.a Avaliar o(s) conceito(s) de design em relação ao seu alinhamento com os critérios e restrições do desafio de design, bem como a sua compatibilidade com os sistemas da Terra. Avaliar a viabilidade do modelo técnico e de negócio.

Alinhamento com os critérios de desafio de design:

- **Gestão de resíduos:** Contém e decompõe eficazmente os resíduos, promovendo a sustentabilidade.
- **Eficiência hídrica:** Requer água mínima ou nenhuma, alinhando-se com os objetivos de conservação.
- **Portabilidade:** Concebido para transporte e instalação fácil em vários locais.

Compatibilidade com os Sistemas da Terra:

- **Reciclagem de nutrientes:** Converte resíduos em composto, enriquecendo o solo e apoiando os ecossistemas locais.
- **Conservação de recursos:** Minimiza o uso de água e aproveita processos naturais para a decomposição.

Viabilidade:

- **Técnico:** Requer investigação sobre materiais e design para compostagem eficaz e controlo de odores. Os desafios potenciais incluem garantir a decomposição eficaz em climas diversos.
- **Modelo de negócio:** Pode direcionar tanto consumidores individuais como organizações (por exemplo, eventos, ONGs), mas os custos iniciais podem limitar a acessibilidade em áreas de baixos rendimentos.

6.b Revê e revisita os passos anteriores conforme necessário para gerar uma solução viável.

Sanita modular integrada de compostagem com ventilação

- **Componentes modulares:** Permitem personalização com base nas necessidades do utilizador e nas condições ambientais (por exemplo, unidades adicionais de compostagem, tamanhos diferentes).
- **Sistema de ventilação natural:** Incorpore características como ventilações ou chaminés para promover a circulação de ar e controlar odores sem componentes mecânicos.
- **Materiais biodegradáveis:** Utilize materiais que se degradam ao longo do tempo, alinhando-se com os objetivos de sustentabilidade.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



- **Acesso Intuitivo:**
Garantir fácil acesso para manutenção, materiais educativos e gestão de residuais.



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Recursos adicionais:

<https://biomimicry.org/>

<https://asknature.org/innovation/low-cost-portable-toilet-inspired-by-evapotranspiration-in-plants>



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Módulos de Formação WP3 sobre Design de Processos de Biomimética

Tarefa 3.1/ A1. Desenvolvimento de Kit de Autoaprendizagem para alunos de Formação Profissional - LP:
ATS / CPs: TODOS

VAMOS IMITAR SOLUÇÕES

Uma solução refere-se aos passos aplicados para resolver o desafio identificado, através da biomimética.

Solução: Formação em V das aves migratórias

BIOMIMICISMO DESIGN	Descrição
Passo 2 – Bibliologizar	2.a Pergunta-te como é que a natureza pode resolver isto. Como é que as aves voam de forma mais eficiente e segura para chegar ao seu destino? Contexto Ao olharmos para o céu, podemos notar um bando de pássaros a voar em direção ao sul, dispostos em forma de V. É uma visão inconfundível no outono, que nos lembra que dias mais frios e sombrios estão por vir. Existe, na verdade, uma ciência bastante interessante por trás do motivo pelo qual certas espécies de aves grandes se organizam desta forma, e tem tudo a ver com a eficiência, especialmente para voos migratórios de longa distância. Este padrão de voo ajuda todas as aves a preservar energia. Acontece que, quando grandes aves batem as asas, geram-se circulações de ar, chamadas vórtices, que têm segmentos ascendentes e descendentes, bolsões de ar em redemoinho. 2.b Pergunte a si mesmo: O que quero que o meu design faça? • Reduzir a quantidade de emissões de CO2. • Reduza o consumo de combustível. • Garantir a segurança da aeronave e das pessoas nela envolvidas. 2.c Inverta a questão. Considere funções opostas. Como é que as aves consomem menos energia?



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Passo 3 – Descobrir

3.A Procure modelos naturais que correspondam às mesmas funções e contexto da sua solução de design. Leia literatura científica.

- **Modelos naturais**
- **Morcegos:** Os morcegos são conhecidos pelo seu voo ágil e pela capacidade de navegar por ambientes complexos. Utilizam a ecolocalização para evitar obstáculos e localizar presas, permitindo-lhes voar eficientemente mesmo na escuridão total.
- **Insetos:** Muitos insetos, como as abelhas e as libélulas, têm mecanismos de voo altamente eficientes. As abelhas, por exemplo, usam uma combinação de batidas rápidas das asas e movimentos corporais para pairar e manobrar com precisão. As libélulas podem alterar o ângulo das suas asas para maximizar a sustentação e minimizar o arrasto.
- **Mamíferos planadores:** Animais como esquilos-voadores e planadores de açúcar usam uma abordagem diferente para viajar de forma eficiente. Deslizam a partir das árvores

para a árvore utilizando uma membrana esticada entre os ramos, que lhes permite percorrer grandes distâncias com um consumo mínimo de energia.

- **Peixe:** Alguns peixes, como o peixe-voador, podem saltar para fora de água e planar sobre a superfície para escapar aos predadores. Usam as barbatanas peitorais para apanhar o ar e planar de forma eficiente.

3.b Identificar especialistas e conectar-se com comunidades de biólogos e naturalistas.

- Laboratório de Ornitologia de Cornell.
- Sociedade Real para a Proteção das Aves (RSPB).
- Parceiros em Voo (PIF).
- Instituto Max Planck de Ornitologia.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Passo 4 – Resumo

4.a Resumir os elementos-chave da estratégia biológica. Destacar as funções principais e palavras-chave. Se possível, faça um diagrama/desenho e/ou encontre imagens que possam informar o design.

- Estratégias biológicas aplicadas pelas aves migratórias:
- Padrões de voo aerodinâmicos.
- A planar e a planar.
- Forma e flexibilidade das asas (asas de alto índice de aspeto, uso flexível das asas).
- Adaptações metabólicas (musculatura eficiente, reservas de gordura).
- Otimização do batimento das asas (batidas intermitentes (batidas-planagem ou saltos de asas), frequência eficiente de batimento das asas).
- Aerodinâmica da carroçaria (formato aerodinâmico).
- Exploração ambiental (ventos de cauda e correntes ascendentes, elevação de cume e térmicas).
- Adaptações comportamentais (rotas poupadoras de energia, coordenação de grupo).



https://en.wikipedia.org/wiki/V_formation

4.b Traduzir lições da natureza em estratégias de design. Reescreva a estratégia sem usar termos biológicos e ligue-a às funções e ao contexto a partir de uma perspectiva humana.

- Ambas as aeronaves devem seguir na mesma direção.
- Como é mais fácil formar a formação em V a meio do voo, os aviões não precisam de descolar ou aterrar ao mesmo tempo.
- A partir daí, os pilotos ativam um farol de acoplamento.
- Uma vez sincronizado, o software determina onde deve estar o avião secundário para tirar partido do ar em espiral gerado pela primeira aeronave.
- O piloto automático pode ser usado a partir daí para manter a distância adequada.



https://en.wikipedia.org/wiki/V_formation

Passo 5 – Emular

"A emulação é um processo exploratório que procura captar uma "receita" ou "planta" no exemplo da natureza que pode ser modelada nos nossos próprios desenhos."

<https://toolbox.biomimicry.org/methods/emulate/>

5.a Liste as suas informações principais e explore o máximo de ideias possível.

- **Eficiência energética:** As aves que voam em formação em V beneficiam de uma redução da resistência do ar. A ave líder cria um vórtice que fornece sustentação às aves atrás, permitindo-lhes gastar menos energia. Este princípio tem sido aplicado a aeronaves militares para melhorar a eficiência do combustível e aumentar o alcance de voo.
- **Poupança de combustível:** Na aviação militar, a formação "V" ou "Vic" é uma prática padrão. Foi utilizado pela primeira vez durante a Primeira Guerra Mundial e demonstrou melhorar a eficiência do combustível ao reduzir o arrasto. Esta formação permite que as aeronaves voem distâncias mais longas sem

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



**Co-funded by
the European Union**



necessidade de reabastecimento.



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

- **Coordenação e segurança:** Voar em formação em V requer coordenação precisa entre as aves, o que se traduz numa melhoria da segurança e comunicação na aviação. Os pilotos militares utilizam esta formação para manter contacto visual e garantir manobras sincronizadas.
- **Investigação e simulação:** Embora menos comuns, os princípios da formação em V são ocasionalmente aplicados na aviação comercial, particularmente em voos de investigação e experimentais. Estudos demonstraram potenciais poupanças de combustível e redução das emissões quando aeronaves comerciais voam em formação, embora a implementação prática ainda esteja em fase experimental.

5.b Organize as suas ideias em categorias que incluam as funcionalidades, o contexto, as restrições, etc., e selecione os conceitos de design que melhor se adequam à sua solução.

	Contexto	Características	Restrições
Eficiência energética	Comercial de aviação militar Aviação	melhorar a eficiência do combustível Estender o alcance de voo	Barreiras tecnológicas: requer investimento significativo em investigação e desenvolvimento Mudanças Operacionais: novos procedimentos de voo e a otimização das rotas para eficiência de combustível exigem alterações na formação de pilotos e na gestão do tráfego aéreo Fatores ambientais: Condições meteorológicas, congestionamento de tráfego aéreo e outros fatores ambientais podem impactar a eficácia das medidas de poupança de combustível
Poupança de combustível		melhorar o combustível eficiência pela redução do arrasto voar distâncias mais longas sem reabastecimento	
Coordenação e segurança		Manobras sincronizadas de segurança e comunicação melhoradas Manter a integridade da formação	
Investigação e simulação		poupança de combustível redução de emissões Planeamento de rota de voo Otimização inovação tecnológica	

Passo 6 – Avaliar

6.a Avaliar o(s) conceito(s) de design quanto ao seu alinhamento com os critérios e restrições do desafio de design, bem como a sua compatibilidade com os sistemas da Terra. Avaliar a viabilidade do modelo técnico e de negócio.

Critérios de conceção



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



- **Aerodinâmica:** A aeronave deve ter uma forma otimizada para reduzir o arrasto. Isto inclui características como corpos de asas misturados, winglets e controlo de fluxo laminar.
- **Redução de peso:** Utilização de materiais leves como compósitos de fibra de carbono para reduzir o peso total da aeronave.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

- **Motores eficientes:** Desenvolvimento de motores mais eficientes, como turbofans com taxas de bypass mais elevadas ou sistemas de propulsão híbrido-elétrico.
- **Fontes de energia:** Explorar fontes alternativas de energia como biocombustíveis, hidrogénio ou motorizações totalmente elétricas.
- **Eficiência operacional:** Implementação de sistemas avançados de gestão de voo para planeamento de rotas ótimo e perfis de voo eficientes em termos de combustível.

Restrições

- **Viabilidade tecnológica:** A tecnologia deve ser suficientemente madura para ser implementada de forma segura e fiável tanto em aeronaves comerciais como militares.
- **Conformidade regulamentar:** O design deve cumprir rigorosas regulamentações de segurança e ambiente na aviação.
- **Viabilidade económica:** A aeronave deve ser económica para produzir e operar, garantindo que seja financeiramente viável para companhias aéreas e operadores militares.
- **Compatibilidade de infraestruturas:** O design deve ser compatível com a infraestrutura aeroportuária existente e as instalações de manutenção.

Compatibilidade com os Sistemas da Terra

- **Impacto ambiental:** A aeronave deve minimizar as emissões e a poluição sonora, contribuindo para os objetivos globais de sustentabilidade.
- **Utilização de recursos:** Utilização eficiente de materiais e fontes de energia para reduzir a pegada ambiental durante a fabricação e operação.
- **Gestão do ciclo de vida:** Considerar todo o ciclo de vida da aeronave, desde a produção até à eliminação, para garantir o impacto ambiental mínimo.

Viabilidade técnica

- **Tecnologias atuais:** Muitas das tecnologias necessárias, como compósitos avançados e motores eficientes, já estão em uso ou em desenvolvimento. No entanto, aeronaves totalmente elétricas ou movidas a hidrogénio ainda estão em fase experimental.
- **Investigação e desenvolvimento:** É necessário um investimento significativo em I&D para colocar as tecnologias emergentes prontas para o mercado.

Viabilidade do modelo de negócio





- **Poupança de custos:** As aeronaves eficientes em termos de combustível podem oferecer poupanças substanciais ao longo da sua vida operacional, tornando-as atrativas para as companhias aéreas apesar dos custos iniciais mais elevados.



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

- **Procura de mercado:** Existe uma procura crescente por soluções sustentáveis para a aviação, tanto por parte dos consumidores como das entidades reguladoras, o que apoia o argumento de negócio para aeronaves eficientes em termos de combustível.
- **Investimento e incentivos:** Incentivos governamentais e investimentos em tecnologias verdes podem ajudar a compensar os custos de desenvolvimento e incentivar a adoção.

6.b Rever e rever os passos anteriores conforme necessário para gerar uma solução viável.

Ao abordar os critérios e restrições identificados nos passos anteriores, podemos desenvolver uma solução viável para uma aeronave mais eficiente em termos de combustível.

Deve haver mais foco na integração de tecnologias avançadas, otimização da eficiência operacional e garantia da sustentabilidade económica e ambiental. A colaboração entre a indústria da aviação,

Recursos adicionais:

<https://biomimicry.org/>

<https://www.airlinepilotcentral.com/articles/news/should-airplanes-follow-bird-flight-formation.html>

<https://www.theweathernetwork.com/en/news/nature/animals/the-science-behind-migratory-formationen-em-v-de-pássaros>

<https://birdsconnectsea.org/2023/09/21/its-a-bird-its-a-plane-aviation-designs-inspired-by-birds-Earthcare-noroeste/>

<https://www.flyajetfighter.com/why-fighter-planes-fly-in-formation/>

<https://edition.cnn.com/travel/article/airbus-formation-flight/index.html>



Módulos de Formação WP3 sobre Design de Processos de Biomimética

Tarefa 3.1/ A1. Desenvolvimento de Kit de Autoaprendizagem para alunos de Formação Profissional - LP:
ATS / CPs: TODOS

VAMOS IMITAR SOLUÇÕES

Uma solução refere-se aos passos aplicados para resolver o desafio identificado, através da biomimética.

Solução: Voo rápido e preciso de um beija-flor

PROJETO DE BIOMIMETISMO	Descrição
Passo 2 – Bibiologizar	2.a Pergunta-te como é que a natureza pode resolver isto. Como é que os beija-flores conseguem um voo tão preciso? Contexto Será a evolução a melhor inventora? Com centenas de milhões de anos de trabalho e o mundo natural como tela, parece que sim. O voo rápido e preciso de um beija-flor inspirou cientistas, investigadores e a indústria de drones a desenvolver dispositivos de voo capazes também de manobras intrincadas. Os beija-flores estão entre as aves mais pequenas do mundo e ocupam um lugar único na natureza: voam como insetos, mas possuem o sistema musculoesquelético das aves. Possuem torsos pequenos e leves com asas relativamente grandes que lhes permitem voar notavelmente rápido com uma precisão incrível. 2.b Pergunte a si próprio: "O que quero que o meu design faça?" • Ajudar as forças armadas e outras organizações de aplicação da lei a realizar missões de vigilância, reconhecimento, segurança ou secretas em áreas sensíveis ou hostis com alta precisão e sem serem detetados pelas forças inimigas. • Oferecer uma alternativa mais silenciosa aos drones existentes e encontrar uma forma mais rápida de entregar diferentes mercadorias. • Proporcionar uma forma mais precisa e silenciosa de recolher dados sobre a vida selvagem, sem perturbar a vida estudada • Criar uma forma mais precisa e segura para que os socorristas possam ajudar pessoas em áreas afetadas por desastres. • Tornar-se uma ferramenta importante na agricultura de precisão ao polinizar culturas, monitorizar tanto a saúde das plantas como os campos sem perturbar o gado ou criar poluição sonora, resolvendo assim um dos problemas que os agricultores enfrentam hoje – o declínio dos polinizadores naturais como as abelhas. 2.c Inverta a questão. Considere funções opostas.



Co-funded by
the European Union

Quais são os desafios enfrentados pelos beija-flores durante
Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



con
diç
ões
me
teo
rol
ógi
cas
tur
bul
ent
as e
co
mo
ada
pta
m o
seu
voo
?



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Passo 3 – Descobrir

3.a Procure modelos naturais que correspondam às mesmas funções e contexto da sua solução de design. Por exemplo, leia literatura científica.

- **Corujas:** As corujas conseguem voar silenciosamente através de penas especializadas que reduzem o ruído. As suas bordas serrilhadas de penas quebram a turbulência, e a plumagem suave absorve o som, inspirando designs de drones mais silenciosos. A excelente visão noturna e audição aguçada das corujas permitem uma caça precisa em pouca luz, sugerindo sensores avançados e sistemas de visão para drones operarem em várias condições de iluminação.
- **Morcegos:** Os morcegos usam ecolocalização para navegar e caçar na escuridão, inspirando drones com sonar avançado ou lidar para navegação em baixa visibilidade e deteção de obstáculos. As suas membranas alares flexíveis permitem voos ágeis, sugerindo drones com asas flexíveis ou morphing para adaptabilidade e precisão semelhantes.
- **Libélulas:** As libélulas podem voar em várias direções, pairar e fazer curvas apertadas com precisão, inspirando drones com agilidade e controlo aprimorados. Os seus grandes olhos compostos proporcionam um amplo campo de visão e excelente deteção de movimento, sugerindo sistemas visuais avançados para melhorar a consciência situacional e a navegação em drones.
- **Falcons:** Os mergulhos em alta velocidade e as habilidades precisas de caça dos Falcons inspiram o design de drones para uma operação rápida e precisa. Os seus corpos aerodinâmicos reduzem a resistência do ar, sugerindo designs aerodinâmicos para drones mais rápidos e eficientes.

3.b Identificar especialistas e conectar-se com comunidades de biólogos e naturalistas.

- Universidade Purdue.
- Agência de Projetos de Investigação Avançada de Defesa dos EUA (DARPA).
- Sociedade Americana de Naturalistas (ASN).
- Sociedade Ecológica da América (ESA).
- Sociedade para a Biologia da Conservação (SCB).

Passo 4 – Resumo

4.a Resumir os elementos-chave da estratégia biológica. Destacar as funções principais e palavras-chave. Se possível, faça um diagrama/desenho e/ou encontre imagens que possam informar o design.

- **Estrutura e mecânica das asas:** As asas dos beija-flores rodam no ombro, permitindo uma ampla gama de movimentos, permitindo-lhes pairar, voar para trás e fazer curvas apertadas com precisão. As suas asas batem até 80 vezes por segundo, gerando a sustentação e estabilidade necessárias para um voo preciso.
- **Adaptações musculares:** Os beija-flores têm grandes músculos peitorais que fornecem a força necessária para pairar de forma sustentada e manobras ágeis. Estes músculos constituem uma parte significativa do seu peso corporal.



- **Gestão de energia:** Os beija-flores têm uma das taxas metabólicas mais elevadas entre os animais, o que suporta as necessidades energéticas das suas batidas rápidas de asas e voo ágil. Consomem grandes quantidades de néctar para alimentar as suas atividades.
- **Visão e navegação:** Os beija-flores têm uma visão aguçada e conseguem ver uma vasta gama de cores, incluindo luz ultravioleta, ajudando na navegação precisa e na localização de alimentos. O seu processamento visual rápido permite ajustes rápidos de voo para evitar obstáculos e capturar presas.
- **Aerodinâmica:** Os seus corpos são aerodinâmicos para reduzir a resistência do ar, melhorando a sua capacidade de se mover rápida e precisamente pelo ar. A forma das suas asas é otimizada tanto para sustentação como para manobrabilidade, permitindo-lhes realizar manobras aéreas complexas.
- **Integração sensorial:** Os beija-flores têm excelente coordenação entre os seus sistemas visuais e motores, permitindo-lhes executar movimentos precisos e manter a estabilidade durante o voo.



Direitos de autor da imagem: <https://watchingthebirds.com/how-hummingbirds-fly-a-estrutura-de-voo/>

4.b Traduzir lições da natureza em estratégias de design. Reescreva a estratégia sem usar termos biológicos e ligue-a às funções e ao contexto a partir de uma perspetiva humana.

As funções principais identificadas no estudo dos beija-flores podem ser traduzidas para um contexto centrado no ser humano, focando-se em:

Design estrutural e mecânica

- **Componentes flexíveis:** O drone deve ter peças altamente flexíveis para uma ampla gama de movimentos, permitindo-lhe pairar, recuar e fazer curvas apertadas com precisão.
- **Movimento rápido:** Os componentes do drone devem mover-se a altas velocidades para fornecer a sustentação e estabilidade necessárias para manobras precisas.

Potência e eficiência

- **Motores potentes:** Equipem o drone com motores potentes para pairar e mover-se de forma sustentada.

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

- **Gestão de energia:** Projete um sistema eficiente de gestão energética para suportar movimentos rápidos e manter as atividades.

Visão e navegação

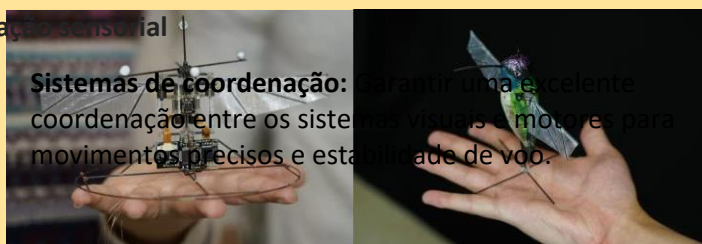
- **Sistemas de visão avançados:** Utilize câmaras e sensores de alta resolução para navegação precisa e localização de alvos.
- **Processamento rápido de dados:** Permitir o processamento rápido de informação visual para ajustes rápidos de voo e evitar obstáculos.

Aerodinâmica

- **Design aerodinâmico:** Projete um corpo aerodinâmico para reduzir a resistência do ar e melhorar movimentos rápidos e precisos.
- **Forma otimizada das asas:** Moldar as asas tanto para sustentação como para manobrabilidade para realizar manobras aéreas complexas.

Integração sensorial

- **Sistemas de coordenação:** Garantir uma excelente coordenação entre os sistemas visuais + motores para movimentos precisos e estabilidade de voo.



Direitos de autor das imagens

<https://www.purdue.edu/newsroom/archive/releases/2019/Q2/hummingbird-robot-uses-ai-to-soon-go-where-drones-cant.html>

Passo 5 – Emular

5.a Liste as suas informações principais e explore o máximo de ideias possível.

- Manobrabilidade ágil, como design flexível de asas e batidas rápidas de asas.
- Sistema de navegação avançado que pode incluir IA ou aprendizagem automática e fornece feedback tátil.
- Integração sensorial, como câmaras de alta resolução ou fusão multi-sensor.
- O design centrava-se na eficiência energética, utilizando material leve.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

- S
i
s
t
e
m
a
d
e
n
a
v
e
g
a
ç
ã
o
a
u
t
ó
n
o
m
a
e
f
e
r
r
a
m
e
n
t
a
s
d
e
t
o
m
a
d
a
d
e
d
- ecisão em tempo real integradas.
- Mecanismo de segurança e sistema redundante.



- Aplicação de características específicas que podem ser adaptadas a diferentes desafios ambientais.

5.b Organize as suas ideias em categorias que incluam as funcionalidades, o contexto, as restrições, etc., e selecione os conceitos de design que melhor se adequam à sua solução.

	Contexto	Características	Restrições
Manobrabilidade ágil	Permite controlo preciso e manobras ágeis em ambientes apertados e complexos	Design de asas flexíveis batidas rápidas de asa	• Requer materiais avançados e engenharia para alcançar a flexibilidade e velocidade necessárias sem comprometer a durabilidade
Sistema avançado de navegação	Melhora a navegação e a evitação de obstáculos, especialmente em ambientes de baixa visibilidade ou desordenados	IA Feedback tátil de aprendizagem automática	• Alto Poder computacional necessário para processamento em tempo real • Potenciais desafios no treino de modelos de IA para ambientes diversos
Integração sensorial	Proporciona consciência situacional abrangente e capacidades de navegação precisas	Câmara de alta resolução Câmaras de imagem térmica de fusão multi-sensor	• A integração de múltiplos sensores pode aumentar o peso e o consumo de energia. • Garantindo uma fusão de dados fluida a partir de diferentes sensores.
Eficiência energética	Reduz o consumo de energia, permitindo tempos de voo mais longos e melhor desempenho	Gestão Eficiente de Energia Materiais Leves	• Equilibrar o design leve com a integridade estrutural e durabilidade

	Capacidades autónomas	Permite que os drones operem de forma independente em ambientes complexos, adaptando-se às mudanças	Navegação autónoma Processamento de dados em tempo real e Sistemas de tomada de decisão	• Garantir a fiabilidade e segurança dos sistemas autónomos. • Alto
--	-----------------------	---	---	--



		Condições		requisitos computacionais para processamento em tempo real.
	Segurança e redundância	Aumenta a fiabilidade e a segurança, garantindo a operação contínua em caso de falhas.	Funções de retorno a casa, protocolos de aterragem de emergência, design redundante de componentes críticos para garantir a continuidade da operação em caso de falha	• Peso e complexidade adicionais provenientes de sistemas redundantes. • Desenhar protocolos eficazes de segurança.
	Aplicação de características específicas	Adapta as capacidades dos drones a casos de uso específicos, melhorando a eficácia e a eficiência.	Câmaras de imagem térmica ou outros sensores Monitorização ambiental tais como: qualidade do ar e saúde da vegetação Logística urbana	• A personalização para diferentes aplicações pode exigir designs modulares. • Equilibrar versatilidade com desempenho especializado.

Passo 6 – Avaliar

Ideia selecionada

Sistema de navegação avançado.

6.a Avaliar o(s) conceito(s) de design em relação ao seu alinhamento com os critérios e restrições do desafio de design, bem como a sua compatibilidade com os sistemas da Terra. Avaliar a viabilidade do modelo técnico e de negócio.

Alinhamento com os critérios de desafio

1. Voo de alta precisão

- **IA e aprendizagem automática:** Estas tecnologias aumentam a capacidade do drone de navegar com alta precisão, aprendendo com o ambiente e fazendo ajustes em tempo real. Isto responde diretamente à necessidade de controlo preciso em ambientes complexos.
- **Feedback tátil:** Fornece input sensorial adicional, permitindo ao drone navegar mesmo em condições de baixa visibilidade, melhorando ainda mais a precisão.

2. Furtividade

- **Rotas de voo otimizadas:** A IA pode otimizar as trajetórias para minimizar ruído e visibilidade, tornando o drone mais furtivo. Isto é crucial para aplicações como vigilância e reconhecimento.
- **Navegação adaptativa:** A capacidade de se adaptar a condições mutáveis reduz a probabilidade de deteção e melhora as capacidades de furtividade.



3. Versatilidade em ambientes complexos

- **Evitação de obstáculos:** Sistemas avançados de navegação melhoram a capacidade do drone de evitar obstáculos, tornando-o adequado para ambientes diversos, como áreas urbanas, florestas e zonas de desastre.
- **Tomada de decisão em tempo real:** Permite ao drone responder dinamicamente a alterações ambientais, garantindo uma operação eficaz em vários cenários.

Restrições

- Alta potência computacional
- Formação e adaptação
- Integração de múltiplos sensores

Compatibilidade com os sistemas da Terra

1. Impacto ambiental:

- **Eficiência energética:** Ao utilizar materiais leves e otimizar o consumo de energia, o drone pode minimizar a sua pegada ambiental.
- **Materiais sustentáveis:** Incorpore materiais sustentáveis e recicláveis na construção do drone para reduzir o impacto ambiental.

2. Adaptabilidade a várias condições:

- **Resistência às intempéries:** Projete o drone para resistir a diferentes condições meteorológicas, como chuva, vento e flutuações de temperatura, garantindo uma operação fiável em ambientes diversificados.
- **Design robusto:** Garantir que a estrutura do drone consegue suportar fatores de stress ambientais, aumentando a durabilidade e a longevidade.

3. Conformidade regulamentar:

- **Normas de segurança:** Garantir que o drone cumpre as normas de segurança e regulamentares para a operação em espaços públicos, abordando preocupações sobre privacidade e gestão do espaço aéreo.
- **Considerações éticas:** Implementar diretrizes éticas para o uso da IA e da recolha de dados para proteger a privacidade e garantir o uso responsável.

Viabilidade técnica para a implementação de um Sistema Avançado de Navegação

Características	Estado atual	Viabilidade
-----------------	--------------	-------------

	<i>Integração de IA e Aprendizagem Automática</i>	<i>As tecnologias de IA e aprendizagem automática estão bem desenvolvidas e cada vez mais</i>	Alto <i>A integração da IA para navegação e obstáculos</i>
--	---	---	--



		<i>Utilizado em várias aplicações, incluindo veículos autónomos e robótica</i>	<i>A evitação é tecnicamente viável com a tecnologia existente. Os avanços contínuos em IA irão reforçar ainda mais as capacidades.</i>
	<i>Sistemas de Realimentação Tátil</i>	<i>Sensores táteis são usados em robótica para navegação e mapeamento baseados no toque</i>	Moderado a Elevado <i>Embora os sistemas de feedback tátil sejam menos comuns em drones, são tecnicamente viáveis e podem ser desenvolvidos com a tecnologia atual de sensores</i>

Viabilidade do modelo de negócio

1. Procura de mercado

- **Tendências atuais:** Existe uma procura crescente por drones avançados em vários setores, incluindo logística, vigilância, monitorização ambiental e resposta a emergências.
- **Viabilidade:** Alta. A procura do mercado por drones de alta precisão e furtivos é forte e espera-se que cresça.

2. Custo e preços

- **Custos de desenvolvimento:** Os custos iniciais de desenvolvimento podem ser elevados devido à integração de tecnologias avançadas.
- **Estratégia de preços:** A tarifação premium pode ser justificada pelas capacidades avançadas e aplicações especializadas dos drones.
- **Viabilidade:** Moderada a alta. Embora os custos de desenvolvimento sejam significativos, o potencial para elevados retornos em mercados especializados apoia o modelo de negócio.

3. Panorama competitivo

- **Concorrentes atuais:** O mercado de drones é competitivo, com vários intervenientes estabelecidos.
- **Diferenciação:** As características únicas de alta precisão e capacidades de furtividade proporcionam uma vantagem competitiva.
- **Viabilidade:** Alta. A diferenciação através de funcionalidades avançadas e aplicações especializadas pode posicionar o produto de forma favorável no mercado.

4. Conformidade regulamentar

- **Regulamentos atuais:** Os drones devem cumprir os regulamentos da aviação, que variam consoante a região.
- **Estratégia de conformidade:** Garantir o cumprimento das normas de segurança e privacidade é essencial.

- **Viabilidade:** Moderada a alta. Embora o cumprimento regulatório possa ser desafiante, é gerível com planeamento adequado e cumprimento das diretrizes.

5. Escalabilidade

- **Produção e distribuição:** Escalar a produção e estabelecer canais de distribuição são fundamentais para o crescimento do negócio.
- **Viabilidade:** Alta. Com uma estratégia de produção e distribuição bem planeada, é possível escalar o negócio.

6.b Rever e rever os passos anteriores conforme necessário para gerar uma solução viável.

Principais características a seguir

- Algoritmos adaptativos.
- Detecção e evitação de obstáculos.
- Otimização de caminhos.
- Adaptação ambiental.
- Navegação baseada no toque.
- Mapeamento ambiental.
- Prevenção de colisões.
- Redundância para sistemas visuais.

Integração no design de drones

- Fusão de sensores.
- Design leve e eficiente.
- Arquitetura modular.

Plano de implementação

- **Desenvolvimento de protótipos:** Criar um protótipo que incorpore as principais funcionalidades e testar em ambientes controlados.
- **Testes e validação:** Realizar testes extensivos em vários cenários para validar o desempenho e a fiabilidade.
- **Otimização:** Refinar o design com base nos resultados dos testes, focando-se na melhoria da eficiência energética e na redução de peso.
- **Conformidade regulamentar:** Garantir que o design cumpre todas as normas de segurança e regulamentares.

- **Produção e escalabilidade:** Desenvolver um plano de produção

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.





escalável e estabelecer canais de distribuição.



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Recursos adicionais:

<https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsfs.2016.0078>

<https://www.audubon.org/news/hummingbirds-inspire-drone-design>

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28675148/>

<https://biomimicryuniverse.com/concept/hummingbird-drones>

<https://newsroom.carleton.ca/story/hummingbirds-wings-inspire-technology/>

<https://www.psu.edu/news/engineering/story/hummingbird-flight-could-provide-insights-biomimética-veículos aéreos>

<https://spectrum.ieee.org/aerovironments-nano-hummingbird-surveillance-bot-would-probably-engana-te>

<https://www.purdue.edu/newsroom/archive/releases/2019/Q2/hummingbird-robot-uses-ai-to-soon-go-where-drones-cant.html>



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



- Módulos de Formação WP3 sobre Design de Processos de Biomimética

Tarefa 3.1/ A1. Desenvolvimento de Kit de Autoaprendizagem para alunos de Veteranos - LP: ATS / CPs: TODAS AS SOLUÇÕES LET'S MIMIC

Uma solução refere-se aos passos aplicados para resolver o desafio identificado, através da biomimética.

Solução: O martim-pescador, a coruja e o pinguim

PROJETO DE BIOMIMETISMO	Descrição
Passo 2 – Bibliologizar	2.a Pergunta-te como é que a natureza pode resolver isto. • Como é que as corujas voam tão silenciosamente? Como é que os pinguins Adelie reduzem a resistência do ar? Como é que os martins-pescadores mergulham na água sem um salpico? Contexto • Corujas: As corujas são caçadoras silenciosas, confiando nas suas estruturas únicas de penas para reduzir o ruído durante o voo. As suas grandes asas geram sustentação, mas bater as asas pode criar turbulência e ruído. No entanto, as corujas evoluíram penas serrilhadas à frente e estruturas em forma de franja atrás, que quebram a turbulência e a dispersam, minimizando o ruído. Além disso, as suas faces côncavas e corpos macios absorvem o som, tornando o voo quase silencioso. • Pinguins Adeline: Os pinguins Adélia são nadadores excecionais, passando cerca de 75% do tempo na água. As suas asas evoluíram para poderosas nadadeiras, permitindo-lhes nadar longas distâncias e a profundidades mais baixas, assemelhando-se a voar debaixo de água. Os seus corpos em forma de torpedo e as pernas traseiras minimizam o arrasto, permitindo velocidades até 25 mph. Reduzem ainda mais o arrasto ao eriçar as penas e libertar bolhas, triplicando a velocidade. Usando uma técnica chamada porpoising, nadam logo abaixo da superfície, saltando para dentro e fora da água para respirar sem abrandar. São também excelentes mergulhadores, prendendo a respiração durante cerca de 6 minutos e mergulhando a profundidades entre 9 e 18 metros. Além disso, engolem pequenas pedras para ajudar na digestão e a mergulhar mais fundo. • Martim-pescador: A forma da cabeça e do bico do martim-pescador permitem-lhe deslizar pelo ar e mergulhar na água de forma eficiente, transitando do ar para a água de forma fluida. Voando a velocidades até 25 mph, os seus bicos longos e afiados cortam a água silenciosamente, permitindo mergulhos furtivos para apanhar peixes. Apesar do comprimento do bico ser um desafio em ninhos escuros, as crias de martim-pescador têm bicos com pontas brancas e os pais têm flashes faciais brancos, fornecendo pistas visuais para a alimentação.

2.b Pergunte a si mesmo: O que quero que o meu design faça?



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



- **Transporte rápido e mais seguro:** Facilita o crescimento económico, o desenvolvimento regional e a integração social ao ligar grandes cidades, melhorar as viagens de negócios, o deslocamento e o turismo.
- **Reduzir o congestionamento:** Oferece um serviço ferroviário de alta capacidade para facilitar o tráfego rodoviário e aéreo e aliviar a pressão sobre outros sistemas ferroviários.
- **Amiga do ambiente:** Emite significativamente menos CO2 por passageiro-quilómetro em comparação com carros ou aviões, apoiando objetivos de redução das emissões de gases com efeito de estufa e promoção de transportes sustentáveis.

2.c Inverta a pergunta. Considere funções opostas.

Como é que as aves melhoram a eficiência do voo ou da natação nas condições do ambiente?



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Passo 3 – Descobrir

3.a Procure modelos naturais que correspondam às mesmas funções e contexto da sua solução de design. Por exemplo, leia literatura científica.

- **Tubarões:** A textura da sua pele reduz o arrasto e previne a bioincrustação, inspirando superfícies eficientes de navios e aeronaves.
- **Golfinhos:** Corpos aerodinâmicos e caudas poderosas permitem natação em alta velocidade e acrobacias. Utilizam ecolocalização para navegação e caça eficientes.
- **Aves de rapina:** As formas das asas e a mecânica de voo dos falcões e águias influenciam o design das asas das aeronaves para melhor sustentação e manobrabilidade.
- **Beija-flores:** Ágeis e rápidos, pairam, voam para trás e mudam de direção rapidamente devido à sua estrutura única de asas e metabolismo elevado.
- **Albatrozes:** Mestres do voo planador, percorrem vastas distâncias com energia mínima, usando asas longas e estreitas para voo a voo dinâmico.
- **Morcegos:** Apenas mamíferos capazes de voo sustentado, possuem asas flexíveis que permitem controlo preciso. Eles usam a ecolocalização para navegar e caçar eficientemente no escuro.

3.b Identificar especialistas e conectar-se com comunidades de biólogos e naturalistas.

- National Geographic.
- Revista de Ornitologia.
- Departamentos de Investigação Universitários.
- iNaturalista.
- Sociedade Americana de Naturalistas.
- PerguntaNatureza.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Passo 4 – Resumo

4.a Resuma os elementos-chave da estratégia biológica. Destacar as funções principais e palavras-chave. Se possível, faça um diagrama/desenho e/ou encontre imagens que possam informar o design.

Corujas

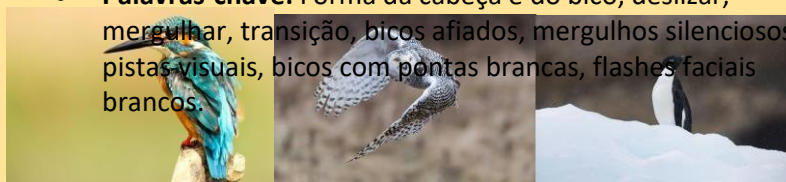
- **Funções principais:** Voo silencioso, redução de ruído.
- **Palavras-chave:** Caçadores silenciosos, estruturas de penas, penas serrilhadas, estruturas semelhantes a franjas, turbulência, rostos côncavos, corpos macios.

Pinguins Adelie

- **Funções principais:** Nadar eficientemente, redução do arrasto, mergulho profundo.
- **Palavras-chave:** Nadadores excepcionais, nadadeiras poderosas, corpos em forma de torpedo, pernas colocadas atrás, redução de arrasto, eriçar penas, libertar bolhas, boto, mergulhar, engolir pedras.

Martin-pescador

- **Funções principais:** mergulho eficiente, caça furtiva.
- **Palavras-chave:** Forma da cabeça e do bico, deslizar, mergulhar, transição, bicos afiados, mergulhos silenciosos, pistas visuais, bicos com pontas brancas, flashes faciais brancos.



<https://medium.com/@StammBio/what-is-biomimicry-the-train-and-o-martim-pescador-1a459ef21af0>

<https://medium.com/@StammBio/what-is-biomimicry-the-train-and-o-martim-pescador-1a459ef21af0>

<https://medium.com/@StammBio/what-is-biomimicry-the-train-and-o-martim-pescador-1a459ef21af0>

4.b Traduza lições da natureza em estratégias de design. Reescreva a estratégia sem usar termos biológicos e ligue-a às funções e ao contexto a partir de uma perspectiva humana.



<https://medium.com/@StammBio/what-is-biomimicry-the-train-and-o-martim-pescador-1a459ef21af0>

Em 1987, o Japão enfrentou um problema de ruído com os seus comboios-bala Shinkansen, que criavam um forte "estrondo de túnel" ao passar por túneis a alta velocidade. Eiji Nakatsu, inspirado pelo bico do martim-pescador, redesenhou a frente do comboio para reduzir o ruído e melhorar a eficiência. Este novo design permitiu que o comboio viajasse 10% mais rápido, usasse 15% menos eletricidade e eliminasse o boom do túnel. A carroçaria aerodinâmica, influenciada pelo pinguim Adélie, reduziu ainda mais a resistência do ar. Esta biomimética não só resolveu o problema do ruído, como também destacou o potencial para inovação sustentável em várias indústrias.

Estratégias-chave de design

1. Redução de ruído e eficiência

- **Problema:** Os comboios criavam ruído disruptivo ao sair dos túneis.
- **Solução:** Redesenhar a frente do comboio para minimizar o ruído e aumentar a eficiência.
- **Resultado:** O novo design permitiu que o comboio viajasse 10% mais rápido, usasse 15% menos eletricidade e eliminasse a necessidade do boom do túnel.

2. Otimização aerodinâmica

- **Problema:** Viagens em alta velocidade causavam resistência significativa do ar.
- **Solução:** Aerodinamizar o corpo do comboio para reduzir a resistência do ar.
- **Resultado:** O design aerodinâmico reduziu ainda mais a resistência ao ar, contribuindo para o desempenho melhorado do comboio.

Contexto e perspetiva humana

- **Função:** O objetivo principal é criar um comboio de alta velocidade mais silencioso e eficiente.
- **Impacto humano:** O redesenho não só resolveu o problema do ruído, tornando o ambiente mais agradável para os residentes



vizinhos, como também melhorou a velocidade e a eficiência energética do comboio. Esta inovação demonstrou o potencial para soluções sustentáveis nos transportes e noutras indústrias, destacando como o design



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



	Inspirado por princípios naturais pode conduzir a avanços significativos na tecnologia e na eficiência.
Passo 5 – Emular	5.a Liste as suas informações principais e explore o máximo de ideias possível. Redução de ruído • Imita formas naturais para reduzir o ruído aerodinâmico. • Implemente serrilhas ou outras funcionalidades de atenuação de ruído nos componentes críticos. • Use materiais que absorvam ou desviem o som. Melhoria da eficiência • Designs aerodinâmicos para reduzir a resistência do ar. • Otimize o consumo de energia através de alterações de design. • Incorpore funcionalidades que aumentem a velocidade sem aumentar o consumo de energia. Inovação sustentável Aplicar princípios de biomimética a outros modos de transporte. • Explore soluções naturais para problemas comuns de engenharia. • Promover designs que equilibrem desempenho com impacto ambiental. 5.b Organize as suas ideias em categorias que incluam as funcionalidades, o contexto, as restrições, etc., e selecione os conceitos de design que melhor se adequam à sua solução. Características • Frente redesenhada: Imita o bico do martim-pescador para reduzir o ruído. • Serrilhas no pantógrafo: Reduzir o ruído aerodinâmico. • Corpo aerodinâmico: Influenciado pelo pinguim Adelie para reduzir a resistência do ar. Contexto • Viagem de alta velocidade: Comboios a 200+ mph. • Poluição sonora: O boom dos túneis está a incomodar os residentes. • Eficiência energética: Necessidade de reduzir o consumo de eletricidade. Restrições • Limite de decibéis: Deve cumprir as normas de ruído (70 dB). • Desafios aerodinâmicos: Altas velocidades aumentam o ruído e a resistência.



- **Integração de design:** As alterações devem encaixar-se na infraestrutura ferroviária existente.





	Ideia selecionada Carroçaria aerodinâmica - design inspirado na Adelie Penguin. • Função: Reduzir a resistência do ar e melhorar a eficiência. • Contexto: Viagem de alta velocidade e eficiente em termos energéticos.
Passo 6 – Avaliar	6.a Avaliar o(s) conceito(s) de design em relação ao seu alinhamento com os critérios e restrições do desafio de design, bem como a sua compatibilidade com os sistemas da Terra. Avaliar a viabilidade do modelo técnico e de negócio. Alinhamento com os critérios e restrições do desafio de design 1. Redução de ruído • Critérios: O projeto deve reduzir a poluição sonora, particularmente o "boom dos túneis". • Avaliação: O corpo aerodinâmico inspirado no pinguim Adelie reduz a resistência do ar, o que contribui indiretamente para a redução do ruído ao minimizar a turbulência e o ruído aerodinâmico. 2. Eficiência energética • Critérios: O design deve melhorar a eficiência energética. • Avaliação: O design aerodinâmico reduz o arrasto, permitindo que o comboio viaje mais rapidamente enquanto consome menos energia. Isto está alinhado com o objetivo de reduzir o consumo de eletricidade em 15%. 3. Viagem em alta velocidade • Critérios: O projeto deve suportar viagens de alta velocidade (200+ mph). • Avaliação: A carroçaria aerodinâmica está otimizada para viagens em alta velocidade, reduzindo a resistência do ar e permitindo ao comboio manter altas velocidades de forma mais eficiente. 4. Conformidade regulamentar • Critérios: O projeto deve cumprir os regulamentos de ruído (limite de 70 dB). • Avaliação: Ao reduzir o ruído aerodinâmico, o design aerodinâmico ajuda o comboio a cumprir as normas de ruído. Compatibilidade com os sistemas da Terra • Impacto ambiental: O design simplificado reduz o consumo de energia, levando a menores emissões de gases com efeito de estufa. Isto apoia objetivos de transporte sustentável e minimiza a pegada ambiental.





- **Eficiência de recursos:** O design utiliza princípios naturais para alcançar eficiência, reduzindo a necessidade de recursos adicionais ou tecnologias complexas.

Viabilidade do modelo técnico e de negócio



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



- **Viabilidade técnica:** O design aerodinâmico é tecnicamente viável, pois envolve modificar a forma exterior do comboio. Isto pode ser conseguido com as capacidades de engenharia e materiais atuais.
- **Viabilidade do modelo de negócio:** O design oferece poupanças de custos através da redução do consumo de energia e dos custos de manutenção. A maior eficiência e conformidade com as regulamentações de ruído podem aumentar a comercialização e a viabilidade operacional do comboio.

6.b Rever e rever os passos anteriores conforme necessário para gerar uma solução viável.

Revisitar a integração de design

- Garantir que o design aerodinâmico da carroçaria é compatível com a infraestrutura ferroviária existente e não requer modificações extensas.
- Realizar testes adicionais para otimizar a forma e garantir a máxima redução de ruído e eficiência energética.

Melhorar as funcionalidades de redução de ruído

Combine o corpo aerodinâmico com tecnologias adicionais de abafamento de ruído, como materiais absorventes de som ou designs avançados de pantógrafos.

Foco em sustentabilidade

Explore a utilização de materiais amigos do ambiente na construção da carroçaria aerodinâmica.

Implemente sistemas de recuperação de energia para aumentar ainda mais a eficiência.

Solução final viável

O design aerodinâmico do corpo inspirado no pinguim Adelie responde eficazmente ao desafio de design ao reduzir a resistência do ar, melhorar a eficiência energética e minimizar a poluição sonora. Ao integrar este design com funcionalidades adicionais de redução de ruído e focar na sustentabilidade, a solução alinha-se com os critérios e restrições, garantindo viabilidade técnica e do modelo de negócio. Esta abordagem não só resolve o problema imediato, como também promove a inovação sustentável no transporte ferroviário de alta velocidade.

Recursos adicionais:

<https://biomimicry.org/>

https://www.japanfs.org/en/news/archives/news_id027795.html

<https://asknature.org/innovation/high-speed-train-inspired-by-the-kingfisher/>

<https://medium.com/@StammBio/what-is-biomimicry-the-train-and-the-kingfisher-1a459ef21af0>

https://labs.blogs.com/its_alive_in_the_lab/2019/04/bbc-the-unexpected-inspiration-behind-japans-bullet-train.html



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



<https://asknature.org/strategy/beak-provides-streamlining/#introduction>



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



<https://pastcontest.diproinduca.com/how-nature-inspired-japans-shinkansen/>

<https://xshore.com/us/news/penguins-swim-underwater-at-up-to-25-miles-per-hour>



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Módulos de Formação WP3 sobre Design de Processos de Biomimética

Tarefa 3.1/ A1. Desenvolvimento de Kit de Autoaprendizagem para alunos de Veteranos - LP: ATS / CPs: TODAS AS SOLUÇÕES LET'S MIMIC

Uma solução refere-se aos passos aplicados para resolver o desafio identificado, através da biomimética.

Solução: Comportamento adaptativo dos bolores mucilaginosos

PROJETO DE BIOMIMETISMO	Descrição
Passo 2 – Bibiologizar	2.a Pergunta-te como é que a natureza pode resolver isto. Como é que o bolor viscoso pode ligar diferentes fontes de alimento? Contexto Physarum polycephalum é um bolor viscoso esverdeado-amarelado que pode converter-se em múltiplas formas. Apesar de não ter cérebro, apresenta um comportamento complexo, formando uma rede tubular para transferir nutrientes de forma eficiente. Alimenta-se de matéria vegetal em decomposição em ambientes frescos, húmidos e escuros, como a serapilheira da floresta. Os bolores viscosos forragem-se amplamente e depois otimizam a sua rede para o transporte de nutrientes. Em laboratórios, podem crescer com mais de 30 cm de diâmetro. Usam experiências passadas para ajustar comportamentos, embora os mecanismos sejam desconhecidos. A sua rede assemelha-se a sinapses cerebrais animais, com tubos interligados e oscilações a criar padrões de ondas. Os bolores viscosos resolvem problemas complexos, como encontrar o caminho mais curto num labirinto ou equilibrar os níveis de nutrientes. A sua capacidade de navegar e formar redes tem intrigado investigadores em áreas como a inteligência artificial. 2.b Pergunte a si próprio "O que quero que o meu design faça?" • Projetar uma rede de transporte mais eficiente, adaptável e resiliente, imitando o comportamento natural dos bolores mumentaginosos na procura de caminhos ótimos. Esta rede deve consumir menos recursos, consumir menos energia e ter um impacto ambiental menor. . • Crie um sistema de metro resiliente a perturbações como avarias, obras ou desastres naturais, e que se adapte ao crescimento urbano e às mudanças nos padrões populacionais. Aborde as complexidades do transporte urbano, como a congestão, otimizando para múltiplos fatores. 2.c Inverta a questão. Considere funções opostas. Como é que o bolor viscoso pode transportar nutrientes de forma eficiente por todo o corpo?
Passo 3 – Descobrir	3.a Procure modelos naturais que correspondam às mesmas funções e contexto da sua solução de design. Por exemplo, leia literatura científica.



- Redes fúngicas: O micélio forma redes subterrâneas que transportam nutrientes e se reorganizam para otimizar a distribuição dos recursos.
- Sistemas vasculares nas plantas: O xilema e o floema transportam água, nutrientes e açúcares, adaptando-se às alterações ambientais para uma distribuição eficiente.
- Trilhos de formigas: As colónias de formigas criam trilhos otimizados através de sinais de feromonas para encontrar os caminhos mais curtos para o alimento.
- Sistemas circulatórios animais: Os sistemas circulatórios animais transportam eficientemente sangue, oxigénio e nutrientes, adaptando-se às mudanças na procura.
- Colónias microbianas: As colónias bacterianas formam redes para otimizar a absorção de nutrientes e a remoção de resíduos, reorganizando-se em resposta às alterações ambientais.

3.b Identificar especialistas e conectar-se com comunidades de biólogos e naturalistas.

- Instituto de Design Experimental e Culturas dos Media (IXDM).
- Rede Física.
- Bolor viscoso Tempo Bolor.



Passo 4 – Resumo

4.a Resumir os elementos-chave da estratégia biológica. Destacar as funções principais e palavras-chave. Se possível, faça um diagrama/desenho e/ou encontre imagens que possam informar o design.

Elementos-chave da estratégia biológica

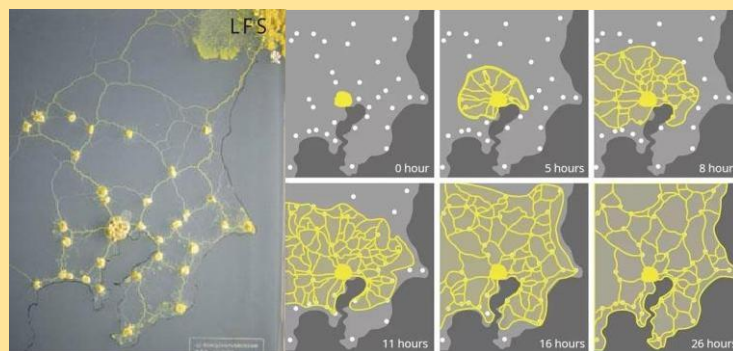
- Exploração e deteção: Os bolores viscosos estendem a sua rede de tubos protoplasmáticos em várias direções para explorar o seu ambiente e detetar fontes de alimento.
- Resposta ao sinal: Ao encontrar alimento, são libertados sinais químicos, atraindo mais protoplasma para a área e causando o espessamento dos tubos.
- Reforço seletivo: Tubos que transportam nutrientes de forma eficiente são reforçados, enquanto tubos menos eficientes ou redundantes são reabsorvidos.
- Ajuste dinâmico: A rede ajusta-se continuamente com base na disponibilidade de alimentos e nas condições ambientais.
- Memória e eficiência: O bolor viscoso mantém uma "memória" das localizações anteriores dos alimentos ao manter tubos mais espessos nessas áreas, permitindo uma rápida reconexão caso o alimento volte a estar disponível.

Funções principais



- Transporte de nutrientes: Transportar nutrientes de forma eficiente por todo o organismo.
- Adaptabilidade: Ajustar a rede em resposta a mudanças no ambiente.
- Otimização: Manter uma estrutura de rede ótima para a distribuição de recursos.
- Resolução de problemas: Demonstrar a capacidade de resolver problemas complexos, como encontrar o caminho mais curto através de um labirinto.

Palavras-chave: Tubos protoplasmáticos; Sinalização química; Reforço de rede; Reorganização dinâmica; Transporte de nutrientes; Adaptação ambiental; Otimização; Resolução de Problemas



[Engenharia de Redes de Bolor Viscoso: Ficção Científica nas Notícias](#)

[Como o Japão Utilizou Aveia e Bolor Para Tornar o Seu Sistema de Metro Mais Eficiente](#)

Uma representação gráfica de um bolor mucoso que se espalha e estabelece redes de ligação em diferentes pontos marcados com lascas de aveia.

4.b Traduzir lições da natureza em estratégias de design. Reescreva a estratégia sem usar termos biológicos e ligue-a às funções e ao contexto a partir de uma perspetiva humana.

Investigadores no Japão usaram o comportamento de um organismo simples para redesenhar o sistema de metro de Tóquio. Num estudo de 2010, colocaram o organismo num recipiente com restos de comida dispostos para imitar os principais locais de Tóquio. A formação da rede do organismo espelhava de perto o sistema real de metro, demonstrando um design eficiente e resiliente.

Esta experiência demonstrou que estratégias naturais podem inspirar o design de infraestruturas urbanas. A rede do organismo era eficiente na ligação dos pontos-chave e robusta contra perturbações, destacando o potencial para criar redes de transporte mais eficientes, adaptáveis e resilientes.

Contexto da aplicação

- **Planeamento urbano:** Otimizar o fluxo de trânsito e as rotas de transporte público para reduzir a congestão e melhorar os tempos de deslocação.
- **Gestão da cadeia de abastecimento:** Reforçar as redes logísticas para garantir a entrega atempada dos bens e reduzir os custos de transporte.
- **Telecomunicações:** Melhorar o encaminhamento de dados nas redes de comunicação para melhorar a conectividade e reduzir a latência.
- **Distribuição de energia:** Otimizar as redes elétricas para equilibrar oferta e procura, reduzindo o desperdício de energia e melhorando a fiabilidade.



<https://saugatadastider.medium.com/nature-as-an-innovator-licções-de-mofo-de-lodo-para-tokyos-metro-265cdb1904ff>

Passo 5 – Emular

5.a Liste as suas informações principais e explore o máximo de ideias possível.

Princípios-chave

- Adaptação dinâmica.
- Eficiência de recursos.
- Resiliência.
- Escalabilidade.
- Controlo descentralizado.

Ideias: Monitorizar continuamente o desempenho e as condições, ajustar os caminhos em tempo real para otimizar a distribuição de recursos e minimizar perturbações, priorizar rotas eficientes, rotas alternativas para lidar com mudanças inesperadas, redes que cresçam e evoluam de forma fluida com o aumento da procura e novos nós, nós individuais para decisões mais rápidas e ajustes responsivos

5.b Organize as suas ideias em categorias que incluam as funcionalidades, o contexto, as restrições, etc., e selecione os conceitos de design que melhor se adequam à sua solução.



**Adaptação
dinâmica**



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

	• Monitorize continuamente o desempenho e as condições. • Ajuste os caminhos em tempo real para otimizar a distribuição dos recursos e minimizar perturbações. Eficiência de recursos • Priorize rotas eficientes. • Reconfigure rapidamente para evitar gargalos e manter o fluxo ideal. Resiliência • Construa flexibilidade com múltiplas rotas alternativas. • Adapte-se rapidamente a mudanças ou desafios inesperados. Escalabilidade • Projetar a rede para crescer e evoluir de forma fluida. • Integrar novos nós e aumentar as exigências sem comprometer o desempenho. Controlo descentralizado • Capacite os nós individuais a tomar decisões locais. • Permite ajustes mais rápidos e responsivos. Ideia selecionada A melhor ideia está relacionada com a resiliência: construir flexibilidade com múltiplas rotas alternativas que possam adaptar-se rapidamente a mudanças ou desafios inesperados.
Passo 6 – Avaliar	6.a Avaliar o(s) conceito(s) de design relativamente à sua alinhamento com os critérios e restrições do desafio de design, bem como a sua compatibilidade com os sistemas da Terra. Avalie a viabilidade tanto do modelo técnico como do modelo de negócio. Viabilidade técnica • Otimização de Rede: Os designs inspirados em bolor viscoso podem otimizar redes de metro ou ferrovia, reduzindo os tempos de viagem e aumentando a resiliência a perturbações. • Desenvolvimento de algoritmos: Algoritmos que simulam o comportamento dos bolores viscosos podem criar redes que equilibram custos, tempo de viagem e vulnerabilidade a interrupções. • Integração com sistemas existentes: Integrar estes designs com as ferramentas atuais de planeamento de transportes é viável, mas requer recursos computacionais e conhecimentos significativos.

- **Escalabilidade:** Modelos inspirados em bolor viscoso podem ser escalados para vários tamanhos, desde pequenas redes urbanas até grandes sistemas regionais.



Viabilidade do modelo de negócio

- **Eficiência de custos:** Os designs inspirados em bolor mucoso podem reduzir custos ao otimizar os layouts da rede, reduzir investimentos em infraestruturas e atrair partes interessadas.
- **Resiliência e fiabilidade:** Estas redes são menos propensas a interrupções, o que melhora a fiabilidade do serviço e atrai mais utilizadores, aumentando assim as receitas.
- **Sustentabilidade:** Vias otimizadas reduzem o consumo de energia, apoiando objetivos de sustentabilidade e atraindo investidores e governos ambientalmente conscientes.
- **Diferenciação de mercado:** Designs inovadores e inspirados na natureza podem diferenciar uma empresa de transportes, atraindo mais clientes e parcerias.
- **Apoio regulatório e político:** Demonstrar a eficiência e resiliência destes designs pode ajudar a garantir aprovação regulatória e apoio político.

6.b Rever e rever os passos anteriores conforme necessário para gerar uma solução viável.

O design deve considerar os seguintes passos para encontrar uma solução viável:

- **Investigação e desenvolvimento:** Realizar estudos detalhados sobre o comportamento dos bolores mucilaginosos e a sua aplicação no design de redes. Desenvolver e testar algoritmos que simulem o comportamento do bolor viscoso para otimização de redes.
- **Projetos-piloto:** Implementar projetos-piloto em pequenas áreas urbanas para testar a viabilidade e eficácia dos projetos. Monitorizar o desempenho e fazer os ajustes necessários.
- **Integração e escalabilidade:** Integrar projetos piloto bem-sucedidos com sistemas de transporte existentes e escalar os projetos para redes urbanas e regionais de maior dimensão.
- **Envolvimento das partes interessadas:** Envolver-se com as partes interessadas, incluindo investidores, agências governamentais e o público em geral, para destacar os benefícios da eficiência de custos, resiliência, sustentabilidade e diferenciação de mercado.

Recursos adicionais:

<https://biomimicry.org/>

Monitorização e adaptação contínuas: Monitorizar continuamente o desempenho da rede e as condições ambientais. Ajustar caminhos e ligações em tempo real para otimizar a distribuição de recursos e minimizar perturbações...



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



<https://phys.org/news/2022-01-virtual-slime-mold-subway-network.html>



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



<https://www.sd-zen-zone.in/post/slime-mold-tokyo-subway-a-Biomimética-Caso-Estudo-em-Design-Inovador>

<https://blogs.ubc.ca/communicatingscience2017w211/2018/01/29/brainless-slime-mold-grows-in-padrão-as-tokyos-sistema-de-metro/>

<https://www.linkedin.com/pulse/harnessing-natures-genius-how-slime-mold-inspired-sahil-srichandan-qa1gf>

<https://saugatadastider.medium.com/nature-as-an-innovator-lessons-from-slime-mold-to-tokyos-subway-265cdb1904ff>

<https://biodesign.berkeley.edu/2022/02/18/brainless-slime-mold-grows-in-pattern-like-tokyos-sistema-de-metro/>

<https://knowledge.carolina.com/discipline/life-science/biology/the-slime-mold-physarum-policefalo/>

<https://www.freethink.com/science/slime-molds-subways>

<https://www.nature.com/articles/s41598-022-05439-w>

<https://www.utoronto.ca/news/researchers-use-virtual-slime-mould-design-ttc-subway-network-menos-propensa-a-perturbações>

<https://www.ribaj.com/culture/reseaux-mondes-centre-pompidou-paris-ecologicstudio-slime-mould>

<https://www.theguardian.com/cities/2014/feb/18/slime-mould-rail-road-transport-routes>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844023042500>

<https://www.slideshare.net/slideshow/slime-mould-inspired-urban-planning-2pptx/266839877>



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Módulos de Formação WP3 sobre Design de Processos de Biomimética

Tarefa 3.1/ A1. Desenvolvimento de Kit de Autoaprendizagem para alunos de Veteranos - LP: ATS / CPs: TODOS AS SOLUÇÕES LET'S MIMIC

Uma solução refere-se aos passos aplicados para resolver o desafio identificado, através da biomimética.

Solução: Proteção forte e duradoura A escama Pangolim

PROJETO DE BIOMIMETISMO	Descrição
Passo 2 – Bibiologizar	2.a Pergunta-te como é que a natureza pode resolver isto. Como é que os animais aumentam a sua flexibilidade e durabilidade em contextos críticos? Contexto As escamas dos pangolins são feitas de queratina, proporcionando resistência e adaptabilidade. As escalas sobrepostas e hexagonais permitem flexibilidade e proteção robusta, permitindo que os pangolins se enrolem em bola. Estas escamas são resistentes mas elásticas, dobrando-se sem rachar e adaptando-se a vários terrenos. Os pangolins podem regenerar escamas danificadas, garantindo durabilidade a longo prazo. As balanças interligadas distribuem a tensão de forma uniforme, oferecendo informações para conceber produtos flexíveis e duráveis, como mochilas. 2.b Pergunte a si próprio: "O que quero que o meu design faça?" • Proporciona flexibilidade e durabilidade como as escamas de pangolim. • Proteja o conteúdo da mochila. • Adapte-se às várias necessidades dos utilizadores. 2.c Inverta a questão. Considere funções opostas. Como é que os pangolins se protegem?
Passo 3 – Descobrir	3.A Procure modelos naturais que correspondam às mesmas funções e contexto da sua solução de design. Funções • Proteção: As escamas de pangolim, feitas de queratina, são resistentes e flexíveis. A sua disposição sobreposta e entrelaçada absorve e distribui as forças de impacto, funcionando como uma armadura quase impenetrável quando o pangolim se encolhe numa bola. • Flexibilidade e adaptabilidade: A elasticidade das balanças permite-lhes dobrar sem rachar, possibilitando que os pangolins se adaptem a várias posturas e ambientes defensivos. • Regeneração: Os pangolins podem regenerar escamas danificadas, garantindo que a sua armadura protetora se mantém



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

eficaz ao longo do tempo.

Modelos naturais



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

- **Tatulos:** Tal como os pangolins, os tatus têm armaduras protetoras feitas de placas ósseas cobertas de queratina. Podem enrolar-se numa bola para se protegerem de predadores.
- **Tartarugas:** As tartarugas têm carapaças duras e protetoras feitas de placas ósseas cobertas por escudos, semelhantes às escamas de queratina dos pangolins. As suas carapaças oferecem excelente proteção contra predadores.
- **Tartarugas-mordedoras-jacaré:** Estas tartarugas têm carapaças robustas e espinhosas e mandíbulas poderosas. As suas conchas semelhantes a armaduras proporcionam uma proteção significativa, semelhante às escamas de pangolim.
- **Ouriços:** Os ouriços têm espinhos feitos de queratina que usam para proteção. Quando ameaçados, encolhem-se numa bola, tal como os pangolins.
- **Ankylosaurus:** Este dinossauro extinto tinha o corpo coberto de placas ósseas e uma cauda em forma de clava para defesa. A sua armadura lembra as escamas protetoras dos pangolins.

3.b Identificar especialistas e conectar-se com comunidades de biólogos e naturalistas.

- **O Dr. Ravi Sundaram, o Dr. K. S. R. Reddy e o Dr. Andrew J. K. C. Wong publicaram:** Journal of Biomimetic Materials and Engineering, 2021.
- **O Dr. Jonathan Baillie e a Dra. Susie Ellis** trabalharam na conservação dos pangolins e podem ter conhecimentos sobre os aspetos estruturais dos pangolins.

Passo 4 – Resumo

4. Resuma os elementos-chave da estratégia biológica. Destacar as funções principais e palavras-chave. Se possível, faça um diagrama/desenho e/ou encontre imagens que possam informar o design.

Proteção

- **Escalas de queratina:** Resistentes e flexíveis.
- **Arranjo sobreposto e entrelaçado:** Absorve e distribui as forças de impacto.
- **Armadura impenetrável:** Protege de predadores quando encolhida numa bola.

Flexibilidade e adaptabilidade

- **Elasticidade:** As escamas dobram-se sem rachar.
- **Posturas defensivas:** Adapta-se a vários ambientes e ameaças.

Regeneração

- **Regeneração de escamas:** Mantém uma armadura protetora eficaz ao longo do tempo.



<https://www.discoverwildlife.com/animal-facts/mammals/facts-about-pangolins>

4.b Traduzir lições da natureza em estratégias de design. Reescreva a estratégia sem usar termos biológicos e ligue-a às funções e ao contexto a partir de uma perspetiva humana.

- **Seleção de materiais:** Use materiais resistentes, flexíveis e elásticos que imitem a queratina.
- **Design estrutural:** Incorpore camadas sobrepostas e interligadas para distribuir a tensão e aumentar a flexibilidade.
- **Características de proteção:** Integrar almofadadas que absorvem impactos e reforçar áreas de elevado stress.
- **Adaptabilidade:** Projete componentes modulares e ajustáveis para satisfazer várias necessidades.
- **Capacidades regenerativas:** Use materiais reparáveis ou auto-curativos para manter a funcionalidade.
- **Ergonomia:** Garanta um ajuste confortável com estruturas de suporte flexíveis para melhor usabilidade.



<https://www.tomsguide.com/us/Armadillo-Shell-Backpack,news-11198.html>

Passo 5 – Emular

5.a Liste as suas informações principais e explore o máximo de ideias possível.

- **Painéis sobrepostos para flexibilidade:** Imita escalas de pangolim, aumenta a flexibilidade e proteção, permite movimento independente, adapta-se a diferentes cargas e movimentos, distribui a força amplamente, é leve e confortável.

Ideias: compartimentos expansíveis, movimento independente, proteção em camadas, dobradiças flexíveis

- **Materiais duráveis e leves:** inspirados na queratina, estes materiais avançados e resilientes resistem a condições adversas, aumentam a mobilidade e reduzem a fadiga, tornando-se resistentes à água ou à prova de água.

Ideias: compósitos avançados, revestimentos impermeáveis, resistência à abrasão, isolamento térmico

- **Design modular para adaptabilidade:** Ajuste e personalização fáceis, secções independentes mantêm a integridade, expandem ou remodelam conforme necessário, adicionam ou removem compartimentos, facilitam as reparações e melhorias, apoiam a sustentabilidade.

Ideias: secções personalizáveis, peças intercambiáveis, módulos expansíveis, materiais sustentáveis, montagem fácil de usar

5.b Organize as suas ideias em categorias que incluam as funcionalidades, o contexto, as restrições, etc., e selecione os conceitos de design que melhor se adequam à sua solução.

- **Características estruturais:** compartimentos expansíveis, dobradiças flexíveis, peças intercambiáveis, módulos expansíveis.
- **Propriedades dos materiais:** Compósitos avançados, revestimentos impermeáveis, resistência à abrasão, isolamento térmico, materiais sustentáveis.
- **Funcionalidades:** Movimento independente, proteção em camadas, secções personalizáveis, montagem fácil de utilizar.

Contexto e restrições

- **Contexto:** O design deve ser adaptável a várias aplicações, como equipamento para exteriores, equipamentos de proteção ou soluções modulares de armazenamento.
- **Restrições:** As considerações incluem custo-benefício, facilidade de fabrico, segurança do utilizador e impacto ambiental.

Ideias selecionaram

compósitos

avançados

- **Resistência e leveza:** Compósitos avançados, como fibra de carbono ou Kevlar, oferecem elevadas relações resistência-peso. Isto significa que a mochila pode ser resistente e durável sem ser pesada, tornando-a confortável de transportar.
- **Flexibilidade:** Estes materiais podem ser concebidos para proporcionar flexibilidade, permitindo que a mochila se dobre e se mova sem partir ou perder a forma.



Passo 6 – Avaliar

6.a Avaliar o(s) conceito(s) de design relativamente à sua alinhamento com os critérios e restrições do desafio de design, bem como a sua compatibilidade com os sistemas da Terra. Avaliar a viabilidade do modelo técnico e de negócio.



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Critérios

- **Durabilidade:** Compósitos avançados como a fibra de carbono e o Kevlar oferecem alta resistência e durabilidade, ideais para suportar o desgaste diário, abrasões e impactos.
- **Flexibilidade:** Estes materiais podem ser concebidos para flexibilidade sem comprometer a integridade estrutural, permitindo que a mochila se adapte a vários movimentos e cargas.
- **Leve:** Os compósitos avançados proporcionam uma elevada relação resistência/peso, tornando a mochila leve e confortável de transportar.

Restrições

- **Custo:** Os compósitos avançados são dispendiosos de produzir, o que afeta a sua relação custo-benefício. O uso de compósitos reciclados ou de base biológica pode reduzir custos.
- **Fabricabilidade:** São necessários equipamentos e processos especializados, criando desafios na escalabilidade e eficiência da fabricação.
- **Impacto Ambiental:** Os compósitos tradicionais enfrentam desafios de reciclagem e preocupações ambientais devido à sua composição complexa e produção intensiva em energia. Os compósitos de base biológica e recicláveis estão a melhorar estas questões.

Compatibilidade com os sistemas da Terra

- **Sustentabilidade:** Compósitos de base biológica e fibras naturais (por exemplo, juta, linho) reduzem o impacto ambiental, promovendo a sustentabilidade. Estes materiais são renováveis e biodegradáveis.
- **Reciclabilidade:** Os avanços nos compósitos termoplásticos recicláveis permitem uma abordagem de economia circular.
- **Consumo de energia:** Os processos de fabrico podem ser intensivos em energia, mas otimizar estes processos e utilizar fontes de energia renovável pode reduzir a pegada de carbono.

Viabilidade do modelo técnico:

- **Viabilidade técnica:** Compósitos avançados são tecnicamente viáveis, dado o seu desempenho comprovado em indústrias como a aeroespacial e automóvel. Garantir a tecnologia, equipamentos e conhecimentos necessários é crucial.
- **Prototipagem e testes:** Desenvolver protótipos e realizar testes rigorosos (por exemplo, resistência à tração, resistência à abrasão, flexibilidade) são cruciais para validar o desempenho e a durabilidade do material.



Viabilidade do modelo de negócio



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



- **Gestão de custos:** Utilizar materiais reciclados e técnicas de fabrico enxuto pode ajudar a gerir custos de forma eficaz. O design modular permite manutenção e atualizações económicas.
- **Apelo de mercado:** Enfatizar a sustentabilidade e a durabilidade pode atrair consumidores ambientalmente conscientes, aumentando o apelo no mercado.
- **Escalabilidade:** O modelo de negócio deve considerar a escalabilidade dos processos de produção e a disponibilidade de materiais para responder à procura do mercado.

6.b Rever e rever os passos anteriores conforme necessário para gerar uma solução viável.

Para refinar a mochila inspirada no pangolim, é essencial ajustar e iterar continuamente o design com base no feedback e nos testes. Isto envolve abordar problemas reportados pelos utilizadores, como desconforto ou desempenho do material, e fazer melhorias para melhorar a funcionalidade e a experiência do utilizador. Ao refinar componentes como painéis sobrepostos e elementos modulares, e validar cada iteração através de testes, o produto final cumprirá os objetivos de design e superará as expectativas do utilizador, resultando numa mochila mais eficaz, confortável e fácil de utilizar.

Recursos adicionais:

<https://biomimicry.org/>

<https://asknature.org/innovation/durable-backpack-inspired-by-the-pangolin/>



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Módulos de Formação WP3 sobre Design de Processos de Biomimética

Tarefa 3.1/ A1. Desenvolvimento de Kit de Autoaprendizagem para alunos de Veteranos - LP: ATS / CPs: TODOS AS SOLUÇÕES LET'S MIMIC

Uma solução refere-se aos passos aplicados para resolver o desafio identificado, através da biomimética.

Solução: Biodegradabilidade da matéria orgânica das algas

PROJETO DE BIOMIMETISMO	Descrição
Passo 2 – Bibiologizar	2.a Pergunta-te como é que a natureza pode resolver isto. Como é que a vida marinha produz compostos biodegradáveis orgânicos? Contexto As algas produzem materiais biodegradáveis através da fotossíntese, convertendo a luz solar, o dióxido de carbono e a água em compostos orgânicos como hidratos de carbono, proteínas e lípidos. Algumas algas geram biopolímeros, incluindo alginato, ágar e carragenina, que podem substituir polímeros sintéticos. Estes compostos são inerentemente biodegradáveis e amigos do ambiente. As algas podem ser cultivadas em vários ambientes, incluindo água doce, água do mar e águas residuais, tornando-as um recurso sustentável com taxas de crescimento rápidas. Os investigadores estão a melhorar as propriedades dos materiais de algas para melhorar a resistência, flexibilidade e resistência à água, tornando-os adequados para produtos como sapatos biodegradáveis. Isto está alinhado com a crescente procura por alternativas ecológicas. 2.b Pergunte a si próprio: "O que quero que o meu design faça?" • Oferecer opções de moda biodegradáveis e sustentáveis. • Oferecer funcionalidades multifuncionais, como adaptabilidade a diferentes condições meteorológicas ou utilizações. 2.c Inverta a questão. Considere funções opostas. Como é que os ecossistemas marinhos apoiam o ciclo de nutrientes?



Passo 3 – Descobrir

3.A Procure modelos naturais que correspondam às mesmas funções e contexto da sua solução de design.

- **Couro de ananás:** Feito a partir das fibras das folhas de ananás, o Piñatex é usado na moda para sapatos, malas e acessórios. É um subproduto da colheita do ananás, tornando-se uma alternativa ecológica aos materiais sintéticos.
- **Couro de cogumelo:** Criado a partir do micélio, a estrutura radicular dos cogumelos, o Mylo é usado em calçado e moda. Oferece uma alternativa sustentável ao couro animal e aos materiais sintéticos.
- **Cortiça:** Colhida da casca de sobreiros, a cortiça é usada nas solas e palmilhas dos sapatos. É um recurso renovável que proporciona conforto e sustentabilidade.

- **Couro de maçã:** Feito de resíduos de maçã, o AppleSkin é usado na moda para calçado e acessórios. Combina resíduos de maçã com uma pequena quantidade de PU para criar uma alternativa sustentável ao couro tradicional.
- **Couro de cacto:** Feito a partir das folhas do cacto nopal, o Desserto é usado em calçado e moda. É uma alternativa orgânica e sustentável aos couros sintéticos.

3.b Identificar especialistas e conectar-se com comunidades de biólogos e naturalistas.

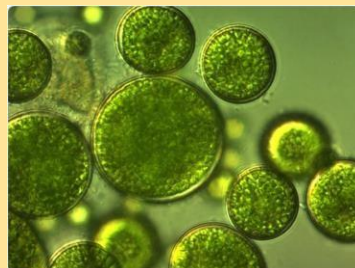
- **Dr. Stephen Mayfield**, professor de Biologia na UC San Diego e diretor do Centro da Califórnia para Biotecnologia de Algas, além de diretor executivo da BLUEVIEW.

Passo 4 – Resumo

4. Resuma os elementos-chave da estratégia biológica. Destacar as funções principais e palavras-chave.

Funções principais:

- **Recurso renovável:** As algas crescem rapidamente sem necessidade de solo fértil ou grandes quantidades de água doce.
- **Biodegradável:** As algas decompõem-se naturalmente, reduzindo o impacto ambiental.
- **Durabilidade e flexibilidade:** As algas possuem propriedades estruturais que lhes permitem sobreviver em ambientes aquáticos dinâmicos, proporcionando inspiração para materiais duradouros e flexíveis.
- **Resistência à água:** A natureza lisa e repelente de água das algas ajuda a manter os sapatos secos e limpos.
- **Respirabilidade:** Inspirada nos processos de troca de gás natural das algas, garantindo a circulação de ar e prevenindo o acúmulo de odores.
- **Sustentabilidade:** A utilização de algas reduz a dependência de materiais sintéticos e não degradáveis e minimiza o impacto ambiental da produção.



<https://www.news-medical.net/life-sciences/What-are-Algae.aspx>

4.b Traduzir lições da natureza em estratégias de design. Reescreva a estratégia sem usar termos biológicos e ligue-a às funções e ao contexto a partir de uma perspectiva humana.

Funções principais

- **Recursos renováveis:** Utilizar materiais que cresçam rapidamente e que não exijam recursos extensivos.
- **Biodegradável:** Garantir que os materiais se decompõem naturalmente, reduzindo os resíduos.
- **Durabilidade e flexibilidade:** Criar sapatos resistentes e adaptáveis a várias condições.
- **Resistência à água:** Fazer sapatos que repelem a água e se mantenham secos.
- **Respirabilidade:** Desenhar sapatos que permitam a circulação de ar para manter os pés confortáveis e livres de cheiros.
- **Sustentabilidade:** Reduzir a dependência de materiais sintéticos e minimizar o impacto ambiental.

Elementos-chave da estratégia

- **Materiais verdes:** Desenvolva sapatos usando materiais naturais e sustentáveis que se decompõem naturalmente, reduzindo os danos ambientais.
- **Funcionalidade melhorada:** Certifique-se de que os sapatos são duráveis, flexíveis, resistentes à água e respiráveis para satisfazer várias necessidades.
- **Design moderno:** Mantenha um aspeto atraente e contemporâneo para agradar aos consumidores.
- **Versatilidade:** Desenhe sapatos adequados para diferentes atividades, desde roupa casual até uso desportivo leve.
- **Responsabilidade ambiental:** Promover a sustentabilidade reduzindo a dependência de recursos não renováveis e minimizando a pegada ambiental.



<https://newatlas.com/environment/blueview-fully-biodegradable-sapatos/>

Passo 5 – Emular

5.a Liste as suas informações principais e explore o máximo de ideias possível. Informação chave

- Composição do material.
- Características de design.

- Sustentabilidade.

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Co-funded by
the European Union

Ideias

- Leve, resistente à água, compostável.
- Algodão ou cânhamo orgânico para respirabilidade e conforto.
- Sola durável e absorvente de impactos.
- Coloração não tóxica.
- Destacável e alterável consoante o terreno.
- Tratamentos hidrofóbicos à base de algas.
- Ajuste personalizado.
- Formas e texturas orgânicas de algas, padrões ondulados de superfície e uma paleta de cores inspirada na natureza.
- Todos os componentes podem ser compostados.
- Adequado para várias atividades e ambientes.
- Muda de ténis para sandália.

5.b Organize as suas ideias em categorias que incluam as funcionalidades, o contexto, as restrições, etc., e selecione os conceitos de design que melhor se adequam à sua solução.

Composição do material

- **Bioplástico derivado de algas:** Leve, resistente à água, compostável.
- **Fibras naturais:** algodão ou cânhamo orgânico para respirabilidade e conforto.
- **Espuma derivada de algas:** Sola durável e absorvente de impactos.
- **Pigmentos à base de algas:** Corantes não tóxicos.

Características de design

- **Sola modular:** Destacável e ajustável para diferentes terrenos.
- **À prova de água e respirável:** tratamentos hidrofóbicos à base de algas.
- **Sistema ajustável de atacadores/alças:** Ajuste personalizado.
- **Inspiração estética:** Formas e texturas orgânicas de algas, padrões ondulados de superfície, paleta de cores inspirada na natureza.

Sustentabilidade

- **Totalmente biodegradável:** Todos os componentes podem ser compostados.
- **Versatilidade:** Adequado para várias atividades e ambientes.
- **Design transformável:** Muda de ténis para sandália.



Contexto



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Urbano, ao ar livre e viagens.

Restrições

- **Custo:** Bioplásticos derivados de algas e materiais naturais como cânhamo e algodão orgânico são mais caros do que materiais sintéticos.
- **Viabilidade da produção:** Os materiais biodegradáveis devem corresponder à flexibilidade, resistência e propriedades impermeabilizantes dos plásticos tradicionais.
- **Durabilidade:** Os materiais biodegradáveis podem não ser tão resistentes ao desgaste como os sintéticos tradicionais. Os sapatos devem resistir ao uso diário, especialmente em contextos de exterior e viagens.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Passo 6 – Avaliar

6.a Avaliar o(s) conceito(s) de design relativamente ao seu alinhamento com os critérios e restrições do desafio de design, bem como a sua compatibilidade com os sistemas da Terra. Avalie a viabilidade tanto do modelo técnico como do modelo de negócio.

Avaliar a biodegradabilidade e funcionalidade do protótipo

O protótipo é biodegradável e funcional, utilizando bioplásticos derivados de algas e fibras naturais como algodão orgânico ou cânhamo para compostabilidade. A certificação validaria isso. O conforto é garantido por fibras respiráveis e atacadores ajustáveis, com solas modulares que acrescentam versatilidade. No entanto, a durabilidade, aderência e resistência à água precisam de ser testadas. As suas formas orgânicas e cores naturais atraem os consumidores. No geral, é ecológico e funcional, mas são necessários testes rigorosos e feedback dos utilizadores antes da produção em massa.

Garantir que o design é económico e amigo do ambiente

Para tornar sapatos biodegradáveis inspirados em algas económicos e ecológicos, utilize algas e fibras naturais de origem local para reduzir custos e apoiar as economias locais — compras em grande quantidade e fabrico eficiente, como impressão 3D, menores custos e desperdício. Colaborações com marcas ecológicas podem partilhar recursos e reduzir custos fixos.

Materiais biodegradáveis e corantes naturais garantem a decomposição natural, evitando químicos nocivos. Embalagens mínimas, recicláveis ou compostáveis reduzem o desperdício, e as fontes de energia renovável minimizam a pegada de carbono. Um programa de retomada para reciclagem ou compostagem promove uma economia circular, com diretrizes claras de compostagem que garantem uma eliminação responsável.

6.b Revê e revisita os passos anteriores conforme necessário para gerar uma solução viável.

Ajuste com base no feedback e nos testes

Para refinar sapatos biodegradáveis inspirados em algas, recolher feedback dos utilizadores através de inquéritos, entrevistas, grupos focais e redes sociais. Testar protótipos com utilizadores diversos para avaliar desempenho, durabilidade e flexibilidade. Analise o feedback para priorizar ajustes, refinar materiais, melhorar o design e melhorar a estética. Desenvolver e testar atualizado protótipos, mantendo um ciclo contínuo de retroalimentação. Esta abordagem

Garante que os sapatos satisfazem as necessidades dos consumidores, melhorando a funcionalidade e a satisfação, ao mesmo tempo que apoiam a sustentabilidade e a inovação.

Iterar no design para melhorar a funcionalidade e a experiência do utilizador.

Para melhorar sapatos biodegradáveis inspirados em algas, analise o feedback dos utilizadores para identificar pontos de dor em conforto, ajuste, durabilidade e estética. Melhore as palmilhas para melhor suporte, adicione almofadamento e ofereça tamanhos ajustáveis. Expandir solas modulares para várias atividades e refinar a estética com base nas preferências do utilizador. Teste novas funcionalidades e materiais, desenvolva protótipos atualizados e recolha mais feedback. Mantenha um diálogo contínuo com os testadores para fomentar a comunidade e melhorar continuamente o design. Este abordagem

Recursos adicionais:

<https://biomimicry.org/>

<https://algaepланet.com/ucsd-scientists-create-biodegradable-shoes/>

<https://phys.org/news/2020-08-science-biodegradable-algae-based-flip-flops.html>



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Módulos de Formação WP3 sobre Design de Processos de Biomimética

Tarefa 3.1/ A1. Desenvolvimento de Kit de Autoaprendizagem para alunos de

Veteranos - LP: ATS / CPs: TODAS AS SOLUÇÕES LET'S MIMIC

Uma solução refere-se aos passos aplicados para resolver o desafio identificado, através da biomimética.

Solução: Olhos de gato brilham no escuro

PROJETO DE BIOMIMETISMO	Descrição
Passo 2 – Bibiologizar	2.a Pergunta-te como é que a natureza pode resolver isto. Como é que os olhos dos animais refletem a luz de forma eficiente em várias condições de iluminação? Contexto Os olhos dos animais refletem a luz de forma eficiente através de adaptações especializadas que melhoram a visão em várias condições de iluminação. As principais características incluem o tapetum lucidum, uma camada refletora atrás da retina que reflete a luz de volta para o olho, melhorando a visão noturna. Muitos animais têm uma elevada densidade de células bastonetes na retina, que são sensíveis à pouca luz, e pupilas grandes e arredondadas que deixam entrar mais luz. A curvatura da córnea e do cristalino é otimizada para focar a luz de forma eficaz na retina. Alguns animais também possuem pigmentos refletivos nos olhos, melhorando a visão em ambientes escuros ou turvos. Estas adaptações melhoram a visão em diversas condições de iluminação, apoiando a sobrevivência na natureza. 2.b Pergunte a si próprio: "O que quero que o meu design faça?" • Forneça montantes de estrada altamente refletores e duráveis. • Garanta que os montantes são ecológicos e sustentáveis. 2.c Inverta a questão. Considere funções opostas. Como é que os olhos contribuem para a sobrevivência dos animais através das suas propriedades refletoras?
Passo 3 – Descobrir	3.A Procure modelos naturais que correspondam às mesmas funções e contexto da sua solução de design. • Bioluminescência dos vaga-lumes: Os vaga-lumes usam uma reação química envolvendo luciferina e luciferase para emitir luz, o que pode inspirar pernos de estrada que brilham à noite usando energia armazenada. • Tapetum lucidum em animais noturnos: Animais noturnos, como guaxinins, têm uma camada refletora atrás da retina chamada tapetum lucidum, que melhora a visão noturna ao refletir a luz através da retina. Os montantes de estrada podiam imitar esta camada refletora para maximizar a reflexão da luz quando iluminados pelos faróis dos carros. • Exoesqueletos fluorescentes dos escorpiões: Os



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

escorpiões fluorescem sob luz ultravioleta (UV) devido a compostos presentes na sua



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

exoesqueleto. Este brilho natural pode inspirar montantes de estrada visíveis tanto sob faróis como sob iluminação pública específica.

- **Escamas refletoras dos peixes:** Peixes como sardinhas e arenques têm escamas refletoras que os ajudam a misturar-se com a luz da água. Os montantes de estrada poderiam usar materiais refletivos semelhantes para maximizar a eficiência da luz e a visibilidade em condições de pouca iluminação.
- **Fungos bioluminescentes e vagalumes:** Fungos bioluminescentes e vagalumes emitem luz para atrair insetos ou para reprodução. Estes organismos poderiam inspirar montantes de estrada auto-sustentáveis que fornecem iluminação constante durante a noite sem fontes externas de energia.

3.b Identificar especialistas e conectar-se com comunidades de biólogos e naturalistas.

- PerguntaNatureza.
- Instituto Americano de Ciências Biológicas (AIBS).
- Sociedade para a Biologia da Conservação.
- Fóruns online e grupos de redes sociais.



Passo 4 – Resumo

4.a Resumir os elementos-chave da estratégia biológica. Destacar as funções principais e palavras-chave. Se possível, faça um diagrama/desenho e/ou encontre imagens que possam informar o design.

Funções principais

- **Reflexão de luz:** O tapetum lucidum, uma camada refletora atrás da retina, atua como um espelho, refletindo a luz de volta através da retina para melhorar a visão em condições de pouca luz.
- **Amplificação da luz:** Esta reflexão aumenta a quantidade de luz disponível para os fotorreceptores, dando aos gatos uma segunda oportunidade de absorver luz e melhorando a sua visão noturna.
- **Brilho ocular:** A luz refletida sai do olho, causando o brilho característico visto no escuro.

Palavras-chave

Tapetum lucidum, fotorreceptores, brilho ocular, visão noturna.



Projeto de imitação do @Let de direitos de autor (desenhado pela ATS)

4.b Traduzir lições da natureza em estratégias de design. Reescreva a estratégia sem usar termos biológicos e ligue-a às funções e ao contexto a partir de uma perspectiva humana.

Materiais refletivos e amplificadores

- Use materiais especiais que refletem e amplificam a luz dos faróis dos carros, fazendo com que os montantes brilhem e se destaquem claramente na estrada.
- Certifique-se de que estes materiais são suficientemente duráveis para suportar trânsito intenso e condições meteorológicas adversas, proporcionando visibilidade consistente ao longo do tempo.

Propriedades de auto-iluminação

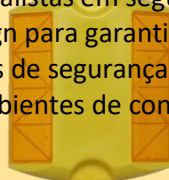
- Explore materiais que possam absorver luz durante o dia e brilhar à noite, semelhantes a certos materiais naturais. Isto garante que os cravos são visíveis mesmo sem luz direta dos faróis dos carros, adicionando uma camada extra de segurança em estradas escuras ou sem iluminação.

Sustentabilidade e longevidade

- Escolha materiais verdes e duradouros para reduzir a necessidade de substituições frequentes.
- Projete os montantes para serem energeticamente eficientes, minimizando o impacto ambiental e melhorando a segurança rodoviária.

Testes e colaboração

- Realize testes rigorosos e ensaios práticos para garantir que os montantes da estrada são eficazes em todos os tipos de condições meteorológicas e de iluminação.
- Colabore com especialistas em segurança rodoviária, ciência dos materiais e design para garantir que os montantes cumprem os padrões de segurança e têm um bom desempenho em ambientes de condução diversificados.



Passo 5 – Emular



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



<http://www.istronline.com/what-is-the-difference-between-n-cat-olhos-e-e-rebotes/>

mitem as propriedades refletoras dos olhos de gato:

Materiais reflexivos inspirados nos olhos de gato aumentam a visibilidade ao refletir a luz de volta para a sua fonte, semelhante ao tapetum

5.a Liste as suas informações principais e explore o máximo de ideias possível.

- U
s
e
m
a
t
e
r
i
a
i
s
q
u
e
i



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Lucidum. Usados em montantes de estrada, melhoram a visibilidade noturna e com mau tempo, guiando os condutores em segurança. Estes materiais também são usados em equipamento de segurança, como coletes e capacetes. Inovações recentes incluem montantes inteligentes para estradas com LEDs e sensores para iluminação dinâmica e informação em tempo real.

- **Projetar montantes de estrada que sejam altamente visíveis em várias condições:** Desenhar montantes de estrada altamente visíveis envolve a utilização de materiais e tecnologias avançadas. Contas de vidro retrorefletivos e lentes prismáticas garantem alta visibilidade ao refletir a luz de volta para a sua fonte. Materiais duráveis como policarbonato ou aço inoxidável resistem a condições adversas. LEDs solares fornecem iluminação extra e sensores inteligentes ajustam o brilho consoante o tempo. Cores diferentes melhoram a segurança para vários tipos de estradas. Os montantes devem ser visíveis a pelo menos 100 metros em todas as condições. Os painéis solares aumentam a eficiência energética e o design garante facilidade de instalação e manutenção, tornando os montantes visíveis e duráveis.
- **Garanta que os montantes são duráveis e ecológicos:** Para garantir que os montantes de estrada são duráveis e ecológicos, use policarbonato reciclado para a carcaça e aço inoxidável para maior resistência. Utilize adesivos biodegradáveis e não tóxicos. Integre painéis solares de alta eficiência e LEDs energeticamente eficientes, com sensores inteligentes para ajustar o brilho. Um design modular permite a substituição fácil das peças, prolongando a vida útil e reduzindo o desperdício. Sela os montantes contra água e pó para proteção. Projete para facilitar a reciclagem no final do ciclo de vida para manter a sustentabilidade.

5.b Organize as suas ideias em categorias que incluam as funcionalidades, o contexto, as restrições, etc., e selecione os conceitos de design que melhor se adequam à sua solução.

- **Características:** Alta refletividade, durabilidade, materiais ecológicos.
- **Contexto:** Estradas, autoestradas, passagens pedonais.
- **Restrições:** Custo, viabilidade da produção, durabilidade.

Ideia selecionada

Projete montantes de estrada altamente visíveis em várias condições, utilizando sensores inteligentes para ajustar o brilho consoante o tempo.





Passo 6 – Avaliar

6.a Avaliar o(s) conceito(s) de design relativamente à sua alinhamento com os critérios e restrições do desafio de design, bem como a sua compatibilidade com os sistemas da Terra. Avaliar a viabilidade do modelo técnico e de negócio.

- **Avalie a refletividade e a durabilidade.** O protótipo de montante de estrada inspirado em olhos de gato demonstra excelente refletividade e durabilidade. A elevada visibilidade é assegurada por contas de vidro retrorefletivos e lentes prismáticas, mesmo em pouca luz. O policarbonato reciclado



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

A carcaça, reforçada com aço inoxidável, oferece proteção robusta. O design é selado contra água e pó, com painéis solares e LEDs energeticamente eficientes com sensores inteligentes para um desempenho duradouro. No geral, cumpre os padrões de refletividade e durabilidade, tornando-se uma solução viável de segurança rodoviária.

- **Garantir a relação custo-benefício e a sustentabilidade:** Use policarbonato reciclado para a habitação para reduzir custos e reduzir o impacto ambiental. A armadura em aço inoxidável garante durabilidade, minimizando substituições. Painéis solares e LEDs de alta eficiência oferecem poupanças a longo prazo, enquanto sensores inteligentes ajustam o brilho dos LEDs para poupar energia. Um design modular permite a substituição fácil das peças, prolongando a vida útil e reduzindo o desperdício. Esta abordagem equilibra viabilidade económica e sustentabilidade ambiental, reforçando a segurança rodoviária.

6.b Rever e rever os passos anteriores conforme necessário para gerar uma solução viável.

Para criar montantes de estrada inspirados no cat-eye, é crucial otimizar todos os aspetos. Use policarbonato reciclado para a carcaça para reduzir custos e diminuir o impacto ambiental, e reforçar componentes críticos com aço inoxidável para maior durabilidade. Integre painéis solares de alta eficiência e LEDs energeticamente eficientes com sensores inteligentes para poupanças de energia a longo prazo e manutenção mínima. Maximize a refletividade com contas de vidro retrorefletivos e lentes prismáticas para visibilidade em várias condições. Um design modular permite a substituição fácil das peças, prolongando a vida útil e reduzindo o desperdício. Esta abordagem equilibrada garante rentabilidade, durabilidade e sustentabilidade ambiental, reforçando a segurança rodoviária.

Rever regularmente estes passos garante que o produto final cumpre todos os padrões.

Recursos adicionais:

<https://www.road-stud.com/shining-light-on-road-safety-the-ingenious-invention-of-the-cats-eye-road-stud/>

<https://medium.com/@seintodesignstudio/cats-eyes-and-road-safety-how-one-feline-friend-mudou-o-curso-da-história-de-segurança-rodoviária-6111f2a37330>

<https://www.wistronchina.com/what-is-the-difference-between-cat-eyes-and-road-studs/>



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Módulos de Formação WP3 sobre Design de Processos de Biomimética

Tarefa 3.1/ A1. Desenvolvimento de Kit de Autoaprendizagem para alunos de

Veteranos - LP: ATS / CPs: TODOS AS SOLUÇÕES LET'S MIMIC

Uma solução refere-se aos passos aplicados para resolver o desafio identificado, através da biomimética.

Solução: Como a Natureza inspirou embalagens sustentáveis

PROJETO DE BIOMIMETISMO	Descrição						
Passo 2 – Bibiologizar	2.a Pergunta-te como é que a natureza pode resolver isto. Como é que a natureza consegue sustentar a biodiversidade e equilibrar os seus ecossistemas apesar das alterações ambientais? Contexto A natureza desenvolveu estratégias notáveis para manter a biodiversidade e o equilíbrio dos ecossistemas. Mecanismos de proteção são evidentes em várias espécies, como a carapaça das tartarugas, que as protege de predadores e das condições ambientais adversas. Esta armadura natural permite que as tartarugas prosperem em habitats diversos, contribuindo para a saúde geral dos seus ecossistemas. A durabilidade é outro fator-chave na manutenção dos ecossistemas. As raízes das plantas, por exemplo, ancoram firmemente as plantas no solo, proporcionando estabilidade e resistência a condições adversas como ventos fortes e chuvas intensas. Isto não só ajuda as plantas individuais a sobreviver, como também apoia todo o ecossistema, prevenindo a erosão do solo e mantendo a estrutura do solo. A biodegradabilidade desempenha um papel crucial no ciclo de nutrientes e na saúde do solo. As folhas que caem no chão decompõem-se, enriquecendo o solo com nutrientes essenciais e promovendo o crescimento das plantas, que por sua vez sustenta a cadeia trófica. Este processo natural de decomposição e reciclagem de nutrientes garante que os ecossistemas permaneçam produtivos e resilientes ao longo do tempo. 2.b O que quero que o meu design faça? Determine as funções-chave do seu projeto e identifique contextos na natureza. Funções podem referir-se ao papel desempenhado por um organismo adaptações ou comportamentos que lhe permitem sobreviver. Também podem referir-se a algo que precisa que a sua solução de design realize. Resumo das funções-chave e dos contextos da natureza <table><tr><th>Função de Conceção</th><th>Contexto da Natureza (Adaptação)</th></tr><tr><td>Proteção</td><td>A carapaça das tartarugas</td></tr><tr><td>Durabilidade</td><td>Raízes das plantas</td></tr></table>	Função de Conceção	Contexto da Natureza (Adaptação)	Proteção	A carapaça das tartarugas	Durabilidade	Raízes das plantas
Função de Conceção	Contexto da Natureza (Adaptação)						
Proteção	A carapaça das tartarugas						
Durabilidade	Raízes das plantas						



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Biodegradabilidade	Folhas que se decompõem no solo
--------------------	---------------------------------

**2.c Inverta a
questão.
Considere
funções
opostas.**



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Passo 3 – Descobrir	Como podem as embalagens sustentáveis proteger os alimentos da deterioração e contaminação? 3.a Procure modelos naturais que correspondam às mesmas funções e contexto da sua solução de design. Função Proteção natural. Modelos naturais • Carapaça da tartaruga: A carapaça funciona como um escudo protetor, protegendo a tartaruga de predadores e condições climáticas adversas. Esta estrutura rígida e impermeável é um exemplo de como um material natural pode fornecer proteção adequada. • Cor da camuflagem animal: Muitos animais, como veados ou leopardos, usam camuflagem para se protegerem de predadores. Esta estratégia adaptativa pode inspirar embalagens que se integram no ambiente, protegendo ao evitar a deteção. • Casulo de borboleta: O casulo oferece uma proteção excepcional às larvas, defendendo-as de predadores e condições externas. Este modelo pode inspirar embalagens que criem um ambiente seguro para os alimentos, protegendo-os da contaminação. 3.b Identificar especialistas e conectar-se com comunidades de biólogos e naturalistas. • Biólogos, ecologistas. • Biólogos evolutivos. • Especialistas em bioengenharia. • Especialistas em sustentabilidade. • Sociedades Biológicas (Instituto Americano de Ciências Biológicas (AIBS), Sociedade Ecológica da América (ESA)). • Associações naturalistas (National Audubon Society ou The Nature Conservancy). • Plataformas online (ResearchGate, LinkedIn). • Universidades e centros de investigação.
Passo 4 – Resumo	4. Resumir os elementos-chave da estratégia biológica. Destacar as funções principais e palavras-chave. Se possível, crie um diagrama/desenho e/ou encontre imagens que possam informar o design. Reciclagem natural de materiais Palavras-chave: Degradação, circularidade, reutilização, sustentabilidade.

Modelos naturais: Fungos, bactérias em decomposição e ciclos de nutrientes do solo.



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

- **Função:** Transforma os resíduos em nutrientes ou matérias-primas para novos processos biológicos, garantindo um ciclo contínuo de reciclagem.

Proteção natural

- **Palavras-chave:** resistência, barreira, conservação, segurança.
- **Modelos naturais:** Cascas de moluscos, cascas de crustáceos, casca de ovo.
- **Função:** Proporciona proteção adequada contra contaminação e danos, mantendo a integridade do conteúdo.

Adaptabilidade ao ambiente

- **Palavras-chave:** Flexibilidade, resiliência, evolução, diversidade.
- **Modelos naturais:** Camuflagem de camaleões, adaptações das plantas a condições climáticas variadas.
- **Funcionalidade:** Permite que as embalagens se ajustem a diferentes condições ambientais e tipos de produtos, garantindo que se mantenham funcionais e eficientes.

Redução de resíduos através da reutilização

- **Palavras-chave:** Reutilização, redução, eficiência, inovação.
- **Modelos naturais:** Comportamentos sociais de alguns animais, ecossistemas que capitalizam os restos.
- **Função:** Maximiza a utilização dos recursos disponíveis ao reutilizar materiais e minimizar desperdícios, contribuindo para um sistema circular.



<https://en.bioxegy.com/post/circular-economy-biomimicry-and-it>

4.b Traduzir lições da natureza em estratégias de design. Reescreva a estratégia sem usar termos biológicos e ligue-a às funções e ao contexto a partir de uma perspetiva humana. Por exemplo, fato de banho inspirado em pele de tubarão.

- **Reciclabilidade:** A capacidade de se decompor e ser reutilizado sem perder qualidade.

Passo 5 – Emular

- **Proteção:** Garante a segurança alimentar ao criar uma barreira contra contaminação e danos físicos.
- **Adaptabilidade:** A capacidade de se adaptar a várias condições ambientais e a diferentes tipos de produtos.
- **Redução de resíduos:** Foque na maximização do uso de materiais e na minimização dos resíduos através de estratégias inovadoras de reutilização.



<https://planetark.org/newsroom/news/how-the-circular-economy-uses-biomimética-para-imitar-sistemas-naturais>

5.a Liste as suas informações principais e explore o máximo de ideias possível.

- **Reciclabilidade:** Capacidade de ser reciclado várias vezes.
- **Biodegradabilidade:** Degrada-se naturalmente sem prejudicar o ambiente.

5.b Organize as suas ideias em categorias que incluam as funcionalidades, o contexto, as restrições, etc., e selecione os conceitos de design que melhor se adequam à sua solução.

Características

- **Reciclabilidade:** Capacidade de ser reciclada várias vezes sem degradação da qualidade e de promover a economia circular.
- **Biodegradabilidade:** Concebida para se decompor num prazo específico e materiais para se decompor naturalmente, reduzindo o desperdício do aterro.
- **Proteção:** Protege os produtos contra contaminação, humidade e danos físicos, criando uma barreira contra fatores externos nocivos.

Contexto

- **Indústria Alimentar:** Restaurantes, cafés, serviços de entrega de comida, empresas de catering.
- **Consumidores:** Indivíduos e famílias eco-conscientes à procura de opções sustentáveis.
- **Retalhistas:** Empresas que pretendem melhorar a sua imagem de sustentabilidade e satisfazer a procura dos

consumidores.

Restrições



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

	Limitações técnicas, fatores económicos e conformidade regulatória
Passo 6 – Avaliar	6.a Avaliar o(s) conceito(s) de design relativamente ao seu alinhamento com os critérios e restrições do desafio de design, bem como a sua compatibilidade com os sistemas da Terra. Avalie a viabilidade tanto do modelo técnico como do modelo de negócio. Os conceitos de design avaliados alinham-se bem com os princípios da economia circular e respondem aos critérios definidos pelo desafio de design. Demonstram forte compatibilidade com os sistemas terrestres, promovendo a sustentabilidade, eficiência dos recursos e redução de resíduos. No entanto, a viabilidade técnica e comercial destes conceitos varia, sublinhando a necessidade de uma análise cuidadosa da infraestrutura, do comportamento do consumidor e dos métodos de produção. Com o apoio e investimento adequados, estes conceitos têm o potencial de contribuir significativamente para uma economia mais sustentável e circular. 6.b Revê e revisita os passos anteriores conforme necessário para gerar uma solução viável. Ao rever e rever os passos anteriores, aperfeiçoámos a nossa abordagem para criar uma solução viável que não só esteja alinhada com os princípios da economia circular, mas também satisfaça as necessidades práticas dos consumidores e das empresas. O sistema integrado de embalagem ecológico combina os pontos fortes dos materiais biodegradáveis, sistemas reutilizáveis, designs modulares e tecnologia inteligente, garantindo uma solução abrangente que aborda os desafios dos resíduos de forma sustentável e inovadora. O feedback contínuo e a adaptação serão cruciais para a implementação e aceitação bem-sucedidas desta solução.

Recursos adicionais:

<https://biomimicry.org/>

<https://asknature.org/collection/life-friendly-packaging/>



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Módulos de Formação WP3 sobre Design de Processos de Biomimética

Tarefa 3.1/ A1. Desenvolvimento de Kit de Autoaprendizagem para alunos de

Veteranos - LP: ATS / CPs: TODOS AS SOLUÇÕES LET'S MIMIC

Uma solução refere-se aos passos aplicados para resolver o desafio identificado, através da biomimética.

Solução: As estruturas ósseas dos mamíferos

PROJETO DE BIOMIMETISMO	Descrição
Passo 2 – Bibiologizar	2.a Pergunta-te como é que a natureza pode resolver isto. Como é que a estrutura porosa e resiliente dos ossos dos mamíferos suporta a carga mecânica? Contexto O osso de mamífero, composto pelo "osso esponjoso" interno e pelo duro "osso compacto", é um excelente compósito estrutural, permitindo força combinada com flexibilidade. O "osso esponjoso" interno é a parte interna macia do osso e é estruturalmente estabilizado pelo duro "osso compacto" que o rodeia. O osso esponjoso possui uma área de superfície dez vezes superior ao osso Compacto. Isto cria o clássico efeito de compósito macio-duro, permitindo que o osso flexione sob stress e, ao mesmo tempo, suporte estruturalmente a carga do corpo. 2.b Pergunte a si próprio: "O que quero que o meu design faça?" Para um design de bateria semelhante a uma esponja inspirado na estrutura porosa e resiliente dos ossos de mamíferos, o meu design visa alcançar o seguinte: • Maximizar a eficiência do armazenamento de energia. • Aumenta a durabilidade mecânica. • Apoie soluções energéticas sustentáveis. • Mantenha a praticidade e a relação custo-benefício. • Garantir segurança e fiabilidade. 2.c Inverta a questão. Considere funções opostas. Como é que os ossos esponjosos dos mamíferos absorvem choques?
Passo 3 – Descobrir	3.A Procure modelos naturais que correspondam às mesmas funções e contexto da sua solução de design. Por exemplo, leia literatura científica. • Nácar (madrepérola): A estrutura em camadas do nácar pode inspirar designs de baterias de alta densidade, eficientes, duráveis, sustentáveis, escaláveis e seguros. • Seda de aranha: A estrutura molecular da seda de aranha pode inspirar materiais de armazenamento de energia de alta capacidade, flexíveis, duráveis, sustentáveis, económicos e



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

seguros.



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Passo 4 – Resumo

- **Folha de lótus:** A superfície superhidrofóbica das folhas de lótus pode inspirar revestimentos de bateria ecológicas, duráveis, económicos e seguros que previnem a entrada de humidade e aumentam a durabilidade dos componentes.
- **Enguia elétrica:** A capacidade da enguia elétrica de gerar eletricidade pode inspirar baterias e condensadores bio-elétricos de alta potência, duráveis, sustentáveis, económicos e seguros.
- **Espinhos de cacto:** A estrutura única dos espinhos de cacto pode inspirar designs de baterias energeticamente eficientes, duráveis, sustentáveis, económicos e seguros que melhoram o transporte iónico e a estabilidade mecânica.

3.b Identificar especialistas e conectar-se com comunidades de biólogos e naturalistas.

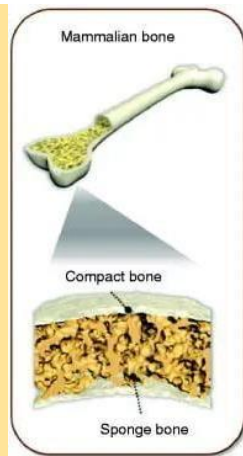
- Sociedade Americana de Mamíferos (ASM).
- Sociedade de Biologia Integrativa e Comparada (SICB).
- Sociedade Internacional de Biomimética (ISB).
- Universidade Sungkyunkwan, Universidade do Texas em Austin e Laboratório Nacional de Brookhaven.

4.a Resumir os elementos-chave da estratégia biológica. Destacar as funções principais e palavras-chave. Se possível, faça um diagrama/desenho e/ou encontre imagens que possam informar o design.

Funções principais

- **Eficiência de armazenamento de energia:** Os ossos armazenam minerais essenciais como cálcio e fósforo, que são cruciais para contrações musculares, coagulação sanguínea e transmissão nervosa. Este armazenamento e libertação ajudam a manter o equilíbrio metabólico e a eficiência energética.
- **Durabilidade mecânica:** Os ossos remodelam-se em resposta a cargas mecânicas, fortalecendo a sua estrutura e minimizando o consumo de energia durante atividades físicas. Esta adaptação torna os movimentos mais eficientes e reduz o risco de lesões.
- **Sustentabilidade:** Os ossos dos mamíferos contribuem para a sustentabilidade através do seu suporte estrutural, eficiência dos recursos, papel no ciclo mineral e da sua importância ecológica, bem como pela utilização de materiais de impacto mínimo.
- **Segurança e fiabilidade:** Os ossos dos mamíferos garantem segurança e fiabilidade através da integridade estrutural, proteção dos órgãos, absorção de choques, cicatrização e remodelação, regulação do cálcio e funções endócrinas.





Direitos de autor da imagem:

<https://pubs.aip.org/aip/apr/article/7/4/041410/832047/Biomimetic-composite-architecture-achieves>

4.b Traduzir lições da natureza em estratégias de design. Reescreva a estratégia sem usar termos biológicos e ligue-a às funções e ao contexto a partir de uma perspectiva humana.

Funções principais

1. Eficiência de armazenamento de energia

- **Estrutura porosa:** Ao imitar o osso esponjoso interno (trabeculae), poderia aumentar a área de superfície para o transporte iônico.
- **Transporte eficiente de íons:** Facilita o movimento rápido dos íons, aumentando as taxas de carga e descarga.

2. Durabilidade mecânica

- **Resiliência:** Uma estrutura semelhante a um osso de esponja proporciona resistência e flexibilidade, permitindo taxas de carregamento ultraelevadas e mantendo mais de 90% da capacidade após 10.000 ciclos, garantindo durabilidade e eficiência para uso prolongado.
- **Resistência ao impacto:** Imitar a camada compacta externa do osso do mamífero melhora o transporte de íons de sódio. A combinação de NVP e rGO cria um ambiente estável, melhorando a estabilidade de ciclo e as capacidades térmicas da bateria.

3. Segurança e fiabilidade

- **Gestão térmica:** Gere o calor de forma eficiente para evitar o sobreaquecimento.
- **Integridade estrutural:** Mantém a estabilidade e a segurança em várias condições.

4. Sustentabilidade

- **Materiais ecológicos:** Pode utilizar materiais e processos Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



sustentáveis para minimizar o impacto ambiental. Materiais abundantes e económicos, como o sódio, constituem esta tecnologia

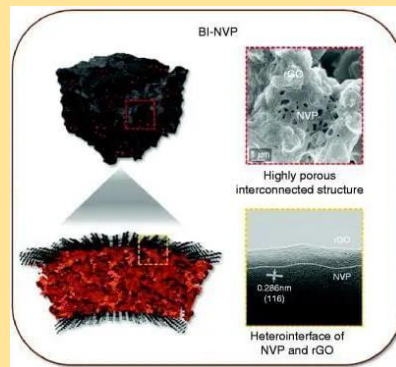


**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

economicamente viável. Baterias eficientes e duradouras podem atrair um interesse industrial significativo para redução de custos e melhoria da sustentabilidade.

- **Longa vida útil:** Pode garantir durabilidade e longevidade. Tal estrutura pode tornar uma bateria altamente durável e eficiente para uso a longo prazo.



Direitos de autor da imagem:

<https://pubs.aip.org/aip/apr/article/7/4/041410/832047/Biomimetic-composite-architecture-achieves>

Passo 5 – Emular

5.a Liste as suas informações principais e explore o máximo de ideias possível. Informações-chave e ideias-chave

- Arquitetura porosa.
- Carcaça exterior densa.
- Composição do material.
- Melhorias de desempenho.
- Sustentabilidade.

5.b Organize as suas ideias em categorias que incluam as funcionalidades, o contexto, as restrições, etc., e selecione os conceitos de design que melhor se adequam à sua solução.

	Contexto	Características	Aplicação
Arquiteto poroso e	Inovação Bio-Inspiração nas indústrias Colaboração em Investigação Eletrónica de consumo e	A estrutura interna dos ossos dos mamíferos, conhecida como osso trabecular ou esponjoso, apresenta uma arquitetura porosa	Este design poroso é replicado na estrutura da bateria para distribuir a tensão mecânica de forma uniforme, prevenindo fraturas e aumentando a durabilidade.

		maiores-	que fornece	



		Escalarem aplicações.	Força enquanto é leve.	
		Restrições: • Integridade estrutural: Equilibrar porosidade e resistência; demasiada fraqueza, muito pouca reduz os benefícios da distribuição de tensões. • Compatibilidade de materiais: Garantir que os materiais são quimicamente compatíveis e duráveis. • Complexidade de fabrico: O controlo preciso sobre o tamanho dos poros e a distribuição é complexo e dispendioso. • Gestão térmica: Estruturas porosas podem afetar as propriedades térmicas, correndo o risco de sobreaquecimento ou temperaturas desiguais. • Escalabilidade: Escalar a produção do laboratório para o comercial é um desafio. • Custo: Materiais e técnicas avançadas aumentam os custos de produção.		
	Casca exterior densa	Inovação Bio-Inspiração nas indústrias Colaboração em Investigação Eletrónica de consumo e aplicações de maior escala.	A camada exterior dos ossos, chamada osso cortical, é densa e fornece suporte estrutural.	A carcaça exterior da bateria é feita de óxido de grafeno reduzido (rGO), que oferece elevada resistência mecânica e protege os componentes interiores.

		Restrições: • Seleção de materiais: Use materiais com elevada resistência e estabilidade química. • Otimização da espessura: Otimize a espessura para proteção sem excesso de peso ou volume. • Complexidade de fabrico: A espessura e uniformidade precisas são complexas e dispendiosas. • Gestão térmica: Gerir o calor para evitar sobreaquecimento e garantir uma temperatura uniforme. • Integridade estrutural: Manter a integridade sob pressão e durante a operação.
--	--	--

		Custo: Materiais e técnicas de alto desempenho aumentam os custos.		
	Material compósito	Inovação Bio-Inspiração nas indústrias Colaboração em Investigação Eletrónica de consumo e aplicações de maior escala.	A bateria utiliza Na₃V₂(PO₄)₃ (NVP) como o material catódico, que é eficaz no transporte de iões de sódio. A integração do NVP com o rGO cria um ambiente estável para iões de sódio, melhorando assim a estabilidade do ciclo e o desempenho térmico da bateria.	Materiais resistentes a reações químicas com eletrólitos e outros componentes da bateria. Por exemplo, óxido de grafeno reduzido (rGO), Na₃V₂(PO₄)₃ (NVP), combinado com rGO, pode fornecer as propriedades mecânicas necessárias, e materiais com elevada condutividade térmica podem ajudar a dissipar calor de forma mais eficiente.
		Restrições: Estabilidade química: Os materiais devem ser estáveis no ambiente da bateria para evitar a degradação. Propriedades mecânicas: Proporcionam resistência para suportar tensões operacionais. Gestão térmica: Gerir eficazmente o calor para evitar sobreaquecimento e garantir uma temperatura uniforme. Complexidade de fabrico: Compatível com os processos existentes para evitar aumento da complexidade e dos custos. Custo e disponibilidade: Económico e facilmente disponível. Impacto ambiental: Impacto mínimo na obtenção e eliminação.		



	Desempenh o melhorado	Inovação Bio- Inspiração nas indústrias	O design bio- inspirado permite que a bateria	Utilizar materiais com elevada capacidade de armazenamento de energia e desenhar a arquitetura para
--	-----------------------------	---	--	--



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

	Colaboração em Investigação	Carrega a taxas ultraelevadas.	maximizar a utilização do material ativo.
	Eletrónica de consumo e aplicações de maior escala.	A bateria mantém mais de 90% da sua capacidade após 10.000 ciclos de descarga e recarga, demonstrando uma durabilidade excecional.	Desenvolver materiais e estruturas que facilitem o transporte rápido de iões e minimizem a resistência dentro da bateria. Projetar a arquitetura porosa para melhorar a condutividade térmica e integrar mecanismos de arrefecimento, se necessário.
Restrições: • Densidade de potência: Alcançar alta densidade de potência mantendo a integridade estrutural da arquitetura porosa • Densidade energética: Garantir que a bateria consegue armazenar uma grande quantidade de energia por unidade de volume ou peso. • Taxas de carga/descarga: Manter altas taxas de carga e descarga sem degradar o desempenho da bateria ao longo do tempo. • Gestão térmica: Gerir a geração de calor durante operações de alta potência para evitar o sobreaquecimento e garantir uma distribuição uniforme da temperatura. • Vida útil: Garantir que a bateria mantém o seu desempenho ao longo de vários ciclos de carga e descarga. • Escalabilidade: Ampliação da produção de baterias com arquiteturas avançadas, desde ambientes laboratoriais até fabrico comercial.			



	Sustentabilidade	Inovação Bio-Inspiração nas indústrias	O uso de sódio, que é abundante e económico, torna o bateria mais	Materiais abundantes e renováveis, como o sódio, que é mais fácil
--	------------------	--	---	---



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

		Colaboração em Investigação Eletrónica de consumo e aplicações de maior escala.	Sustentável em comparação com baterias à base de lítio. Imitar estruturas naturais ajuda a reduzir a pegada ambiental da produção e eliminação de baterias.	.disponível do que o lítio. Desenvolver processos que minimizem o impacto ambiental, como a utilização de materiais biodegradáveis e a implementação de programas de reciclagem. Otimizar os processos de fabrico para reduzir o consumo de energia e explorar o uso de fontes de energia renovável na produção. Projetar para desmontagem e reciclagem, e utilizar materiais que possam ser facilmente recuperados e reutilizados.
--	--	---	---	---

		Restrições • Escassez de recursos: A disponibilidade de materiais sustentáveis pode ser limitada, levando à concorrência e a custos mais elevados. • Impacto ambiental: A produção e eliminação de materiais para baterias pode ter impactos ambientais significativos, incluindo poluição e esgotamento de recursos. • Consumo de energia: Os processos de fabrico de materiais e estruturas avançados podem ser intensivos em energia. • Gestão do ciclo de vida: Garantir que todo o ciclo de vida da bateria, desde a produção até à eliminação, seja sustentável. • Viabilidade económica: Materiais e processos sustentáveis podem ser mais caros, impactando o custo total da bateria.
--	--	--

	• Conformidade regulamentar: Cumprir regulamentos e normas ambientais rigorosas para a produção e eliminação de baterias.
Passo 6 – Avaliar	Ideia selecionada: Arquitetura porosa com casca exterior densa. 6.a Avaliar o(s) conceito(s) de design relativamente ao seu alinhamento com os critérios e restrições do desafio de design, bem como a sua compatibilidade com os sistemas da Terra. Avaliar a viabilidade do modelo técnico e de negócio. • Justificação: Este design imita a estrutura natural dos ossos, proporcionando tanto força como flexibilidade. O interior poroso distribui a tensão, enquanto a estrutura exterior densa protege os componentes da bateria. • Implementação: Utilizar técnicas avançadas de fabrico para criar uma estrutura composta por $\text{Na}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_3$ (NVP) e óxido de grafeno reduzido (rgo). • Compatibilidade com os sistemas da Terra: Utilizar materiais ecológicos e abundantes como o sódio ajuda a reduzir a pegada ambiental. O sódio é mais facilmente disponível e menos prejudicial para o ambiente do que o lítio. Avaliação de viabilidade • Viabilidade técnica: Os conceitos de design selecionados baseiam-se em investigação existente e têm mostrado resultados promissores em ambientes laboratoriais. São necessários mais desenvolvimentos e testes para aumentar a produção. • Viabilidade do modelo de negócio: A utilização de materiais económicos e sustentáveis, combinada com o potencial de melhorias significativas de desempenho, torna esta abordagem economicamente viável. A procura do mercado por baterias eficientes e ecológicas apoia o argumento de negócio. • Compatibilidade ambiental: O design está alinhado com os objetivos de sustentabilidade ao utilizar materiais ecológicos e reduzir o impacto ambiental da produção e eliminação de baterias. 6.b Revê e revisita os passos anteriores conforme necessário para gerar uma solução viável. Uma solução viável é usar materiais abundantes e ecológicos como o sódio para permitir uma taxa de carga ultra-alta e manter mais de 90% da capacidade após 10.000 ciclos. Assim, uma estrutura semelhante a uma esponja espetada por

Os ossos dos mamíferos podem fornecer um design para melhorar a condutividade térmica e a dissipação eficiente de calor.

Recursos adicionais:



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



<https://link.springer.com/article/10.1007/s10853-011-5914-9>

<https://hal.science/hal-04002794/document>

https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4939-3002-9_7

<https://asknature.org/innovation/sponge-like-battery-structure-inspired-by-mammalian-ossos/#profile>

https://en.wikipedia.org/wiki/Pore_structure

<https://hbr.org/2021/07/the-green-economy-has-a-resource-scarcity-problem>

<https://www.ansys.com/content/dam/amp/2021/august/webpage-requests/education-resources-dam-upload-batch-2/material-property-data-for-eng-materials-BOKENGEN21.pdf>

https://ocw.mit.edu/courses/3-080-economic-environmental-issues-in-materials-selection-fall-2005/0a9684aa33bdabd205be6eb0635d6dcf_lec_ms2.pdf



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Módulos de Formação WP3 sobre Design de Processos de Biomimética

Tarefa 3.1/ A1. Desenvolvimento de Kit de Autoaprendizagem para alunos de

Veteranos - LP: ATS / CPs: TODAS AS SOLUÇÕES LET'S MIMIC

Uma solução refere-se aos passos aplicados para resolver o desafio identificado, através da biomimética. **Solução: A eficiência aerodinâmica, furtividade e manobrabilidade do**

Peregrine Falcon BIOMIMICRY DESIGN Descrição

Passo 2 – Biologice

2.a Pergunta-te como é que a natureza pode resolver isto.

Como é que os falcões-peregrinos podem ser furtivos, precisos e ter uma velocidade tão elevada ao mergulhar para apanhar o alvo ou presa?

Contexto

O falcão-peregrino foi construído para velocidade, com asas e corpo concebidos para eficiência aerodinâmica. Durante a caça, pode atingir velocidades próximas das 200 milhas por hora dobrando as asas para minimizar o arrasto. Esta velocidade incrível permite-lhe mergulhar sobre as presas com precisão, desdobrando as asas no último momento para apanhar o alvo.

Os cientistas estudaram como os peregrinos conseguem tais feitos sem ferimentos. Uma teoria sugere que eles desdobram as asas pouco antes de atacar para reduzir a velocidade e fazer os ajustes finais. O sistema de navegação inato do Falcon, semelhante aos mísseis de grau militar, ajuda-o a prever e ajustar a sua trajetória.

Os peregrinos utilizam navegação proporcional, fazendo ligeiros ajustes na posição e velocidade das asas antes do impacto. Este método, combinado com mergulhos rápidos, melhora a sua manobrabilidade e precisão. A trajetória controlada da ave é semelhante à de um piloto de Fórmula 1 a manter a estabilidade a altas velocidades.

2.b Pergunte a si mesmo: O que quero que o meu design faça?

- Entregar cargas nucleares e convencionais com precisão e eficiência.
- Evadir a deteção através de furtividade avançada e operação silenciosa.
- Realizar missões de longo alcance em todo o mundo com necessidades mínimas de reabastecimento.
- Adaptar-se a diversos requisitos de missão, desde reconhecimento a guerra eletrónica.
- Integra-te perfeitamente nos campos de batalha modernos multidomínio.
- Manter a sustentabilidade e a eficiência em linha com as considerações ambientais em evolução.

2.c Inverta a questão. Considere funções opostas.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Como é
que as
condições
meteoroló-
gicas
afetam o
sucesso da
caça dos
falcões-
peregrinos
?



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Passo 3 – Descobrir

3.a Procure modelos naturais que correspondam às mesmas funções e contexto da sua solução de design.

- **Aves como albatrozes:** Os albatros usam as suas longas asas para voar eficientemente por grandes distâncias com consumo mínimo de energia, imitando a necessidade do bombardeiro de alcance e eficiência.
- **Corujas:** As corujas têm penas de asa serrilhadas que reduzem o ruído durante o voo, permitindo uma caça silenciosa. A sua coloração apagada e formato do corpo tornam-nos difíceis de identificar, imitando designs furtivos que absorvem radar.
- **Beija-flores:** Os beija-flores têm controlo preciso sobre os seus movimentos, permitindo-lhes pairar e manobrar rapidamente.
- **Aves migratórias** (por exemplo, andorinhas-do-ártico) migram milhares de milhas, confiando em padrões de voo eficientes e na conservação de energia.
- **Morcegos:** Os morcegos usam voo silencioso e ecolocalização para caçar no escuro, evitando ser detetados pelas presas.
- **Polvos:** Os polvos podem adaptar o seu comportamento, camuflagem e movimento para se adaptarem a vários ambientes e tarefas.
- **Ursos polares:** O pelo e a pele dos ursos polares gerem eficazmente o calor enquanto se misturam com ambientes nevados.
- **Tubarões:** Os tubarões têm estruturas de pele hidrodinâmicas para reduzir o arrasto e aumentar a velocidade, mantendo a furtividade.

3.b Identificar especialistas e conectar-se com comunidades de biólogos e naturalistas.





Passo 4 – Resumo

4.a Resumir os elementos-chave da estratégia biológica. Destacar as funções principais e palavras-chave. Se possível, faça um diagrama/desenho e/ou encontre imagens que possam informar o design.

- **Eficiência aerodinâmica:** O Falcão Peregrino é conhecido pelas suas capacidades aerodinâmicas excepcionais, especialmente durante mergulhos a alta velocidade.
- **Furtividade e manobrabilidade:** Os Falcões, com a sua capacidade de caçar com precisão e velocidade, demonstram uma agilidade notável no ar.
- **Design das asas:** As asas do falcão são longas e pontiagudas, o que reduz o arrasto e permite voos mais rápidos. Este design ajuda-os a atingir velocidades superiores a 240 mph (386 km/h) durante um mergulho.
- **Adaptabilidade às condições de voo:** Os Falcons são conhecidos por ajustarem as suas asas para acomodar várias condições de voo.
- **Voo silencioso:** Os falcões-peregrinos são hábeis a voar silenciosamente para evitar alertar a presa.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



https://chirpforbirds.com/nature-advocacy/biomimicry-and-pássaros/?srltid=AfmBOopiHtajWZ6_7sjZCwemSmFLUNUOz-pQ_NTtywhyZIDm2NYC8JI5

https://medium.com/@abhishek_sawant/b-2-bomber-nature-inspired-design-marvel-2d717c5c09d8

4.b Traduzir lições da natureza em estratégias de design. Reescreva a estratégia sem usar termos biológicos e ligue-a às funções e ao contexto a partir de uma perspectiva humana.

O design do falcão-peregrino influenciou a engenharia do bombardeiro B-2 Spirit, tornando-o um dos aviões mais icônicos do arsenal militar dos EUA. Esta ligação entre a natureza e a tecnologia avançada da aviação destaca vários aspetos-chave:

- **Eficiência aerodinâmica:** Os engenheiros estudaram os padrões de voo e as formas das asas do falcon para melhorar a eficiência aerodinâmica das aeronaves, incluindo o B-2 Spirit Bomber.
- **Furtividade e manobrabilidade:** O design do B-2 para missões furtivas incorpora aerodinâmica avançada para reduzir a secção transversal do radar e melhorar a manobrabilidade, inspirado na eficiência do Falcon em voo.
- **Design das asas:** Os princípios de asas elegantes e aerodinâmicas que minimizam o arrasto e melhoram a velocidade derivam da observação de aves de rapina como o falcão-peregrino.
- **Adaptabilidade às condições de voo:** As asas de geometria variável do B-2 podem ajustar a sua configuração com base em diferentes fases de voo, de forma semelhante à forma como os falcões adaptam as suas asas.
- **Voo silencioso:** Embora o B-2 não seja silencioso, o seu design inclui características para reduzir a sua assinatura de radar, permitindo-lhe operar com um nível mais elevado de furtividade.



https://chirpforbirds.com/nature-advocacy/biomimicry-and-pássaros/?srsId=AfmBOopiHtajWZ6_7sjZCwemSmFLUNUOz-pQ_NTtywhyZIDm2NYC8JI5

https://medium.com/@abhishek_sawant/b-2-bomber-nature-inspired-design-marvel-2d717c5c09d8

Passo 5 – Emular

5.a Liste as suas informações principais e explore o máximo de ideias possível. Informação chave

Eficiência aerodinâmica, furtividade, manobrabilidade e silêncio.

Ideias

Configuração das asas de voo, otimização do perfil aerodinâmico, utilização de materiais absorventes de radar ou revestimentos que minimizam a detetabilidade, materiais que absorvem e amortecem o som, tecnologia Fly-by-wire, motores integrados na estrutura da asa, motores de ciclo variável e turbofans avançados.

5.b Organize as suas ideias em categorias que incluam as funcionalidades, o contexto, as restrições, etc., e selecione os conceitos de design que melhor se adequam à sua solução.

	Contexto	Características	Restrições
Eficiência aerodinâmica		Configuração da asa de voo	Requisitos de furtividade
		Design otimizado do perfil aerodinâmico	Equilíbrio de peso e carga útil
	Aplicações militares	Materiais avançados	Custo e complexidade
	Integração	Propulsão integrada	Manutenção e durabilidade

	Furtividade	tecnológica	Secção eficaz de radar baixa (RCS) Materiais Absorventes de Radar (RAM) Redução da assinatura infravermelha Redução de assinatura acústica	Complexidade de Design Peso e Carga Útil Custo e Viabilidade Manutenção e Durabilidade

	Manobrabilidade		Sistemas fly-by-wire Propulsão Distribuída Aviónica avançada Superfícies de controlo	Requisitos de furtividade Integridade estrutural Peso e equilíbrio Custo e complexidade
	Silêncio		Projeto do motor Materiais de atenuação de ruído Gestão dos gases de escape Design aerodinâmico	Requisitos de furtividade Peso e equilíbrio Custo e complexidade Compromissos de desempenho

Passo 6 – Avaliar

Para o desafio apresentado, todas as ideias são aplicáveis.

6.a Avaliar o(s) conceito(s) de design relativamente à sua alinhamento com os critérios e restrições do desafio de design, bem como a sua compatibilidade com os sistemas da Terra. Avalie a viabilidade tanto do modelo técnico como do modelo de negócio.

Restrições

- **Requisitos de furtividade:** Equilíbrio entre baixa observabilidade e desempenho aerodinâmico.
- **Peso e carga útil:** Gerir o peso de materiais e tecnologias avançadas mantendo a capacidade de carga útil.
- **Custo e complexidade:** Elevados custos de desenvolvimento e produção devido a tecnologias avançadas.
- **Manutenção e durabilidade:** Manutenção especializada para materiais e sistemas avançados.

Compatibilidade com os Sistemas da Terra

- **Impacto ambiental:** A utilização de materiais e tecnologias avançadas deve ter em conta a sustentabilidade ambiental. Os esforços para reduzir o ruído e as emissões estão alinhados com as regulamentações ambientais, minimizando assim a pegada ecológica.
- **Ambientes operacionais:** A aeronave deve ser capaz de operar em ambientes diversos, desde missões de alta altitude até penetração a baixa altitude, mantendo o desempenho e a furtividade.



Avaliação de viabilidade

- **Viabilidade técnica:** A integração de tecnologias de ponta em aerodinâmica, furtividade e propulsão é tecnicamente viável, mas requer um investimento significativo em I&D. Aeronaves existentes, como o B-2 Spirit e o futuro B-21 Raider, demonstram a viabilidade dos designs de asas voadoras para furtividade e eficiência.
- **Viabilidade do modelo de negócio:** O investimento inicial é substancial, mas os benefícios a longo prazo em termos de capacidades estratégicas e eficiência operacional justificam o gasto. A forte procura dos setores militares por bombardeiros estratégicos avançados assegura um mercado viável. Embora os custos de manutenção e operacionais sejam elevados, as vantagens estratégicas e a prolongada vida útil proporcionam um retorno favorável sobre o investimento.

6.b Rever e rever os passos anteriores conforme necessário para gerar uma solução viável.

Projetar um bombardeiro estratégico aerodinamicamente eficiente, subsônico, furtivo, manobrável e silencioso, com asas pesadas envolve abordar vários desafios, critérios e restrições de design. O principal desafio é integrar múltiplas tecnologias avançadas e princípios de design para alcançar um equilíbrio entre eficiência aerodinâmica, furtividade, manobrabilidade e silêncio. Isto envolve superar complexidades técnicas e garantir que a aeronave cumpre requisitos militares rigorosos.

Em conclusão, o design de um bombardeiro estratégico de asa pesada com asa voadora aerodinamicamente eficiente, subsônico, furtivo, manobrável e silencioso é tanto técnica como economicamente viável, dadas as vantagens estratégicas significativas e o alinhamento com as necessidades militares modernas.

Recursos adicionais:

<https://biomimicry.org/>

<https://www.audubon.org/news/research-reveals-exactly-why-peregrine-falcons-are-so-deadly>

<https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1714532114#executive-summary-abstract>

<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0086506>

https://web.stanford.edu/group/stanfordbirds/text/essays/Raptor_Hunting.html

<https://journals.plos.org/ploscompbiol/article?id=10.1371/journal.pcbi.1006044#abstract1>

https://medium.com/@abhishek_sawant/b-2-bomber-nature-inspired-design-marvel-2d717c5c09d8

<https://www.icr.org/article/a-bird-in-the-hand>



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Módulos de Formação WP3 sobre Design de Processos de Biomimética

Tarefa 3.1/ A1. Desenvolvimento de Kit de Autoaprendizagem para alunos de

Veteranos - LP: ATS / CPs: TODAS AS SOLUÇÕES LET'S MIMIC

Uma solução refere-se aos passos aplicados para resolver o desafio identificado, através da biomimética.

Solução: Imitação dos ecossistemas das pradarias

PROJETO DE BIOMIMETISMO	Descrição
Passo 2 – Bibiologizar	2.a Pergunta-te como é que a natureza pode resolver isto. Como é que os ecossistemas das pradarias mantêm naturalmente a fertilidade e a estrutura do solo? Contexto A variedade de espécies num ecossistema de pradaria permite às plantas fazer um uso eficiente da água e dos nutrientes. Além disso, os sistemas naturais exibem maior resiliência a perturbações, possuem capacidades autorreguladoras, mantêm solos mais estáveis e aumentam o sequestro de carbono, o ciclo de nutrientes, a produção alimentar e a biodiversidade. 2.b Pergunte a si próprio: "O que quero que o meu design faça?" Determine as funções-chave do seu projeto e identifique contextos na natureza. Funções podem referir-se ao papel desempenhado por um organismo adaptações ou comportamentos que lhe permitem sobreviver. Também podem referir-se a algo que precisa que a sua solução de design realize. • Melhorar a saúde do solo: Use plantas de raízes profundas e aeração natural do solo para melhorar a estrutura e fertilidade do solo. • Promover a biodiversidade: Integrar culturas diversas para criar um sistema resiliente contra pragas, doenças e stresses. • Otimize o uso da água: Implemente estratégias de gestão da água, como culturas de cobertura e mulches orgânicos, para reter a humidade do solo. • Controlo natural de pragas: Incentive insetos benéficos e predadores para reduzir a necessidade de pesticidas químicos. • Fixação de azoto: Use plantas fixadoras de azoto para enriquecer o solo naturalmente, reduzindo o uso de fertilizantes sintéticos. • Sequestro de carbono: Adote práticas que aumentem o armazenamento de carbono no solo para mitigar as alterações climáticas e melhorar a saúde do solo.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



- **Apoio aos polinizadores:** áreas naturais para apoiar os polinizadores e melhorar os rendimentos das culturas.
- **Resiliência a perturbações:** Projetar sistemas que recuperem de perturbações através da incorporação de estratégias adaptativas.
- **Eficiência energética:** Utilize fontes de energia renovável para reduzir a pegada de carbono das operações agrícolas.



	• Comunidade e educação: Promover programas educativos e o envolvimento comunitário em práticas agrícolas sustentáveis. 2.c Inverta a pergunta. Considere funções opostas. Como é que os ecossistemas das pradarias respondem e recuperam das perturbações resultantes das alterações climáticas?
Passo 3 – Descobrir	3.a Procure modelos naturais que correspondam às mesmas funções e contexto da sua solução de design. Existem vários modelos naturais que correspondem às funções e ao contexto da solução de design para uma agricultura sustentável e eficiente, semelhantes ao ecossistema das pradarias: • Ecossistemas florestais: As florestas mantêm a saúde do solo, apoiam a biodiversidade e gerem os recursos hídricos. • Ecossistemas de zonas húmidas: As zonas húmidas filtram a água, armazenam carbono e suportam a diversidade da vida vegetal e animal. • Ecossistemas de savana: As savanas caracterizam-se por uma mistura de gramíneas e árvores, que suportam populações diversas de herbívoros e mantêm a saúde do solo. • Ecossistemas de recifes de coral: Os recifes de coral suportam uma elevada biodiversidade e protegem as linhas costeiras da erosão. • Ecossistemas desérticos: Os desertos têm plantas adaptadas a condições extremas, conservando água e nutrientes. • Ecossistemas de mangais: Os mangais protegem as linhas costeiras, armazenam carbono e fornecem habitats de viveiro para a vida marinha. • Ecossistemas de pastagens: As pastagens suportam herbívoros, mantêm a saúde do solo e sequestram carbono. 3.b Identificar especialistas e conectar-se com comunidades de biólogos e naturalistas. • O Instituto da Terra. • Sociedade Americana de Naturalistas (ASN). • União Internacional para a Conservação da Natureza. • Rede de História Natural. • Sociedade para a Biologia da Conservação (SCB).





Passo 4 – Resumo

4. Resuma os elementos-chave da estratégia biológica. Destacar as funções principais e palavras-chave. Se possível, faça um diagrama/desenho e/ou encontre imagens que possam informar o design.

Funções principais

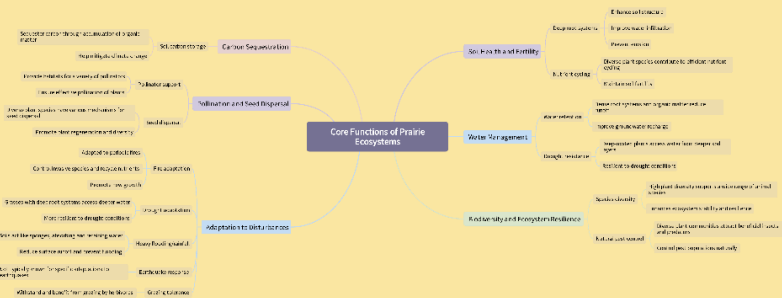
- **Saúde e fertilidade do solo** (sistemas radiculares profundos, ciclo de nutrientes).
- **Gestão da água** (retenção de água, resistência à seca).



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

- **Biodiversidade e resiliência dos ecossistemas** (diversidade de espécies, controlo natural de pragas).
- **Sequestro de carbono** (armazenamento de carbono no solo).
- **Polinização e dispersão de sementes** (suporte de polinizadores, dispersão de sementes).
- **Adaptação a perturbações.**



4.b Traduzir lições da natureza em estratégias de design. Reescreva a estratégia sem usar termos biológicos e ligue-a às funções e ao contexto a partir de uma perspetiva humana.

- **Saúde e fertilidade do solo:** Use plantas de raízes profundas e rotação de culturas para melhorar a estrutura do solo, prevenir a erosão e manter a fertilidade.
- **Gestão da água:** Reter a água com culturas de cobertura e cobertura morta, e selecionar culturas resistentes à seca para garantir uma produção estável.
- **Biodiversidade e resiliência dos ecossistemas:** Cultive culturas diversas e incentive a presença de insetos benéficos para o controlo natural de pragas.
- **Sequestro de carbono:** Aumente a matéria orgânica do solo através da compostagem e da redução do cultivo para armazenar carbono.
- **Polinização e dispersão de sementes:** Apoiar os polinizadores utilizando plantas nativas e empregando diversas estratégias de plantio para a regeneração das culturas.
- **Adaptação a perturbações:** Imitar regimes naturais de fogo, utilizar policulturas para resiliência à seca, melhorar a qualidade do solo para a estabilidade em cheias e terremotos, e gerir o pastoreio para manter a saúde dos ecossistemas.





Passo 5 – Emular

<https://youtu.be/ljv7y-WEgE4?si=Slf5mf0CmeUeGe4q>

https://youtu.be/RwUyL9ox_ts?si=uaPq94zC7cx6Xm4Z

Direitos de autor do vídeo:

<https://www.youtube.com/@KansasCityPBS>

<https://www.youtube.com/@thelandinstitute>

5.a Liste as suas informações principais e explore o máximo de ideias possível. Informação e ideias-chave

- Agricultura vertical.
- Permacultura.
- Aquaponia.
- Agricultura regenerativa.
- Agroecologia.
- Agricultura de precisão.
- Agricultura urbana.
- Agrofloresta.

5.b Organize as suas ideias em categorias que incluam as funcionalidades, o contexto, as restrições, etc., e selecione os conceitos de design que melhor se adequam à sua solução.

Contextos aplicados a todas as ideias: Policultura e Biodiversidade, Ciclo de Nutrientes, Eficiência da Água, Eficiência Energética, Gestão Integrada de Pragas, Produção Alimentar Local, Avanços Tecnológicos

	Características	Aplicação
Agricultura Vertical	• Múltiplas culturas: Cultive várias espécies de culturas em conjunto. • Estabilidade do ecossistema: Aumentar a estabilidade e a produtividade. • Reciclagem de recursos: Utilizar resíduos de um processo como entrada para outro. • Reciclagem de água e nutrientes: Recicle água e nutrientes. • Integração urbana: Integrar	• Agricultura urbana • Agricultura em ambiente controlado • Explorações agrícolas especializadas • Investigação e desenvolvimento • Aplicações comerciais e



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

		nos ambientes urbanos.	industriais
		Restrições:	

		Elevado consumo de energia, custos iniciais de capital, especialização técnica, variedade limitada de culturas, eficiência de utilização de recursos, viabilidade económica, impacto ambiental	
	Rei da Permacultura	• Culturas diversas: Promover o cultivo conjunto de uma variedade de culturas. • Estabilidade do ecossistema: Aumentar a estabilidade. • Resistência a pragas: Melhora a resistência a pragas. • Resiliência a doenças: Aumentar a resiliência contra doenças. • Reciclagem de recursos: Utilizar resíduos de um processo como entrada para outro. • Envolvimento comunitário: Envolve frequentemente as comunidades locais.	• Jardins domésticos • Hortas comunitárias • Permacultura urbana • Permacultura rural • Quintas de permacultura • Locais educativos e de demonstração

		Restrições: Elevados custos iniciais, intensidade de mão-de-obra, conhecimento e formação, adaptação às condições locais, procura de mercado e viabilidade económica, escalabilidade, gestão de pragas e doenças	
	Aquaponia	• Múltiplas espécies podem coexistir e apoiar-se mutuamente • Cultivar uma variedade de plantas no sistema aquapónico pode aumentar a resiliência e a produtividade • Os resíduos dos peixes podem ser usados como fertilizante, fornecendo nutrientes às plantas • Reciclagem de água, que pode reduzir significativamente o desperdício de água • A introdução de predadores naturais e insetos benéficos pode reduzir a necessidade de pesticidas químicos • Pode ser integrado em ambientes urbanos	• Jardins Domésticos • Explorações agrícolas comerciais • Agricultura Urbana • Instituições de Ensino • Ajuda Humanitária
		Restrições: Elevados custos iniciais, consumo de energia, complexidade técnica, gestão da qualidade da água, variedade limitada de culturas, viabilidade económica, escalabilidade, impacto ambiental	

	Agricultura regenerativa	• A agricultura direta reduz a perturbação do solo • Plantar culturas de cobertura ajuda a prevenir a erosão do solo, melhora a fertilidade do solo e aumenta a retenção de água • As rotações de culturas podem quebrar os ciclos de pragas e doenças, melhorar a saúde do solo e aumentar a resiliência • O pastoreio rotativo do gado pode ajudar a controlar a vegetação • As paisagens regenerativas podem ajudar na retenção de água, prevenindo a erosão e melhorando a infiltração de água • A cultura de cobertura pode reduzir a mobilização, e as emendas orgânicas podem aumentar a matéria orgânica do solo e sequestrar carbono, ajudando a mitigar as alterações climáticas	• Sem resíduo ou Explorações reduzidas • Explorações agrícolas de cobertura • Agrofloresta • Policultura • Swales e explorações de contorno • Locais de plantação companheira • Agricultura urbana • Aplicações comerciais e industriais
		Restrições: Período de transição, Conhecimentos e competências, Custos iniciais, Acesso ao mercado, Política e apoio, Investigação e dados, Variabilidade climática e ambiental, Viabilidade económica	
	Agroecologia e	• A diversificação das culturas pode melhorar a saúde do solo, reduzir surtos de pragas e aumentar a resiliência • Plantar culturas de cobertura como trevo ou centeio previne a erosão do solo, melhora a fertilidade do solo e aumenta a retenção de água	• Explorações de policultura e rotação de culturas • Agrofloresta • Pequenas explorações agrícolas • Agricultura Urbana e Periurbana • Pescas e

			Aquacultura
		• Reduz a necessidade de fertilizantes sintéticos e mantém a fertilidade do solo • Manter o equilíbrio ecológico e reduzir a poluição ambiental • Reduzir surtos de pragas e doenças, melhorar a saúde do solo e aumentar a produtividade agrícola global • Reforçar a resiliência dos sistemas agrícolas às alterações climáticas • Melhorar a segurança alimentar e melhorar os meios de subsistência dos pequenos agricultores	• Educação e Desenvolvimento Comunitário
		Restrições: Conhecimento e formação, Custos iniciais, Necessidade de trabalho manual, Acesso ao mercado e viabilidade económica, Apoio político e institucional, Investigação e dados, Adaptação às condições locais, Escalabilidade	

	Agricultura de Precisão	• Insumos direcionados: Aplicar água, fertilizantes e pesticidas apenas onde necessário para reduzir resíduos e impacto ambiental. • Técnicas de precisão: Otimize o uso dos recursos, melhore a saúde das culturas e aumente os rendimentos, minimizando a pegada ambiental. • Decisões informadas: Permitir que os agricultores tomem decisões informadas. • Monitorização contínua: Detetar problemas cedo e intervir atempadamente para melhorar a produtividade e a sustentabilidade. • Otimização da água: Utilize sensores de humidade do solo e sistemas automatizados de irrigação. • Redução química: Reduzir o uso geral de químicos.	• Rendimentos agrícolas em diferentes áreas de campo • Sistemas de Irrigação Automatizados • Sistemas de Mapeamento de Solos • Silvicultura • Locais de monitorização ambiental • Agricultura Urbana e Periurbana • Aquacultura
		• Saúde do solo: Promova práticas como redução do cultivo e cultivos de cobertura para manter e melhorar a saúde do solo. Restrições: Custos iniciais elevados, especialização técnica, gestão de dados, consumo de energia, requisitos de infraestruturas, viabilidade económica, impacto ambiental	

	Agricultura Urbana	• Culturas e espaços verdes diversificados: Cultive várias culturas e integre espaços verdes. • Produção alimentar urbana: Use telhados, terrenos baldios e hortas comunitárias para maximizar o espaço e criar sistemas alimentares resilientes. • Saúde do solo: Melhore o solo com compostagem, emendas orgânicas e canteiros elevados. • Otimização da água: Utilize a recolha de água da chuva, a irrigação por gotejamento e o uso de águas cinzentas. • Equilíbrio ecológico: Reduzir pesticidas químicos e promover o equilíbrio ecológico. • Participação comunitária: Fomentar a coesão social e capacitar os residentes. • Resiliência climática: Aumentar os espaços verdes, melhorar a qualidade do ar e reduzir o escoamento de águas pluviais.	• Jardins no Telhado • Agricultura Vertical • Quintas de hidroponia e aquaponia • Jardins Comunitários • Áreas urbanas e periurbanas não utilizadas • Locais industriais abandonados ou subutilizados
		Restrições Limitações de espaço, contaminação do solo, elevados custos iniciais, gestão da água, especialização técnica, viabilidade económica, barreiras políticas e regulatórias, envolvimento comunitário	
	Agroforestry	• Promove a diversidade: Reforça a resiliência dos ecossistemas, apoia os habitats da vida selvagem e melhora a polinização com diversas espécies de plantas.	• Cultivo de Becos • Silvopastagem • Tampões ribeirinhos

	• Saúde do solo: Adiciona matéria orgânica, melhora a estrutura do solo e melhora o ciclo de nutrientes. • Qualidade da água: Melhora a qualidade e disponibilidade da água. • Resiliência climática: Proporciona sombra, reduz a velocidade do vento e atua como sumidouro de carbono. • Controlo natural de pragas: Apoia predadores naturais, reduzindo a necessidade de pesticidas químicos. • Múltiplas fontes de rendimento: Produz frutas, frutos secos, madeira e outros produtos florestais. • Serviços ecossistémicos: Oferece sequestro de carbono, provisão de habitats e embelezamento da paisagem. • Otimização de recursos: Conduz a sistemas agrícolas mais eficientes e produtivos.	• Madeira e Produtos de Madeira • Sistemas de Produção de Bioenergia • Indústrias farmacêuticas e botânicas • Áreas Urbanas • Reabilitação de Terras Degradadas • Ambientes afetados pelas Alterações Climáticas
	Restrições Elevados custos iniciais, intensidade laboral, conhecimento e formação, acesso ao mercado e viabilidade económica, apoio político e institucional, adaptação às condições locais	



6.a Avaliar o(s) conceito(s) de design relativamente à sua alinhamento com os critérios e restrições do desafio de design, bem como a sua compatibilidade com os sistemas da Terra. Avaliar a viabilidade do modelo técnico e de negócio.

Conceito de design selecionado

Permacultura

A cultura perene de cereais, ou permacultura, é uma forma de agricultura desenvolvida para imitar sistemas naturais. A Agricultura de Sistemas Naturais é um sistema agrícola industrial que utiliza policulturas perenes e relações mutuamente benéficas para aumentar a saúde e a produtividade das culturas. Esta estratégia aproveita os benefícios encontrados nos sistemas naturais, como o controlo de pragas, o ciclo de fertilidade e nutrientes, o controlo da erosão, a resistência à seca, a gestão da água e o sequestro de carbono.

Alinhamento com uma agricultura sustentável e eficiente

Passo 6 – Avaliar



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



- **Harmonia ecológica:** Trabalha com processos naturais para melhorar a fertilidade do solo, controlar pragas e conservar a água.
- **Diversidade e resiliência:** Promove espécies e policulturas diversas para melhorar a estabilidade dos ecossistemas e reduzir surtos de pragas.
- Maximiza o uso de recursos ao integrar elementos onde as saídas de um servem como entradas para outro.
- **Saúde do solo:** Utiliza compostagem, cobertura morta e culturas de cobertura para melhorar a estrutura do solo e melhorar o ciclo dos nutrientes.

Compatibilidade com os sistemas da Terra

- **Biodiversidade e serviços ecossistémicos:** Melhora a biodiversidade e fornece serviços essenciais, como polinização e regulação da água.
- **Resiliência climática:** Promove sistemas diversos para resistir às alterações climáticas e proteger contra fenómenos meteorológicos extremos.
- **Sequestro de carbono:** Manter plantas perenes e melhorar a saúde do solo sequestra carbono e mitiga as alterações climáticas.
- **Conservação da água:** Isto inclui técnicas como a captação de água da chuva e a irrigação eficiente para gerir a água de forma sustentável.

Viabilidade técnica

- **Viabilidade técnica:** Utiliza princípios ecológicos para desenhar sistemas que melhorem a biodiversidade, a saúde do solo e a resiliência.
- **Eficiência de recursos:** Integra elementos para reduzir o desperdício e aumentar a produtividade.
- **Saúde do solo e gestão da água:** Melhora a estrutura do solo e conserva a água através da compostagem, cobertura morta e uso de swales.
- **Resiliência climática:** Desenha sistemas resilientes às alterações climáticas, utilizando plantas diversas e perenes.

Viabilidade do modelo de negócio

- **Investimento inicial e custos:** Requer investimento inicial, mas oferece poupanças a longo prazo e aumento da produtividade.
- **Viabilidade económica:** Diversifica o rendimento através de várias culturas, gado e produtos de valor acrescentado.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



- **Acesso ao mercado:** Desenvolve canais de venda direta ao consumidor e encontra mercados que valorizam bens sustentáveis.
- **Apoio político e institucional:** Precisa de políticas e incentivos de apoio para adoção generalizada.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



- **Comunidade e educação:** Constrói apoio comunitário e educa sobre princípios de permacultura para o sucesso.

6.b Rever e rever os passos anteriores conforme necessário para gerar uma solução viável.

Para gerar uma solução viável para implementar a permacultura de forma sustentável e eficiente, podemos rever e refinar os seguintes aspetos-chave:

- **Design ecológico:** Criar policulturas diversas e integrar a agrofloresta utilizando espécies nativas e perenes. Desenvolver projetos específicos para o local, adaptados às condições locais.
- **Eficiência de recursos:** Otimize o uso dos recursos através da captação de água da chuva, compostagem e energias renováveis. Implemente sistemas de reciclagem de nutrientes e água.
- **Saúde do solo e gestão da água:** Melhore o solo com culturas de cobertura, cobertura morta e emendamentos orgânicos. Utilize swales para gerir a água e monitorizar a saúde e o uso do solo.
- **Resiliência climática:** Utilizar espécies resilientes ao clima e desenvolver planos de contingência para eventos meteorológicos extremos. Adapte as práticas com base na monitorização e no feedback.
- **Sequestro de carbono:** Melhorar o armazenamento de carbono com plantas perenes e melhorar a saúde do solo. Comunique benefícios para atrair apoio e financiamento.
- **Investimento inicial e custos:** Procure apoio financeiro através de subsídios, subsídios e empréstimos. Desenvolva um plano financeiro abrangente com uma abordagem de implementação faseada.
- **Viabilidade económica:** Diversificar o rendimento com várias culturas, gado e produtos de valor acrescentado. Explore nichos de mercado e canais de venda direta.
- **Acesso ao mercado:** Construa relações com os mercados locais e os consumidores. Invista em branding e divulgação para os educar sobre os benefícios da permacultura.

Recursos adicionais:

<https://asknature.org/innovation/sustainable-industrial-agriculture-inspired-by-prairie-ecosystems/>

<https://asknature.org/strategy/natural-ecosystem-demonstrates-sustainability/>

https://www.youtube.com/watch?v=RwUyL9ox_ts

<https://landinstitute.org/>



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Módulos de Formação WP3 sobre Design de Processos de Biomimética

Tarefa 3.1/ A1. Desenvolvimento de Kit de Autoaprendizagem para alunos de Formação Profissional - LP:
ATS / CPs: TODOS

VAMOS IMITAR SOLUÇÕES

Uma solução refere-se aos passos aplicados para resolver o desafio identificado, através da biomimética.

Solução: O voo sustentado e motorizado, a estrutura aerodinâmica, a eficiência energética e a força muscular permitiram o controlo do movimento aéreo dos morcegos

BIOMIMICISMO DESIGN	Descrição
Passo 2 – Bibiologizar	2.a Pergunta-te como é que a natureza pode resolver isto. Como é que os morcegos podem usar o voo para tudo, desde capturar presas, reproduzir-se, evitar predadores até migrar a longa distância? Contexto Os morcegos são os únicos mamíferos voadores, divididos em dois grupos principais: megamorcegos frugívoros e micromorcegos ecolocalizadores. São maioritariamente noturnos e vivem em grutas. Os morcegos usam a ecolocalização para se orientar e caçar, emitindo sons ultrassónicos para produzir ecos. Os seus chamados podem atingir 140 decibéis e variar entre 14.000 e mais de 100.000 Hz. Os ouvidos dos morcegos são sensíveis aos sons das presas e podem construir uma imagem mental do seu ambiente através de varrimentos repetidos. Os morcegos encontram-se em todo o mundo, exceto em regiões muito frias, e são essenciais para polinizar flores e dispersar sementes. Desenvolveram características especializadas para o voo, como asas flexíveis e músculos fortes. Os morcegos têm boa visão, adaptada ao ambiente, com alguns a depender mais da ecolocalização do que da visão. 2.b O que quero que o meu design faça? Determine as funções-chave do seu projeto e identifique contextos na natureza. Funções podem referir-se ao papel desempenhado pelas adaptações ou comportamentos de um organismo que lhe permitem sobreviver. Também podem referir-se a algo que precisa que a sua solução de design realize. O principal objetivo de um novo veículo robótico microaéreo (MAV), leve, altamente eficiente e furtivo, especificamente concebido para aplicações militares, é melhorar as capacidades operacionais em vários ambientes desafiantes. Além disso, o meu design visa fornecer inteligência em tempo real, rastrear ameaças, apoiar forças terrestres, localizar sobreviventes, atuar como centro de comunicação, detetar ameaças e usar táticas de engano. Além disso, pode ser adaptado para aplicações civis, incluindo resposta a desastres, monitorização ambiental, planeamento urbano e agricultura. Resumo das funções-chave e dos contextos da natureza



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Funções-chave



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

- **Vigilância e reconhecimento:** Recolha e transmite inteligência em tempo real de ambientes hostis ou inacessíveis, permanecendo indetectável.
- **Identificação e rastreio de alvos:** Utilize sensores e algoritmos avançados para localizar, identificar e monitorizar com precisão alvos, mesmo em ambientes complexos, congestionados ou dinâmicos.
- **Apoio tático:** Fornecer às forças em terra consciência situacional, entregar cargas úteis ou ajudar em ataques de precisão.
- **Monitorização ambiental:** Detete ameaças químicas, biológicas ou radiológicas e avalia as condições ambientais em tempo real.
- **Eficiência energética e operação prolongada:** Maximizar a autonomia de voo através do uso eficiente da energia e sistemas de energia sustentáveis.
- **Furtividade e camuflagem:** Evitar a deteção por radar, imagem térmica ou observação visual.
- **Comunicações e retransmissão de sinais:** Servir como centros móveis de comunicação para apoiar unidades militares em áreas com sinais comprometidos.
- **Navegação autónoma em ambientes complexos:** Operar de forma independente em áreas sem GPS com deteção de obstáculos e planeamento dinâmico de rotas.

2.c Inverta a pergunta. Considere funções opostas.

Como é que os morcegos usam os seus outros sentidos, como a ecolocalização e a visão, para compensar a falta de voo em certas situações?





Passo 3 – Descobrir

3.A Procure modelos naturais que correspondam às mesmas funções e contexto da sua solução de design.

- **As corujas** são conhecidas pelo seu voo silencioso devido a penas especializadas que abafam o som; destacam-se na caça secreta, tornando-as uma inspiração ideal para MAVs furtivos.
- **As libélulas**, com a sua excelente acuidade visual e capacidade de pairar no local, podem servir de modelo para drones de vigilância que requerem observação estável e precisa.
- **Os falcões-peregrinos** utilizam navegação proporcional durante mergulhos de alta velocidade para intercetar presas, fornecendo um modelo para rastreio e interceção em MAVs.
- **As abelhas** melíferas utilizam forrageamento e navegação coordenadas para entregar recursos precisamente à sua colmeia, espelhando MAVs que entregam pequenas cargas úteis em ambientes complexos.
- **Aves de rapina, como os falcões, conseguem largar ou manipular objetos com precisão em pleno voo, o que pode inspirar o design da carga útil do MAV.**



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

- **Borboletas e traças** são sensíveis a alterações ambientais como temperatura e humidade; podem inspirar sensores MAV para detetar mudanças subtis na atmosfera.
- **Os abutres** conseguem localizar carcaças em vastas áreas; esta capacidade pode destacar estratégias aéreas para monitorização em larga escala.
- **Os albatros** utilizam o planeamento dinâmico para explorar correntes de vento e poupar energia, podendo inspirar estratégias de voo dos MAV para maior resistência.
- **Os beija-flores** são muito eficientes a pairar com um consumo mínimo de energia e podem influenciar diretamente o design de MAVs de alto desempenho.
- **Insetos** como insetos-pau e traças misturam-se perfeitamente com o seu ambiente e podem inspirar designs MAV para camuflagem urbana ou selvagem.
- **Criaturas noturnas** como as corujas operam sem serem detetadas à noite e podem inspirar pesquisas em MAVs sobre otimização para missões com pouca luz.
- **As colónias de formigas** usam trilhos de feromonas para comunicação a longas distâncias, tal como os MAVs retransmitem sinais.
- **Os vaga-lumes**, com a sua sinalização bioluminescente, podem inspirar sistemas de comunicação eficientes e de baixa energia em MAVs.
- **Os pombos** dependem de campos geomagnéticos e pontos de referência visuais para uma navegação precisa, o que, por sua vez, influencia a autonomia dos MAVs.

3.b Identificar especialistas e conectar-se com comunidades de biólogos e naturalistas.

- Universidade da Califórnia em Berkeley.
- Universidade do Novo México.
- Southampton e Colégio Imperial.
- Instituto de Tecnologia da Califórnia.
- Universidade de Boston.
- Universidade de Maryland.
- O Pentágono.
- Conservacionistas em vários estados.
- Instituto Federal Suíço de Tecnologia em Lausanne (EPFL).
- Investigadores liderados pelo Dr. Stefan Seelecke da Universidade da Carolina do Norte.

- Universidade do Nordeste, dirigida por Alireza Ramezani.



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Passo 4 – Resumo

4.a Resumir os elementos-chave da estratégia biológica. Destacar as funções principais e palavras-chave. Se possível, faça um diagrama/desenho e/ou encontre imagens que possam informar o design.

Adaptações de voo

- **Membros anteriores como asas:** Os morcegos são os únicos mamíferos capazes de voo verdadeiro e sustentado.
- **Área da superfície da membrana:** Aumentada entre os dedos, membros anteriores e posteriores.
- **Osso cortical mais fino:** Reduz as tensões torsionais.
- **Inervação e musculatura:** Inervação redirecionada e aumento da força muscular para batimentos de asas poderosos.
- **Adaptações metabólicas:** Alta taxa metabólica, aumento da capacidade pulmonar e respiração aeróbica.

Ecolocalização

- **Sons ultrassônicos:** Emitidos por micromorcegos e alguns megamorcegos para produzir ecos.
- **Intensidade sonora:** Dependente da pressão subgloteira, com chamadas que chegam até 140 decibéis.
- **Gama de frequências:** 14.000 a mais de 100.000 Hz, além da audição humana.
- **Deteção de presas:** Os morcegos comparam os pulsos de saída com ecos que regressam para localizar a presa.
- **Tragus e padrões de interferência:** Usados para estimar a elevação do alvo.

Dieta e comportamento:

- **Dieta:** Insetívoros, frugívoros, nectarívoros e algumas espécies alimentam-se de animais.
- **Noturno:** A maioria dos morcegos é ativa à noite e vive frequentemente em grutas ou refúgios.
- **Papel no ecossistema:** Polinizar flores e dispersar sementes, algo crucial para muitas plantas tropicais.

Capacidades visuais

- **Visão funcional:** Ao contrário dos mitos, os morcegos geralmente têm a visão adaptada ao seu ambiente.
- **Adaptações noturnas:** Olhos adaptados para condições de pouca luz.
- **Visão dicromática:** Capacidade de ver duas cores, geralmente

verde e ultravioleta.



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

- **Células bastonetes e cones:** Ricas em células bastonetes para luz ténue, menos células cone para deteção de cor.

Manobrabilidade e destreza

- **Articulações flexíveis:** Mais manobráveis e ágeis do que os mamíferos planadores.
- **Estrutura das asas:** Asas mais finas com mais ossos, permitindo manobras precisas.
- **Eficiência energética:** Dobrar as asas no movimento ascendente poupa energia.

Características especializadas:

- **Músculo occipito-pollical:** Exclusivo dos morcegos, necessário para o voo.
- **Plagiopatagium:** Pele sobreposta ao membro anterior, semelhante aos esquilos voadores.
- **Membranas regenerativas:** Delicadas, mas podem regenerar-se e cicatrizar rapidamente.



<https://dronelife.com/2018/01/05/laser-powered-bat-drones-really/>

4.b Traduzir lições da natureza em estratégias de design. Reescreva a estratégia sem usar termos biológicos e ligue-a às funções e ao contexto a partir de uma perspetiva humana.

Características principais e

adaptações Mecânica de voo

- **Membranas flexíveis:** Imitando asas de morcego, os MAVs podem ser concebidos com materiais flexíveis para navegar por corredores estreitos.
- **Movimento eficiente de bater as asas:** Utilizando ligas metálicas com memória de forma, os MAVs podem replicar o movimento de bater dos morcegos, proporcionando uma gama completa de movimento e regressando à posição original.

Sistemas de controlo autónomos

- **Imagem térmica 3D e radar:** Estas tecnologias permitem aos investigadores estudar o voo dos morcegos em

grupos e acompanhar a sua migração, fornecendo informações valiosas para a navegação dos MAV.

Microeletrónica e sensores



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

- **Câmaras e microfones estéreo:** os MAVs podem ser equipados com pequenas câmaras e microfones para recolher dados visuais e auditivos.
- **Sensores ambientais:** Sensores para detetar radiação nuclear, gases venenosos e outras ameaças podem ser integrados nos MAVs.
- **Radar de baixa potência:** Permite aos MAVs navegar no escuro e detetar obstáculos.

Eficiência energética

- **Captação de energia:** Os MAVs podem aproveitar energia do solar, do vento e das vibrações para recarregar as suas baterias, garantindo operações sustentadas.
- **Design leve:** Utilizando materiais avançados, os MAVs podem ser concebidos para serem leves mas duráveis, semelhantes aos esqueletos de morcegos.



<https://record.umich.edu/articles/com-bat-research-takes-flight/>
<https://newatlas.com/bat-inspired-drone-flies-walks/35744/>

Passo 5 – Emular

5.a Liste as suas informações principais e explore o máximo de ideias possível.

- **Construção leve:** utilização de materiais avançados, miniaturização.
- **Eficiência aerodinâmica:** design otimizado do perfil aerodinâmico, mecanismos das asas a bater.
- **Capacidades de Furtividade:** materiais absorventes de radar (RAM), redução de assinatura infravermelha e acústica.
- **Sensores e aviônicos avançados:** câmaras de alta resolução, transmissão de dados em tempo real.
- **Operação autónoma:** IA e aprendizagem automática, capacidades de enxame.

5.b Organize as suas ideias em categorias que incluam as funcionalidades, o contexto, as restrições, etc., e selecione os conceitos de design que melhor se adequam à sua solução.

		Contexto	Características	Restrições
	Leve Construção	Militaryapli catiões	Avançado Materiais	Integridade estrutural

		Integração Technologica I	Design eficiente em miniaturização Construção modular	Custo Fatores ambientais Complexidade de fabrico
	Eficiência aerodinâmica		Relação sustentação/arr asto (L/D) Design da asa Superfície lisa Formas otimizadas dos fólios aerodinâmicos	Integridade Estrutural Peso e Equilíbrio Fatores Ambientais Custo e Complexid ade
	Capacidades de Furtividade		Baixa secção transversal de radar (RCS) Supressão por infravermelhos Redução de assinatura acústica Camuflagem visual	Complexidade de projeto Peso e carga útil Custo e viabilidade Manutenção e durabilidade
	Sensores e Aviônicos Avançados		Sensores de alta resolução Sistemas de navegação autónoma Processament o de dados em tempo real Sistemas de comunicação seguros Conjunto de aviônicos integrado	Tamanho, peso e potência (SWaP) Durabilidade ambiental Custo e complexida de Manutenção e atualização

	Operação autónoma		IA e Aprendizagem Automática Sensores avançados Processamento de dados em tempo real	Considerações regulatórias e éticas Fatores ambientais Tamanho, peso e potência (SWaP)
			Sistemas de comunicação seguros Redundância e mecanismos de segurança	Custo e complexidade Manutenção e atualização
	Ideia selecionada Capacidades furtivas.			

Passo 6 – Avaliar

6.a Avaliar o(s) conceito(s) de design relativamente à sua alinhamento com os critérios e restrições do desafio de design, bem como a sua compatibilidade com os sistemas da Terra. Avalie a viabilidade tanto do modelo técnico como do modelo de negócio.

Capacidades furtivas

- **Materiais absorventes de radar (RAM):** Utilização de materiais que absorvem ondas de radar para reduzir a secção transversal do radar (RCS) do MAV e melhorar a furtividade.
- **Redução da assinatura infravermelha e acústica:** Sistemas avançados de arrefecimento e materiais de atenuação de ruído para minimizar emissões de calor e som, tornando o MAV mais difícil de detetar.

Restrições

- **Potência e resistência:** Equilibrar os requisitos de potência do MAV com a sua resistência é fundamental. São necessários sistemas eficientes de armazenamento e gestão de energia para maximizar o tempo de voo.
- **Capacidade de carga útil:** O MAV deve ser capaz de transportar os sensores e equipamentos de comunicação necessários sem comprometer o seu desempenho de voo.
- **Fatores ambientais:** O MAV deve ser capaz de operar em várias condições ambientais, incluindo vento, chuva e temperaturas variáveis.
- **Custo e escalabilidade:** Desenvolvimento de MAVs económicos que possam ser produzidos em larga escala, mantendo alto desempenho e fiabilidade.

Compatibilidade com os sistemas da Terra

- **Impacto ambiental:** Utilização de materiais amigos do ambiente e sistemas energeticamente eficientes para minimizar a pegada ecológica. Garantir que o MAV não interfira com a vida selvagem e os ecossistemas locais.
- **Ambientes operacionais:** O MAV deve ser suficientemente versátil para operar em ambientes diversos, desde áreas urbanas a locais remotos, mantendo a furtividade e eficiência.

Viabilidade técnica

- **Tecnologias avançadas:** A integração de materiais de ponta, sensores e tecnologias de IA é tecnicamente viável, mas requer um investimento significativo em I&D.
- **Conceitos comprovados:** MAVs existentes e tecnologias semelhantes demonstram a viabilidade de designs leves, eficientes e furtivos para aplicações militares.

Viabilidade do modelo de negócio

- **Elevados custos de desenvolvimento:** O investimento inicial é substancial, mas os benefícios a longo prazo, em termos de capacidades estratégicas e eficiência operacional, justificam a despesa.
- **Procura de mercado:** A forte procura dos setores militares por capacidades avançadas de reconhecimento e vigilância garante um mercado viável.

Custos ao longo do ciclo de vida

Embora os custos de manutenção e operacionais sejam elevados, as vantagens estratégicas e a prolongada vida útil proporcionam um retorno favorável sobre o investimento.

6.b Rever e rever os passos anteriores conforme necessário para gerar uma solução viável.

Projetar um veículo robótico microaéreo (MAV) leve, altamente eficiente e furtivo para aplicações militares envolve abordar vários desafios, critérios e restrições de design.

O principal desafio é integrar múltiplas tecnologias avançadas e princípios de design para alcançar um equilíbrio entre construção leve, eficiência aerodinâmica, capacidades de furtividade e operação autónoma. Isto envolve superar complexidades técnicas e garantir que o MAV cumpre requisitos militares rigorosos.

Em conclusão, o design de um MAV robótico leve, altamente eficiente e furtivo para aplicações militares é tanto tecnicamente como economicamente viável, dadas as vantagens estratégicas significativas e o alinhamento com as necessidades militares modernas.

Recursos adicionais:

<https://biomimicry.org/>

<https://en.wikipedia.org/wiki/Bat#References>

<https://news.umich.edu/sensors-for-bat-inspired-spy-plane-under-development/>

<https://www.popsci.com/science/article/2010-11/bat-research-inspires-disciplines-far-beyond-biologia/>

<https://newatlas.com/bat-inspired-drone-flies-walks/35744/>

<https://newatlas.com/metal-muscled-robo-bat/12188/>



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



<https://www.popsi.com/technology/bats-weird-wings-inspired-this-drone/>

https://en.wikipedia.org/wiki/Bat_wing_development

https://en.wikipedia.org/wiki/Bat_flight#Evolution



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Módulos de Formação WP3 sobre Design de Processos de Biomimética

Tarefa 3.1/ A1. Desenvolvimento de Kit de Autoaprendizagem para alunos de

Veteranos - LP: ATS / CPs: TODAS AS SOLUÇÕES LET'S MIMIC

Uma solução refere-se aos passos aplicados para resolver o desafio identificado, através da biomimética.

Solução: Um mecanismo inovador de alimentação sem entupimento das raias manta

PROJETO DE BIOMIMETISMO	Descrição
Passo 2 – Bibiologizar	2.a Pergunta-te como é que a natureza pode resolver isto. Como é que as raias manta podem filtrar a comida de forma mais eficiente e alimentar-se sem entupir? Contexto As raias manta, pertencentes ao género <i>Mobula</i>, podem atingir larguras de até 7 metros (23 pés) e pesar até 1.360 kg. São parentes próximos dos tubarões e habitam águas temperadas quentes, subtropicais e tropicais. As raias-manta são filtradoras e macropredadoras, consumindo grandes quantidades de zooplâncton e peixes pequenos a médios. Eles filtram-se nadando com a boca aberta, usando órgãos filtrantes especializados para capturar partículas alimentares. O seu sistema de filtração é altamente eficiente e resistente a entupimentos, utilizando lóbulos semelhantes a folhas para afastar partículas de alimento do filtro. As raias manta desempenham um papel crucial nos seus ecossistemas, concentrando biomassa e removendo nutrientes em excesso da água. Envolvem-se em vários comportamentos alimentares, incluindo natação horizontal, cambalhotas e formações de alimentação em grupo como "ciclones". Infelizmente, as raias manta estão classificadas como Vulneráveis pela União Internacional para a Conservação da Natureza devido a ameaças como poluição, emaranhamento de redes de pesca e a captura das suas raias branquiais. Estão protegidos em águas internacionais, mas continuam vulneráveis mais perto da costa. 2.b Pergunte a si próprio "O que quero que o meu design faça?" • Reduzir a poluição por microplásticos: O objetivo principal é filtrar partículas finas de plástico da água, reduzindo assim a poluição e os seus efeitos nocivos na vida marinha e nos ecossistemas. • Melhorar a eficiência da filtração: Inspirado no sistema natural de filtração da raia manta, o design visa alcançar uma elevada eficiência de filtração, minimizando o entupimento e a manutenção.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



- F
o
r
n
e
c
e
r
u
m
a
s
o
l
u
ç
ã
o
s
u
s
t
e
n
t
á
v
e
l
p
a
r
a
o
d
e
s
a
f
i
o
e
m
q
u
e
s
t
ã
- : O filtro pretende ser desenhado para ser energeticamente eficiente e sustentável, alinhando-se com objetivos ambientais como os delineados nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas, em particular o Objetivo 11: Cidades e Comunidades Sustentáveis.

Passo 3 – Descobrir

2.c Inverta a pergunta. Considere funções opostas.

Como é que as raias manta conseguem filtrar e ingerir plâncton evitando a ingestão excessiva de água do mar?

3.a Procure modelos naturais que correspondam às mesmas funções e contexto da sua solução de design.

- **Esponjas:** As esponjas marinhas filtram a água através dos seus corpos porosos, capturando partículas tão pequenas como bactérias. A sua estrutura e a dinâmica de fluxo que criam podem inspirar sistemas de filtração de baixa energia e alta eficiência.
- **Folhas das árvores:** As microestruturas na superfície das folhas das árvores podem captar partículas do ar. Este processo natural de filtração pode inspirar designs que utilizam estruturas de superfície semelhantes para melhorar a captura de partículas.
- **Favos:** A estrutura hexagonal dos favos proporciona uma grande área de superfície para filtração, mantendo a integridade estrutural. Este design pode ser imitado para criar filtros que sejam eficientes e duráveis.

3.b Identificar especialistas e conectar-se com comunidades de biólogos e naturalistas.

- Engenheiros do MIT.
- Instituto de Biomimética.
- Universidade Estadual da Califórnia-Fullerton.
- PerguntaNatureza.
- ResearchGate.
- Rede Global de Biomimética...

Passo 4 – Resumo

4.a Resumir os elementos-chave da estratégia biológica. Destacar as funções principais e palavras-chave. Se possível, faça um diagrama/desenho e/ou encontre imagens que possam informar o design.

- **Alimentação por filtração:** As mantas são filtradoras, consumindo zooplâncton e pequenos peixes através de filtrar a água através de estruturas branquiais especializadas.
- **Filtração não entupida:** Utilizam um mecanismo de separação por ricochete para filtrar partículas menores do que o tamanho do poro, permitindo altas taxas de fluxo e resistindo ao entupimento.
- **Aquisição de nutrientes:** Recolhem nutrientes alimentando-se de matéria orgânica e de organismos menores suspensos em água.



- **Engenharia de ecossistemas:** As raias manta desempenham um papel na condensação da biomassa, na remoção de nutrientes em excesso e na bioacumulação, atuando como organismos indicadores.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



[https://www.earth.com/news/manta-rays-inspire-a-new-design-for-filtros de água/](https://www.earth.com/news/manta-rays-inspire-a-new-design-for-filtros-de-água/)

4.b Traduzir lições da natureza em estratégias de design. Reescreva a estratégia sem usar termos biológicos e ligue-a às funções e ao contexto a partir de uma perspectiva humana.

Filtração eficiente

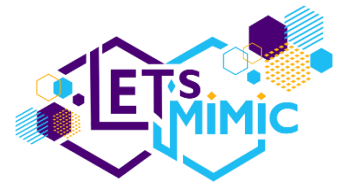
- **Objetivo:** Desenvolver um sistema de filtração capaz de lidar com altos caudais e capturar eficazmente pequenas partículas plásticas.
- **Inspiração:** As raias manta utilizam um método em que a água flui através de estruturas que criam turbulência, fazendo com que partículas ricocheteem e sejam capturadas.
- **Implementação:** Projete filtros com aletas ou placas inclinadas que criem correntes rodopiantes, direcionando partículas de plástico para uma área de recolha enquanto permitem a passagem de água limpa.

Mecanismo sem entupimentos

- **Objetivo:** Garantir que o sistema de filtragem se mantém funcional sem manutenção frequente.
- **Inspiração:** O sistema de filtragem das raias manta resiste ao entupimento através de um mecanismo de ricochete.
- **Implementação:** Incorpore estruturas que façam com que partículas ricocheteem nas superfícies, prevenindo acumulação e obstrução. Utilize aletas ajustáveis para redirecionar o fluxo de água e eliminar quaisquer partículas aprisionadas.

Design modular

- **Objetivo:** Criar um sistema escalável e adaptável que possa ser implementado em vários corpos de água.
- **Inspiração:** A natureza modular das estruturas branquiais das mantas.
- **Implementação:** Desenvolver unidades modulares que possam ser combinadas para formar sistemas de filtração maiores. Cada unidade deve ter uma abertura para puxar água e estruturas internas para filtrar plásticos.



Economia circular



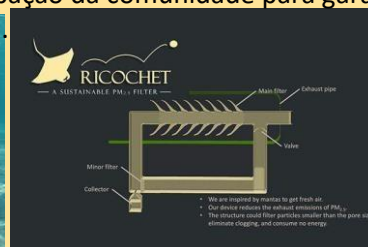
**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

- **Objetivo:** Utilizar resíduos plásticos recolhidos para criar novas unidades de filtragem, promovendo a sustentabilidade.
- **Inspiração:** O ciclo contínuo de captura e utilização de nutrientes nas raias manta.
- **Implementação:** Projetar o sistema para recolher e compactar resíduos plásticos, que podem depois ser reciclados em novas unidades de filtragem, reduzindo o total de resíduos plásticos e apoiando uma economia circular.

Impacto na comunidade e no ecossistema

- **Objetivo:** Envolver as comunidades locais na implementação e manutenção dos sistemas de filtragem.
- **Inspiração:** Os comportamentos alimentares colaborativos das raias manta.
- **Implementação:** Envolver as comunidades locais na instalação e manutenção dos sistemas de filtragem, fornecendo educação sobre a poluição por plásticos e os seus impactos. Incentive a propriedade e participação da comunidade para garantir o sucesso a longo prazo.



<https://asknature.org/innovation/plastic-filtering-device-inspired-by-the-raia-manta-e-tubarão-de-solho/>

<https://asknature.org/innovation/rictulate-matter-filters-inspired-by-manta-raias/>

Passo 5 – Emular

5.a Liste as suas informações principais e explore o máximo de ideias possível. Informação Chave

- **Mecanismo de filtração:** O filtro deve empregar um mecanismo que capture eficazmente partículas plásticas finas, que podem incluir barreiras físicas, atração eletrostática ou adsorção química.
- **Seleção de materiais:** Escolher os materiais certos é fundamental. Materiais como polipropileno, poliéster e nylon são frequentemente usados devido à sua durabilidade e eficiência de filtração. O material também deve ser resistente a entupimentos e fácil de limpar ou substituir.



- Estruturador do filtro:
A estrutura do filtro
de
sempenhamento

pel significativo na sua eficiência. Os filtros de profundidade, que têm múltiplas camadas, podem capturar partículas de diferentes tamanhos. O design deve maximizar a área de superfície mantendo o fluxo de ar.

- **Eficiência energética:** O filtro deve funcionar com baixo consumo energético. Isto envolve otimizar o design para reduzir a resistência ao fluxo de ar, o que pode ajudar a diminuir a energia necessária para a filtração.
- **Durabilidade e manutenção:** O filtro deve ser durável e exigir manutenção mínima. Isto inclui garantir que os materiais utilizados resistem ao ambiente operacional e que o filtro pode ser facilmente limpo ou substituído.

Ideias inovadoras

utilização de nanomateriais como nanofibras ou outros materiais sustentáveis, filtros eletrostáticos, filtros inteligentes, design modular, mecanismo de autolimpeza, filtragem adaptativa

5.b Organize as suas ideias em categorias que incluam as funcionalidades, o contexto, as restrições, etc., e selecione os conceitos de design que melhor se adequam à sua solução.

	Contexto	Características	Restrições
Mecanismo de filtração	Aplicações ambientais	Eficiência de filtração Filtração em múltiplos estágios Estrutura porosa Altos caudais e baixa obstrução Mecanismos de autolimpeza Materiais avançados	Gama de tamanhos de partículas Caudal e queda de pressão Durabilidade e Manutenção Custo e escalabilidade Compatibilidade ambiental e impacto
Seleção de material	Integração Tecnológica	Alta eficiência de filtração Durabilidade e resistência química Queda de baixa pressão Não tóxico e amigo do ambiente	Fabricabilidade de Custos Manutenção e longevidade Compatibilidade com sistemas existentes

	Estrutura do filtro		Estrutura porosa Design em múltiplas camadas Alta Permeabilidade	Gama de tamanhos de partículas Durabilidade e manutenção
--	----------------------------	--	--	---

			Mecanismo de autolimpeza	Custo e escalabilidade Compatibilidade ambiental
	Eficiência energética		Queda de baixa pressão Alta permeabilidade Materiais avançados Mecanismos de autolimpeza	Custo Durabilidade e manutenção Escalabilidade Compatibilidade ambiental
	Durabilidade e manutenção		Materiais duráveis Humidade e resistência química Design estrutural robusto Mecanismos de autolimpeza	Custo Acessibilidade de manutenção Compatibilidade ambiental Vida útil operacional

Passo 6 – Avaliar

Ideia selecionada

Mecanismos de filtragem.

6.a Avaliar o(s) conceito(s) de design relativamente à sua alinhamento com os critérios e restrições do desafio de design, bem como a sua compatibilidade com os sistemas da Terra. Avalie a viabilidade tanto do modelo técnico como do modelo de negócio.

- **Filtração em múltiplos estágios:** Incorporando múltiplos estágios para captar uma grande variedade de tamanhos de partículas, desde detritos grandes a microplásticos.
- **Estrutura porosa:** Utilizar uma estrutura porosa tridimensional para maximizar a área de superfície para filtração e aumentar a eficiência.

Restrições

- **Gama de tamanhos de partículas:** O filtro deve captar uma ampla gama de tamanhos de partículas, exigindo controlo preciso sobre o tamanho e a distribuição dos poros.
- **Caudal e queda de pressão:** Manter altas taxas de fluxo enquanto se minimiza a queda de pressão é crucial para a eficiência e o custo operacional.
- **Custo e escalabilidade:** Desenvolver uma solução económica que possa ser produzida em larga escala é essencial para uma adoção generalizada.

- **Durabilidade e manutenção:** Garantir que os materiais e o design do filtro resistam a uso prolongado e a fatores de stress ambientais, sendo fáceis de manter.

Compatibilidade com os sistemas da Terra

- **Impacto ambiental:** Utilização de materiais ecológicos e sistemas energeticamente eficientes para minimizar a pegada ecológica. Garantir que o filtro não interfira com a vida selvagem e os ecossistemas locais.
- **Ambientes operacionais:** O filtro deve ser suficientemente versátil para operar em ambientes diversos, desde áreas urbanas a locais remotos, mantendo a eficiência.

Viabilidade técnica

- **Tecnologias avançadas:** A integração de materiais de ponta e princípios de design é tecnicamente viável, mas requer um investimento significativo em I&D.
- **Conceitos comprovados:** As tecnologias de filtração existentes e os mecanismos naturais de filtração demonstram a viabilidade de designs eficientes e duradouros.

Viabilidade do modelo de negócio

- **Custos elevados de desenvolvimento:** O investimento inicial é substancial, mas os benefícios a longo prazo em termos de impacto ambiental e eficiência operacional justificam a despesa.
- **Procura de mercado:** A forte procura por soluções para a poluição por microplásticos garante um mercado viável para o filtro.
- **Custos do Ciclo de Vida:** Embora os custos de manutenção e operacionais sejam elevados, as vantagens estratégicas e a prolongada vida útil proporcionam um retorno favorável sobre o investimento.

6.b Rever e rever os passos anteriores conforme necessário para gerar uma solução viável.

Desenhar um **filtro de partículas de plástico fino** envolve abordar vários desafios, critérios e restrições de design.

O principal desafio é criar um filtro que capture eficazmente partículas finas de plástico da água, mantendo altas taxas de caudal, minimizando a queda de pressão e garantindo durabilidade e facilidade de manutenção. Isto envolve a integração de materiais avançados e princípios de design inovadores inspirados em mecanismos naturais de filtração, como os usados pelas raia manta.

Em conclusão, o design de um filtro de partículas plásticas finas é tecnicamente e economicamente viável, dado os significativos benefícios ambientais e o alinhamento com os objetivos de sustentabilidade.

Recursos adicionais



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



<https://biomimicry.org/>

https://en.wikipedia.org/wiki/Filter_feeder#See_also

https://en.wikipedia.org/wiki/Manta_ray#Feeding

<https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.aat9533>

<https://asknature.org/innovation/rcticate-matter-filters-inspired-by-manta-rays/>

<https://asknature.org/strategy/fins-funnel-food/>

<https://asknature.org/innovation/plastic-filtering-device-inspired-by-the-manta-ray-and-basking-tubarão/>

<https://scitechdaily.com/what-mit-scientists-discovered-about-manta-rays-is-revolutionizing-water-filtração/>

<https://www.kickstarter.com/projects/367174604/floating-coconet-cleaning-plastic-rivers>

<https://www.weforum.org/stories/2016/12/using-technology-inspired-by-manta-rays-to-count-the-plástico-nos-nossos-oceanos/>

<https://marinemegafauna.org/field-updates/microplastics-no-small-problem>



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Módulos de Formação WP3 sobre Design de Processos de Biomimética

Tarefa 3.1/ A1. Desenvolvimento de Kit de Autoaprendizagem para alunos de Veteranos - LP: ATS / CPs: TODOS AS SOLUÇÕES LET'S MIMIC

Uma solução refere-se aos passos aplicados para resolver o desafio identificado, através da biomimética.

Solução: As substâncias sinalizadoras únicas das frutas e legumes

PROJETO DE BIOMIMETISMO	Descrição
Passo 2 – Biologizar	2.a Pergunta-te como é que a natureza pode resolver isto. Como é que as frutas e legumes ativam os seus mecanismos de defesa ao serem separados da planta-mãe? Contexto Quando frutas e vegetais são separados da planta-mãe, ativam vários mecanismos de defesa para se protegerem de deterioração e ataques microbianos, tais como: • Ativação dos mecanismos de defesa: produção e regulação de etileno, produção de fitoalexinas, antimicrobianos naturais, produção de ROS, resposta antioxidante • Diálogo hormonal, sinais químicos e comunicação: Compostos Orgânicos Voláteis (COVs), ácido jasmónico e ácido salicílico, efeitos sinérgicos • Alterações estruturais: Reforço da parede celular, reforço das cutículas 2.b Pergunte a si próprio: "O que quero que o meu design faça?" O objetivo do design é desenvolver saquetas inovadoras que aproveitem os mecanismos naturais de defesa das frutas e legumes para prolongar a sua vida útil, analisando os sinais únicos das plantas. Os saquetas devem funcionar a temperaturas ambientes, mantendo os alimentos frescos mesmo em áreas sem acesso a armazenamento frigorífico e instalações da cadeia de abastecimento fria. Os saquetas devem prolongar a vida útil das frutas e legumes alvo entre 40 a 60 por cento. Isto irá reduzir o desperdício alimentar, melhorar a segurança alimentar e apoiar os meios de subsistência dos pequenos agricultores, das comunidades locais e das áreas afetadas. 2.c Inverta a questão. Considere funções opostas. Como é que fatores ambientais como a temperatura e a humidade influenciam a produção e resposta aos sinais de amadurecimento nos produtos colhidos?
Passo 3 – Descobrir	3.a Procure modelos naturais que correspondam às mesmas funções e contexto da sua solução de design.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Passo 4 – Resumo

- **Grãos e sementes:** dormência natural, cascas exteriores duras.
- **Nozes:** Conteúdo de óleo, cascas protetoras.
- **Ervas e especiarias:** Óleos essenciais, conservantes naturais.
- **Algas:** Polissacarídeos, compostos antioxidantes.
- **Mel:** Propriedades antimicrobianas naturais, longa vida útil.

3.b Identificar especialistas e conectar-se com comunidades de biólogos e naturalistas.

- GreenPod Labs.
- Estratégia da União Europeia: Farm to Fork.
- Políticas Nacionais sobre Segurança Alimentar.

4.a Resuma os elementos-chave da estratégia biológica. Destacar as funções principais e palavras-chave. Se possível, faça um diagrama/desenho e/ou encontre imagens que possam informar o design.

- **Regulação do etileno:** Modular os níveis de etileno para controlar o processo de maturação.
- **Defesa antimicrobiana:** Estimular a produção de compostos antimicrobianos naturais para proteger contra infecções microbianas.
- **Atividade antioxidante:** Aumentar as defesas antioxidantes para reduzir o stress oxidativo e atrasar a deterioração.
- **Compostos Orgânicos Voláteis (COVs):** Liberta COVs para reforçar a sinalização de defesa e dissuadir pragas e agentes patogénicos.
- **Integridade estrutural:** Reforçar defesas estruturais, como paredes celulares e cutículas, para criar barreiras contra agentes patogénicos.
- **Conversa hormonal:** Facilita a interação entre diferentes vias hormonais para garantir uma resposta de defesa equilibrada.



Direitos de autor da imagem



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



<http://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27005823>



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

4.b Traduza lições da natureza em estratégias de design. Reescreva a estratégia sem usar termos biológicos e ligue-a às funções e ao contexto a partir de uma perspectiva humana.

Uma estratégia é criar uma forma de aproveitar as substâncias naturais únicas de sinalização de diferentes frutas e legumes e capturá-las em pequenos saquinhos que podem ser colocados em caixas com produtos específicos.

Os pontos-chave que a estratégia poderia implementar são:

- **Controlar o maturamento:** utilização de materiais que possam gerir os gases naturais produzidos por frutas e legumes para abrandar o seu processo de maturação.
- **Perspetiva humana:** Implemente uma solução para evitar que as frutas e legumes amadureçam demasiado depressa, para que permaneçam frescos por mais tempo e reduzam o desperdício.
- **Prevenção de infeções:** Incorpore substâncias que combatem naturalmente bactérias e bolor, mantendo os produtos seguros para consumo.
- **Perspetiva humana:** Ter um desinfetante incorporado que proteja a comida de se estragar devido a germes e bolor.
- **Redução da Deterioração:** Melhore a capacidade dos produtos frescos usando elementos que protegem contra danos ambientais.
- **Perspetiva Humana:** Investigue os antioxidantes usados nos cuidados da pele para manter a pele saudável e jovem, e aplique-os a frutas e legumes.
- **Dissuadir pragas:** Implemente uma solução para libertar cheiros naturais que repelem insetos e outras pragas, evitando que danifiquem os produtos.
- **Perspetiva Humana:** Procure soluções como repelentes naturais de insetos que mantenham os insetos afastados da comida, garantindo que a comida permanece intocada.
- **Reforço da proteção:** Implemente uma solução para reforçar as camadas exteriores dos produtos e dificultar a penetração de pragas e microrganismos.
- **Perspetiva Humana:** Adicione uma camada extra de proteção, como um revestimento duradouro para evitar





Direitos de autor da [imagem https://greenpodlabs.com](https://greenpodlabs.com)



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Passo 5 – Emular

5.a Liste as suas informações principais e explore o máximo de ideias possível.

- Saquinhos de ingredientes ativos adicionados à embalagem.
- Embalagens com indicadores que mudam de cor e de propriedades.
- Pacotes de controlo de humidade.
- Revestimento comestível.
- Embalagem de atmosfera modificada.
- Embalagem a vácuo.
- Embalagens antimicrobianas.

5.b Organize as suas ideias em categorias que incluam as funcionalidades, o contexto, as restrições, etc., e selecione os conceitos de design que melhor se ajustam à sua solução.

	Contexto	Características	Restrições
Saquetas de ingredientes ativos adicionadas na embalagem	Conservação de alimentos Redução do desperdício alimentar Regiões em desenvolvimento Sustentabilidade	Extratos naturais de plantas Materiais biodegradáveis Versatilidade Facilidade de utilização Económico	Sensibilidade à temperatura Vida útil limitada Adoção inicial Escalabilidade Aprovação regulatória
Embalagem com indicadores que mudam de cor/adereços mudam de ermitas	Redução do desperdício alimentar Procura do consumidor Avanços tecnológicos	Indicadores de frescura visual Monitorização em tempo real Personalizável	Custo Precisão e fiabilidade Sensibilidade ambiental Aprovação regulatória Aceitação pelo consumidor
Pacotes de controlo de humidade	Conservação de alimentos Aplicação ampla de	Controlo da humidade	Custo Sensibilidade ambiental Eliminação



		Duradoura Fácil de usar	
--	--	-------------------------------	--



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

	Produtos na indústria alimentar Regiões em desenvolvimento	Utilização de ingredientes naturais na composição	Aprovação regulatória
Revestimento comestível	Conservação de alimentos Aplicação global Sustentabilidade	Ingredientes naturais Propriedades de barreira Propriedades antimicrobianas Biodegradável Versátil	Custo Técnicas de aplicação Vida útil do revestimento Aprovação regulatória Aceitação pelo consumidor
Embalagem em atmosfera modificada	Conservação de alimentos Avanços Tecnológicos	Filmes barreira de mistura de gases Vida útil prolongada	Complexidade e de Custos Impacto ambiental Sensibilidade à temperatura Aprovação regulatória
Embalagem a vácuo	Ampla aplicação de produtos na indústria alimentar Produtos não consumíveis	Vida útil prolongada Preservação da qualidade Eficiência espacial Versatilidade Proteção de barreiras	Custo Limitação material Preocupações ambientais

Embalagem antimicrobiana	Ampla aplicação de produtos na indústria alimentar Produtos biológicos Produtos exportados	Vida útil prolongada Segurança alimentar Qualidade Preservação Controlado Lançamento	Custo Compatibilidade de materiais Regulamentação ou Aprovação Ambiente Impacto
--------------------------	--	---	--

O melhor conceito de design são os **saquetas de ingredientes ativos adicionados na embalagem**:

- **Vida útil prolongada:** Os saquetas de ingredientes ativos mantêm condições ótimas dentro das embalagens, reduzindo a deterioração e o desperdício dos alimentos.
- **Proteção direcionada:** Adaptada para abordar mecanismos específicos de deterioração, preservando a qualidade e segurança do produto.
- **Redução da necessidade de conservantes:** Minimiza a necessidade de conservantes químicos, tornando os alimentos mais saudáveis e reduzindo o impacto ambiental.
- **Material de embalagem minimizado:** Proteção mais eficiente em comparação com múltiplas camadas de embalagem, reduzindo o desperdício.
- **Sustentabilidade:** Muitos saquetas são biodegradáveis ou recicláveis, contribuindo para soluções de embalagem sustentáveis.
- **Conveniência para o consumidor:** Mantém a frescura mesmo após a abertura, reduzindo a probabilidade de descartar artigos parcialmente usados.
- **Custo-eficácia:** O custo inicial é compensado pela redução do desperdício alimentar e pelo prolongamento da vida útil, resultando em poupanças ao longo do tempo...

Passo 6 – Avaliar

6.a Avaliar o(s) conceito(s) de design relativamente ao seu alinhamento com os critérios e restrições do desafio de design, bem como a sua compatibilidade com os sistemas da Terra. Avaliar a viabilidade do modelo técnico e de negócio.

Restrições	Enredo	Avaliação da solução
Vida útil limitada	Frutas e legumes frescos têm um	Implementar tecnologias de embalagem ativa, como saquetas de ingredientes ativos adicionadas



	vida útil curta, levando a desperdícios significativos.	embalagem, para prolongar a frescura e a vida útil dos produtos
Comportamento do consumidor	Os consumidores frequentemente descartam alimentos devido a confusão sobre datas de validade ou armazenamento inadequado	Educar os consumidores sobre os benefícios e o uso correto destes saquetas
Ineficiências na cadeia de abastecimento	Ineficiências na cadeia de abastecimento podem levar a atrasos e deterioração dos produtos frescos	Desenvolva saquetas adaptadas a tipos específicos de produtos. Diferentes frutas e legumes têm requisitos únicos de armazenamento, pelo que soluções personalizadas podem otimizar a sua preservação em caso de atrasos no fornecimento
Padrões estéticos	Os retalhistas rejeitam frequentemente embalagens que prejudicam a experiência global do utilizador	Os sachets podem ser desenhados em várias formas, tamanhos e cores para combinar com a estética da embalagem. Esta personalização ajuda a manter a harmonia visual do produto
Elevado custo das embalagens avançadas	Soluções avançadas de embalagem podem ser dispendiosas, limitando a sua adoção	Investir em investigação e desenvolvimento para criar alternativas de embalagem económicas
Impacto ambiental das embalagens	Os materiais tradicionais de embalagem contribuem para a poluição ambiental	Desenvolver e utilizar materiais de embalagem biodegradáveis ou recicláveis

Falta de infraestrutura para doação de alimentos	Excedentes de produtos muitas vezes são desperdiçados devido à infraestrutura de doações inadequada	Estabelecer redes robustas para a doação de alimentos, incluindo parcerias com bancos alimentares e instituições de caridade
--	---	--

Compatibilidade com os sistemas da Terra



- **Biodegradabilidade:** Saquinhos feitos de materiais biodegradáveis degradam-se naturalmente, reduzindo o impacto ambiental.
- **Reciclabilidade:** Os saquetas recicláveis reduzem o desperdício ao permitir que materiais sejam reprocessados e reutilizados.
- **Componentes não tóxicos:** A utilização de materiais não tóxicos impede que químicos nocivos afetem a qualidade do solo e da água.
- **Eficiência energética:** A produção eficiente em energia minimiza a pegada de carbono, utilizando fontes de energia renovável.
- **Redução de resíduos:** Prolongar a vida útil reduz o desperdício alimentar, diminuindo as emissões de gases com efeito de estufa provenientes dos aterros sanitários.
- **Obtenção sustentável:** Os materiais devem ser de origem sustentável, utilizando recursos renováveis sem prejudicar o ambiente.

Viabilidade técnica para implementar um saquinho de ingredientes ativos adicionado nas embalagens para reduzir o desperdício

Estado atual

As tecnologias de embalagem ativa são bem pesquisadas e foram implementadas de várias formas. A inovação contínua está a conduzir a soluções mais eficientes e económicas. Os avanços em nanotecnologia e ciência dos materiais estão a aumentar a eficácia das embalagens ativas.

Viabilidade

Embora haja um investimento inicial no desenvolvimento e implementação destes sachets, a redução do desperdício alimentar e a longa vida útil podem levar a poupanças significativas ao longo do tempo. Os saquinhos de ingredientes ativos podem ser ajustados para satisfazer as necessidades de vários produtos alimentares e tamanhos de embalagens. Esta flexibilidade torna-os adequados para uma vasta gama de aplicações.

Viabilidade do modelo de negócio

1. Proposta de valor

- **Vida útil prolongada:** O principal valor é prolongar a vida útil de frutas e legumes, reduzir o desperdício alimentar e poupar custos tanto para os retalhistas como para os consumidores.
- **Sustentabilidade:** Destaque os benefícios ambientais, como a redução do desperdício alimentar e o uso de materiais biodegradáveis ou recicláveis.
- **Garantia de qualidade:** Garanta que os produtos se mantêm



frescos e de alta qualidade durante mais tempo, aumentando a satisfação do cliente.

2. Segmentos de clientes

- **Retalhistas:** Supermercados e supermercados que procuram reduzir o desperdício e melhorar a vida útil dos seus produtos.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

- **Distribuidores alimentares:** Empresas que transportam e armazenam grandes quantidades de bens perecíveis.
- **Consumidores:** Utilizadores finais que querem manter os seus produtos frescos por períodos mais longos.
- **Agricultores e produtores:** Negócios agrícolas que pretendem reduzir as perdas pós-colheita.

3. Fontes de receita

- **Vendas diretas:** Venda de saquetas diretamente a retalhistas, distribuidores e consumidores.
- **Serviços de subscrição:** Oferece um modelo de subscrição onde os clientes recebem envios regulares de sachets.
- **Parcerias:** Colaborar com empresas de embalagens para integrar saquetas nos seus produtos.
- **Licenciamento:** Licenciamento da tecnologia a outras empresas da indústria de embalagens alimentares.

6.b Revê e revisita os passos anteriores conforme necessário para gerar uma solução viável.

Plano de implementação

- Realizar I&D e desenvolver protótipos.
- Obter aprovações regulatórias e montar a produção.
- Produção piloto e processos de refinamento.
- Lance uma campanha de marketing e comece as vendas.
- Recolha feedback e faça melhorias contínuas...

Recursos adicionais

<https://greenpodlabs.com/>

<https://www.youtube.com/channel/UCilmiV8719puQ1NwnBQoPA>

<https://asknature.org/innovation/natural-produce-preservative-packets-inspired-by-plants/>

<https://changestarted.com/solving-food-wastage-through-a-small-sachet-greenpod-labs-deepak-rajmohan/>

<https://www.foodinfotech.com/greenpod-labs-sailing-against-odds-with-tiny-sachets-of-wonder/>



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Módulos de Formação WP3 sobre Design de Processos de Biomimética

Tarefa 3.1/ A1. Desenvolvimento de Kit de Autoaprendizagem para alunos de

Formação Profissional - LP: ATS / CPs: TODOS OS DESAFIOS E SOLUÇÕES

LETSMIMIC

Um **desafio** diz respeito a um exemplo de um problema da vida real do passado que foi resolvido através da biomimética. Esta tarefa visa identificar e documentar o desafio e a solução que foi aplicada.

Solução: A superfície das asas das borboletas

PROJETO DE BIOMIMETISMO	Descrição
Passo 2 – Bibiologizar	2.a Pergunta-te como é que a natureza pode resolver isto. Como é que as borboletas conseguem absorver luz e não refletir quase nada dela? Contexto As borboletas desenvolveram mecanismos fascinantes para absorver luz e não refletir quase nenhuma dela, principalmente através das estruturas únicas nas suas asas. As asas das borboletas possuem propriedades antirreflexas, altamente eficientes a reter a luz, fazendo com que as asas pareçam quase pretas. 2.b Pergunte a si próprio: "O que quero que o meu design faça?" Determine as funções-chave do seu projeto e identifique contextos na natureza. Funções podem referir-se ao papel desempenhado pelas adaptações ou comportamentos de um organismo que lhe permitem sobreviver. Também podem referir-se a algo que a sua solução de design precisa de cumprir. • Absorção de luz e conversão de energia: Absorva a luz de forma eficiente e converte-a em energia utilizável para alimentar o sensor. • Deteção de hidrogénio: Detetar com precisão a presença de gás hidrogénio em várias concentrações. • Adaptabilidade ambiental: Funcione de forma fiável em condições ambientais variáveis, incluindo alterações na intensidade da luz, temperatura e humidade. • Durabilidade e longevidade: Garanta que o sensor é durável e mantém o desempenho ao longo do tempo. • Eficiência energética: Operar com um consumo mínimo de energia para maximizar a eficiência. 2.c Inverta a questão. Considere funções opostas. Como é que as borboletas canalizam a luz para comunicar?



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Passo 3 – Descobrir

3.A Procure modelos naturais que correspondam às mesmas funções e contexto da sua solução de design.

- **Pêlo branco dos ursos polares:** Os ursos polares têm pelo branco que reflete a maior parte da luz solar, ajudando-os a misturar-se com o seu

Ambiente com neve e evitar sobreaquecimento. A estrutura do seu pelo dispersa luz, fazendo-a parecer branca e refletora.

- **Escamas prateadas dos peixes:** Muitos peixes, como as sardinhas e os arenques, têm escamas prateadas que refletem a luz, tornando-as menos visíveis para os predadores na água. As escamas contêm camadas de cristais de guanina que criam um efeito espelhado, refletindo a luz e proporcionando camuflagem.
- **Folhas refletoras das plantas do deserto:** Algumas plantas do deserto, como a solanácea, têm folhas cobertas por pelos finos ou uma camada cerosa que reflete a luz solar. Esta adaptação ajuda a reduzir a perda de água e a proteger a planta da intensa radiação solar.
- **Penas coloridas de aves:** Aves como pavões e beija-flores têm penas com estruturas microscópicas que refletem a luz, criando cores iridescentes. Estas estruturas, como cristais fotônicos, refletem comprimentos de onda específicos da luz, resultando numa plumagem vibrante e refletora.
- **Superfícies Refletoras em Insetos:** Certos insetos, como os escaravelhos, possuem exoesqueletos com superfícies refletoras. Estas superfícies são frequentemente compostas por estruturas em múltiplas camadas que refletem a luz, criando aparências metálicas ou iridescentes. Isto pode servir como camuflagem ou meio de atrair parceiros.

3.b Identificar especialistas e conectar-se com comunidades de biólogos e naturalistas.

- Rede de História Natural.
- Sociedade para a Biologia da Conservação (SCB).
- ResearchGate.
- INaturalista...



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Passo 4 – Resumo

4.a Resumir os elementos-chave da estratégia biológica. Destacar as funções principais e palavras-chave. Se possível, faça um diagrama/desenho e/ou encontre imagens que possam informar o design.

Funções principais

Absorção e reflexão da luz

- **Coloração estrutural:** As borboletas usam estruturas à escala nano e micro nas suas escamas das asas para difractar e interferir com a luz, criando cores vibrantes.
- **Escamas refletoras:** Escamas especializadas refletem comprimentos de onda específicos da luz através de interferência construtiva, resultando em cores iridescentes.

2. Comunicação ultravioleta:



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

- **Refletância UV:** Certas borboletas têm escamas de asas que refletem a luz UV, usada para comunicação, especialmente durante rituais de acasalamento.
- **Refletância direcional:** A reflexão UV é altamente direcional, visível apenas em ângulos específicos, facilitando uma comunicação discreta.
- **Pigmentação** (pigmentos Pterin): Algumas borboletas usam pigmentos que absorvem a luz UV, impedindo que esta seja refletida e aumentando o contraste para a comunicação.



Direitos de autor da imagem

[https://scitechdaily.com/nanostructures-and-living-cells-in-butterfly-asas-poderiam-inspirar-materiais-arrefecimento radiativo-maquinas-avancadas-voadoras/](https://scitechdaily.com/nanostructures-and-living-cells-in-butterfly-asas-poderiam-inspirar-materiais-arrefecimento-radiativo-maquinas-avancadas-voadoras/)

4.b Traduzir lições da natureza em estratégias de design. Reescreva a estratégia sem usar termos biológicos e ligue-a às funções e ao contexto a partir de uma perspectiva humana.

Funções principais

- **Absorção e reflexão de luz:** Implementação de superfícies micro- e nanoestruturadas em sensores de hidrogénio para maximizar a absorção de luz. Estas estruturas podem aumentar a sensibilidade do sensor ao aumentar a interação entre a luz e o material do sensor, melhorando a deteção do gás hidrogénio.
- **Comunicação ultravioleta:** Utilizar materiais sensíveis aos UV em sensores de hidrogénio. Estes materiais podem alterar as suas propriedades quando expostos à luz UV, permitindo a deteção de gás hidrogénio através de alterações na refletância ou absorção UV. Esta abordagem pode proporcionar um mecanismo de deteção mais preciso e responsivo.
- **Pigmentação:** Incorpore pigmentos ou corantes em sensores de hidrogénio que reagem à presença de gás hidrogénio mudando a cor. Esta indicação visual pode ser uma funcionalidade adicional para uma deteção fácil e rápida de fugas de hidrogénio.



Passo 5 – Emular

Direitos de autor da imagem:

<https://www.rmit.edu.au/news/all-news/2020/dec/hydrogen-sensor>

5.a Liste as suas informações principais e explore o máximo de ideias possível. Informação e ideias-chave

- **Integração de cristais fotónicos:** Incorporar cristais fotónicos no design do sensor para captar a luz e alimentar o sensor. Isto pode melhorar a eficiência energética e permitir o funcionamento à temperatura ambiente.
- **Utilização de paládio de titânio:** Crie uma estrutura em camadas com nano-discos de paládio como camada superior. Estes discos alteram as suas propriedades óticas na presença de hidrogénio, proporcionando um mecanismo de deteção fiável.
- **Sistemas de leitura ótica:** Implemente um sistema acoplado por fibra com um LED, um corpo sensor contendo a amostra reativa e um fotodíodo para ler as alterações de reflectância. Esta configuração garante uma deteção precisa e fiável.
- **Utilização de materiais para operar à temperatura ambiente:** Utilize materiais que permitam ao sensor operar à temperatura ambiente, reduzindo assim o consumo de energia e aumentando a segurança.
- **Design de amplo alcance de deteção:** Projetar sensores para detetar uma ampla gama de concentrações de hidrogénio, desde níveis muito baixos para diagnóstico médico até níveis mais elevados para segurança industrial.

5.b Organize as suas ideias em categorias que incluam as funcionalidades, o contexto, as restrições, etc., e selecione os conceitos de design que melhor se adequam à sua solução.

Contexto aplicado a todas as ideias

Centrais **nucleares**, sistemas de energia renovável, exploração espacial, aplicações **industriais**, transportes, edifícios residenciais e comerciais, investigação e desenvolvimento



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

	Características	Aplicação
	Integração de cristais fotónicos	Elevada sensibilidade relacionada com a melhoria da interação luz-matéria Estabilidade térmica Eficiência energética Compacto e leve Segurança industrial Energia renovável Monitorização ambiental
	Restrições • Complexidade de fabrico relacionada com fabrico de precisão e controlo de qualidade • Sensibilidade ambiental relacionada com temperatura, humidade e contaminação • Desafios de integração relacionados com a compatibilidade do sistema e processamento de sinais	
	Utilização do paládio de titânio	Alta área de superfície Sensibilidade Reversibilidade Deteção de fugas em diferentes setores de atividade Setor energético, incluindo energias renováveis Indústria automóvel
	Restrições • Sensibilidade à temperatura • O custo do paládio é um material caro • Durabilidade	
	Sistemas de leitura ótica	Leitura não elétrica Alta sensibilidade Tempo de resposta rápido Segurança industrial Setor energético Monitorização ambiental
	Restrições • Sensibilidade à temperatura • Complexidade e custo • Interferência	

	Utilização de materiais para operar à temperatura ambiente	Alta sensibilidade Alta afinidade Compatibilidade com tecnologias de semicondutores	Segurança industrial Setor energético Monitorização ambiental
--	--	---	---

		Absorção reversível e dessorção Grande área superficial	
		Restrições • Sensibilidade à temperatura • Custo • Durabilidade	
	Conceção de alcance de deteção ampla	Ampla Gama de Concentração Alta sensibilidade e seletividade Resposta Rápida e Recuperação	Segurança industrial Setor energético Indústria automóvel
		Restrições • Fatores ambientais • Custo e complexidade • Calibração e manutenção	

Passo 6 – Avaliar

Ideia selecionada

Integração de cristais fotónicos.

6.a Avaliar o(s) conceito(s) de design relativamente à sua alinhamento com os critérios e restrições do desafio de design, bem como a sua compatibilidade com os sistemas da Terra. Avaliar a viabilidade do modelo técnico e de negócio.

O conceito de design selecionado é a integração de cristais fotónicos

1. Características

- Alta sensibilidade e seletividade: Os cristais fotónicos podem ser concebidos para terem propriedades óticas específicas que mudam na presença de hidrogénio, proporcionando elevada sensibilidade e seletividade.
- Leitura ótica: Estes sensores podem ser alimentados por luz, eliminando a necessidade de energia elétrica e reduzindo o risco de ignição em ambientes ricos em hidrogénio.
- Tempo de resposta rápido: Os sensores baseados em cristais fotónicos normalmente apresentam tempos de resposta rápidos, o que é crucial para a monitorização em tempo real.

Aplicações



- **Segurança industrial:** Utilizada em ambientes onde o hidrogénio é produzido, armazenado ou utilizado, como fábricas químicas e refinarias, para detetar fugas e prevenir acidentes.
- **Setor energético:** Fundamental para monitorizar o hidrogénio em células de combustível e sistemas de armazenamento, garantindo operação segura e eficiência.
- **Indústria automóvel:** Integrada em veículos movidos a hidrogénio para monitorizar os níveis de hidrogénio e garantir uma operação segura.

Compatibilidade com os sistemas da Terra

- **Sustentabilidade:** Os sensores de cristais fotónicos, alimentados por luz, alinham-se bem com práticas sustentáveis ao reduzir a dependência da energia elétrica e minimizar o impacto ambiental.
- **Utilização de materiais:** Os materiais usados nos cristais fotónicos, como dióxido de silício, óxido de tântalo e paládio, são não tóxicos; no entanto, alguns deles podem ser dispendiosos.

Viabilidade técnica

- **Tecnologia comprovada:** Sensores baseados em cristais fotónicos foram demonstrados com sucesso em ambientes laboratoriais, produzindo resultados promissores.
- **Potencial de integração:** Estes sensores podem ser integrados nos sistemas existentes de deteção de hidrogénio, melhorando o seu desempenho e fiabilidade.

Viabilidade do modelo de negócio

- **Procura de mercado:** Existe uma procura crescente por sensores de hidrogénio fiáveis em várias indústrias, impulsionada pela adoção crescente do hidrogénio como fonte de energia limpa.
- **Considerações de custo:** Embora o custo inicial dos sensores de cristais fotónicos possa ser elevado, as economias de escala e os avanços nas técnicas de fabrico podem levar a custos reduzidos ao longo do tempo.
- **Apoio regulatório:** Governos e entidades reguladoras apoiam cada vez mais o desenvolvimento e a implementação de tecnologias de hidrogénio, o que poderá facilitar a adoção no mercado.

6.b Rever e rever os passos anteriores conforme necessário para gerar uma solução viável.

- **Definir requisitos e objetivos:** Identificar o alcance de deteção,





definir metas de sensibilidade e seletividade, e definir as condições operacionais.

- **Seleção de materiais:** Cristais fotônicos, camada catalítica.
- **Conceção e fabrico:** Estrutura cristalina fotónica, deposição de camadas, integração com leitura óptica.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

- **Testes e calibração:** Testes de sensibilidade, testes de seletividade, testes ambientais.
- **Otimização:** Ajuste de desempenho, melhoria da durabilidade.
- **Desenvolvimento de protótipos:** Fabrico de protótipos, testes de campo.
- **Comercialização:** Análise de custos, conformidade regulamentar, estratégia de mercado.

Recursos adicionais:

<https://asknature.org/innovation/precise-hydrogen-sensor-inspired-by-butterflies/>

<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssensors.0c01387>

<https://www.rmit.edu.au/news/all-news/2020/dec/hydrogen-sensor>

https://www.photonics.com/Articles/Light_Powers_Butterfly-Inspired_Hydrogen_Sensor/a66469

<https://www.mdpi.com/2673-4141/5/1/7>

<https://blog.msasafety.com/hydrogen-big-potential-big-safety-challenges-are-you-ready/>

<https://light.nju.edu.cn/upload/20140227/201402272036572070.pdf>

<https://h2tools.org/>



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Módulos de Formação WP3 sobre Design de Processos de Biomimética

Tarefa 3.1/ A1. Desenvolvimento de Kit de Autoaprendizagem para alunos de

Veteranos - LP: ATS / CPs: TODOS AS SOLUÇÕES LET'S MIMIC

Uma solução refere-se aos passos aplicados para resolver o desafio identificado, através da biomimética.

Solução: Cicatrização Óssea Natural através da Mineralização Osteoblástica

DESIGN DE BIOMÍMICA	Descrição
Passo 2 – Bibliologizar	2.a Pergunta-te como é que a natureza pode resolver isto. Como podemos inspirar o corpo humano a imitar a sua regeneração e cura? 2.b Pergunte a si próprio o que o seu design pretende fazer. Determine as funções-chave do seu projeto e identifique contextos na natureza. Funções podem referir-se ao papel desempenhado pelas adaptações ou comportamentos de um organismo que lhe permitem sobreviver. Também podem referir-se a algo que a sua solução de design precisa de cumprir. Funções-chave do design • Capacidade de auto-regeneração: Osteoclastos e osteoblastos trabalham em conjunto para facilitar a cicatrização óssea, promovendo o crescimento celular e a mineralização. • Deteção e resposta a fissuras: Os osteoblastos atuam em grupos para depositar cristais de cálcio e fosfato no local danificado, que se combinam com o colagénio para formar um novo osso. • Restauração da resistência estrutural: As células osteoclastas removem qualquer osso indesejado em redor do local da fratura, permitindo que o osso reparado adquira uma forma semelhante à sua aparência original antes da lesão. Ao incorporar estes princípios biológicos, este design pretende criar um novo betão que não só possa reparar fissuras de forma autónoma, mas também detetar ou responder à formação delas, ativando os mecanismos de auto-cura no momento certo. É também vital que este processo de auto-regeneração não só preencha as fissuras, como também restaure a resistência original do betão, garantindo que o material reparado suporta cargas e tensões semelhantes às anteriores. 2.c Inverta a questão. Considere funções opostas. Como é que o corpo humano cura automaticamente os seus ossos? Como é que os ossos se mantêm fortes e regeneram depois de serem fraturados? Na natureza, os ossos têm a notável capacidade de se curar sozinhos quando fraturados. O corpo deposita novo tecido mineral para colmatar as secções partidas, restaurando a força do osso. Este processo paralela o conceito de betão auto-reparador, onde o material regenera-se para reparar fissuras e recuperar a sua integridade.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Passo 3 – Descobrir

3.a Procure modelos naturais que correspondam às mesmas funções e contexto da sua solução de design.

Função

Capacidade de auto-cura.



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Modelos naturais

- **Cicatrização óssea (humanos e animais):** Quando os ossos são fracturados, o corpo inicia um processo de cicatrização, seguido da geração de novo tecido ósseo para colmatar a lacuna.
- **Regeneração da pele (humanos e animais):** A pele pode regenerar-se e curar-se sozinha quando cortada ou ferida.
- **Regeneração da casca da árvore:** Quando a casca de uma árvore é danificada, ela pode regenerar-se crescendo novo tecido de casca à volta da ferida para a selar e evitar a entrada de pragas ou doenças.
- **Cicatrização do caule da planta:** Quando um caule é danificado, certas plantas podem formar uma camada protetora de células sobre a ferida. Em alguns casos, o caule pode regenerar novo crescimento para substituir a área danificada.
- **Regeneração hepática (humanos e outros vertebrados):** O fígado é um dos poucos órgãos que pode regenerar-se após danos.
- **Reparações de seda de aranha:** Algumas espécies de aranhas podem reparar teias danificadas reforçando ou reconstruindo secções rasgadas.
- **Reparação da concha dos moluscos:** Podem reparar danos menores nas suas conchas secretando camadas adicionais de carbonato de cálcio para preencher fissuras ou lascas.

3.b Identificar especialistas e conectar-se com comunidades de biólogos e naturalistas. Universidades e instituições de investigação

- **Universidade de Tecnologia de Delft (TU Delft):** A TU Delft tem experiência em materiais autorregeneradores e construção sustentável.
- **Universidade e Investigação de Wageningen (WUR):** Oferece especialização em microbiologia e biotecnologia, útil para compreender e otimizar os processos bacterianos envolvidos no betão autorregenerante.
- **Harvard Wyss Institute for Biologically Inspired Engineering:** Foca-se na tradução de princípios biológicos em soluções de engenharia, incluindo materiais biomiméticos e tecnologias autorreparáveis.

Comunidades profissionais

- **Instituto de Biomimética:** promove a biomimética como abordagem de design, oferecendo recursos e oportunidades de colaboração entre engenheiros e biólogos.
- **Sociedade Internacional para a Ecologia Microbiana (ISME):** Reúne microbiologistas especializados em aplicações ambientais, incluindo o uso de bactérias na ciência dos materiais.
- **Society for Experimental Biology (SEB):** Uma plataforma para investigadores que estudam vários aspetos da biologia, incluindo mecanismos de autorreparação de plantas e microbianos que podem informar o design de materiais.



Fóruns e grupos online



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Passo 4 – Resumo

- **ResearchGate:** Uma rede social que liga investigadores, que podem estar especializados em biomateriais, microbiologia e engenharia sustentável, onde se podem discutir aplicações de betão auto-reparável.
- **Grupos do LinkedIn:** uma rede social que apresenta grupos focados em biomimética, engenharia civil ou ciência dos materiais, permitindo a interação com especialistas em áreas relacionadas com tecnologias de auto-recuperação.

Organizações e eventos locais

- **Conferência Europeia de Biomateriais:** Uma conferência dedicada a biomateriais que pode proporcionar oportunidades de networking com especialistas em ciência dos materiais e bioengenharia.
- **Universidades e instituições de investigação:** podem oferecer palestras públicas, seminários ou workshops em universidades locais focados em microbiologia, construção sustentável ou inovações bio-inspiradas.

4.a Resumir os elementos-chave da estratégia biológica. Destacar as funções principais e palavras-chave. Se possível, faça um diagrama/desenho e/ou encontre imagens que possam informar o design.

Indução Microbiana

- **Modelo da natureza:** Bacillus subtilis (Esporos dormentes)
- **Palavras-chave:** Dormancia, Ativação, Resiliência, Regeneração
- **Função:** As bactérias permanecem inativas até que se formem fissuras, permitindo-lhes ativar-se e iniciar um processo de cura, imitando estratégias naturais de sobrevivência em condições adversas.

Biomíneralização

- **Modelo da natureza:** Recifes de coral, moluscos (ostras)
- **Palavras-chave:** Reparação Natural, Produção Mineral, Integridade Estrutural, Sustentabilidade
- **Função:** Estes organismos produzem minerais para reparar e fortalecer as suas estruturas. Este processo pode ser replicado em betão para preencher fissuras com carbonato de cálcio, restaurando a integridade estrutural.

Biopolímeros

- **Modelo da natureza:** Seda de aranha, seda de bicho-da-seda
- **Palavras-chave:** Flexibilidade, Força, Composição Natural, Sustentabilidade
- **Função:** Os biopolímeros potenciam as propriedades mecânicas do betão, proporcionando flexibilidade e resistência, sendo ao mesmo tempo amigas do ambiente, tal como a seda na natureza.

Técnicas de encapsulamento

- **Modelo da natureza:** Dispersão de sementes (por exemplo, frutos, vagens de sementes)

- **Palavras-chave:** Libertação Controlada, Proteção, Ativação, Eficiência



- **Função:** A encapsulação protege os agentes curativos até que sejam necessários, tal como as sementes são protegidas até que as condições sejam favoráveis ao crescimento.

Fornecimento de nutrientes

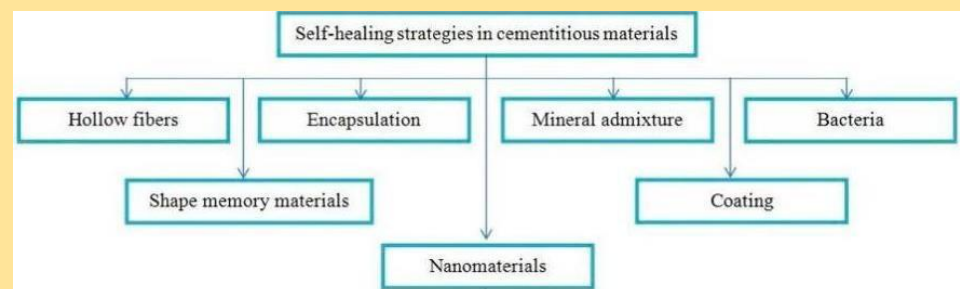
- **Modelo da natureza:** Redes micorrízicas (fungos e raízes de plantas).
- **Palavras-chave:** sustento, ativação, crescimento, manutenção.
- **Função:** Tal como as redes micorrízicas facilitam a troca de nutrientes para as plantas, fornecendo nutrientes essenciais às bactérias, também apoiam a cicatrização sustentada no betão.

Considerações ambientais

- **Modelo da natureza:** Zonas húmidas, florestas tropicais.
- **Palavras-chave:** Humidade, adequação do habitat, atividade microbiana, adaptabilidade.
- **Função:** Ambientes húmidos suportam a vida microbiana e os processos de cura no betão, tal como os ecossistemas prosperam em habitats adequados.

Abordagens híbridas

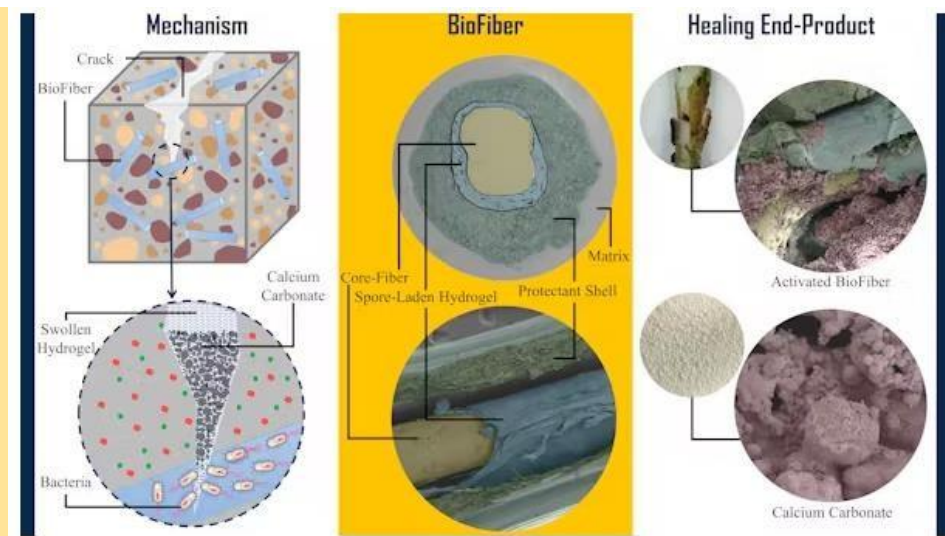
- **Modelo da natureza:** Relações simbióticas (por exemplo, peixes-palhaço e anémonas).
- **Palavras-chave:** Sinergia, adaptação, inovação, robustez.
- **Função:** Combinar métodos biológicos com técnicas tradicionais de reparação melhora a robustez do sistema global, tal como as relações simbióticas aumentam a sobrevivência.



Desenvolveu estratégias para a auto-recuperação em materiais à base de cimento

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7709490/figure/biomimetics-05-00047-f004/>

4.b Traduzir lições da natureza em estratégias de design. Reescreva a estratégia sem usar termos biológicos e ligue-a às funções e ao contexto a partir de uma perspetiva humana.



<https://theconversation.com/thin-bacteria-coated-fibers-could-lead-to-self-cimento-a-cicatrizar-que-preenche-se-próprias-fissuras-220190>

Ativação de cura desencadeada

- **Estratégia de concepção:** Desenvolver um sistema que ative materiais de cura apenas quando uma fissura ou dano for detetado, garantindo que os recursos sejam conservados até à necessidade.

Mecanismo natural de reparação

- **Estratégia de concepção:** Crie um betão que possa preencher fissuras de forma autónoma sem necessidade de reparações manuais, semelhante a como algumas estruturas naturais cicatrizam com o tempo.

Flexibilidade e força

- **Estratégia de concepção:** Utilizar materiais que possam dobrar e flexionar sob tensão, encontrando um equilíbrio entre resistência e adaptabilidade em resposta às condições em mudança.
- **Funcionalidade:** Isto permite que edifícios e estruturas resistam a várias pressões ambientais, mantendo a segurança e longevidade.

Sistema de libertação inteligente

- **Estratégia de design:** Incorpore um sistema protetor que liberte agentes curativos quando se formam fissuras, semelhante a como os sistemas naturais protegem as sementes até que possam crescer.

Ambiente de apoio para a cura

- **Estratégia de concepção:** Projete o betão para reter a humidade e proporcionar um ambiente propício à cicatrização, tal como ecossistemas específicos que suportam o crescimento.

Design responsivo

- **Estratégia de concepção:** Desenvolver materiais que se adaptem às alterações ambientais, garantindo que permanecem eficazes e resilientes em várias condições.

Utilização colaborativa de materiais

- **Estratégia de concepção:** Combinar diferentes materiais no betão para aumentar a sua resistência geral e capacidades de cura, de forma semelhante à forma como outras espécies trabalham em conjunto na natureza.



Pedaço do Biobetão (betão auto-regenerante)

<https://www.certifiedenergy.com.au/emerging-materials/the-concrete-of-the-futuro>

Passo 5 – Emular

5.a Liste as suas informações principais e explore o máximo de ideias possível. Capacidade de auto-cura

- A característica central do material seria a sua capacidade de reparar fissuras de forma autónoma.

5.b Organize as suas ideias em categorias que incluam as funcionalidades, o contexto, as restrições, etc., e selecione os conceitos de design que melhor se adequam à sua solução.

Características

- **Capacidade de auto-cura:** A principal característica é a capacidade de se reparar sem intervenção externa. O betão cura fissuras automaticamente, aumentando a durabilidade.
- **Deteção e resposta a fissuras:** O processo de cicatrização é explicitamente desencadeado onde ocorre dano, permitindo reparações localizadas que correspondem ao nível de dano.
- **Restauração da resistência estrutural:** Ao selar rapidamente as fissuras, o betão autorreparante impede que a água e outras substâncias nocivas entrem e provoquem corrosão ou degradação adicional. O processo de auto-recuperação prolonga a vida útil das estruturas de betão,



torna
ndo-
as
mais
resiste
ntes
ao
desga
ste.



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

	Contexto • Grupos-alvo: ○ Empresas de construção e engenharia civil: As empresas beneficiariam de custos reduzidos de manutenção e reparação. ○ Proprietários de infraestruturas (públicas ou privadas): Os proprietários podem utilizar este novo betão mais duradouro para garantir a segurança e longevidade das obras. ○ Organizações focadas na sustentabilidade: Os novos materiais e tecnologias podem ser usados para reduzir a pegada de carbono associada à produção e reparação de betão. Restrições Existem vários obstáculos à utilização da mineralização osteoblástica, um processo natural de cicatrização óssea, como paradigma para o betão autorreparável. É difícil encontrar agentes curativos adequados (como bactérias ou substâncias químicas microencapsuladas) para o betão, pois este carece de atividade biológica em contraste com o tecido ósseo orgânico. O processo de cicatrização do betão, que depende de um fornecimento constante de água, pode ser dificultado pela sua exposição a fatores externos variáveis como a temperatura e a humidade. A implementação rentável é essencial porque a incorporação de produtos químicos auto-curativos pode também afetar a resistência estrutural, longevidade e viabilidade económica do material. Para ultrapassar estes obstáculos, a restauração a longo prazo do betão pode ser apoiada por avanços em técnicas de encapsulamento, produtos químicos curativos duradouros e controlo da humidade.
Passo 6 – Avaliar	6.a Avalie o(s) conceito(s) de design quanto ao seu alinhamento com os critérios e restrições do desafio de design, bem como a sua compatibilidade com os sistemas da Terra. Avalie a viabilidade tanto do modelo técnico como do modelo de negócio. A capacidade de auto-recuperação é avaliada quanto à viabilidade, incluindo desempenho técnico, viabilidade económica e impacto ambiental. Neste sentido, o design precisa de ser refinado para satisfazer os requisitos de durabilidade, redução de custos e compatibilidade com vários ambientes. 6.b Revê e revisita os passos anteriores conforme necessário para gerar uma solução viável. Podemos tornar a solução de betão auto-curativa mais viável refinando e melhorando continuamente cada etapa. A tecnologia irá avançar concentrando-se no desenvolvimento de melhores materiais, identificação de técnicas eficientes de cura e otimização da produção. Será mais fácil integrar nos métodos de construção existentes e obter uma aceitação mais ampla se for concebido a pensar nos utilizadores. A solução estará também alinhada com os objetivos ambientais se forem utilizados materiais sustentáveis. À medida que o betão autorreparável se desenvolve, será crucial realizar testes frequentes através de projetos-piloto e colaborar com parceiros da indústria.

Recursos adicionais:

<https://biomimicry.org/> <https://asknature.org/innovation/self-healing-concrete-cracking-repair-solução-inspirada-por-ossos/>



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Módulos de Formação WP3 sobre Design de Processos de Biomimética

Tarefa 3.1/ A1. Desenvolvimento de Kit de Autoaprendizagem para alunos de

Veteranos - LP: ATS / CPs: TODAS AS SOLUÇÕES LET'S MIMIC

Uma solução refere-se aos passos aplicados para resolver o desafio identificado, através da biomimética.

Solução: Capacidade de agarrar tenazmente como um cocklebur

DESIGN DE BIOMÍMICA	Descrição
Passo 2 – Bibiologizar	2.a Pergunta-te como é que a natureza pode resolver isto. Como é que o cocklebur se prende de forma segura a animais ou tecidos? 2.b Pergunte a si próprio o que o seu design pretende fazer. Determine as funções-chave do seu projeto e identifique contextos na natureza. Funções podem referir-se ao papel desempenhado pelas adaptações ou comportamentos de um organismo que lhe permitem sobreviver. Também podem referir-se a algo que a sua solução de design precisa de cumprir. O design deve fixar firmemente duas superfícies, descolar-se facilmente sem causar danos e ser durável para uso repetido. Funções-chave do design • Fixação: Dê às superfícies uma aderência firme e de curta duração. • Desapego: Quando necessário, o desapego permite uma separação fácil e não destrutiva. • Reutilização: Preservar funcionalidades em várias aplicações. • Adaptabilidade: Capaz de desempenhar bem em várias circunstâncias ambientais e materiais. 2.c Inverta a questão. Considere funções opostas. Como pode um fecho evitar fixações não intencionais em superfícies ou descolamento accidental? Os bicos só se agarram a superfícies suficientemente texturizadas para que os seus anzóis se agarrem, como o pelo de animais. A ausência das fibras necessárias, superfícies lisas como folhas ou rochas, impede a fixação indesejada. De forma semelhante, para evitar a separação não intencional de superfícies lisas ou não fibrosas, um design de velcro pode concentrar-se apenas no entrelaçamento com materiais específicos em laço.
Passo 3 – Descobrir	3.a Procure modelos naturais que correspondam às mesmas funções e contexto da sua solução de design. A bardana, uma semente de planta pertencente à família da bardana, agarra-se firmemente ao pelo dos animais que passam graças a uma estrutura especial de pequenas projeções em forma de gancho no exterior. Como cada anzol é dobrado e flexível, pode prender-se a fibras e texturas orgânicas com pouco esforço. Devido a esta estrutura, os bicos podem aderir a superfícies macias e fibrosas, como tecidos ou pelo de animais, enquanto permanecem



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

desprendido de superfícies mais ásperas. À medida que os animais se movem, a fixação do barbilhão

a estratégia permite-lhe percorrer grandes distâncias, dispersando sementes de forma eficiente para novos locais. O design do velcro, que tem ganchos numa superfície e laços na outra que imitam a textura fibrosa do pelo, foi inspirado neste entrelaçamento natural de gancho e fibra e produz um dispositivo de fixação robusto e reutilizável.

3.b Identificar especialistas e conectar-se com comunidades de biólogos e naturalistas.

Os botânicos podem esclarecer a composição e funcionamento dos cocklebur e outros sistemas naturais de fixação. Ecologistas especializados nas interações entre plantas e animais podem fornecer mais informações sobre a ligação e movimento das sementes. Adicionalmente, cientistas de materiais e engenheiros de biomimética especializados em replicação de microestruturas e tecnologia adesiva facilitam a tradução de designs naturais de gancho e laço em materiais robustos e escaláveis. A assistência técnica pode também ser oferecida por equipas de investigação que se focam em interações biológicas superficiais ou materiais biomiméticos, como as do Instituto de Biomimética ou do Instituto Wyss de Engenharia Inspirada Biologicamente de Harvard.

Passo 4 – Resumo

4.a Resumir os elementos-chave da estratégia biológica. Destacar as funções principais e palavras-chave. Se possível, faça um diagrama/desenho e/ou encontre imagens que possam informar o design.

A inspiração por trás deste produto vem da forma como as rebarbas de bardana (vagens de sementes) aderem ao pelo e à roupa dos animais. A estrutura destas rebarbas permite-lhes prender-se a várias superfícies usando um mecanismo de "gancho e laço".

Tendo isto em mente, as **funções principais** do nosso produto seriam:

- O **mecanismo de fixação** foi concebido para criar um sistema de gancho e laço que seja tanto não invasivo como altamente eficaz. Recria como os ganchos da rebarba se fixam em laços no pelo ou tecido do animal, permitindo fixação e retenção.
- A sua **reutilização** para se fixar e desprender repetidamente sem perder eficácia,
- A sua adaptabilidade: adapta-se a várias superfícies e situações, mantendo a durabilidade e facilidade de uso.

Neste sentido, as **palavras-chave** podem ser as seguintes: mecanismo de gancho e laço, fixação e libertação, reutilização e adaptabilidade.

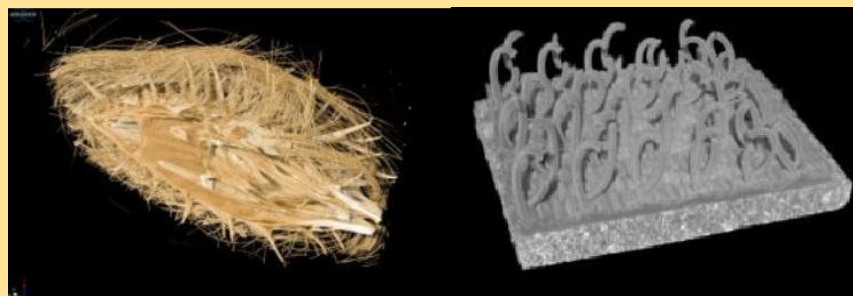


Figura 1. Biomimetismo de uma rebarba (Esquerda) para a invenção do Velcro (Direita).



Fonte: <https://www.microphotonics.com/biomimicry-burr-invention-velcro/>

4.b Traduzir lições da natureza em estratégias de design. Reescreva a estratégia sem usar termos biológicos e ligue-a às funções e ao contexto a partir de uma perspectiva humana.

Para fornecer uma solução de fixação fiável, reutilizável, fácil de usar, adaptável e de baixa manutenção, é necessário desenvolver um fixador com uma superfície com pequenos ganchos flexíveis e a outra com laços, permitindo que se entrelaçam. Ao fazer isto, será criada uma ligação forte que pode ser assegurada e desatada repetidamente sem perder o controlo. Esta técnica de gancho e laço pode funcionar bem para produtos que necessitam de fechos seguros e destacáveis.

Passo 5 – Emular

5.a Liste as suas informações principais e explore o máximo de ideias possível.

As principais características deste produto incluem a criação de um mecanismo de fixação com ganchos. Um lado do fixador é coberto por pequenos ganchos flexíveis, e o outro lado contém laços que se entrelaçam com os ganchos.

As suas principais funções seriam facilidade de uso, adaptabilidade, reutilização e segurança no mecanismo de fixação e libertação. Ao conter todos estes elementos, o produto será uma solução de fixação durável, duradoura e não invasiva.

5.b Organize as suas ideias em categorias que incluam as funcionalidades, o contexto, as restrições, etc., e selecione os conceitos de design que melhor se adequam à sua solução.

Características

- Acessório reutilizável.
- Fixação e libertação simples.
- Versatilidade entre materiais.
- Durabilidade.

Contexto

Estes designs são mais adequados para ambientes onde a fixação rápida e segura e a adaptabilidade são essenciais, especialmente em situações que beneficiam da reutilização e simplicidade.

Grupos-alvo

- Fabricantes têxteis.
- Empresas de equipamento para atividades ao ar livre.
- Indústria automóvel.
- Artigos para casa e mobiliário.
- Instituições de ensino e organizações de investigação.

Restrições

- **Durabilidade do material:** Garantir a durabilidade e resistência do velcro ao longo do uso repetido é um desafio, especialmente



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

em aplicações de elevado stress.



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



	• Consistência de fabrico: É necessária precisão para replicar a estrutura de gancho e laço em grande escala, o que coloca desafios de produção para manter a qualidade e uniformidade. • Custo dos materiais de qualidade: Materiais de alta qualidade e duráveis podem ser dispendiosos, desafiando o objetivo de acessibilidade em diferentes mercados.
Passo 6 – Avaliar	6.a Avaliar o(s) conceito(s) de design em relação ao seu alinhamento com os critérios e restrições do desafio de design, bem como a sua compatibilidade com os sistemas da Terra. Avalie a viabilidade tanto do modelo técnico como do modelo de negócio. A melhor forma de avaliar se o produto cumpre os desafios e restrições de design é determinar se o produto desenvolvido (o Velcro) cumpre os seguintes parâmetros: • Funcionalidade e facilidade de uso: Oferece fixação e descolamento simples e seguros. Esta simplicidade torna-as adequadas para uma variedade de aplicações, alinhando-se bem com critérios que exigem facilidade de uso, adaptabilidade e conveniência. • Durabilidade e longevidade: A reutilização e resiliência do design permitem-lhe resistir a múltiplos ciclos de fixação sem perder eficácia, reduzindo assim a necessidade de substituições frequentes. • Sustentabilidade: Estes designs também funcionam bem em aplicações que enfatizam a redução de materiais de uso único, como embalagens ou mobiliário modular. Em termos de compatibilidade com os sistemas da Terra, um sistema de velcro minimiza a necessidade de adesivos, peças mecânicas e outros materiais que consomem muitos recursos. Em particular, a reutilização está alinhada com os ciclos naturais da Terra, reduzindo o consumo global de recursos e apoiando objetivos de economia circular. Além disso, os fechos de velcro reduzem o desperdício em comparação com adesivos descartáveis ou mecanismos de fixação descartáveis. Finalmente, no que diz respeito ao modelo técnico e de negócio, os fechos de velcro são simples e amplamente aplicáveis, exigindo apenas processos básicos de fabrico. Além disso, têm um mercado vasto devido à sua versatilidade em múltiplos setores e representam uma oferta de custo-benefício, atraindo consumidores e empresas focadas na redução de custos a longo prazo. 6.b Revê e revisita os passos anteriores conforme necessário para gerar uma solução viável. Identificámos o modelo natural, os cockleburrs, e analisámos o seu mecanismo único de fixação através de pequenos ganchos que se entrelaçam com laços. De seguida, extraímos estratégias-chave deste exemplo biológico, focando-nos na funcionalidade de fixadores seguros e reutilizáveis. Depois traduzimos estes conhecimentos num conceito de design que enfatiza a facilidade de utilização, durabilidade e sustentabilidade ambiental, selecionando materiais ecológicos. A prototipagem e o teste de vários designs permitiram-nos refinar ainda mais o produto, garantindo que cumpre critérios funcionais e ecológicos. Para integrar a nossa solução com o princípio fundamental da biomimética — aprender e



imitar
natureza — por fim, criámos um ciclo iterativo de feedback para melhorar continuamente



O design baseia-se nas experiências dos utilizadores e nos avanços em práticas sustentáveis.

Recursos adicionais:

<https://www.microphotonics.com/biomimicry-burr-invention-velcro/>



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Módulos de Formação WP3 sobre Design de Processos de Biomimética

Tarefa 3.1/ A1. Desenvolvimento de Kit de Autoaprendizagem para alunos de

Veteranos - LP: ATS / CPs: TODOS AS SOLUÇÕES LET'S MIMIC

Uma solução refere-se aos passos aplicados para resolver o desafio identificado, através da biomimética.

Solução: Pele de tubarão para reduzir o arrasto

PROJETO DE BIOMIMETISMO	Descrição
Passo 2 – Bibliologizar	2.a Pergunta-te como é que a natureza pode resolver isto. Como pode a textura da pele de tubarão inspirar a criação de um fato de banho que reduza o arrasto e aumente a velocidade de natação? 2.b Pergunte a si próprio o que o seu design pretende fazer. Determine as funções-chave do seu projeto e identifique contextos na natureza. Funções podem referir-se ao papel desempenhado pelas adaptações ou comportamentos de um organismo que lhe permitem sobreviver. Também podem referir-se a algo que a sua solução de design precisa de cumprir. Funções-chave do design • Redução do arrasto: Para minimizar a resistência na água, permitindo que os nadadores se movam mais rápido e com menos esforço. • Melhoria na hidrodinâmica: Para facilitar um fluxo suave de água sobre o corpo, semelhante à forma como a pele do tubarão reduz a turbulência, melhorando assim a velocidade global. • Conforto e flexibilidade: O fato de banho deve permitir uma amplitude total de movimentos, garantindo que os nadadores possam dar o seu melhor desempenho sem se sentirem limitados. • Durabilidade: O material deve resistir às exigências da natação e a várias condições de água, semelhante à resistência da pele de tubarão. É possível criar um design de fato de banho que satisfaça com sucesso a procura da natação competitiva, reconhecendo estes papéis e situações essenciais na natureza. Para além de melhorar o desempenho atlético, a ênfase na redução do arrasto através da biomimética promove a inovação em ciência dos materiais. 2.c Inverta a questão. Considere funções opostas. Como é que um fato de banho mal desenhado aumenta o arrasto e prejudica o desempenho na natação? A textura distintiva da pele do tubarão é composta por denticulos dérmicos, que obstruem o fluxo de água para reduzir o arrasto. Esta estrutura única permite aos tubarões moverem-se pela água de forma mais eficaz e com menos turbulência. Em contraste, um fato de banho mal desenhado pode não ter esta superfície texturizada, o que aumentaria o arrasto. Por exemplo, um fato de banho composto por materiais planos e lisos pode abrandar o nadador



Co-funded by
the European Union

author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



ao aumentar a
resistência à
água.
Por isso, para
garantir o mínimo
arrasto durante a
natação, um
design de fato de
banho deve



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



	inclua características que imitem as texturas eficazes da pele de tubarão para maximizar o desempenho.
Passo 3 – Descobrir	3.a Procure modelos naturais que correspondam às mesmas funções e contexto da sua solução de design. Se considerarmos a função principal de reduzir o arrasto durante a natação, os seguintes modelos naturais podem servir de inspiração: • Golfinhos: Os golfinhos têm carroçarias lisas e aerodinâmicas que minimizam o arrasto, permitindo-lhes mover-se eficientemente a altas velocidades. • Pinguins: Têm corpos elegantes e hidrodinâmicos que os ajudam a deslizar sem esforço pela água. • Escamas de peixe: Certos peixes que nadam rápido, como o atum, têm escamas sobrepostas que criam uma forma corporal aerodinâmica. • Plantas aquáticas: Certas plantas aquáticas têm formas estreitas e aerodinâmicas para evitar arrasto excessivo nas correntes de água. A sua forma e flexibilidade permitem-lhes mover-se perfeitamente com a água. 3.b Identificar especialistas e conectar-se com comunidades de biólogos e naturalistas. Considerando o âmbito do projeto, os seguintes especialistas podem ser relevantes: • Biólogos marinhos: podem oferecer conhecimentos sobre como animais aquáticos como tubarões, golfinhos e peixes reduzem o arrasto. Institutos de investigação marinha, ou organizações como a Marine Biological Association (MBA) ou a Society for Integrative and Comparative Biology (SICB), podem ser valiosos. • Especialistas em dinâmica dos fluidos, como o Instituto Americano de Aeronáutica e Astronáutica (AIAA), podem fornecer informações valiosas sobre como diferentes texturas e estruturas impactam o fluxo de fluidos. • Instalações de investigação aquática e laboratórios marinhos: laboratórios como o Scripps Institution of Oceanography ou o Woods Hole Oceanographic Institution realizam investigação sobre locomoção de animais marinhos e dinâmica da água;





Passo 4 – Resumo

4.a Resumir os elementos-chave da estratégia biológica. Destacar as funções principais e palavras-chave. Se possível, faça um diagrama/desenho e/ou encontre imagens que possam informar o design.

A inspiração por trás deste produto é a textura única da pele de tubarão, especificamente os denticulos dérmicos que cobrem a sua superfície. Estas pequenas estruturas semelhantes a dentes criam um sistema natural de "redução de arrasto", permitindo aos tubarões moverem-se eficientemente pela água, minimizando a turbulência e a resistência tendo isto em conta.

Funções essenciais do produto

- **Redução do arrasto:** Para minimizar a resistência ao mover-se na água, melhorando a velocidade e a eficiência.
- **Controlo da turbulência:** Interrompendo o fluxo de água para reduzir a turbulência e manter o movimento suave.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

- **Hidrodinâmica adaptativa:** ter uma textura que se adapta a várias velocidades de natação, otimizando o fluxo de água em diferentes condições.

Neste sentido, as **palavras-chave** podem ser as seguintes: dentículos dérmicos, textura rugosa da superfície, eficiência hidrodinâmica e perturbação do fluxo.

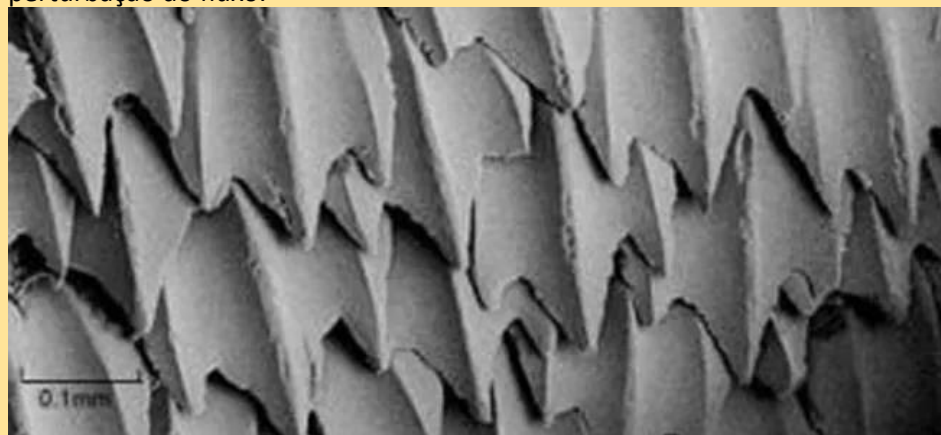


Figura 1. Dentículos dérmicos.

Fonte: <https://www.popsci.com/technology/article/2012-07/speedos-super-fato-de-banho-inspirado-em-pele-de-tubarão-rápido-na-verdade-nada-pele-de-tubarão/>

4.b Traduzir lições da natureza em estratégias de design. Reescreva a estratégia sem usar termos biológicos e ligue-a às funções e ao contexto a partir de uma perspectiva humana.

Para diminuir o atrito na água, a superfície do nosso produto será texturizada com pequenos padrões cuidadosamente colocados. Um fluxo de água mais suave será possível graças a esta superfície estruturada, o que reduz a resistência e melhora a eficiência do movimento.

Estes padrões podem ser usados em fatos de banho, onde baixar o arrasto é crucial para ajudar os nadadores a moverem-se na água mais rapidamente e com menos esforço. Ao adicionar uma textura específica ao material do fato de banho, conseguimos criar um visual elegante que melhora o desempenho e poupa energia ao nadar.

Passo 5 – Emular

5.a Liste as suas informações principais e explore o máximo de ideias possível.

Os principais benefícios deste produto incluem melhoria da velocidade de natação, redução da resistência à água e um ajuste flexível e confortável. Estes componentes serão combinados para criar um fato de banho leve e que melhora o desempenho, que aumenta a durabilidade, reduz o arrasto e permite movimentos desimpedidos, tudo isto aumentando a eficiência e resistência da natação.

5.b Organize as suas ideias em categorias que incluam as funcionalidades, o contexto, as restrições, etc., e selecione os conceitos de design que melhor se adequam à sua solução.



Características

- Superfície de textura.
- Painéis impressos em 3D ou melhorados com silicone.



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



- Revestimento hidrofóbico.
- Construção sem costuras.
- Zonas estratégicas de compressão.

Contexto

O fato de banho que reduz o arrasto será concebido para nadadores competitivos que pretendem alcançar a máxima velocidade e eficiência, tornando-o uma escolha ideal para provas e sessões de treino onde cada segundo conta. Também será adequado para nadadores recreativos que procurem equipamento de alto desempenho que aumente o conforto e a flexibilidade na água. Além disso, o design do fato de banho pode atrair atletas em desportos aquáticos como triatlos, onde a redução do arrasto é essencial. Com opções de materiais sustentáveis, este produto estará alinhado com valores ecológicos, atraindo consumidores que priorizam tanto o desempenho como a responsabilidade ambiental nas suas escolhas de fatos de banho.

Restrições

- **Durabilidade do material:** As superfícies texturizadas e revestidas devem resistir à exposição repetida ao cloro e à água salgada.
- **Eficiência de custos:** É necessário um equilíbrio entre melhoria de desempenho e acessibilidade para diferentes níveis de nadadores.
- **Flexibilidade:** A textura deve manter um ajuste suave e flexível sem limitar a amplitude de movimento.
- **Conformidade regulamentar:** Deve cumprir os padrões da federação de natação para vestuário de competição.
- **Requisitos ecológicos:** Devem ser considerados materiais recicláveis ou biodegradáveis no design do produto.





Passo 6 – Avaliar

6.a Avaliar o(s) conceito(s) de design relativamente à sua alinhamento com os critérios e restrições do desafio de design, bem como a sua compatibilidade com os sistemas da Terra. Avalie a viabilidade tanto do modelo técnico como do modelo de negócio.

A melhor forma de avaliar se o produto cumpre os desafios e restrições de design é determinar se o produto desenvolvido cumpre os seguintes parâmetros:

- Redução de arrasto.
- Melhoria na hidrodinâmica.
- Conforto e flexibilidade.
- Durabilidade.

O design deve visar melhorar a velocidade e a eficiência da natação, tendo também em conta a sustentabilidade e o impacto ambiental. Quaisquer materiais utilizados devem ser não tóxicos, amigos do ambiente e sustentáveis, e devem cumprir os padrões de desempenho para a natação competitiva.

Compatibilidade com os sistemas da Terra



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



O uso de materiais sintéticos levanta preocupações ambientais relativamente à poluição e aos resíduos. Idealmente, um design que imite os sistemas naturais usaria materiais biodegradáveis ou recicláveis para minimizar o seu impacto nos sistemas da Terra.

Modelo técnico e de negócio

A viabilidade do modelo técnico do fato de banho Speedo depende do seu desempenho e inovação. Além disso, existe uma procura robusta por fatos de banho de alto desempenho em desportos competitivos, mas os consumidores estão a dar cada vez mais prioridade à sustentabilidade. Por isso, um modelo de negócio bem-sucedido deve enfatizar práticas ecológicas, equilibrando desempenho e acessibilidade.

6.b Rever e rever os passos anteriores conforme necessário para gerar uma solução viável.

Depois de determinar que a pele de tubarão era o nosso modelo natural, examinámos as suas características hidrodinâmicas, especialmente a textura que reduz o arrasto. Foram retiradas táticas importantes centradas na interação com a superfície e melhoria do desempenho. Ao utilizar materiais ecológicos que imitam a textura da pele de tubarão, conseguimos traduzir estes conhecimentos num conceito de design que enfatiza a usabilidade, longevidade e sustentabilidade.

Recursos adicionais:

<https://www.microphotonics.com/biomimicry-burr-invention-velcro/>

<https://illumin.usc.edu/from-shark-skin-to-speed/>

<https://www.just-style.com/news/shark-skin-inspires-latest-speedo-swimwear-line/>



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Módulos de Formação WP3 sobre Design de Processos de Biomimética

Tarefa 3.1/ A1. Desenvolvimento de Kit de Autoaprendizagem para alunos de

Veteranos - LP: ATS / CPs: TODAS AS SOLUÇÕES LET'S MIMIC

Uma solução refere-se aos passos aplicados para resolver o desafio identificado, através da biomimética.

Solução: Inspiração na nácar do abalone, um molusco marinho de concha única

PROJETO DE BIOMIMETISMO	Descrição
Passo 2 – Bibliologizar	2.a Pergunta-te como é que a natureza pode resolver isto. Como pode a estrutura hierárquica das conchas dos moluscos inspirar o desenvolvimento de cerâmicas mais resistentes que resistam a fissuras e aumentem a durabilidade? 2.b Pergunte a si próprio o que o seu design pretende fazer. Determine as funções-chave do seu projeto e identifique contextos na natureza. Funções podem referir-se ao papel desempenhado pelas adaptações ou comportamentos de um organismo que lhe permitem sobreviver. Também podem referir-se a algo que a sua solução de design precisa de cumprir. Funções-chave do design • Resistência ao impacto: Para absorver e distribuir forças, prevenindo rachaduras ou quebras sob stress, de forma semelhante à forma como as conchas dos moluscos protegem o organismo de predadores e efeitos ambientais. • Flexibilidade: Incorporar um grau de flexibilidade na estrutura cerâmica pode ajudá-la a resistir à deformação sem fraturar, tal como as conchas de moluscos, que podem dobrar ligeiramente sob pressão. • Resistência leve: Semelhante à forma como as conchas dos moluscos proporcionam proteção robusta sem peso excessivo. • Propriedades de auto-regeneração: A capacidade de reparar microdanos ao longo do tempo aumentaria a longevidade, tal como certos materiais biológicos podem auto-reparar-se após sofrer ferimentos ligeiros. • Resistência à água: Inspirada na forma como as conchas dos moluscos repelem a água e previnem a erosão, esta característica pode ser crucial para aplicações em ambientes húmidos ou subaquáticos. Um design cerâmico que satisfaz com sucesso a necessidade de maior tenacidade e durabilidade pode ser produzido reconhecendo estas funções cruciais e estruturas naturais. O design pode alcançar maior flexibilidade e resistência ao impacto ao imitar a estrutura em camadas das conchas de moluscos.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



**2.c Inverta a
questão.
Considere
funções
opostas.**

Como é que o
design pode,
involuntariament
e, aumentar a
fragilidade das
cerâmicas,
tornando-as mais
propensas a
fissuras e
reduzindo a sua
durabilidade
geral?



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

As conchas dos moluscos têm uma estrutura hierárquica composta por arranjos de aragonite e materiais orgânicos em camadas, o que lhes confere flexibilidade e resistência excepcionais. Os moluscos conseguem resistir a impactos e defender-se de predadores e obstáculos ambientais graças ao seu design especial. Uma cerâmica mal desenhada, por outro lado, pode não ter esta composição em camadas, o que a tornaria mais frágil e propensa a fissuras. Por exemplo, a falha sob impacto pode ocorrer devido à distribuição de tensões ineficaz de uma cerâmica devido à sua estrutura uniforme e densa. Consequentemente, os designs dos materiais devem incorporar elementos que reproduzam a camada eficiente encontrada nas conchas dos moluscos, garantindo resiliência contra danos, melhorando assim a durabilidade e o desempenho.

Passo 3 – Descobrir

3.a Procure modelos naturais que correspondam às mesmas funções e contexto da sua solução de design.

Modelos naturais

- **Conchas de moluscos:** a composição e organização em camadas de aragonite e proteínas orgânicas que contribuem para a resistência e flexibilidade.
- **Estrutura óssea:** a organização hierárquica natural do osso proporciona resistência mantendo-se leve, com capacidade de adaptação e remodelação.
- **Madeira:** a estrutura da madeira, com a sua combinação de fibras fortes de celulose e lignina flexível, mostra como as camadas podem proporcionar tanto resistência como resistência.

3.b Identificar especialistas e conectar-se com comunidades de biólogos e naturalistas. Especialistas

- **Biólogos marinhos:** podem fornecer informações relacionadas com as estruturas das conchas dos moluscos; a ligação com biólogos marinhos que estudam moluscos pode fornecer informações valiosas sobre as suas adaptações e propriedades do material;
- **Biólogos estruturais:** estes especialistas estudam as propriedades estruturais dos materiais biológicos a nível molecular, o que pode orientar decisões de design para cerâmicas mais resistentes.
- **Naturalistas:** conectar-se com grupos naturalistas locais ou organizações da natureza pode oferecer perspetivas sobre a observação e compreensão das estruturas biológicas nos seus contextos naturais.

Fóruns online e redes sociais

- Plataformas como ResearchGate, LinkedIn e grupos especializados no Facebook para biomimética e ciência dos materiais podem facilitar discussões e ligações com especialistas e pares.

Projetos de ciência cidadã

- Participe ou ligue-se a iniciativas de ciência cidadã focadas na observação natural. Plataformas como a iNaturalist podem ajudar a



envolver uma comunidade de entusiastas e especialistas da natureza.



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Passo 4 – Resumo

4.a Resuma os elementos-chave da estratégia biológica. Destacar as funções principais e palavras-chave. Se possível, faça um diagrama/desenho e/ou encontre imagens que possam informar o design.

Os padrões em camadas de aragonite e materiais orgânicos encontrados nas conchas dos moluscos servem de modelo para a estrutura hierárquica deste produto. Os moluscos conseguem tolerar uma variedade de desafios ambientais graças à sua resistência e flexibilidade excepcionais, que resultam do seu design único.

Características principais do design

- **Resistência ao impacto:** A estrutura em camadas distribuirá a tensão de forma eficaz, prevenindo fissuras e aumentando a durabilidade.
- **Composição do material:** A combinação de materiais rígidos e flexíveis permite a deformação sem se partir, melhorando a resiliência.
- **Capacidade de auto-regeneração:** A incorporação de um mecanismo de reparação garantirá que os microdanos possam ser tratados ao longo do tempo, prolongando a vida útil do material.
- **Resistência à água:** Este design protege contra a humidade e erosão, tornando-o adequado para ambientes diversos.

Palavras-chave

Estrutura em camadas, aragonite, resistência, auto-cura e resistência à água.

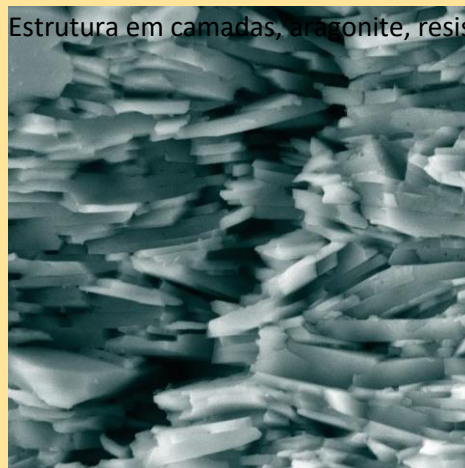


Figura 1. Uma fissura deve zigzaguar através das plaquetas empilhadas na nova cerâmica.

Fonte: <https://www.livescience.com/44705-breaking-the-mold-nature-inspires-tougher-ceramics.html>

4.b Traduza lições da natureza em estratégias de design. Reescreva a estratégia sem usar termos biológicos e ligue-a às funções e ao contexto a partir de uma perspetiva humana.

O nosso produto terá uma estrutura de superfície em camadas que distribui



eficazmente a
tensão para
aumentar a
sua
durabilidade.
Este design
garantirá que
o material
aguento
impactos ao
longo do
tempo e evite
fissuras.
Podemos
desenhar um
produto que



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



	adapta-se às circunstâncias em mudança sem perder resistência, combinando materiais que são rígidos e flexíveis. Estas características serão especialmente úteis para aplicações que precisam de ser muito duráveis, como materiais de construção ou revestimentos protetores. O desempenho global do produto pode ser melhorado, mantendo a sua durabilidade e resiliência em vários ambientes, implementando este design criativo em camadas.
Passo 5 – Emular	5.a Liste as suas informações principais e explore o máximo de ideias possível. Este produto visará principalmente melhorar a tenacidade e durabilidade das cerâmicas, imitando a estrutura hierárquica da concha do molusco. Características-chave serão uma composição de material que combina rigidez e flexibilidade, um design em camadas que distribui eficientemente a tensão e qualidades auto-reparadoras que garantem longevidade. Juntos, estes componentes produzem uma cerâmica leve e durável que reduz danos e fissuras, melhora o desempenho sob pressão e mantém a sua resistência à água. 5.b Organize as suas ideias em categorias que incluam as funcionalidades, o contexto, as restrições, etc., e selecione os conceitos de design que melhor se adequam à sua solução. Características • Estrutura em camadas. • Composição do material. • Mecanismo de auto-cura. • Resistência à água. • Design leve. Contexto Esta cerâmica avançada pode ser usada para melhorar a durabilidade e resistência a impactos de equipamentos desportivos, como capacetes e proteções. Além disso, é adequado para aplicações biomédicas onde a tenacidade e a biocompatibilidade são cruciais, incluindo materiais dentários e implantes ósseos. Além disso, a cerâmica pode ser utilizada em materiais de construção para proporcionar resistência e resistência à água em situações de alta pressão. Ao apelar a setores que valorizam materiais sustentáveis e inovadores, o produto pode ajudar a responder à necessidade de soluções amigas do ambiente. Restrições O design deve considerar certas restrições, incluindo os custos dos materiais, que podem influenciar a seleção de matérias-primas de alta qualidade. As técnicas de fabrico devem ser escaláveis para satisfazer as exigências de produção das cerâmicas em camadas. Além disso, o produto deve cumprir padrões de desempenho para resistência, durabilidade e segurança em aplicações relevantes.





Passo 6 – Avaliar

6.a Avaliar o(s) conceito(s) de design em relação ao seu alinhamento com os critérios e restrições do desafio de design, bem como a sua compatibilidade com os sistemas da Terra. Avaliar a viabilidade do modelo técnico e de negócio.



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

A melhor forma de avaliar se o produto cumpre os desafios e restrições de design é determinar se o produto desenvolvido cumpre os seguintes parâmetros:

- Resistência ao impacto.
- Flexibilidade dos materiais.
- Propriedades de auto-regeneração.
- Resistência à água.
- Sustentabilidade.

O design pode melhorar o desempenho e a durabilidade, ao mesmo tempo que aborda preocupações com o impacto ambiental ao concentrar-se nestes parâmetros. No geral, esta abordagem garante que as cerâmicas avançadas não só cumprem os padrões do setor, como também respondam à crescente procura por soluções de produto sustentáveis e responsáveis.

Compatibilidade com os sistemas da Terra

A utilização de materiais sustentáveis é de grande importância, contribuindo para mitigar o impacto ambiental associado à produção cerâmica tradicional. Além disso, o processo de fabrico destas cerâmicas avançadas pode ser concebido para minimizar o consumo de energia.

Modelo técnico

A utilização de técnicas avançadas de fabrico (por exemplo, impressão 3D) para criar a estrutura em camadas é tecnicamente viável e tem sido implementada com sucesso noutras indústrias. No que diz respeito ao modelo de negócio, existe um mercado crescente para materiais de alto desempenho em aplicações desportivas, biomédicas e da construção, apresentando oportunidades de negócio significativas.

6.b Rever e rever os passos anteriores conforme necessário para gerar uma solução viável.

É possível refinar o conceito avançado de cerâmica numa solução viável que satisfaça os requisitos e limitações do desafio de design, revisitando e revisando estes passos. Iterações constantes baseadas em investigação, testes e feedback garantirá que o produto final não só funciona incrivelmente bem, como também cumpre as exigências do mercado e práticas sustentáveis.

Recursos adicionais:

<https://www.livescience.com/44705-breaking-the-mold-nature-inspires-tougher-ceramics.html>



Módulos de Formação WP3 sobre Design de Processos de Biomimética

Tarefa 3.1/ A1. Desenvolvimento de Kit de Autoaprendizagem para alunos de

Veteranos - LP: ATS / CPs: TODAS AS SOLUÇÕES LET'S MIMIC

Uma solução refere-se aos passos aplicados para resolver o desafio identificado, através da biomimética.

Solução: Ventosas encontradas na parte inferior dos tentáculos de polvo

PROJETO DE BIOMIMETISMO	Descrição
Passo 2 – Biolsgize	2.a Pergunta-te como é que a natureza pode resolver isto. Como pode a camuflagem adaptativa da pele do polvo inspirar o desenvolvimento de um adesivo médico que muda de cor para indicar alterações na saúde ou a presença de infeção? 2.b Pergunte a si próprio o que o seu design pretende fazer. Determine as funções-chave do seu projeto e identifique contextos na natureza. Funções podem referir-se ao papel desempenhado pelas adaptações ou comportamentos de um organismo que lhe permitem sobreviver. Também podem referir-se a algo que precisa que a sua solução de design realize. Funções-chave do design • Adesão: o adesivo deve aderir firmemente a várias superfícies, incluindo a pele, sendo suficientemente suave para evitar irritações na remoção. Esta função pode ser inspirada na forma como as ventosas de polvo se fixam às superfícies através da sucção. • Flexibilidade e conforto: o produto precisa de ser flexível para acomodar movimentos e contornos do corpo sem causar desconforto. Esta função pode ser influenciada pela pele adaptativa das rãs arborícolas, que lhes permite mover-se livremente em ambientes diversos. • Resposta ao sinal: A capacidade de mudar de cor ou indicar o estado de saúde (por exemplo, detetar infeções) pode ser essencial. Isto pode inspirar-se nas capacidades de mudança de cor dos polvos, que usam para comunicação e camuflagem. • Auto-regeneração: Se a mancha conseguir de alguma forma imitar os mecanismos de autorreparação observados em certos organismos, aumentaria a durabilidade e a usabilidade, semelhante a como algumas plantas podem curar as suas feridas ou como certos anfíbios regeneram tecido perdido. • Resistência à água: o design deve ser resistente à humidade e aos fluidos corporais, garantindo que se mantém eficaz em várias condições. Este design pode melhorar o conforto e a eficácia do utilizador, inspirando-se nas capacidades de auto-cura de alguns organismos, na flexibilidade da pele



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



das rãs
arborícolas e
nas
qualidades
de aderência
dos
sugadores de
polvo. Além
disso, a
adição de
funcionalidad
es como
indicadores
que mudam
de cor para
monitorizaã
o da saúde
promove a
inovação em
biomateriais
e também
melhora os
resultados
para os
pacientes.
Este foco em



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

O Natural Remedies prioriza a experiência do utilizador e a segurança, promovendo ao mesmo tempo os avanços na tecnologia médica.

2.c Inverta a pergunta. Considere funções opostas.

Como é que um adesivo médico mal desenhado dificulta a adesão e compromete a eficácia do tratamento?

Devido à sua estrutura especial, as ventosas de polvo podem aderir de forma segura a várias superfícies, permitindo um contacto eficiente com a pele. Mesmo em situações difíceis, os polvos conseguem manter uma pega firme graças a esta capacidade. Por outro lado, um adesivo médico mal feito pode não ter as qualidades adesivas necessárias, o que resultaria em contacto insuficiente com a pele e diminuição da eficácia. Por exemplo, um adesivo composto por materiais não pegajosos ou de baixa fricção pode deslocar-se ou descascar-se ao ser movido, interferindo com o efeito terapêutico. Para maximizar o seu desempenho em aplicações médicas e garantir uma adesão ótima e eficácia do tratamento, um design de adesivo médico deve incorporar elementos que repliquem os mecanismos eficazes de fixação dos sugadores de polvo.

Passo 3 – Descobrir

3.a Procure modelos naturais que correspondam às mesmas funções e contexto da sua solução de design.

Os seguintes modelos naturais podem servir de inspiração:

- **Pés de geco:** Com pequenas estruturas semelhantes a pelos nas almofadas dos dedos, os geckos conseguem aderir a várias superfícies sem adesivos.
- **Mexilhões:** Utilizam um adesivo natural chamado byssus para aderir às superfícies em água, o que pode ajudar no desenvolvimento de um adesivo médico impermeável com forte aderência.
- **Pele de rã arborícola:** A pele flexível e impermeável das rãs arborícolas adapta-se bem ao ambiente, sugerindo um design de remendo confortável, respirável e que se adapta aos contornos da pele.
- **Pele do baiacu:** Conhecida pela sua capacidade de inflar e alterar a textura, a pele do baiacu pode inspirar uma mancha que ajusta a aderência consoante as condições ambientais.
- **Adesivos para lagartas:** Certas lagartas produzem uma substância semelhante à seda para fixação, servindo de modelo para criar um remendo que adere de forma segura mas que seja facilmente removível.

3.b Identificar especialistas e conectar-se com comunidades de biólogos e naturalistas. Especialistas

- **National Geographic Society:** apoia esforços de investigação e conservação.
- **Sociedade Americana de Naturalistas:** Esta organização foca-se na promoção do estudo da história natural.
- **Sociedade para a Biologia Integrativa e Comparada (SICB):** Esta

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



sociedade reúne cientistas que estudam vários aspetos da biologia.



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Passo 4 – Resumo

4.a Resuma os elementos-chave da estratégia biológica. Destacar as funções principais e palavras-chave. Se possível, crie um diagrama ou desenho e/ou encontre imagens que possam informar o design.

Este produto é inspirado nos notáveis mecanismos de adesão dos ventosas de polvo, particularmente na sua capacidade única de sucção que permite a fixação segura a várias superfícies. Devido ao mecanismo natural de "reforço de aderência" que estas estruturas especializadas produzem, os polvos conseguem manter-se bem mesmo em ambientes dinâmicos.

Funções-chave do design

- **Assegurar a aderência:** Para garantir uma ligação fiável à pele, aumentando a eficácia do tratamento.
- **Design flexível:** Para permitir que o patch se adapte confortavelmente aos contornos e movimentos do corpo.
- **Monitorização da saúde:** Através de características que sinalizam alterações de cor ou textura em resposta a fatores ambientais.

Palavras-chave

Mecanismos de sucção, fixação flexível, indicadores de saúde e conformidade adaptativa.

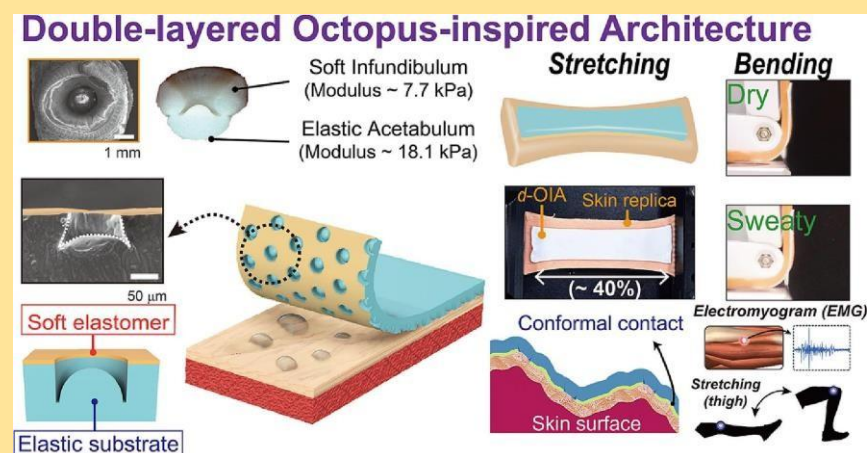


Figura 1. Arquitetura de duas camadas inspirada no polvo

Fonte:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894723025238>

4.b Traduza lições da natureza em estratégias de design. Reescreva a estratégia sem usar termos biológicos e ligue-a às funções e ao contexto a partir de uma perspetiva humana.

A estratégia de design deste adesivo médico foca-se numa adesão segura, conforto e capacidade de resposta para satisfazer as necessidades do utilizador em condições reais. O adesivo aderirá de forma fiável à pele, reduzindo o risco de descamação ou escorregamento, mesmo em áreas com movimento. O seu design flexível adapta-se perfeitamente aos contornos do corpo, aumentando o conforto e tornando-o adequado para uso prolongado. Uma funcionalidade incorporada poderia fornecer feedback visual, como mudança de cor, para alertar os utilizadores para potenciais alterações de



saúde como
infecções,
permitindo
uma saúde
intuitiva



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Passo 5 – Emular

monitorização. O patch também será durável, resistindo a um desgaste ligeiro e reduzindo a necessidade de substituições frequentes, enquanto as suas propriedades resistentes à humidade garantem desempenho em condições húmidas ou suadas. Em conjunto, estas estratégias proporcionarão um design de patch fiável, confortável e responsivo que apoia o tratamento em vários ambientes.

5.a Liste as suas informações principais e explore o máximo de ideias possível.

Este design de adesivo médico utiliza materiais respiráveis para conforto e tecnologia de micro-sucção para uma aderência fiável, com ênfase na adesão segura, flexibilidade e monitorização da saúde. Materiais impermeáveis e auto-curativos melhoram a durabilidade, e uma camada que muda de cor indica alterações na saúde. Uma borda de libertação fácil garante a remoção indolor, e camadas hipoalergénicas protegem contra irritações. O patch é sustentável porque combina conforto, funcionalidade e responsabilidade ambiental com opções reutilizáveis e ecológicas.

5.b Organize as suas ideias em categorias que incluam as funcionalidades, o contexto, as restrições, etc., e selecione os conceitos de design que melhor se adequam à sua solução.

Características

- Adesão.
- Flexibilidade.
- Monitorização da saúde.
- Durabilidade.
- Resistência à humidade.
- Removibilidade.
- Sustentabilidade.

Contexto

Este adesivo médico será concebido para utilização em ambientes de saúde que exijam monitorização fiável e uso prolongado, como cuidados de feridas ou tratamentos pós-cirúrgicos. Será adequado para uso ativo e diário, capaz de suportar movimentos, exposição ao suor e outros fatores ambientais. Além disso, irá responder às necessidades de pessoas com pele sensível, utilizando materiais hipoalergénicos e suaves para prevenir irritações. Estas funcionalidades garantirão que o adesivo se mantenha confortável e eficaz em várias condições, proporcionando uma solução prática tanto para profissionais de saúde como para utilizadores comuns.

Restrições

- **Materiais não irritantes:** Devem ser usados materiais hipoalergénicos para prevenir irritação da pele.
- **Produção acessível:** Os componentes devem ser económicos para garantir acessibilidade e escalabilidade.



- **Uso prolongado:** Deve manter o desempenho durante longos períodos, com características que previnem descamação e desconforto.
- **Opções ecológicas:** Deve ser considerada a ênfase em materiais sustentáveis que não comprometam a durabilidade ou a funcionalidade



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Passo 6 – Avaliar

6.a Avaliar o(s) conceito(s) de design em relação ao seu alinhamento com os critérios e restrições do desafio de design, bem como a sua compatibilidade com os sistemas da Terra. Avaliar a viabilidade do modelo técnico e de negócio.

A melhor forma de avaliar se o produto cumpre os desafios e restrições de design é determinar se o produto desenvolvido cumpre os seguintes parâmetros:

- Adesão.
- Flexibilidade e conforto.
- Monitorização da saúde.
- Durabilidade e reutilização.
- Sustentabilidade.

Compatibilidade com os sistemas da Terra

O design deve priorizar a adesão segura, o conforto e a monitorização da saúde, sendo também ambientalmente sustentável. Os materiais devem ser hipoalergénicos, não tóxicos e ecológicos, garantindo que cumprem requisitos de durabilidade e conforto para uso médico prolongado. O patch deve ser eficaz na oferta de feedback de saúde fiável, adaptável às atividades diárias e feito com recursos sustentáveis que minimizam o impacto ambiental, garantindo a **sua compatibilidade com os sistemas da Terra**.

Modelo técnico e de negócio

A tecnologia de microsucção, indicadores de mudança de cor e materiais auto-reparantes são todos alcançáveis com as técnicas de fabrico atuais, tornando este design tecnicamente viável. Além disso, o patch poderá chegar aos mercados médicos através de parcerias com prestadores de cuidados de saúde e aos mercados de consumo através de farmácias ou canais diretos ao consumidor.

6.b Revê e revisita os passos anteriores conforme necessário para gerar uma solução viável.

Para gerar uma solução viável para o design do patch médico, é essencial rever e refinar os passos anteriores, garantindo alinhamento com as necessidades dos utilizadores, considerações ambientais e viabilidade técnica. Neste sentido, devemos:

- Reavalie os critérios e restrições de design.
- Explore funcionalidades adicionais.
- Avaliar a viabilidade técnica.
- Avalie o mercado e o modelo de negócio.
- Iterar e testar protótipos.



- Finalizar o nosso design.

Recursos adicionais:

<https://wearable-technologies.com/news/octopus-suckers-inspire-irritation-free-adhesive>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894723025238>



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Módulos de Formação WP3 sobre Design de Processos de Biomimética

Tarefa 3.1/ A1. Desenvolvimento de Kit de Autoaprendizagem para alunos de

Veteranos - LP: ATS / CPs: TODAS AS SOLUÇÕES LET'S MIMIC

Uma solução refere-se aos passos aplicados para resolver o desafio identificado, através da biomimética.

Solução: Saliências na borda de ataque da nadadeira da baleia-jubarte

PROJETO DE BIOMIMETISMO	Descrição
Passo 2 – Bibliologizar	2.a Pergunta-te como é que a natureza pode resolver isto. Como pode a eficiência hidrodinâmica das barbatanas da baleia-jubarte inspirar o design de pás para turbinas eólicas que maximizem a produção de energia em condições de vento baixo? 2.b Pergunte a si próprio o que o seu design pretende fazer. Determine as funções-chave do seu projeto e identifique contextos na natureza. Funções podem referir-se ao papel desempenhado pelas adaptações ou comportamentos de um organismo que lhe permitem sobreviver. Também podem referir-se a algo que precisa que a sua solução de design realize. Funções-chave do design • Maximização da captura de energia: A principal função do design das pás da turbina é captar o máximo de energia possível do vento, mesmo em condições de vento baixo. • Redução do arrasto: As pás precisam de se mover suavemente pelo ar, minimizando o arrasto e melhorando a eficiência global. • Estabilidade e prevenção de estol: em velocidades de vento variáveis, as pás devem manter um funcionamento estável, evitando o estol e maximizando a sustentação para uma geração consistente de energia. • Adaptação a condições variáveis: O design deve funcionar bem em várias velocidades e direções do vento, tal como certos animais adaptam o seu movimento a ambientes fluidos em constante mudança. Inspirado pela precisão hidrodinâmica das barbatanas da jubarte, pela estabilidade e controlo de sustentação das asas do albatroz e pela propulsão aerodinâmica das barbatanas de tubarão, este design de turbina eólica pode aumentar a eficiência energética e a adaptabilidade. 2.c Inverta a questão. Considere funções opostas. De que forma um design ineficaz das pás de uma turbina eólica limita a captação de energia e reduz a eficiência? As barbatanas da jubarte possuem uma estrutura especializada, com tubérculos ao longo da borda de ataque que aumentam a sustentação e reduzem o arrasto, permitindo um movimento eficiente através da água. Esta



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



adaptação
permite à
baleia
navegar em
ambientes
fluidos com
estabilidade e
controlo. Em
contraste,
uma pá de
turbina eólica
mal projetada
e sem estas
inovações
estruturais
pode sofrer
de aumento
do arrasto e
sustentação
limitada,
especialment
e em
condições de
vento
variáveis,
levando a
uma redução



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Passo 3 – Descobrir

captura de energia. Por exemplo, uma lâmina com lâmina plana ou romba pode perder ou sofrer um fluxo de ar turbulento, diminuindo a sua eficiência. Incorporar características inspiradas na estrutura do tubérculo das barbatanas da baleia pode melhorar o desempenho das turbinas eólicas ao aumentar a sustentação e reduzir o arrasto, resultando numa maior captação de energia e fiabilidade operacional.

3.a Procure modelos naturais que correspondam às mesmas funções e contexto da sua solução de design.

Modelos naturais

- **Barbatanas da jubarte:** Os tubérculos nas bordas de ataque das barbatanas da jubarte criam canais que reduzem o arrasto e aumentam a sustentação, permitindo à baleia manobrar suavemente pela água. Esta adaptação está alinhada com a necessidade da pá da turbina de otimizar o fluxo de ar e minimizar a perda de energia.
- **Asas de albatroz:** Ajustam as asas para controlar o fluxo de ar e otimizar a eficiência, o que espelha o objetivo das pás das turbinas de se adaptarem a condições de vento variadas.
- **Sementes de bordo (samara):** A estrutura de asa única das sementes de bordo permite-lhes rodar e descer lentamente, maximizando a área superficial e controlando a descida através da resistência do ar. Esta estrutura oferece informações sobre como alcançar estabilidade e rotação no vento, relevantes para maximizar a captação de energia.
- **Pele de tubarão:** Apresenta pequenas estruturas semelhantes a dentes chamadas dentículos dérmicos, que simplificam o fluxo de água e reduzem o arrasto. Esta adaptação permite aos tubarões moverem-se eficientemente pela água, fornecendo um modelo para reduzir o arrasto nas pás das turbinas eólicas no ar, um meio fluido semelhante.
- **Asas de libélula:** Têm microestruturas que reduzem o arrasto e permitem grande manobrabilidade. As veias e o design em malha permitem-lhes adaptar-se a fluxos de ar rápidos e variáveis, mantendo a estabilidade, uma função que as pás das turbinas eólicas também precisam em condições de vento flutuante.

3.b Identificar especialistas e conectar-se com comunidades de biólogos e naturalistas. Especialistas

- **Biólogos marinhos:** Especialistas que estudam a vida marinha, como baleias-jubarte e outros animais marinhos, podem fornecer informações sobre adaptações que potenciam o movimento dos fluidos.
- **Engenheiros de aerodinâmica:** Engenheiros com foco em aerodinâmica podem fazer a ponte entre adaptações biológicas e aplicações de engenharia, especialmente no design de turbinas eólicas.
- **Ecologistas:** Os ecologistas que estudam o comportamento animal

e as adaptações em vários ambientes podem oferecer um contexto valioso para compreender como diferentes organismos interagem com os seus ambientes fluidos.

Comunidades



- **Sociedade de Engenharia Biológica (SBE):** Foca-se na aplicação de princípios biológicos em engenharia e tecnologia, proporcionando uma plataforma para networking e colaboração com especialistas em áreas relacionadas.
- **National Geographic Society:** Esta organização liga naturalistas e biólogos através de vários programas e iniciativas.

Passo 4 – Resumo

4.a Resumir os elementos-chave da estratégia biológica. Destacar as funções principais e palavras-chave. Se possível, crie um diagrama ou desenho e/ou encontre imagens que possam informar o design.

Este produto será inspirado nos tubérculos únicos das barbatanas da jubarte, que aumentam a sua eficiência de natação ao aumentar a sustentação e reduzir o arrasto. Esta adaptação natural permite às baleias manobrar eficazmente em águas turbulentas.

Funções centrais da solução

- **Captação melhorada de energia:** Otimização do desempenho ao aumentar a interação do vento com as pás da turbina.
- **Redução do ruído:** Leva a uma operação mais silenciosa, beneficiando tanto a vida selvagem como as comunidades vizinhas.
- **Maior estabilidade:** Garantir uma produção constante de energia em condições de vento variadas.

Keywords

Tubérculos, eficiência aerodinâmica, otimização energética e estabilidade operacional.



Figura 1. Lâmina de turbina eólica numa instalação de testes eólicos na Ilha do Príncipe Eduardo

Fonte: [turbinas-eólicas inspiradas em](https://www.technologyreview.com/2008/03/06/221447/whale/)
<https://www.technologyreview.com/2008/03/06/221447/whale/>

4.b Traduzir lições da natureza em estratégias de design. Reescreva a estratégia sem usar termos biológicos e ligue-a às funções e ao contexto a partir de uma perspetiva humana.

A estratégia de design deste adesivo médico foca-se numa adesão segura, conforto e capacidade de resposta para satisfazer as necessidades do utilizador em condições reais. O adesivo aderirá de forma fiável à pele, reduzindo o risco de descamação ou escorregamento, mesmo em áreas com movimento. O seu design flexível adapta-se perfeitamente aos contornos do corpo, aumentando o conforto e tornando-o adequado para uso prolongado. Uma funcionalidade incorporada poderia fornecer feedback visual, como mudança de cor, para alertar os utilizadores sobre potenciais alterações de saúde como infeções, permitindo uma monitorização intuitiva da saúde. O patch também será durável, resistindo a um desgaste ligeiro e reduzindo a necessidade de substituições frequentes, enquanto as suas propriedades resistentes à humidade garantem desempenho em condições húmidas ou suadas. Em conjunto, estas estratégias proporcionarão um design de patch fiável, confortável e responsivo que apoia o tratamento em vários ambientes.

Passo 5 – Emular

5.a Liste as suas informações principais e explore o máximo de ideias possível.

Para aplicar as lições aprendidas com a natureza e desenhar estratégias eficazes, focamo-nos no desenvolvimento de superfícies que otimizem a interação do vento, resultando numa melhor captação de energia. Isto implica incorporar funcionalidades de estabilidade para garantir um desempenho consistente em várias circunstâncias e desenhar formas que reduzam o ruído para uma experiência de utilizador mais agradável.

5.b Organize as suas ideias em categorias que incluam as funcionalidades, o contexto, as restrições, etc., e selecione os conceitos de design que melhor se adequam à sua solução.

Características

- Captura de energia melhorada.
- Redução de ruído.
- Estabilidade.

Contexto

O contexto deste design centra-se na crescente procura por soluções energéticas sustentáveis face ao aumento da procura energética e às alterações climáticas. Como substituto mais limpo dos combustíveis fósseis, a energia eólica é uma parte essencial do panorama das energias renováveis. Para aumentar a aceitação pública e mitigar os impactos ambientais, as turbinas eólicas devem tornar-se mais silenciosas e eficientes à medida que a tecnologia avança. Este contexto enfatiza o valor da inovação no design de turbinas eólicas, com o objetivo de produzir máquinas eficientes, fáceis de usar e ambientalmente adaptáveis.

Restrições

- **Limitações de materiais:** Deve utilizar materiais duráveis e resistentes às intempéries.
- **Custo-benefício:** O design deve manter-se economicamente viável

para a produção.

Passo 6 – Avaliar

6.a Avaliar o(s) conceito(s) de design relativamente ao seu alinhamento com o Critérios e restrições do Design Challenge, bem como a sua compatibilidade com



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Os sistemas da Terra. Avalie a viabilidade tanto do modelo técnico como do modelo de negócio.

As ideias de design correspondem aos requisitos do desafio de aumentar a estabilidade, reduzir o ruído e melhorar a eficiência energética. Ao promover o uso de fontes de energia renovável, alinham-se com os sistemas da Terra e contribuem para a redução das emissões de gases com efeito de estufa.

Além disso, elementos técnicos são viáveis porque os desenvolvimentos nos materiais e aerodinâmica apoiam estas inovações. Dado o investimento em tecnologias eólicas mais eficientes impulsionado pela crescente procura por soluções energéticas sustentáveis, o modelo de negócio também parece favorável.

6.b Rever e rever os passos anteriores conforme necessário para gerar uma solução viável.

Para criar uma solução viável, podemos rever os conceitos de design para garantir que estão alinhados com as necessidades dos utilizadores e as considerações ambientais. Isto inclui otimizar a geometria das pás da turbina para o máximo desempenho, incorporar materiais avançados que aumentem a durabilidade enquanto reduzem o peso e garantir que as funcionalidades

Recursos adicionais:

<https://biomimicry.net/the-buzz/resources/case-examples-learning-whales-create-efficient-wind-power/>

<https://www.technologyreview.com/2008/03/06/221447/whale-inspired-wind-turbines/>



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Módulos de Formação WP3 sobre Design de Processos de Biomimética

Tarefa 3.1/ A1. Desenvolvimento de Kit de Autoaprendizagem para alunos de Formação Profissional - LP:
ATS / CPs: TODOS

VAMOS IMITAR SOLUÇÕES

Uma solução refere-se aos passos aplicados para resolver o desafio identificado, através da biomimética.

Solução: Rede Capilar Nanofibrosa Inspirada na Pele do Lagarto

PROJETO DE BIOMIMETISMO	Descrição
Passo 2 – Bibiologizar	2.a Pergunta-te como é que a natureza pode resolver isto. Como é que a rede capilar nanofibrosa inspirada na pele de lagarto melhora a gestão da humidade nos materiais? 2.b Pergunte a si próprio o que o seu design pretende fazer. Determine as funções-chave do seu projeto e identifique contextos na natureza. Funções podem referir-se ao papel desempenhado pelas adaptações ou comportamentos de um organismo que lhe permitem sobreviver. Também podem referir-se a algo que precisa que a sua solução de design realize. Funções-chave do design • Gestão da humidade: O design deve absorver e libertar a humidade de forma eficiente, imitando a forma como a pele do lagarto regula a retenção e evaporação de água. • Regulação da temperatura: Deve manter uma temperatura estável, adaptando-se às alterações ambientais e assegurando o conforto do utilizador. • Estrutura leve e flexível: Os materiais devem ser leves e flexíveis, permitindo facilidade de movimento sem comprometer a durabilidade. • Durabilidade e resistência ao desgaste: O design deve ser resistente a tensões e condições externas, semelhante à pele de lagarto que resiste a ambientes hostis. 2.c Inverta a questão. Considere funções opostas. Como é que o design pode, involuntariamente, melhorar a retenção de humidade nos materiais, levando ao crescimento de bolor e reduzindo a sua eficácia global? A rede capilar nanofibrosa única na pele dos lagartos permite uma regulação eficiente da temperatura e da humidade, permitindo que os lagartos prosperem em vários ambientes. Um material mal concebido, por outro lado, pode não ter este sistema complexo, o que levaria a uma má gestão da humidade e a um maior risco de sobreaquecimento. Por exemplo, estruturas densas e homogéneas podem reter humidade, o que pode resultar no



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



crescimento
de bolor ou
desconforto
causado pelo
calor. Replicar
as
propriedades
adaptativas da
pele de
lagarto
através



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



	A melhoria da regulação da humidade e do equilíbrio térmico para aumentar o conforto do utilizador é uma forma de melhorar o desempenho.
Passo 3 – Descobrir	3.a Procure modelos naturais que correspondam às mesmas funções e contexto da sua solução de design. Modelos naturais • Pele de lagarto: Certas espécies exibem uma rede capilar nanofibrosa especializada que facilita a captação eficiente da humidade e a regulação da temperatura. As suas estruturas cutâneas permitem uma rápida absorção e transporte passivo de humidade, ajudando-os a sobreviver em ambientes áridos. • Cactos: Os cactos desenvolveram cascas grossas e cerosas e poros especializados (estomas) que ajudam a reduzir a perda de água enquanto otimizam a retenção de humidade. As suas adaptações permitem-lhes prosperar em climas quentes e secos, gerindo eficientemente tanto a água como a temperatura • Folhas das plantas: Muitas espécies de plantas possuem estruturas foliares que otimizam a gestão da humidade através da transpiração. Por exemplo, folhas com cutícula cerosa ajudam a minimizar a evaporação, permitindo ainda a troca gasosa, ilustrando um equilíbrio eficaz entre a retenção de humidade e a interação ambiental. 3.b Identificar especialistas e conectar-se com comunidades de biólogos e naturalistas. Sociedades • A Sociedade de Biologia Integrativa e Comparada (SICB): Esta organização reúne investigadores e estudantes de várias áreas da biologia, focando-se na integração da investigação biológica e da educação. • The American Institute of Biological Sciences (AIBS): O AIBS promove a investigação e o ensino nas ciências biológicas, oferecendo oportunidades de networking e recursos para ligar biólogos focados em ecologia, evolução e biodiversidade.



Passo 4 – Resumo

4.a Resuma os elementos-chave da estratégia biológica. Destacar as funções principais e palavras-chave. Se possível, crie um diagrama ou desenho e/ou encontre imagens que possam informar o design.

Características principais do produto

- **Absorção de humidade:** A estrutura nanofibrosa da pele do lagarto cria uma superfície altamente eficiente na recolha de humidade que capta a água do orvalho ou da chuva. Este design pode ser replicado para melhorar a gestão da humidade em várias aplicações, permitindo uma melhor hidratação e utilização dos recursos.
- **Regulação da temperatura:** A micro-ornamentação encontrada na pele do lagarto ajuda na termorregulação ao otimizar a dissipação de calor. Esta funcionalidade pode ser integrada nos designs dos produtos para manter temperaturas internas estáveis, o que é essencial para o desempenho em condições ambientais flutuantes.
- **Flexibilidade estrutural:** A capacidade da pele do lagarto de se manter flexível enquanto proporciona força permite a estes répteis navegar nos seus habitats sem sacrificar a gestão da humidade. Imitar esta característica pode aumentar a resiliência e adaptabilidade dos produtos usados em vários contextos.
- **Mecanismo de autolimpeza:** As propriedades superficiais da pele de lagarto facilitam a remoção de sujidade e outros contaminantes, ajudando a manter a funcionalidade ao longo do tempo. Incorporar características de autolimpeza nos designs dos produtos pode prolongar a sua vida útil e eficácia

Palavras-chave

Absorção de humidade, regulação da temperatura, estrutura flexível e propriedades de autolimpeza.

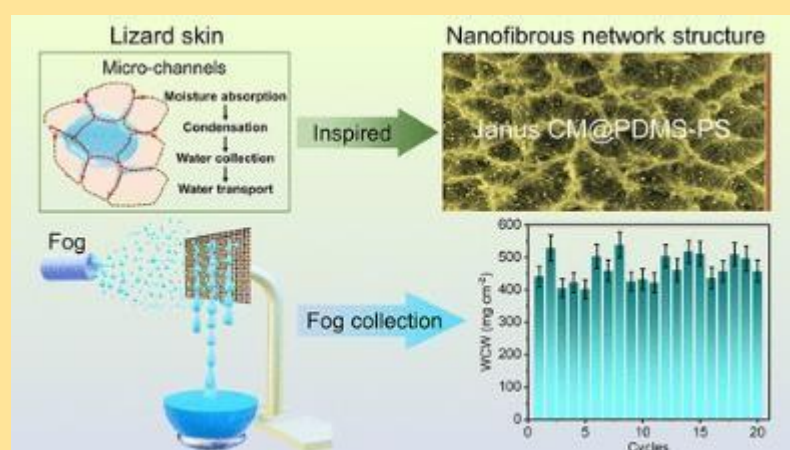


Figura 1. Rede Capilar Nanofibrosa Inspirada na Pele de Lagarto Combinada com uma Superfície Escorregadia para Recolha Eficiente do Nevoeiro

Fonte: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acsami.1c10067>



4.b Traduza lições da natureza em estratégias de design. Reescreva a estratégia sem usar termos biológicos e ligue-a às funções e ao contexto a partir de uma perspectiva humana.

Inspirado pelas qualidades especiais da pele de lagarto, o nosso produto terá uma superfície otimizada para regular a temperatura e absorver humidade. Este design inovador permitirá que o material absorva e retenha a humidade do ambiente de forma eficiente, melhorando a eficiência dos recursos e a hidratação. Microestruturas avançadas que auxiliam no transporte de humidade podem ser incorporadas para garantir o desempenho fiável do produto em várias circunstâncias.



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Passo 5 – Emular

5.a Liste as suas informações principais e explore o máximo de ideias possível.

Este produto irá focar-se em melhorar a eficiência da recolha de humidade, imitando as estruturas de superfície especializadas da pele dos lagartos. As principais características incluirão um design texturizado que facilita a condensação das gotas de água provenientes do nevoeiro, permitindo uma colheita eficaz. A integração de microestruturas e nanoestruturas irá otimizar a adesão e a coalescência da água, maximizando a quantidade de humidade recolhida. Além disso, o produto será concebido para manter a durabilidade e funcionalidade em diversas condições ambientais, garantindo fiabilidade para aplicações em regiões áridas ou áreas com elevada incidência de nevoeiro.

5.b Organize as suas ideias em categorias que incluam as funcionalidades, o contexto, as restrições, etc., e selecione os conceitos de design que melhor se adequam à sua solução.

Características

- Superfície texturizada.
- Sistema de captação de humidade.
- Durabilidade.
- Design leve.

Contexto

- Ideal para uso em áreas propensas a nevoeiro e regiões áridas onde as fontes tradicionais de água são limitadas.
- As aplicações potenciais incluem sistemas agrícolas de água, materiais de construção e recolhedoras portáteis de água.
- Contribui para práticas de gestão sustentável da água utilizando fontes naturais de humidade.

Restrições

- **Limitações de materiais:** A escolha dos materiais deve equilibrar durabilidade com propriedades leves para garantir funcionalidade e facilidade de uso.
- **Instalação e manutenção:** O projeto deve considerar a facilidade de instalação e requisitos mínimos de manutenção para incentivar a sua utilização generalizada.
- **Custo de produção:** A viabilidade económica é crítica. O design deve ser económico de fabricar e implementar.

Passo 6 – Avaliar

6.a Avaliar o(s) conceito(s) de design relativamente à sua alinhamento com os critérios e restrições do desafio de design, bem como a sua compatibilidade com os sistemas da Terra. Avalie a viabilidade tanto do modelo técnico como do modelo de negócio.

A melhor forma de avaliar se o produto cumpre os desafios e restrições de design é determinar se o produto desenvolvido cumpre os seguintes parâmetros:

- **Eficiência na recolha de humidade:** As superfícies texturizadas inspiradas na pele de lagarto foram especificamente concebidas para potenciar a condensação e a coalescência das gotas de água provenientes do nevoeiro, garantindo máxima eficiência na captação de água.
- **Sustentabilidade ambiental:** Este design incentiva técnicas de gestão sustentável da água, utilizando nevoeiro natural e orvalho como fontes de água, o que é essencial para áreas com escassez de água.
- **Adaptabilidade:** Redes de nevoeiro e colhedoras são exemplos de conceitos de design leves e portáteis que proporcionam versatilidade na implementação, tornando-os adequados para uma variedade de ambientes e aplicações.

Para garantir a compatibilidade com os sistemas da Terra, os materiais devem ser obtidos a partir de recursos ecológicos e sustentáveis, minimizando o impacto ambiental. Isto significa selecionar materiais não tóxicos, biodegradáveis ou recicláveis que mantenham tanto o desempenho como a integridade ambiental.

Finalmente, no que diz respeito ao modelo técnico e de negócio, os princípios de recolha de humidade e adaptabilidade do material são alcançáveis com as tecnologias de fabrico existentes, tornando este design tecnicamente viável. A integração de superfícies texturizadas que imitam a pele de lagarto pode ser implementada utilizando métodos avançados de fabrico de materiais.

6.b Rever e rever os passos anteriores conforme necessário para gerar uma solução viável.

Os requisitos do desafio de design podem ser cumpridos com sucesso melhorando os passos da coleção de nevoeiro inspirada em pele de lagarto. A funcionalidade do produto será melhorada através de iterações contínuas, pesquisas, testes e feedback, garantindo ao mesmo tempo que cumpre os padrões de sustentabilidade e as exigências do mercado. Esta estratégia irá otimizar a sua capacidade de enfrentar eficazmente a escassez de água.

Recursos adicionais:

<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acsami.1c10067>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169433216328306>

<https://projects.research-and-innovation.ec.europa.eu/en/projects/success-stories/all/mimicking-pele-de-lagarto-poupa-energia-escala-industrial->

<https://projects.research-and-innovation.ec.europa.eu/en/projects/success-stories/all/mimicking-pele-de-lagarto-poupa-energia-escala-industrial->



Módulos de Formação WP3 sobre Design de Processos de Biomimética

Tarefa 3.1/ A1. Desenvolvimento de Kit de Autoaprendizagem para alunos de

Veteranos - LP: ATS / CPs: TODOS AS SOLUÇÕES LET'S MIMIC

Uma solução refere-se aos passos aplicados para resolver o desafio identificado, através da biomimética.

Solução: Inspiração de golfinhos que conseguem comunicar informação complexa

PROJETO DE BIOMIMETISMO	Descrição
Passo 2 – Bibliologizar	2.a Pergunta-te como é que a natureza pode resolver isto. Como é que a comunicação acústica subaquática, inspirada nos golfinhos, melhora a transmissão de dados em ambientes subaquáticos? 2.b Pergunte a si próprio o que o seu design pretende fazer. Determine as funções-chave do seu projeto e identifique contextos na natureza. Funções podem referir-se ao papel desempenhado pelas adaptações ou comportamentos de um organismo que lhe permitem sobreviver. Também podem referir-se a algo que a sua solução de design precisa de cumprir. Funções-chave do design • Transmissão eficiente a longa distância: O design deve transmitir sinais a grandes distâncias com perda mínima de energia. • Filtragem de ruído e clareza do sinal: O sistema deve manter uma comunicação clara em ambientes ruidosos. • Transmissão direcional: O design deve permitir uma comunicação direcionada e direcional para minimizar o desperdício de energia e melhorar a precisão, recorrendo às técnicas de ecolocalização de morcegos e golfinhos, que concentram as ondas sonoras em pontos específicos. • Adaptabilidade ambiental: O sistema deve adaptar-se a diferentes condições subaquáticas, ajustando a intensidade e frequência do sinal conforme necessário, garantindo um desempenho otimizado em diferentes ambientes subaquáticos. 2.c Inverta a questão. Considere funções opostas. Como é que o design pode, involuntariamente, melhorar a retenção de humidade nos materiais, levando ao crescimento de bolor e reduzindo a sua eficácia global? Se o design da comunicação subaquática amplificar involuntariamente os sons ambientes, pode dificultar a distinção entre sinais relevantes e ruído de fundo. Isto pode levar a que as mensagens se tornem confusas ou perdidas, especialmente em áreas com elevados níveis de som natural, como recifes de coral próximos ou zonas de tráfego marítimo. Em vez de comunicação clara, os recetores poderiam ter dificuldades em interpretar os sinais com precisão, o que reduziria a fiabilidade e eficácia do sistema. Além disso, esta melhoria não intencional



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

	de ruído pode aumentar o consumo de energia, pois o sistema compensa aumentando a intensidade do sinal para superar interferências.
Passo 3 – Descobrir	3.a Procure modelos naturais que correspondam às mesmas funções e contexto da sua solução de design. Modelos naturais • Golfinhos (ecolocalização e comunicação): Os golfinhos utilizam ecolocalização e vocalizações para comunicar e navegar debaixo de água, tornando-se modelos ideais para transmissão clara e direcionada de sons na água. • Baleias (comunicação de baixa frequência): As baleias-azuis e jubartes produzem chamadas de baixa frequência que podem viajar por vastas distâncias debaixo de água, tornando-se modelos para comunicação a longa distância. • Rãs (filtragem de ruído em coros): As rãs em ambientes húmidos ajustam os seus padrões de chamadas para evitar sobrepor-se a outras em coros altos e comunitários. • Peixes elétricos (comunicação em águas turvas): Peixes elétricos, tal como as enguias elétricas, usam campos elétricos para navegação e comunicação em águas enevoadas ou escuras onde a visão é limitada. • Elefantes (roncos adaptativos de baixa frequência): os elefantes comunicam usando roncões de baixa frequência que viajam pelo solo e pelo ar, ajustando os seus chamados com base na distância, vento e obstáculos. • Camarão pistola (comunicação por estalo de bolhas): Camarões pistola comunicam e caçam estalando as garras para produzir ondas sonoras de alta intensidade que viajam pela água. 3.b Identificar especialistas e conectar-se com comunidades de biólogos e naturalistas. Sociedades • Wyss Institute for Biologically Inspired Engineering (Universidade de Harvard): Foca-se na criação de soluções sustentáveis através da biomimética. Colaborações com investigadores do Instituto Wyss podem apoiar o design de sistemas de comunicação subaquática energeticamente eficientes e adaptáveis, inspirados em modelos animais. • O Centro de Biomimética da Universidade Estadual do Arizona: O seu trabalho em soluções biologicamente inspiradas, especialmente em materiais adaptativos e métodos de comunicação, pode ajudar a criar tecnologias de comunicação adaptáveis. • Society for Marine Mammalogy: Uma organização internacional de especialistas em mamíferos marinhos, que oferece conferências, workshops e fóruns online para se conectar com investigadores líderes em comunicação entre golfinhos, baleias e outros animais

marinhos.

- **Sociedade Acústica da América (ASA):** com foco em acústica subaquática, os membros da ASA incluem bioacústicos e engenheiros de topo



desenvolver novas tecnologias acústicas, ideais para partilhar conhecimento sobre filtragem de ruído e som direcional em ambientes aquáticos.

- **Ocean Networks Canada (ONC):** Esta rede de observatórios oceânicos recolhe dados acústicos de ambientes marinhos, apoiando a investigação sobre como os animais utilizam o som para comunicação. Os recursos do ONC poderão oferecer dados do mundo real e ligações com especialistas que monitorizam ecossistemas subaquáticos.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Passo 4 – Resumo

4.a Resumir os elementos-chave da estratégia biológica. Destacar as funções principais e palavras-chave. Se possível, crie um diagrama ou desenho e/ou encontre imagens que possam informar o design.

Características principais do produto

- **Transmissão eficiente a longa distância:** Os golfinhos utilizam modulação adaptativa de frequência para transmissão de som a grandes distâncias com perda mínima de energia. Este princípio pode otimizar a intensidade e clareza do sinal em ambientes subaquáticos profundos.
- **Filtragem de ruído e clareza do sinal:** Os golfinhos destacam-se a distinguir as suas vocalizações do ruído ambiente. Esta capacidade pode ser emulada no nosso sistema para melhorar a clareza da comunicação em condições acústicas desafiantes.
- **Projeção sonora direcional:** O melão-do-golfinho foca as ondas sonoras em direções específicas para comunicação direcionada. A incorporação desta funcionalidade pode melhorar a eficiência da transmissão e reduzir interferências.
- **Adaptabilidade ambiental:** Os golfinhos ajustam a sua comunicação em resposta às condições ambientais em mudança. Desenhar o nosso sistema para se adaptar a diferentes profundidades e correntes aumentará a sua fiabilidade em ambientes aquáticos diversificados.

Palavras-chave

Transmissão a longa distância, filtragem de ruído, projeção direcional, adaptabilidade ambiental.

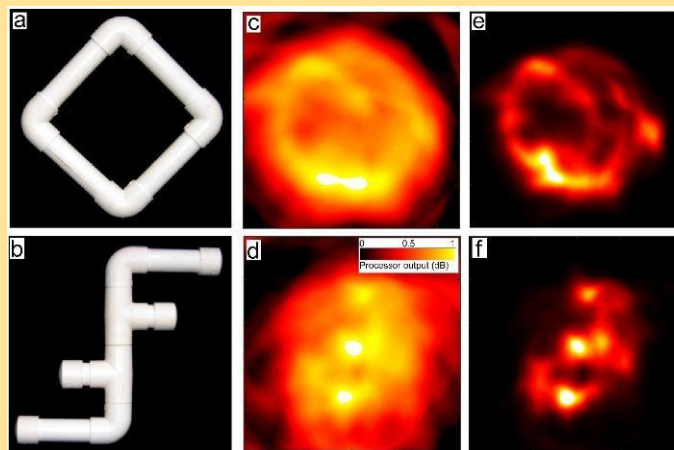


Figura 1. O processamento consciente da esparsidade produz visualizações de dados de sonar biomimético mais claras (imagens e e f) do que aquelas produzidas por imagem convencional



Métodos de processamento (imagens C e D). Os objetos originais podem ser vistos em a e b.

Fonte: <https://news.nus.edu.sg/dolphin-inspired-compact-sonar/>

4.b Traduzir lições da natureza em estratégias de design. Reescreva a estratégia sem usar termos biológicos e ligue-a às funções e ao contexto a partir de uma perspectiva humana.

O nosso produto terá um sistema concebido para transmissão a longa distância e clareza do sinal, inspirando-se nas excepcionais capacidades de comunicação dos golfinhos. A modulação de frequência adaptativa será utilizada no projeto para minimizar o consumo de energia e garantir uma comunicação eficiente a longas distâncias subaquáticas. Para melhorar a clareza dos sinais transmitidos em ambientes acústicos difíceis, serão usados algoritmos sofisticados para filtrar o ruído de fundo. Além disso, a comunicação direcionada será possível graças à tecnologia de projeção sonora focada, que também reduzirá interferências e aumentará a eficiência da transmissão. Esta abordagem inovadora garantirá um desempenho fiável em várias condições subaquáticas, permitindo interações fluidas em ambientes de águas profundas.

Passo 5 – Emular

5.a Liste as suas informações principais e explore o máximo de ideias possível.

Este produto irá priorizar a melhoria da comunicação subaquática, inspirando-se nos sofisticados mecanismos sonoros usados pelos golfinhos. Uma das principais características será um sistema que modifica dinamicamente as intensidades e frequências sonoras, permitindo uma comunicação eficiente a longa distância enquanto consome menos energia. Serão implementadas técnicas avançadas de filtragem para isolar e melhorar sinais específicos, garantindo clareza em ambientes com elevado ruído de fundo. Para direcionar sinais com precisão e reduzir interferências do ruído ambiente, o design incluirá também capacidades de transmissão de som focalizada. Este sistema de comunicação será projetado para garantir durabilidade e resiliência numa variedade de condições subaquáticas, garantindo uma operação fiável em ambientes marinhos diversificados.

5.b Organize as suas ideias em categorias que incluam as funcionalidades, o contexto, as restrições, etc., e selecione os conceitos de design que melhor se adequam à sua solução.

Características

- Modulação de frequência adaptativa.
- Filtragem avançada de ruído.
- Projeção sonora direcional.
- Resposta ambiental em tempo real.

Contexto

- Concebido para uso em vários ambientes aquáticos, incluindo águas profundas, zonas costeiras e aqueles com ruído ambiente elevado.
- Adequado para mergulhadores, investigadores marinhos, equipas de levantamento subaquático e operações de resgate que necessitam de comunicação fiável.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

- Aborda os desafios da comunicação eficaz em cenários ruidosos



e em longas distâncias, aumentando assim a segurança e a coordenação.

Restrições

- **Condições ambientais:** O sistema deve funcionar de forma fiável em diferentes temperaturas, profundidades e correntes da água.
- **Duração da bateria e eficiência energética:** Deve priorizar um baixo consumo energético para prolongar o tempo operacional e minimizar a substituição da bateria.
- **Durabilidade:** Deve resistir a condições marinhas, incluindo corrosão, pressão e potenciais impactos de vida marinha ou detritos.
- **Facilidade de utilização:** A interface deve ser intuitiva e fácil de operar para utilizadores com diferentes níveis de conhecimento técnico, garantindo acessibilidade.

Passo 6 – Avaliar

6.a Avaliar o(s) conceito(s) de design relativamente ao seu alinhamento com os critérios e restrições do desafio de design, bem como a sua compatibilidade com os sistemas da Terra. Avalie a viabilidade tanto do modelo técnico como do modelo de negócio.

No geral, os conceitos de design sugeridos cumprem os requisitos e limitações do desafio de design e abordam eficazmente os requisitos essenciais para a comunicação subaquática. A sua atratividade é reforçada pelas suas práticas sustentáveis, que os tornam compatíveis com os sistemas da Terra. Para superar obstáculos iniciais ao desenvolvimento e à produção, é necessário um plano de negócios sólido e uma consideração cuidadosa das complexidades técnicas para uma implementação bem-sucedida. A sobrevivência e o sucesso a longo prazo neste setor de comunicação de ponta dependerão da análise e adaptação contínuas do mercado.

6.b Revê e revisita os passos anteriores conforme necessário para gerar uma solução viável.

Para desenvolver um sistema prático de comunicação subaquática inspirado em golfinhos, vamos concentrar-nos em melhorar ideias de design importantes, como a projeção de som direcional compacta para reduzir interferências, filtragem de ruído melhorada com personalização do utilizador para maior clareza em vários contextos, e modulação de frequência adaptativa simplificada para transmissão eficiente a longa distância. Uma abordagem modular para a resposta ambiental em tempo real permitirá aos utilizadores adicionar sensores conforme necessário. Para garantir a viabilidade económica, daremos prioridade ao controlo de custos e, quando possível, utilizaremos componentes prontos a usar e materiais duradouros e amigos do ambiente. A eficácia do sistema será confirmada através da interação com potenciais utilizadores através de levantamentos e colaborações com organizações de investigação marinha. Através do uso de um procedimento de testes iterativos, esperamos melhorar o produto em resposta ao input dos utilizadores, culminando num lançamento faseado que enfatiza a sua eficácia e segurança.

Recursos adicionais:



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



<https://www.nature.com/articles/s44172-022-00010-x>

<https://asknature.org/innovation/underwater-acoustic-communication-inspired-by-dolphins/>

<https://news.nus.edu.sg/dolphin-inspired-compact-sonar/>



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Módulos de Formação WP3 sobre Design de Processos de Biomimética

Tarefa 3.1/ A1. Desenvolvimento de Kit de Autoaprendizagem para alunos de

Veteranos - LP: ATS / CPs: TODAS AS SOLUÇÕES LET'S MIMIC

Uma solução refere-se aos passos aplicados para resolver o desafio identificado, através da biomimética.

Solução: Inspiração nos olhos das Mariposas

PROJETO DE BIOMIMETISMO	Descrição
Passo 2 – Bibliologizar	2.a Pergunta-te como é que a natureza pode resolver isto. Como pode a estrutura absorvente de luz dos olhos das mariposas melhorar a sensibilidade da câmara em condições de pouca luz? 2.b Pergunte a si próprio o que o seu design pretende fazer. Determine as funções-chave do seu projeto e identifique contextos na natureza. Funções podem referir-se ao papel desempenhado pelas adaptações ou comportamentos de um organismo que lhe permitem sobreviver. Também podem referir-se a algo que a sua solução de design precisa de cumprir. Funções-chave do design • Absorção de luz melhorada: O design deve maximizar a captação de luz, especialmente em condições de pouca luz, para melhorar a sensibilidade, inspirado nas microestruturas dos olhos das mariposas que absorvem a luz ambiente de forma eficiente. • Minimização da reflexão: Deve minimizar a reflexão superficial para reduzir o brilho e melhorar a clareza da imagem, imitando as propriedades não refletidas dos olhos das traças que impedem a luz de refletir. • Alta resolução em pouca luz: Deverá permitir imagens claras e de alta resolução mesmo em ambientes pouco claros, semelhantes aos animais noturnos que se adaptaram para ver com detalhes nítidos na escuridão próxima. • Adaptabilidade ambiental: Deve ajustar-se a diferentes condições de iluminação para manter o desempenho ideal, recorrendo a mecanismos adaptativos em animais que prosperam em diferentes níveis de luz. 2.c Inverta a questão. Considere funções opostas. De que formas o design poderia causar inadvertidamente um ressalto excessivo de luz, resultando em reflexo que diminui a qualidade da imagem em ambientes pouco claros? As funções do design podem ser consideradas de forma oposta, priorizando a reflexão da luz em vez da absorção, útil para aplicações que requerem alta visibilidade, como equipamento de segurança. Também pode criar intencionalmente reflexo para difundir a luz para efeitos ou dissuasores específicos. Em vez de melhorar a resolução em pouca luz, o design pode



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

	reduzir a resolução em ambientes de luz para evitar sobreexposição, otimizando para condições estáveis e de alta luz.
Passo 3 – Descobrir	3.a Procure modelos naturais que correspondam às mesmas funções e contexto da sua solução de design.

Modelos naturais

- **Olhos de traça:** As traças têm olhos microestruturados que minimizam a reflexão e maximizam a absorção de luz, facilitando a navegação em pouca luz.
- **Animais noturnos:** Tal como corujas e gatos, possuem retinas com numerosas células bastonetes, permitindo-lhes ver claramente na escuridão, muitas vezes auxiliadas por uma camada refletora.
- **Peixes de águas profundas:** Espécies como o peixe-pescador e o peixe-lanterna têm olhos adaptados que detetam luz mínima em ambientes oceânicos profundos, permitindo uma caça eficaz.
- **Vaga-lumes:** Estes insetos utilizam a bioluminescência para produzir luz visível para comunicação em ambientes escuros.
- **Escorpiões:** Os escorpiões fluorescem sob luz ultravioleta, aumentando a visibilidade em habitats escuros e auxiliando na deteção de presas.

3.b Identificar especialistas e conectar-se com comunidades de biólogos e naturalistas. Sociedades

- **Society for Integrative and Comparative Biology (SICB):** Esta organização oferece uma plataforma para networking com biólogos especializados em adaptações evolutivas e biologia sensorial, facilitando ligações com especialistas que podem oferecer informações sobre adaptações da visão em pouca luz.
- **Associação Americana para o Avanço da Ciência (AAAS):** Esta organização promove a colaboração entre cientistas e engenheiros. As suas conferências e fóruns podem proporcionar oportunidades para envolver investigadores líderes em ótica e sistemas visuais.
- **Sociedade para a Ciência e Tecnologia Fotográfica (SPST):** Esta sociedade foca-se nos aspetos científicos da fotografia e tecnologia de imagem, oferecendo acesso a especialistas que podem partilhar conhecimentos sobre como melhorar a clareza da imagem em ambientes de pouca luz.
- **A Sociedade Internacional de Engenharia Óptica (SPIE):** Liga profissionais das áreas de ótica e fotónica, tornando-se um recurso valioso para networking com especialistas em tecnologias de imagem e sistemas sensoriais inspirados na natureza.

Passo 4 – Resumo

4.a Resumir os elementos-chave da estratégia biológica. Destacar as funções principais e palavras-chave. Se possível, faça um diagrama/desenho e/ou encontre imagens que possam informar o design.

Características principais do produto

- **Absorção de luz melhorada:** Os olhos das mariposas têm superfícies microestruturadas que maximizam a captação de luz, especialmente em condições de pouca luz. Este princípio pode ser aplicado para melhorar a sensibilidade e o desempenho do nosso sistema de imagem em ambientes pouco definidos.

- **Reflexão minimizada:** O design dos olhos de traça reduz a reflexão da luz, permitindo uma visão mais clara. O nosso sistema pode emular esta funcionalidade para diminuir o encandeamento e melhorar a clareza da imagem em vários cenários de iluminação.
- **Alta sensibilidade em pouca luz:** Os olhos das traças estão adaptados para detetar até as menores quantidades de luz. Incorporar mecanismos semelhantes permitirá ao nosso sistema alcançar alta resolução e sensibilidade em condições de escuro.
- **Adaptabilidade ambiental:** As mariposas podem ajustar as suas capacidades visuais com base nas mudanças nas condições de luz. Desenhar o nosso sistema de imagem para se adaptar a diferentes níveis de iluminação irá melhorar a sua funcionalidade em diferentes ambientes.

Palavras-chave

Absorção de luz, reflexão minimizada, alta sensibilidade e adaptabilidade ambiental.

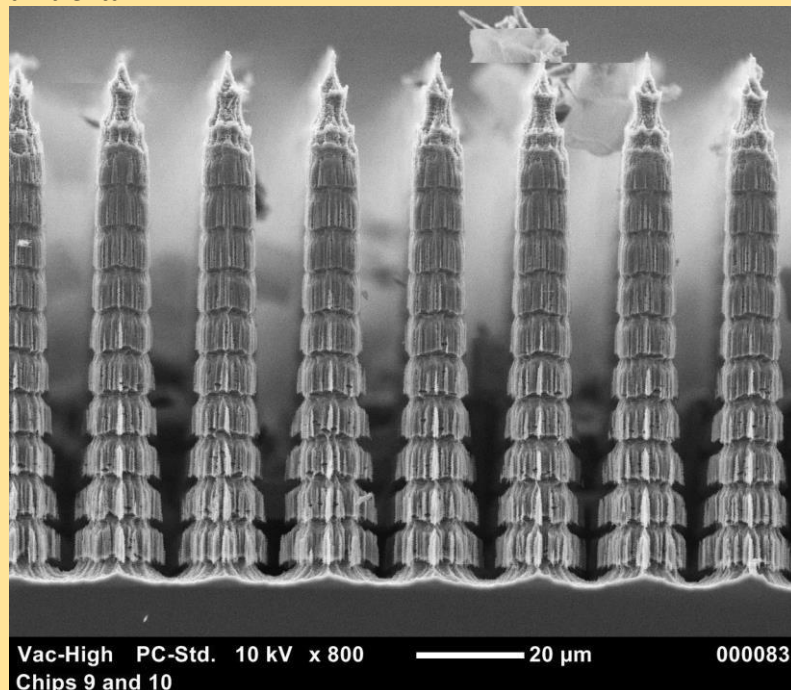


Figura 1. O Olho da Mariposa Inspira Componente Crítico no Instrumento Mais Recente da SOFIA

Fonte: <https://www.nasa.gov/centers-and-facilities/ames/moths-eye-inspira-componente-crítico-no-instrumento-mais-recente/>

4.b Traduzir lições da natureza em estratégias de design. Reescreva a estratégia sem usar termos biológicos e ligue-a às funções e ao contexto a partir de uma perspectiva humana.

O nosso produto contará com um sistema concebido para transmissão a longa distância e clareza do sinal, inspirando-se nas excepcionais capacidades de comunicação dos golfinhos. A modulação de frequência adaptativa será



utilizada no projeto para minimizar o consumo de energia e garantir uma comunicação eficiente sobre



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

	longas distâncias subaquáticas. Para melhorar a clareza dos sinais transmitidos em ambientes acústicos complexos, serão usados algoritmos sofisticados para filtrar o ruído de fundo. Além disso, a comunicação direcionada será possível graças à tecnologia de projeção sonora focada, que também reduzirá interferências e aumentará a eficiência da transmissão. Esta estratégia inovadora garantirá um desempenho fiável em várias condições subaquáticas, permitindo interações suaves em ambientes de águas profundas.
Passo 5 – Emular	5.a Liste as suas informações principais e explore o máximo de ideias possível. Inspirando-se em fenómenos naturais, como olhos de traça para aumentar a absorção de luz e reduzir a reflexão, animais noturnos para alta sensibilidade, vaga-lumes para bioluminescência e golfinhos para projeção sonora focada, o design visa melhorar a sensibilidade e clareza em sistemas de imagem em pouca luz. Adaptabilidade às condições de iluminação em mudança, redução do encandeamento, desempenho de alta resolução em pouca luz e captura eficaz de luz são características essenciais. As ideias propostas incluem a utilização de revestimentos micro-padronizados para melhorar a captação de luz, a implementação de sensores avançados que imitam retinas noturnas, o desenvolvimento de revestimentos anti-reflexo, a criação de sistemas com ajustes dinâmicos de iluminação, a integração de elementos bioluminescentes para iluminação adicional, o design de um sistema modular para personalização, a utilização de aprendizagem automática para otimizar definições, a incorporação de imagem multiespectral, a melhoria das interfaces de utilizador para controlos manuais e automatizados. O objetivo desta abordagem abrangente é desenvolver soluções práticas de imagiologia em baixa luminosidade que respondam às necessidades humanas. 5.b Organize as suas ideias em categorias que incluam as funcionalidades, o contexto, as restrições, etc., e selecione os conceitos de design que melhor se adequam à sua solução. Características: • Absorção de luz melhorada. • Reflexão minimizada. • Alta sensibilidade em pouca luz. • Tecnologia adaptativa. • Design modular. Contexto • Adequado para fotografia noturna, observação de vida selvagem, exploração subaquática e outros cenários onde condições de pouca luz apresentam desafios. • Os utilizadores-alvo incluem fotógrafos, investigadores e equipas de resgate que necessitam de capacidades fiáveis de imagem em ambientes escuros ou mal iluminados. Restrições

Passo 6 – Avaliar

- **Limitações ambientais:** O projeto deve funcionar eficazmente em condições diversas, incluindo ambientes subaquáticos, várias profundidades e níveis de luz variáveis.
- **Viabilidade técnica:** Garantir que as tecnologias inovadoras possam ser integradas num design compacto e leve que permaneça prático para os utilizadores.
- **Considerações de custo:** Equilibrar a incorporação de funcionalidades avançadas com a acessibilidade económica para tornar a tecnologia acessível a uma gama mais ampla de utilizadores.
- **Eficiência energética:** Otimize o consumo de energia para garantir que o sistema possa funcionar por longos períodos, especialmente em ambientes remotos onde as fontes de energia são limitadas.

6.a Avaliar o(s) conceito(s) de design relativamente ao seu alinhamento com os critérios e restrições do desafio de design, bem como a sua compatibilidade com os sistemas da Terra. Avalie a viabilidade tanto do modelo técnico como do modelo de negócio.

Os conceitos de design propostos, inspirados na tecnologia olho de traça, alinham-se bem com os critérios de aumento da sensibilidade e clareza em sistemas de imagem em pouca luz. Características como revestimentos microestruturados para absorção de luz e superfícies antirrefletidas para redução do encandeamento são tecnicamente viáveis, apoiadas por avanços na ciência dos materiais e tecnologias de sensores existentes. Além disso, a tecnologia adaptativa para ajustes automáticos e o design modular para personalização aumentam a usabilidade, ao mesmo tempo que respondem à diversidade do mercado. Estes conceitos priorizam a sustentabilidade e a eficiência energética, tornando-os compatíveis com os objetivos ambientais. A crescente procura por soluções avançadas de imagem em fotografia, observação de vida selvagem e operações de resgate sugere um modelo de negócio promissor, desde que a gestão de custos e a eficiência da produção sejam eficazmente abordadas. No geral, os conceitos são viáveis e apresentam um forte potencial de sucesso no mercado.

6.b Revê e revisita os passos anteriores conforme necessário para gerar uma solução viável.

Para criar um sistema viável de imagem em pouca luz inspirado na tecnologia dos olhos de traça, é crucial refinar os passos anteriores com base nos insights da avaliação. Primeiro, investigar avanços em revestimentos microestruturados para uma absorção eficaz de luz e explorar tecnologias antirreflexas para garantir clareza. Identifique tecnologias de sensores ótimas que equilibrem sensibilidade, tamanho e eficiência energética, simplificando a integração de funcionalidades adaptativas para facilitar a utilização. Por fim, itere sobre o design criando protótipos e testando-os com os utilizadores para refinar a funcionalidade, garantindo que o produto final satisfaz as necessidades dos utilizadores e as exigências do mercado para o sucesso.

Recursos adicionais:

<https://techcrunch.com/2016/12/20/moth-eyes-inspired-the-design-of-this-hypersensitive-camera/>



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Módulos de Formação WP3 sobre Design de Processos de Biomimética

Tarefa 3.1/ A1. Desenvolvimento de Kit de Autoaprendizagem para alunos de

Veteranos - LP: ATS / CPs: TODOS AS SOLUÇÕES LET'S MIMIC

Uma solução refere-se aos passos aplicados para resolver o desafio identificado, através da biomimética.

Solução: Material inspirado no urso polar

PROJETO DE BIOMIMETISMO	Descrição
Passo 2 – Bibliologizar	2.a Pergunta-te como é que a natureza pode resolver isto. Como pode a estrutura oca e que retém calor do pelo do urso polar inspirar o desenvolvimento de um isolamento leve e altamente eficiente para ambientes extremamente frios? 2.b Pergunte a si próprio o que o seu design pretende fazer. Determine as funções-chave do seu projeto e identifique contextos na natureza. Funções podem referir-se ao papel desempenhado pelas adaptações ou comportamentos de um organismo que lhe permitem sobreviver. Também podem referir-se a algo que a sua solução de design precisa de cumprir. Funções-chave do design • Retenção de calor: O design deve reter o calor de forma eficaz para manter o calor em condições frias. • Estrutura leve: O isolamento deve ser de baixo peso para facilitar a mobilidade e facilidade de uso. • Durabilidade e adaptabilidade: O material deve resistir a ambientes adversos, mantendo as suas propriedades isolantes ao longo do tempo. 2.c Inverta a questão. Considere funções opostas. Como é que o isolamento que retém demasiado calor pode causar desconforto e sobreaquecimento em ambientes moderadamente frios? A estrutura oca da pele do urso polar retém o ar, criando uma camada isolante que minimiza a perda de calor em frios extremos. Isto permite que os ursos polares retenham o calor de forma eficiente sem precisarem de pelo espesso e pesado. No entanto, o isolamento sem este tipo de estrutura de retenção de ar pode falhar em reter o calor de forma eficaz, deixando o utilizador vulnerável ao frio. Por exemplo, isolamento feito de materiais sólidos e densos pode não ter bolsas de ar suficientes, aumentando o volume sem fornecer calor adequado. Neste sentido, para maximizar a eficiência térmica em ambientes frios, o design do isolamento deve incorporar características ocas que aprisionam o ar, inspiradas na pele do urso polar.
Passo 3 – Descobrir	3.a Procure modelos naturais que correspondam às mesmas funções e contexto da sua solução de design.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



	Modelos naturais • Pêlo de urso polar: Conhecido pelos seus pelos ocos e translúcidos, o pelo de urso polar é um excelente modelo para reter calor e reduzir a perda de calor. • Pelo da raposa-do-Ártico: Espesso e em camadas para proporcionar isolamento em temperaturas abaixo de zero, o pelo da raposa-do-ártico demonstra a função do isolamento multicamada. • Penas de penugem de aves: A estrutura das penas de penugem, que retém o ar perto do corpo, serve como outro modelo para isolamento térmico leve e eficiente. 3.b Identificar especialistas e conectar-se com comunidades de biólogos e naturalistas. Para aprofundar as ligações com especialistas e comunidades relevantes para o isolamento inspirado nos ursos polares, devemos considerar uma vasta gama de profissionais e organizações em áreas como zoologia, bioengenharia, ciências ambientais e design sustentável.
Passo 4 – Resumo	4.a Resumir os elementos-chave da estratégia biológica. Destacar as funções principais e palavras-chave. Se possível, faça um diagrama/desenho e/ou encontre imagens que possam informar o design. O pelo do urso polar evoluiu para proporcionar isolamento excepcional e adaptabilidade em condições extremas do Ártico. As funções centrais desta estratégia biológica giram em torno da retenção de calor, da estrutura leve e da durabilidade. Aqui estão os principais elementos: • Estrutura do pelo oco: Cada cabelo é oco, prendendo o ar no seu interior e criando uma barreira térmica que minimiza a perda de calor. • Pelo translúcido com propriedades refletoras: O pelo translúcido permite que a luz solar penetre até à pele negra do urso, que absorve o calor de forma eficiente, criando uma fonte secundária de calor. • Camadas de pelo denso para proteção: O pelo tem duas camadas — um subpelo denso e uma camada exterior mais longa. Esta camada proporciona isolamento adicional e protege o urso do frio extremo e do vento. • Resistência à água: O pelo repele a água, ajudando a manter o urso seco e a preservar o calor corporal mesmo após nadar em águas geladas. Palavras-chave Estrutura de pelo oco, pelo translúcido, isolamento em camadas, resistência à água.



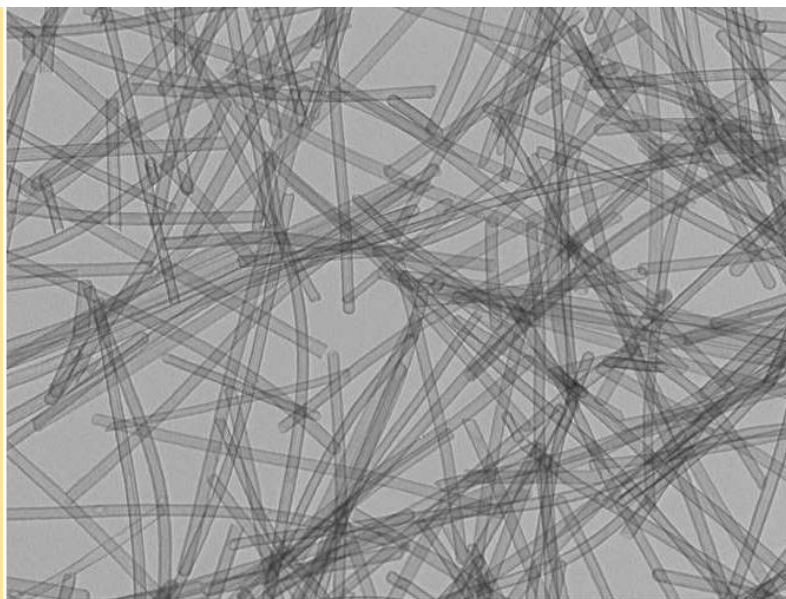


Figura 1. Microscopia eletrónica do aerogel oco do tubo de carbono bioinspirado.

Fonte: <https://phys.org/news/2019-06-polar-bear-inspired-material-insulation.html>

4.b Traduzir lições da natureza em estratégias de design. Reescreva a estratégia sem usar termos biológicos e ligue-a às funções e ao contexto a partir de uma perspetiva humana.

Para traduzir lições da natureza em estratégias de design eficazes, foque-se em maximizar a eficiência térmica, desenvolvendo materiais que retenham o calor e reduzam o consumo de energia, garantindo espaços habitacionais confortáveis. Otimize a reflexão da luz com superfícies que minimizam a absorção de calor, aumentando a eficiência energética e reduzindo a necessidade de arrefecimento. Incorpore texturas multifuncionais que proporcionem benefícios como melhor isolamento e apelo estético, e materiais de design com propriedades adaptativas que alteram as características consoante as condições ambientais para manter o conforto em diferentes climas. A implementação destas estratégias em edifícios residenciais, comerciais e públicos pode melhorar significativamente a eficiência energética e a qualidade de vida geral dos ocupantes.

Passo 5 – Emular

5.a List your key information and explore as many ideas as possible.

To create effective natural-inspired design strategies, key concepts such as maximising thermal efficiency through innovative materials that trap heat and reduce energy consumption, as well as optimising light reflection with surfaces that minimise heat absorption, must be prioritised. Furthermore, experimenting with multipurpose textures can improve both functionality and appearance, and materials with adaptive qualities enable real-time adaptation to changing environmental conditions, guaranteeing comfort in a range of climates. Researching new composite materials, developing modular insulation panels, and designing building facades with reflective coatings are some ideas for future research. These tactics will be strengthened by incorporating smart technology, making use of recycled and sustainable materials, and placing a strong emphasis on user-centred design.



5.b Organise your ideas into categories that include the features, the context, the constraints, etc. and select the design concepts that best fit your solution.

Features

- Thermal efficiency.
- Light reflection.
- Multi-functional textures.
- Adaptive properties.

Context

- Implementation in residential, commercial, and public buildings for enhanced energy efficiency and comfort.
- Use of materials in furniture and wall coverings to enhance user comfort and aesthetics.
- Focus on environmentally friendly materials and processes in construction and design.

Constraints:

- **Material availability:** Limitations regarding the sourcing of innovative materials and their costs.
- **Regulatory standards:** Compliance with building codes and energy efficiency regulations.
- **User preferences:** Consideration of varying comfort needs and aesthetic choices among different user groups.
- **Climate variability:** Adaptability to different environmental conditions and regions.

Step 6 – Evaluate

6.a Evaluate the design concept(s) concerning their alignment with the design challenge's criteria and constraints, as well as their compatibility with Earth's systems. Assess the feasibility of both the technical and business models.

The most effective way to evaluate whether the proposed design concepts meet the design challenges and constraints is to assess them against the following parameters: thermal efficiency, light reflection, adaptability to environmental changes, and aesthetic appeal. The designs should enhance energy efficiency and user comfort while promoting sustainability and minimising environmental impact. All materials utilised must be non-toxic, environmentally friendly, and sustainable, meeting performance standards for various applications, including residential and commercial settings.

In terms of compatibility with Earth's systems, using traditional materials may raise concerns regarding pollution and waste. Ideally, the design concepts should incorporate renewable or recyclable materials to reduce their ecological footprint and support sustainable resource management.



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Regarding the feasibility of the technical and business model, the success of the modular insulation panels and reflective building facades depends on their performance and material innovation. There is a growing market demand for energy-efficient building solutions, but consumers increasingly prioritise sustainability. Consequently, a successful business model must highlight eco-friendly practices while balancing performance and cost-effectiveness across the various concepts.

6.b Revise and revisit previous steps as necessary to generate a viable solution.

After identifying modular insulation panels and reflective building facades as our design concepts, we focused on their potential to enhance thermal efficiency and energy conservation. Key strategies revolved around using advanced, eco-friendly materials and innovative coatings to improve performance and durability. By integrating smart adaptive materials with cost-effective sensors for real-time environmental monitoring and developing multi-functional wall coverings from sustainable textiles, we successfully translated these insights into a cohesive design approach that prioritises usability, comfort, and sustainability while meeting modern energy efficiency standards.

Additional resources:

<https://phys.org/news/2019-06-polar-bear-inspired-material-insulation.html>

<https://projectscot.com/2020/07/engineer-creates-insulation-inspired-by-polar-bear-fur/>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213138822002570>



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



WP3 Training Modules on Biomimicry Process Design

Task 3.1/ A1. Developing Self-learning Kit for VET students - LP: ATS / CPs: ALL

LET'S MIMIC SOLUTIONS

A solution refers to the steps applied to solve the challenge identified, through biomimicry.

Solution: The Beetles That Drink Water From Air

BIOMIMICRY DESIGN	Description
Step 2 – Biologise	2.a Ask yourself how nature can solve this. How do beetles in arid environments extract water from the air to survive in extreme conditions? 2.b Ask yourself what your design wants to do. Key functions of the design: • Water collection: Efficiently capture moisture from fog or humid air. • Water transportation: Channel collected water for storage or use. • Energy efficiency: Use passive methods to harvest water without relying on external energy sources. Biological contexts • Moisture collection: Hydrophilic bumps condense water vapour into droplets. • Water transportation: Hydrophobic grooves direct water toward a central collection point. • Energy efficiency: Passive condensation driven by natural airflow and humidity. 2.c Flip the question. Consider opposite functions. How do organisms in nature passively capture, transport, and store water in arid environments?
Step 3 – Discover	3.a Search for natural models that match the same functions and context as your design solution. Function Passive water harvesting in arid conditions Natural models • Namib desert beetle: Uses a combination of hydrophilic bumps and hydrophobic grooves to collect water. • Cacti: Use ridges and spines to capture and channel dew and fog to their roots.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



- **Lichen and moss:** Absorb moisture directly from the air using capillary action.

3.b Identify experts & connect to communities of biologists and naturalists.

Experts

- **Universities and research institutions:**
 - MIT's Fog Harvesting Lab: Focuses on water collection technologies inspired by natural processes.
 - University of Oxford's Zoology Department: Studies biomimetic adaptations of desert organisms.
- **Professional communities**
 - Biomimicry Institute: Connects innovators and researchers studying natural water-harvesting solutions.
 - International Water Association: Offers research on sustainable water management practices.

Connect to communities

- **Online forums and groups**
 - ResearchGate: Engage with material scientists and biomimicry experts studying water-harvesting surfaces.
 - LinkedIn Groups: Join discussions on sustainable technologies and biomimetic design.
- **Local organisations and events**
 - **Water management conferences:** Learn about advancements in fog collection and water efficiency.
 - **Biomimicry workshops:** Network with professionals working on bioinspired water solutions.

Step 4 – Abstract

4.a Summarise the key elements of the biological strategy. Highlighting the core functions and keywords. If possible, make a diagram/ drawing and/ or find images that can inform the design.

Core functions and keywords

1. Water collection

- **Keywords:** Condensation, moisture capture, fog harvesting.
- **Natural model:** Namib desert beetle.
- **Function:** Attract and condense water vapour into droplets.

2. Water transportation

- **Keywords:** Channelling, directional flow, hydrophobic Grooves
- **Natural model:** Beetle shell grooves, cactus ridges
- **Function:** Funnel collected water to a central storage or usage point.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



	3. Energy efficiency • Keywords: Passive Process, Sustainability, No External Energy • Natural model: Passive Water Collection by Beetles • Function: Harvest water without relying on energy-intensive methods. 4.b Translate lessons from nature into design strategies. Rewrite the strategy without using biological terms and connect it to the functions and the context from a human perspective. Water collection • Design strategy: Use materials with a combination of water-attracting and water-repelling properties to condense and collect water from air. Water transportation • Design strategy: Incorporate grooves or channels to efficiently guide collected water to a storage area. Energy efficiency • Design Strategy: Design systems that passively harvest water using environmental conditions like wind and humidity.
Step 5 – Emulate	“Emulation is an exploratory process that strives to capture a “recipe” or “blueprint” in nature’s example that can be modelled in our own designs.” https://toolbox.biomimicry.org/methods/emulate/ 5.a List your key information and explore as many ideas as possible. 1. Water collection • Develop fog nets with hydrophilic and hydrophobic materials for improved water capture. • Create building facades that mimic beetle shells to collect water in urban environments. 2. Water transportation • Integrate channels into surfaces to direct collected water to reservoirs. • Design self-cleaning grooves to maintain efficiency over time. 3. Energy efficiency • Use passive cooling techniques to enhance condensation in hot, arid climates. • Design systems that work without relying on electricity, ideal for remote locations. 5.b Organise your ideas into categories that include the features, the context, the constraints, etc. and select the design concepts that best fit your solution. 1. Features • Water collection





- Superhydrophilic bumps to condense water.
- Hydrophobic channels for efficient water droplet formation.
- **Water transportation**
 - Grooves that guide water toward reservoirs.
 - Self-cleaning coatings to maintain functionality.
- **Energy efficiency**
 - Passive condensation processes.
 - Integration of natural airflow to enhance water capture.

2. Context

- **Target users**
 - Communities in arid regions need sustainable water solutions.
 - Industries looking for eco-friendly water harvesting systems.
- **Applications**
 - Water collection systems for homes and buildings.
 - Portable fog-catching devices for agriculture or personal use.

3. Constraints

- **Technical limitations**
 - Balancing durability and efficiency in water-harvesting materials.
 - Adapting designs for varying humidity levels.
- **Cost considerations**
 - Ensuring affordability for low-income communities.
 - Scaling up production without environmental harm.
- **Environmental impact**
 - Using sustainable and biodegradable materials.
 - Minimising ecological disruption during deployment.

Step 6 – Evaluate

6.a Evaluate the design concept(s) in relation to their alignment with the design challenge's criteria and constraints, as well as their compatibility with Earth's systems. Assess the feasibility of both the technical and business models.

The water-harvesting solution inspired by beetles aligns well with the design challenge by addressing sustainability, passive functionality, and efficiency. Key technical challenges include ensuring durability and adapting designs to varying environmental conditions. The business model can leverage partnerships with NGOs and governments focused on water access in arid regions.

6.b Revise and revisit previous steps as necessary to generate a viable solution.

Refinements include



- Testing different material combinations to optimise water collection and transportation.
- Developing modular designs for easy installation and scalability.
- Incorporating feedback from target communities to ensure usability and relevance.

By refining these aspects, the beetle-inspired water-harvesting system can provide a sustainable and accessible solution for water-scarce environments, improving lives and conserving resources globally.

Additional resources:

<https://biomimicry.org/>



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



WP3 Training Modules on Biomimicry Process Design

Task 3.1/ A1. Developing Self-learning Kit for VET students - LP: ATS / CPs: ALL

LET'S MIMIC SOLUTIONS

A solution refers to the steps applied to solve the challenge identified, through biomimicry.

Solution: name of the solution

BIOMIMICRY DESIGN	Description
Step 2 – Biologise	2.a Ask yourself how nature can solve this. How do bones repair themselves when damaged with minimal external intervention? 2.b Ask yourself what your design wants to do. Key Functions of the design • Self-healing: Detect and repair cracks in concrete structures without requiring human intervention. • Structural integrity: Restore strength and prevent further damage or collapse. • Sustainability: Reduce the need for frequent maintenance and material replacement. Biological contexts • Damage detection: Mimic the chemical signalling used by bone cells to identify cracks. • Scaffold formation: Use embedded agents that form a structure to support repairs. • Mineral deposition: Incorporate materials that replicate bone's mineralisation process. 2.c Flip the question. Consider opposite functions. How do organisms in nature self-repair while maintaining their functionality and efficiency?
Step 3 – Discover	3.a Search for natural models that match the same functions and context as your design solution. Function Passive self-repair to restore structural integrity. Natural models • Bones: Repair fractures using a three-step process of signalling, scaffold formation, and mineral deposition.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



- **Tree bark:** Heals itself by sealing wounds with new layers, preventing further damage.
- **Seashells:** Rebuild damaged areas by layering calcium carbonate.

3.b Identify experts & connect to communities of biologists and naturalists.

Experts

- **Universities and research institutions**
 - Harvard Wyss Institute: Researches biomimetic materials inspired by natural processes.
 - Delft University of Technology: Specialises in self-healing concrete and sustainable construction materials.
- **Professional communities**
 - American Concrete Institute (ACI): Discusses advances in concrete technology.
 - Biomimicry Institute: Connects experts working on self-healing materials inspired by nature.

Connect to communities

- **Online forums and groups**
 - **ResearchGate:** Engage with materials scientists and biomimicry researchers.
 - **LinkedIn groups:** Join discussions on innovative materials and sustainability.
- **Local organisations and events**
 - **Construction technology conferences:** Explore the latest developments in concrete solutions.
 - **Biomimicry workshops:** Network with experts in bioinspired design.

Step 4 – Abstract

4.a Summarise the key elements of the biological strategy. Highlighting the core functions and keywords. If possible, make a diagram/ drawing and/ or find images that can inform the design.

Core functions and keywords:

1. Self-healing

- **Keywords:** Repair, Passive, Detection.
- **Natural model:** Bones.
- **Function:** Automatically detect and repair cracks to restore structural strength.

2. Scaffold formation

- **Keywords:** Support, framework, reinforcement.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



	• Natural model: Fibrous framework in bones. • Function: Create a temporary structure for repairing the damage. 3. Mineral deposition • Keywords: Strength, durability, restoration. • Natural Model: Calcium and phosphate deposition in bones. • Function: Fill cracks with durable material to restore functionality. 4.b Translate lessons from nature into design strategies. Rewrite the strategy without using biological terms and connect it to the functions and the context from a human perspective. Self-healing • Design strategy: Embed materials in concrete that can detect damage and initiate the repair process automatically. Scaffold formation • Design strategy: Include agents that create a temporary structure within cracks, allowing the repair material to solidify. Mineral deposition • Design strategy: Utilise minerals or bacteria that deposit durable compounds to effectively fill and seal cracks.
Step 5 – Emulate	“Emulation is an exploratory process that strives to capture a “recipe” or “blueprint” in nature’s example that can be modelled in our own designs.” https://toolbox.biomimicry.org/methods/emulate/ 5.a List your key information and explore as many ideas as possible. 1. Self-healing mechanism • Embed capsules filled with repair agents (e.g., healing bacteria or chemicals) in the concrete mix. • Use smart sensors to detect damage and trigger the release of repair agents. 2. Scaffold formation • Incorporate biodegradable polymers that expand to form a framework inside cracks. • Use chemical agents that solidify when exposed to moisture. 3. Mineral deposition • Utilise calcium carbonate-producing bacteria to fill cracks. • Include chemical compounds that mimic the mineralization process of bones.





5.b Organise your ideas into categories that include the features, the context, the constraints, etc. and select the design concepts that best fit your solution.

1. Features

- **Self-healing mechanism**
 - Repair capsules or embedded bacteria that activate upon cracking.
- **Scaffold formation**
 - Fibrous agents that create a temporary structure.
- **Mineral deposition**
 - Use of durable mineral compounds like calcium carbonate.

2. Context

- **Target users**
 - Construction companies seeking durable, low-maintenance materials.
 - Municipalities aiming to extend the lifespan of public infrastructure.
- **Applications**
 - Bridges, roads, and buildings are prone to wear and tear.
 - Remote or hazardous areas where repairs are challenging.

3. Constraints

- **Technical limitations:**
 - Ensuring the uniform distribution of repair agents in concrete.
 - Achieving long-term durability and reusability of the self-healing mechanism.
- **Cost considerations**
 - Balancing affordability with advanced functionality.
- **Environmental impact**
 - Using sustainable and biodegradable materials.

Step 6 – Evaluate

6.a Evaluate the design concept(s) in relation to their alignment with the design challenge's criteria and constraints, as well as their compatibility with Earth's systems. Assess the feasibility of both the technical and business models.

The self-healing concrete inspired by bones aligns well with the challenge by addressing sustainability, durability, and reduced maintenance. The main technical challenge lies in ensuring long-term functionality and cost-effectiveness. The business model could focus on partnerships with construction companies and governments, emphasizing the cost savings and environmental benefits of self-healing materials.



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



6.b Revise and revisit previous steps as necessary to generate a viable solution.

Refinements include

- Testing and optimising the distribution of self-healing agents to maximise effectiveness.
- Exploring eco-friendly and cost-effective materials for capsules and scaffolds.
- Prototyping and field testing in diverse environments to ensure reliability.

By refining these aspects, the self-healing concrete solution can revolutionize construction, providing sustainable, durable, and cost-effective materials for modern infrastructure.

Additional resources:

<https://biomimicry.org/>



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



WP3 Training Modules on Biomimicry Process Design

Task 3.1/ A1. Developing Self-learning Kit for VET students - LP: ATS / CPs: ALL

LET'S MIMIC SOLUTIONS

A solution refers to the steps applied to solve the challenge identified, through biomimicry.

Solution: name of the solution

BIOMIMICRY DESIGN	Description
Step 2 – Biologise	2.a Ask yourself how nature can solve this. How do mussels attach securely to surfaces in dynamic and wet environments, maintaining functionality despite external stresses? 2.b Ask yourself what your design wants to do. Key Functions of the Design: • Strong Adhesion: Create filters with enhanced adhesive properties to attach securely to surfaces in wet or harsh environments. • Durability: Ensure filters maintain their functionality over long periods and under varying environmental conditions. • Sustainability: Use eco-friendly materials and processes to minimize environmental impact. Biological contexts: • Adhesion mechanism: Mimic the protein-based glue that mussels use to stick to wet, slippery surfaces. • Resilience: Replicate mussels' ability to withstand waves, currents, and temperature fluctuations. • Selective permeability: Leverage the controlled permeability seen in mussel byssal threads for efficient filtration. 2.c Flip the question. Consider opposite functions. How do organisms in nature adhere to and maintain stability on wet and dynamic surfaces while performing essential functions?
Step 3 – Discover	3.a Search for natural models that match the same functions and context as your design solution. Function Strong adhesion and durability in wet environments. Natural models • Mussels: Use protein-based adhesives that form robust bonds in wet, saline environments.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



- **Barnacles:** Create calcified glue-like substances for permanent attachment to surfaces.
- **Lotus Leaves:** While not adhesive, they exhibit water-repellent properties that can inspire anti-clogging features for filters.

3.b Identify experts & connect to communities of biologists and naturalists.

Experts

- **Universities and research institutions**
 - MIT Bioinspired Materials Lab: Focuses on bioadhesives and sustainable material development.
 - University of California, Santa Barbara (UCSB): Known for studies on mussel adhesion and protein biochemistry.
- **Professional communities**
 - American Society of Mechanical Engineers (ASME): Hosts discussions on biomimicry in materials engineering.
 - Adhesion Society: Focuses on the science of adhesives and surface interactions.

Connect to communities

- **Online forums and groups**
 - **ResearchGate:** Engage with biomaterials scientists and environmental engineers.
 - **Biomimicry Institute's AskNature Platform:** Collaborate with biomimicry experts.
- **Local Organisations and Events**
 - **Biomimicry conferences:** Explore innovative applications of bioinspired materials.
 - **Environmental sustainability workshops:** Network with stakeholders interested in eco-friendly solutions.

Step 4 – Abstract

4.a Summarise the key elements of the biological strategy. Highlighting the core functions and keywords. If possible, make a diagram/ drawing and/ or find images that can inform the design.

Core functions and keywords

1. Adhesion

- **Keywords:** Wet, robust, protein-based.
- **Natural Model:** Mussels.
- **Function:** Achieve strong adhesion in wet conditions using bioinspired glues.

2. Durability



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

	• Keywords: Resilience, stability, longevity. • Natural model: Mussel byssal threads. • Function: Maintain structural integrity over time, resisting environmental stressors. 3. Selective permeability • Keywords: Filtration, controlled, efficient. • Natural model: Mussels' filter-feeding mechanism. • Function: Filter particles selectively while ensuring water flow. 4.b Translate lessons from nature into design strategies. Rewrite the strategy without using biological terms and connect it to the functions and the context from a human perspective. Adhesion • Design strategy: Use mussel-inspired protein glues that bond effectively in wet environments. Durability: • Design strategy: Incorporate flexible, resilient materials that withstand dynamic forces and environmental fluctuations. Selective permeability • Design strategy: Design filters with pore structures that mimic natural filtration mechanisms.
Step 5 – Emulate	“Emulation is an exploratory process that strives to capture a “recipe” or “blueprint” in nature’s example that can be modelled in our own designs.” https://toolbox.biomimicry.org/methods/emulate/ 5.a List your key information and explore as many ideas as possible. 1. Adhesion mechanism • Develop bioadhesive coatings for filters to ensure secure attachment in dynamic or wet conditions. • Use dopamine-mimicking polymers to create strong, water-resistant bonds. 2. Durable materials • Create filters using hybrid materials that combine toughness with elasticity. • Design coatings resistant to corrosion, temperature fluctuations, and biological fouling. 3. Selective filtration • Employ nanostructured membranes inspired by mussel filtration for enhanced performance.



	• Include self-cleaning mechanisms to reduce maintenance requirements. 5.b Organise your ideas into categories that include the features, the context, the constraints, etc. and select the design concepts that best fit your solution. 1. Features • Adhesion ○ Mussel-inspired bioadhesive coatings. ○ Water-activated bonding agents. • Durability: Resilient materials resistant to environmental stress. ○ Resilient materials resistant to environmental stress. ○ Hybrid designs for flexibility and strength. • Filtration Efficiency: Selective permeability for specific particle sizes. ○ Selective permeability for specific particle sizes. ○ Self-cleaning or anti-clogging features. 2. Context • Target users ○ Industrial facilities need robust filtration systems for wastewater. ○ Municipal water treatment plants in humid or aquatic environments. • Applications ○ Water purification in urban and industrial settings. ○ Aquaculture systems requiring debris filtration. 3. Constraints • Technical limitations ○ Developing cost-effective bioadhesives at scale. ○ Ensuring long-term durability of bioinspired materials. • Cost considerations ○ Balancing material affordability with advanced functionality. ○ Reducing costs for large-scale filtration applications. • Environmental impact ○ Using biodegradable or recyclable materials. ○ Minimising ecological disruption during production or disposal.
Step 6 – Evaluate	6.a Evaluate the design concept(s) in relation to their alignment with the design challenge's criteria and constraints, as well as their compatibility with





Earth's systems. Assess the feasibility of both the technical and business models.

The mussel-inspired adhesive filters align well with the challenge by combining strong adhesion, durability, and efficient filtration. The concept is environmentally friendly and innovative, but requires further optimisation to balance performance with cost and scalability.

6.b Revise and revisit previous steps as necessary to generate a viable solution.

Refinements Include

- **Enhance adhesion:** Refine the adhesive formula to ensure strong and reversible bonding.
- **Optimise durability:** Test hybrid materials for flexibility and resilience in diverse conditions.
- **Improve efficiency:** Incorporate nanostructures and self-cleaning properties to boost filtration performance.

By refining these aspects, mussel-inspired adhesive filters can become a revolutionary solution for water treatment and industrial filtration, combining natural efficiency with sustainable innovation.

Additional resources:

<https://biomimicry.org/>



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



WP3 Training Modules on Biomimicry Process Design

Task 3.1/ A1. Developing Self-learning Kit for VET students - LP: ATS / CPs: ALL

LET'S MIMIC SOLUTIONS

A solution refers to the steps applied to solve the challenge identified, through biomimicry.

Solution: name of the solution

BIOMIMICRY DESIGN	Description
Step 2 – Biologise	2.a Ask yourself how nature can solve this. How does nacre (mother of pearl) in abalone shells create a strong yet lightweight and flexible material? 2.b Ask yourself what your design wants to do. Key Functions of the design: • Strength and durability: Develop materials that can withstand high stress without breaking. • Lightweight structure: Create materials that are strong yet not overly dense. • Flexibility: Introduce a degree of malleability to prevent catastrophic failure. Biological contexts • Layered construction: Mimic the alternating hard-soft layers of nacre. • Stress dissipation: Emulate the energy-absorbing properties of nacre's organic matrix. • Adaptability: Use hierarchical design to achieve multifunctional material properties. 2.c Flip the question. Consider opposite functions. How do organisms in nature create lightweight, strong, and flexible structures that withstand high stress?
Step 3 – Discover	3.a Search for natural models that match the same functions and context as your design solution. Function Durable and lightweight material construction. Natural models • Nacre in abalone shells: Layered construction of calcium carbonate and organic polymers for strength and flexibility. • Spider silk: Strong, lightweight, and flexible fibres that absorb stress effectively.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



- **Human bones:** Hierarchical structure combining hard mineral layers and soft collagen for strength and resilience.

3.b Identify experts & connect to communities of biologists and naturalists.

Experts

- **Universities and research institutions:**
 - Harvard Wyss Institute: Research on biomimetic materials.
 - MIT Material Science Lab: Studies on advanced composites inspired by natural materials.
- **Professional communities**
 - Materials Research Society (MRS): Focused on advancements in material science.
 - Biomimicry Institute: Promotes nature-inspired solutions.

Connect to communities

- **Online forums and groups**
 - ResearchGate: Engage with researchers studying advanced composite materials.
 - LinkedIn Groups: Network with professionals in sustainable materials.
- **Local organisations and events**
 - **Materials science conferences:** Attend presentations on bioinspired materials.
 - **Workshops by biomimicry organisations:** Learn from nature-inspired material innovators.

Step 4 – Abstract

4.a Summarise the key elements of the biological strategy. Highlighting the core functions and keywords. If possible, make a diagram/ drawing and/ or find images that can inform the design.

Core functions and keywords:

1. Strength and durability

- **Keywords:** Toughness, Resilience, Stress Resistance
- **Natural model:** Nacre
- **Function:** Prevent crack propagation and ensure durability under stress.

2. Lightweight structure

- **Keywords:** Efficiency, low density, structural optimisation.
- **Natural model:** Nacre, spider silk.
- **Function:** Combine strength and lightness for versatile applications.

3. Flexibility



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



	• Keywords: Adaptability, malleability, crack prevention. • Natural Model: Nacre, bones. • Function: Dissipate stress through layered, flexible structures. 4.b Translate lessons from nature into design strategies. Rewrite the strategy without using biological terms and connect it to the functions and the context from a human perspective. Strength and durability • Design strategy: Develop materials with alternating hard and soft layers to absorb stress and prevent cracks from spreading. Lightweight structure • Design strategy: Use low-density materials arranged in optimised patterns for strength without added weight. Flexibility • Design strategy: Incorporate flexible components or microstructures to enhance material adaptability and resistance to catastrophic failure.
Step 5 – Emulate	“Emulation is an exploratory process that strives to capture a “recipe” or “blueprint” in nature’s example that can be modelled in our own designs.” https://toolbox.biomimicry.org/methods/emulate/ 5.a List your key information and explore as many ideas as possible. 1. Strength and durability • Composite materials with hard-soft layering inspired by nacre. • Self-healing properties to repair minor cracks automatically. 2. Lightweight structure • Use 3D printing to replicate nacre’s hierarchical structure. • Incorporate hollow or honeycomb patterns for added lightness. 3. Flexibility • Design flexible interfaces between layers to dissipate stress. • Use bioinspired polymers to introduce malleability. 5.b Organise your ideas into categories that include the features, the context, the constraints, etc. and select the design concepts that best fit your solution. 1. Features • Strength and durability ○ Layered composite materials. ○ Crack-resistant structures with energy dissipation. • Lightweight structure



	○ 3D-printed, low-density materials. ○ Optimised structural patterns, such as honeycombs. ● Flexibility ○ Flexible, bioinspired polymers. ○ Adaptive interfaces between layers. 2. Context ● Target users ○ Aerospace engineers seek strong, lightweight materials. ○ Construction companies need durable composites. ● Applications ○ Protective coatings for vehicles and machinery. ○ Building materials in high-stress environments. 3. Constraints ● Technical limitations ○ Achieving consistent layering and bonding at scale. ○ Balancing flexibility with long-term durability. ● Cost considerations ○ Developing affordable, scalable manufacturing techniques. ● Environmental impact ○ Using eco-friendly and recyclable materials.
Step 6 – Evaluate	6.a Evaluate the design concept(s) in relation to their alignment with the design challenge's criteria and constraints, as well as their compatibility with Earth's systems. Assess the feasibility of both the technical and business models. The nacre-inspired material design aligns with the goals of strength, lightness, and flexibility, addressing the needs of industries such as construction and aerospace. Technical challenges include achieving uniform layer deposition and scalability. The business model can target industries prioritizing high-performance, sustainable materials, with potential applications in protective gear, vehicles, and infrastructure. 6.b Revise and revisit previous steps as necessary to generate a viable solution. Refinements include ● Developing advanced manufacturing techniques, such as nanotechnology or additive manufacturing, to replicate nacre's layered structure. ● Testing materials under diverse stress conditions to ensure durability and adaptability.



- Exploring biodegradable or recyclable components to align with environmental goals.

By addressing these refinements, the nacre-inspired material can become a versatile solution, providing strong, lightweight, and flexible alternatives to conventional materials while reducing environmental impact.

Additional resources:

<https://biomimicry.org/>



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



WP3 Training Modules on Biomimicry Process Design

Task 3.1/ A1. Developing Self-learning Kit for VET students - LP: ATS / CPs: ALL

LET'S MIMIC SOLUTIONS

A solution refers to the steps applied to solve the challenge identified, through biomimicry.

Solution: name of the solution

BIOMIMICRY DESIGN	Description
Step 2 – Biologize	2.a Ask yourself how nature can solve this. How does shark skin reduce drag in water, thereby improving speed and efficiency? 2.b Ask yourself what your design wants to do. Key functions of the design • Drag reduction: Enhance fluid dynamics to reduce energy consumption. • Anti-biofouling: Prevent the accumulation of microorganisms and debris on surfaces. • Efficiency: Improve speed or fuel efficiency in fluid environments like water or air. Biological contexts • Streamlining: Mimic the dermal denticles' ability to reduce turbulence. • Fouling resistance: Prevent adherence of biological organisms to surfaces. • Energy savings: Reduce the energy required for motion in fluids. 2.c Flip the question. Consider opposite functions. How do organisms in nature move efficiently through fluid environments while avoiding drag and fouling?
Step 3 – Discover	3.a Search for natural models that match the same functions and context as your design solution. Function Drag reduction and anti-fouling in fluid environments. Natural models • Shark skin: Dermal denticles streamline flow and resist fouling. • Dolphin skin: Smooth and flexible, it reduces turbulence and drag. • Lotus leaf: Hydrophobic surface resists adhesion, reducing fouling.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

3.b Identify experts & connect to communities of biologists and naturalists.

Experts

- **Universities and research institutions**
 - University of California, San Diego (UCSD): Research on bioinspired materials and fluid dynamics.
 - Fraunhofer Institute: Studies biomimetic surfaces for drag reduction.
- **Professional communities**
 - Biomimicry Institute: A hub for nature-inspired solutions and materials research.
 - American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA): Focuses on fluid dynamics and aerospace innovations.

Connect to communities

- **Online forums and groups**
 - ResearchGate: Network with experts in hydrodynamics and biomimetic materials.
 - LinkedIn Groups: Join discussions on marine technology and bioinspired designs.
- **Local organisations and events**
 - **Maritime conferences:** Learn about marine engineering and innovative ship designs.
 - **Workshops on biomimicry:** Explore applications of shark skin-inspired technologies.

Step 4 – Abstract

4.a Summarise the key elements of the biological strategy. Highlighting the core functions and keywords. If possible, make a diagram/ drawing and/ or find images that can inform the design.

Core functions and keywords

1. Drag reduction

- **Keywords:** Streamlining, turbulence control, hydrodynamics.
- **Natural model:** Shark skin (dermal denticles).
- **Function:** Reduce drag by optimising fluid flow.

2. Anti-biofouling

- **Keywords:** Adhesion resistance, cleanliness, longevity.
- **Natural model:** Shark skin, lotus leaf.
- **Function:** Prevent microorganism buildup to maintain efficiency.

3. Energy efficiency



	• Keywords: Optimisation, conservation, sustainability. • Natural model: Shark skin. • Function: Save energy during movement by reducing resistance. 4.b Translate lessons from nature into design strategies. Rewrite the strategy without using biological terms and connect it to the functions and the context from a human perspective. Drag reduction • Design strategy: Develop surfaces with micro-structured patterns that streamline fluid flow, reducing turbulence and resistance. Anti-biofouling • Design strategy: Incorporate non-adhesive textures that resist biological buildup without harmful chemicals. Energy efficiency • Design strategy: Optimise fluid-facing surfaces to reduce energy consumption in vehicles, ships, or machinery operating in water or air.
Step 5 – Emulate	“Emulation is an exploratory process that strives to capture a “recipe” or “blueprint” in nature’s example that can be modelled in our own designs.” https://toolbox.biomimicry.org/methods/emulate/ 5.a List your key information and explore as many ideas as possible. 1. Drag reduction • Develop a coating for ships and submarines with micro-textured surfaces. • Design aircraft surfaces that optimise airflow using similar textures. 2. Anti-biofouling • Create non-toxic coatings for marine vessels to resist organism buildup. • Apply the concept to medical devices to prevent bacterial adhesion. 3. Energy efficiency • Use shark skin-inspired designs for wind turbine blades. • Apply in piping systems to minimise resistance and improve flow efficiency. 5.b Organise your ideas into categories that include the features, the context, the constraints, etc. and select the design concepts that best fit your solution. 1. Features • Drag reduction ○ Micro-patterned coatings for water or air vehicles. ○ Enhanced hydrodynamic designs for sportswear or swimwear.



Step 6 – Evaluate

- **Anti-biofouling**
 - Self-cleaning surfaces for marine vessels and underwater equipment.
 - Bacteria-resistant coatings for medical applications.
- **Energy efficiency**
 - Shark-inspired designs for propellers, turbines, or fans.
 - Flow-optimised designs for fluid transport systems.

2. Context

- **Target users**
 - Shipbuilding and maritime industries.
 - Aerospace and automotive sectors for fuel efficiency.
- **Applications**
 - Marine vessels, aircraft, medical devices, and piping systems.

3. Constraints

- **Technical limitations**
 - Precision manufacturing is required for micro-patterned surfaces.
 - Durability of coatings in extreme conditions.
- **Cost considerations**
 - High initial costs for R&D and manufacturing.
- **Environmental impact**
 - Ensure materials are non-toxic and environmentally sustainable.

6.a Evaluate the design concept(s) in relation to their alignment with the design challenge's criteria and constraints, as well as their compatibility with Earth's systems. Evaluate the feasibility of the technical and business model.

Shark skin-inspired designs effectively address drag reduction, anti-biofouling, and energy efficiency challenges. The technology is highly compatible with industries seeking sustainable solutions, such as shipping and renewable energy. Challenges include scaling up production and ensuring durability under diverse conditions.

6.b Revise and revisit previous steps as necessary to generate a viable solution.

Refinements include

- Experimenting with new materials and manufacturing techniques for scalable, cost-effective micro-structured surfaces.



- Conducting extensive testing in real-world environments, such as ships at sea or aircraft in flight.
- Exploring secondary applications, such as self-cleaning surfaces for solar panels or heat exchangers.

By addressing these refinements, shark skin-inspired technology can offer a transformative solution to improve fluid dynamics, reduce energy consumption, and enhance sustainability across multiple industries.

Additional resources:

<https://biomimicry.org/>



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



WP3 Training Modules on Biomimicry Process Design

Task 3.1/ A1. Developing Self-learning Kit for VET students - LP: ATS / CPs: ALL

LET'S MIMIC SOLUTIONS

A solution refers to the steps applied to solve the challenge identified, through biomimicry.

Solution: name of the solution

BIOMIMICRY DESIGN	Description
Step 2 – Biologise	2.a Ask yourself how nature can solve this. How do spiders create lightweight yet incredibly strong silk fibers for survival? 2.b Ask yourself what your design wants to do. Key Functions of the Design: • Strength: Develop lightweight materials with high tensile strength for structural and industrial use. • Elasticity: Ensure flexibility and durability under stress to prevent breakage. • Material efficiency: Mimic spider silk's resource-efficient production process for sustainability. Biological contexts • Strength and elasticity: Emulate the silk's dual-phase molecular structure. • Energy efficiency: Produce fibres at room temperature using environmentally friendly methods. • Self-assembly: Replicate the self-organising nature of spider silk proteins during spinning. 2.c Flip the question. Consider opposite functions. How do organisms create strong and flexible materials while minimising energy and resource use?
Step 3 – Discover	3.a Search for natural models that match the same functions and context as your design solution. Function Lightweight, strong, and flexible materials. Natural models • Spider silk: Combines strength and elasticity in a lightweight structure. • Silkworm silk: Produced efficiently by caterpillars for protective cocoons.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

- **Tendon and ligaments:** Human connective tissues that balance tensile strength and elasticity.

3.b Identify experts & connect to communities of biologists and naturalists.

Experts

- **Universities and research institutions**
 - University of Cambridge's Department of Materials Science: Focuses on bioinspired materials.
 - Wyss Institute for Biologically Inspired Engineering: Explores nature-inspired fibres.
- **Professional communities**
 - American Materials Research Society (MRS): Offers insights into bio-based fibres.
 - Biomimicry Institute: Promotes research on nature-inspired designs.

Connect to communities

- **Online forums and groups**
 - ResearchGate: Collaborate with experts in biopolymers and sustainable materials.
 - LinkedIn Groups: Discussions on bioinspired materials and industrial applications.
- **Local organisations and events**
 - **Materials science seminars:** Learn about advancements in high-strength fibres.
 - **Biomimicry conferences:** Network with experts in bio-inspired technologies.

Step 4 – Abstract

4.a Summarise the key elements of the biological strategy. Highlighting the core functions and keywords. If possible, make a diagram/ drawing and/ or find images that can inform the design.

Core functions and keywords:

1. Strength

- **Keywords:** Tensile, durable, lightweight.
- **Natural model:** Spider silk.
- **Function:** Achieve exceptional strength-to-weight ratio for structural use.

2. Elasticity

- **Keywords:** Flexibility, resilience, adaptability.
- **Natural model:** Spider silk.
- **Function:** Maintain performance under varying stresses without breaking.



	3. Material efficiency • Keywords: Sustainability, energy efficiency, minimal waste. • Natural model: Spider silk production. • Function: Create fibres using low-energy, resource-efficient processes. 4.b Translate lessons from nature into design strategies. Rewrite the strategy without using biological terms and connect it to the functions and the context from a human perspective. Strength • Design strategy: Develop materials with molecular structures that combine toughness and lightweight properties, similar to spider silk. Elasticity • Design strategy: Integrate flexibility into high-strength materials to improve resilience and adaptability under stress. Material efficiency • Design strategy: Produce fibres using sustainable processes that mimic the low-energy, ambient-condition manufacturing of spider silk.
Step 5 – Emulate	“Emulation is an exploratory process that strives to capture a “recipe” or “blueprint” in nature’s example that can be modelled in our own designs.” https://toolbox.biomimicry.org/methods/emulate/ 5.a List your key information and explore as many ideas as possible. 1. Strength • Use bioinspired polymer fibres for construction, aerospace, and protective gear. • Create lightweight ropes and cables with enhanced load-bearing capacity. 2. Elasticity • Design medical sutures and implants that mimic the flexibility and strength of spider silk. • Develop textiles that stretch without tearing, improving wearability and durability. 3. Material efficiency • Explore synthetic spider silk production using genetically engineered microorganisms. • Develop scalable manufacturing methods for eco-friendly fibre production.





5.b Organise your ideas into categories that include the features, the context, the constraints, etc. and select the design concepts that best fit your solution.

1. Features

- **Strength**
 - High-strength polymer-based ropes, cables, and construction materials.
 - Bulletproof vests and impact-resistant gear.
- **Elasticity**
 - Flexible textiles for sportswear and medical applications.
 - Stretchable materials for robotics and wearable tech.
- **Material efficiency**
 - Scalable microbial silk production.
 - Eco-friendly processes for sustainable manufacturing.

2. Context

- **Target users**
 - Construction and aerospace industries.
 - Medical professionals for sutures and implants.
- **Applications**
 - Protective gear, textiles, and lightweight structural components.

3. Constraints

- **Technical limitations**
 - Challenges in replicating the exact molecular structure of spider silk.
 - Scaling synthetic production to industrial levels.
- **Cost considerations**
 - High initial R&D costs for bioinspired fibre production.
- **Environmental impact**
 - Ensuring that materials and processes are sustainable and biodegradable.

Step 6 – Evaluate

6.a Evaluate the design concept(s) in relation to their alignment with the design challenge's criteria and constraints, as well as their compatibility with Earth's systems. Evaluate the feasibility of the technical and business model.

Spider silk-inspired materials meet key challenges such as balancing strength, elasticity, and sustainability. The design is suitable for diverse industries, including construction, aerospace, and healthcare. Major challenges include scaling production and ensuring cost-effectiveness.



6.b Revise and revisit previous steps as necessary to generate a viable solution.

Refinements include

- Improving synthetic production methods using genetically engineered bacteria or yeast to mimic spider silk proteins.
- Collaborating with material science experts to optimise the strength and flexibility of bioinspired fibres.
- Testing prototypes in varied applications, such as ropes, textiles, and medical sutures, to validate performance and scalability.

By addressing these refinements, spider silk-inspired fibres can revolutionise industries with lightweight, durable, and eco-friendly materials, ensuring sustainability and innovation in high-strength applications.

Additional resources:

<https://biomimicry.org/>



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



WP3 Training Modules on Biomimicry Process Design

Task 3.1/ A1. Developing Self-learning Kit for VET students - LP: ATS / CPs: ALL

LET'S MIMIC SOLUTIONS

A solution refers to the steps applied to solve the challenge identified, through biomimicry.

Solution: name of the solution

BIOMIMICRY DESIGN	Description
Step 2 – Biologise	2.a Ask yourself how nature can solve this. How does the lotus plant maintain clean and water-repellent surfaces despite living in muddy and aquatic environments? 2.b Ask yourself what your design wants to do. Key functions of the design • Self-cleaning: Enable surfaces to repel dirt and water. • Water resistance: Prevent water absorption to protect the material's integrity. • Sustainability: Use eco-friendly methods and materials to replicate the lotus effect. Biological contexts • Micro-texture design: Mimic the microscopic roughness and nanostructures of lotus leaves that repel water. • Hydrophobic coating: Replicate the waxy coating that enhances water repellence. • Self-cleaning mechanism: Utilise the rolling motion of water droplets to carry away dirt and contaminants. 2.c Flip the question. Consider opposite functions. How do organisms in nature maintain clean and water-repellent surfaces in challenging environments?
Step 3 – Discover	3.a Search for natural models that match the same functions and context as your design solution. Function Passive water repellence and self-cleaning in natural environments. Natural models • Lotus leaves: Micro- and nanostructures create superhydrophobic surfaces that repel water and dirt. • Butterfly wings: Hydrophobic scales allow them to stay dry and clean during flight in humid conditions.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



- **Water striders:** Legs coated with nanostructures enable them to repel water and float on its surface.

3.b Identify experts & connect to communities of biologists and naturalists.

Experts

- **Universities and research institutions**
 - **MIT:** Researches superhydrophobic and self-cleaning materials inspired by nature.
 - **Max Planck Institute for Polymer Research:** Focuses on biomimetic surfaces and nanotechnology.
- **Professional communities**
 - **Biomimicry Institute:** Facilitates connections to experts working on nature-inspired designs.
 - **Society of Coatings Technology:** Discusses advancements in hydrophobic coatings.

Connect to communities

- **Online forums and groups**
 - **ResearchGate:** Engage with material scientists and biomimicry researchers.
 - **LinkedIn groups:** Participate in discussions on advanced coatings and sustainability.
- **Local organisations and events**
 - **Materials science conferences:** Network with innovators in nanotechnology and surface design.
 - **Biomimicry workshops:** Collaborate with experts exploring the lotus effect and related applications.

Step 4 – Abstract

4.a Summarise the key elements of the biological strategy. Highlighting the core functions and keywords. If possible, create a diagram or drawing and/or find images that can inform the design.

Core functions and keywords

1. Micro-texture design

- **Keywords:** Nano-structures, hydrophobic, roughness.
- **Natural model:** Lotus leaf.
- **Function:** Use micro- and nanostructures to create superhydrophobic surfaces.

2. Hydrophobic coating

- **Keywords:** Wax layer, water repellence, durability.
- **Natural Model:** Waxy surface of lotus leaves.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



	• Function: Prevent water from adhering by applying a hydrophobic layer. 3. Self-cleaning mechanism • Keywords: Water droplets, dirt removal, rolling action. • Natural Model: Lotus leaf surface. • Function: Use water droplets to pick up and carry away dirt particles. 4.b Translate lessons from nature into design strategies. Rewrite the strategy without using biological terms and connect it to the functions and the context from a human perspective. Micro-texture design • Design strategy: Create surfaces with microscopic and nanoscopic roughness to repel water and dirt. Hydrophobic coating • Design strategy: Develop thin, durable hydrophobic coatings inspired by the lotus leaf. Self-cleaning mechanism • Design strategy: Design surfaces that leverage water droplets to clean themselves.
Step 5 – Emulate	“Emulation is an exploratory process that strives to capture a “recipe” or “blueprint” in nature’s example that can be modelled in our own designs.” https://toolbox.biomimicry.org/methods/emulate/ 5.a List your key information and explore as many ideas as possible. 1. Micro-texture design • Develop materials with micro-scale surface patterns inspired by lotus leaves for industrial and consumer applications. • Create road pavements or outdoor tiles with micro-textures to reduce slipping hazards during rain. 2. Hydrophobic coating • Manufacture hydrophobic coatings for glass surfaces like car windshields, building facades, and solar panels to repel water and dirt. • Apply hydrophobic coatings to industrial equipment used in marine and wet environments to prevent corrosion and rust. 3. Self-cleaning mechanism • Create self-cleaning paint for homes and industrial facilities, reducing maintenance costs and environmental impact.





- Develop self-cleaning food packaging to enhance hygiene and prolong freshness.

5.b Organise your ideas into categories that include the features, the context, the constraints, etc. and select the design concepts that best fit your solution.

1. Features

- **Self-cleaning**
 - Micro-textured surfaces for dirt and water repellence.
 - Hydrophobic coatings that mimic the lotus leaf.
- **Water resistance**
 - Durable materials for outdoor and marine use.
 - UV-resistant coatings to maintain performance over time.
- **Sustainability**
 - Use of biodegradable and eco-friendly materials.
 - Manufacturing methods with minimal environmental impact.

2. Context

- **Target users**
 - Architects and builders seeking self-cleaning windows and surfaces.
 - Outdoor gear manufacturers need durable, water-resistant fabrics.
- **Applications**
 - Construction (windows, facades).
 - Transportation (self-cleaning car windows, anti-corrosion coatings).
 - Renewable energy (dust-resistant solar panels).

3. Constraints

- **Technical challenges**
 - Scaling up manufacturing processes for micro- and nano-textured surfaces.
 - Ensuring long-term durability of hydrophobic coatings.
- **Cost considerations**
 - Reducing costs for bio-inspired materials and manufacturing methods.
- **Environmental impact**
 - Avoiding harmful chemicals in coatings.
 - Ensuring biodegradability and recyclability of materials.



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Step 6 – Evaluate

6.a Evaluate the design concept(s) concerning their alignment with the design challenge's criteria and constraints, as well as their compatibility with Earth's systems. Assess the feasibility of both the technical and business models.

The lotus effect-inspired solution addresses challenges of cleanliness, water repellence, and sustainability effectively. It offers applications in diverse industries, but scalability and durability remain key challenges.

6.b Revise and revisit previous steps as necessary to generate a viable solution.

Refinements include

- **Enhance durability:** Develop UV-resistant and wear-resistant hydrophobic materials for extended use.
- **Optimise scalability:** Improve fabrication techniques for cost-effective production of micro- and nano-textures.
- **Focus on sustainability:** Use biodegradable and non-toxic materials for coatings.

By addressing these refinements, the lotus effect-inspired solution can revolutionise industries by providing innovative, sustainable, and highly functional water-repellent and self-cleaning technologies.

Additional resources:

<https://biomimicry.org/>



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



WP3 Training Modules on Biomimicry Process Design

Task 3.1/ A1. Developing Self-learning Kit for VET students - LP: ATS / CPs: ALL

LET'S MIMIC SOLUTIONS

A solution refers to the steps applied to solve the challenge identified, through biomimicry.

Solution: name of the solution

BIOMIMICRY DESIGN	Description
Step 2 – Biologise	2.a Ask yourself how nature can solve this. How does the electric eel generate and store energy efficiently to produce high-voltage electric discharges? 2.b Ask yourself what your design wants to do. Key functions of the design • Energy storage: Store electrical energy compactly and efficiently. • Energy generation: Generate high-output electrical discharges when needed. • Sustainability: Use eco-friendly materials and processes to reduce environmental impact. Biological contexts • Energy generation: Mimic the electric eel's ability to generate electricity through specialised cells (electrocytes). • Scalable storage: Replicate the stacking of electrocytes to create voltage gradients. • Energy efficiency: Adapt the efficient conversion of chemical to electrical energy seen in eels. 2.c Flip the question. Consider opposite functions. How do organisms in nature generate and store electrical energy while maintaining compactness, efficiency, and functionality?
Step 3 – Discover	3.a Search for natural models that match the same functions and context as your design solution. Function Efficient generation and storage of electrical energy in a compact form. Natural models • Electric eels: Use electrocytes arranged in series to generate significant voltage outputs. • Electric rays: Generate electricity through specialised electric organs for defence and predation.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



- **Mitochondria:** Cellular powerhouses that efficiently convert energy through chemical gradients.

3.b Identify experts & connect to communities of biologists and naturalists.

Experts

- **Universities and research institutions**
 - **California Institute of Technology (Caltech):** Researches bioelectrical systems for energy applications.
 - **University of Michigan:** Specialises in bioinspired energy systems, including electric eel-inspired batteries.
- **Professional communities**
 - **Electrochemical Society (ECS):** Focuses on the development of advanced energy storage solutions.
 - **Biomimicry Institute:** Offers a network of experts working on bioinspired designs.

Connect to communities

- **Online forums and groups**
 - **ResearchGate:** Engage with researchers studying bioelectricity and energy systems.
 - **LinkedIn Groups:** Join discussions on bioinspired energy solutions and sustainability.
- **Local organizations and events**
 - **Energy innovation conferences:** Present opportunities to network with renewable energy experts.
 - **Biomimicry workshops:** Connect with experts working on nature-inspired energy technologies.

Step 4 – Abstract

4.a Summarise the key elements of the biological strategy. Highlighting the core functions and keywords. If possible, create a diagram or drawing and/or find images that can inform the design.

Core functions and keywords

1. Energy generation

- **Keywords:** Electrocytes, discharge, voltage gradient.
- **Natural model:** Electric eel.
- **Function:** Generate high-voltage electric discharges using stacks of specialised cells.

2. Energy storage

- **Keywords:** Compact, efficient, layered.
- **Natural model:** Electrocyte stacks.





	• Function: Store electrical energy using layers of cells to maximise voltage output. 3. Energy conversion • Keywords: Chemical to electrical, gradient, efficiency. • Natural model: Electric organ. • Function: Convert chemical energy into electrical energy with minimal energy loss. 4.b Translate lessons from nature into design strategies. Rewrite the strategy without using biological terms and connect it to the functions and the context from a human perspective. Energy generation • Design strategy: Use stacked energy cells inspired by electrocytes to generate high-voltage outputs. Energy storage • Design strategy: Mimic the layered arrangement of electrocytes to create scalable, compact energy storage. Energy conversion • Design strategy: Utilise biomimetic mechanisms to convert stored energy into electrical output efficiently.
Step 5 – Emulate	“Emulation is an exploratory process that strives to capture a “recipe” or “blueprint” in nature’s example that can be modelled in our own designs.” https://toolbox.biomimicry.org/methods/emulate/ 5.a List your key information and explore as many ideas as possible. 1. Energy generation • Create bio-inspired electrocytes using conductive polymers or nanomaterials. • Develop layers that mimic the eel’s voltage gradient to produce high-energy outputs. 2. Energy storage • Use flexible, lightweight materials to create compact and portable energy storage devices. • Incorporate stacked cells that replicate the eel’s electrocyte arrangement for scalability. 3. Energy conversion • Employ ion gradients and exchange membranes to efficiently convert stored energy into electrical discharge.





	• Use systems inspired by biological energy transfer (e.g., ATP synthesis in mitochondria). 5.b Organise your ideas into categories that include the features, the context, the constraints, etc. and select the design concepts that best fit your solution. 1. Features • Energy generation ○ High-voltage cells inspired by electrocytes. ○ Gradient-based energy conversion systems. • Energy storage ○ Flexible, scalable designs for compact storage. ○ Lightweight materials for portability. • Sustainability ○ Biodegradable and eco-friendly materials. ○ Renewable energy integration for self-charging systems. 2. Context • Target users ○ Consumer electronics manufacturers are looking for sustainable battery solutions. ○ Renewable energy companies need efficient energy storage. • Applications ○ Wearable devices and portable electronics. ○ Grid-scale storage for solar and wind energy. 3. Constraints • Technical challenges ○ Developing materials that replicate electrocyte functionality. ○ Ensuring scalability for larger energy storage applications. • Cost considerations ○ Reducing costs for the mass production of bio-inspired materials. ○ Balancing affordability with advanced functionality. • Environmental impact ○ Minimising resource-intensive manufacturing processes. ○ Ensuring end-of-life recyclability or biodegradability.
Step 6 – Evaluate	6.a Evaluate the design concept(s) in relation to their alignment with the design challenge's criteria and constraints, as well as their compatibility with Earth's systems. Evaluate the feasibility of the technical and business model.





Electric eel-inspired energy storage systems offer a promising solution for sustainable, compact, and efficient energy storage. While the concept aligns with modern energy demands, challenges remain in scalability and cost-effectiveness.

6.b Revise and revisit previous steps as necessary to generate a viable solution.

Refinements include

- **Enhance energy generation:** Develop advanced materials that mimic electrocyte gradients for higher efficiency.
- **Optimise storage:** Create modular designs that allow for scalability and customisation.
- **Improve sustainability:** Focus on biodegradable and recyclable materials to reduce environmental impact.

By refining these aspects, electric eel-inspired energy storage systems can revolutionise energy solutions, offering efficient and eco-friendly options for modern and future needs.

Additional resources:

<https://biomimicry.org/>



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



WP3 Training Modules on Biomimicry Process Design

Task 3.1/ A1. Developing Self-learning Kit for VET students - LP: ATS / CPs: ALL

LET'S MIMIC SOLUTIONS

A solution refers to the steps applied to solve the challenge identified, through biomimicry.

Solution: name of the solution

BIOMIMICRY DESIGN	Description
Step 2 – Biologise	2.a Ask yourself how nature can solve this. How do animal limbs effectively absorb impact and reduce stress during motion, ensuring durability and flexibility in challenging environments? 2.b Ask yourself what your design wants to do. Key functions of the design • Shock absorption: Dissipate energy to reduce stress on the structure during impacts. • Durability: Withstand repetitive use without degradation. • Flexibility: Adapt to varying levels of impact while maintaining stability. Biological contexts • Shock absorption: Mimic the elastic and viscoelastic properties found in animal joints and tendons. • Energy dissipation: Use layered or composite structures inspired by the microarchitecture of animal limbs. • Flexibility and stability: Model designs on the dynamic adaptability of cartilage and muscle systems. 2.c Flip the question. Consider opposite functions. How do organisms in nature absorb shock, dissipate energy, and maintain stability under repeated or extreme impacts?
Step 3 – Discover	3.a Search for natural models that match the same functions and context as your design solution. Function Passive energy absorption and structural protection against repeated stress. Natural models • Kangaroo tendons: Store and release energy efficiently during hopping, minimizing strain. • Woodpecker skull: Absorbs high-impact forces while protecting the brain using layered bone and cartilage.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

- **Elephant feet:** Utilise a spongy fat pad for shock absorption to support heavy loads.

3.b Identify experts & connect to communities of biologists and naturalists.

Experts

- **Universities and research institutions**
 - **Harvard University, Wyss Institute:** Focuses on bioinspired soft robotics and materials.
 - **Stanford Biomechanics Laboratory:** Studies impact resistance in natural and synthetic systems.
- Professional Communities:
 - **Society for Experimental Mechanics:** Discusses advances in material resilience inspired by biology.
 - **Biomimicry Institute:** Connects innovators with experts studying biomechanical solutions.

Connect to Communities:

- **Online forums and groups**
 - **ResearchGate:** Collaborate with biomechanics researchers and materials scientists.
 - **LinkedIn groups:** Engage with professionals in impact-resilient material design.
- **Local organisations and events**
 - **Materials science conferences:** Showcase advancements in shock-absorbing technologies.
 - **Biomimicry workshops:** Explore bioinspired solutions for energy dissipation.

Step 4 – Abstract

4.a Summarise the key elements of the biological strategy. Highlighting the core functions and keywords. If possible, create a diagram or drawing and/or find images that can inform the design.

Core functions and keywords

1. Shock absorption

- **Keywords:** Elasticity, energy dissipation, impact resistance.
- **Natural model:** Kangaroo tendons.
- **Function:** Store and release energy efficiently, reducing strain on the structure.

2. Layered structures

- **Keywords:** Composite layers, flexibility, adaptability.
- **Natural model:** Woodpecker skull.

	• Function: Use layered materials to distribute and dissipate forces effectively. 3. Fat pads and cushions • Keywords: Compression, load support, resilience. • Natural model: Elephant feet. • Function: Use soft yet durable materials to cushion impacts and support heavy loads. 4.b Translate lessons from nature into design strategies. Rewrite the strategy without using biological terms and connect it to the functions and the context from a human perspective. Shock absorption • Design strategy: Incorporate viscoelastic materials that mimic the elasticity of tendons to absorb energy and reduce stress. Layered structures: • Design strategy: Use composite materials with alternating stiff and flexible layers to enhance impact resistance. Cushioning systems: • Design strategy: Develop soft, compressible pads that adapt to varying loads and recover quickly.
Step 5 – Emulate	“Emulation is an exploratory process that strives to capture a “recipe” or “blueprint” in nature’s example that can be modelled in our own designs.” https://toolbox.biomimicry.org/methods/emulate/ 5.a List your key information and explore as many ideas as possible. 1. Shock absorption • Utilise bioinspired elastic polymers in sports equipment to mitigate impact injuries. • Develop shock-absorbing soles for footwear to enhance comfort and durability. 2. Layered structures • Design and manufacture helmets and protective gear utilising layered composites to dissipate forces during impacts. • Design automotive bumpers with alternating stiff and flexible layers to enhance crash resistance. 3. Cushioning systems • Develop furniture and vehicle seats with spongy, adaptive cushions to improve ergonomics.



	• Use compressible padding in prosthetics and medical devices to enhance comfort and functionality. 5.b Organise your ideas into categories that include the features, the context, the constraints, etc. and select the design concepts that best fit your solution. 1. Features • Shock absorption ○ Elastic materials for energy dissipation. ○ Viscoelastic polymers for repetitive impacts. • Layered structures ○ Composite layers for durability and flexibility. ○ Alternating stiff and soft layers to enhance impact resistance. • Cushioning systems ○ Compressible pads for comfort and load distribution. ○ Adaptive materials for ergonomic support. 2. Context • Target users ○ Athletes and sports gear manufacturers for injury prevention equipment. ○ Automotive and aerospace industries for crash-resistant materials. • Applications ○ Protective gear (helmets, body armour). ○ Footwear, seats, and ergonomic furniture. 3. Constraints • Technical challenges ○ Balancing elasticity and durability in synthetic materials. ○ Ensuring scalability and cost-effectiveness in manufacturing. • Cost considerations ○ Reducing production costs without compromising quality. • Environmental impact ○ Using eco-friendly materials and processes.
Step 6 – Evaluate	6.a Evaluate the design concept(s) concerning their alignment with the design challenge's criteria and constraints, as well as their compatibility with Earth's systems. Assess the feasibility of both the technical and business models. The shock absorption solution inspired by animal limbs effectively addresses energy dissipation, durability, and adaptability. Applications range from sports





gear to industrial and medical devices. Challenges include achieving scalability and balancing cost with performance.

6.b Revise and revisit previous steps as necessary to generate a viable solution.

Refinements include

- **Enhance durability:** Use advanced polymers and composites to improve material longevity.
- **Optimise scalability:** Develop efficient manufacturing techniques for layered and viscoelastic materials.
- **Focus on sustainability:** Incorporate biodegradable and recyclable components.

By refining these aspects, the solution inspired by animal limb shock absorption can revolutionise safety, comfort, and impact resistance across various industries.

Additional resources:

<https://biomimicry.org/>



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



WP3 Training Modules on Biomimicry Process Design

Task 3.1/ A1. Developing Self-learning Kit for VET students - LP: ATS / CPs: ALL

LET'S MIMIC SOLUTIONS

A solution refers to the steps applied to solve the challenge identified, through biomimicry.

Solution: name of the solution

BIOMIMICRY DESIGN	Description
Step 2 – Biologise	2.a Ask yourself how nature can solve this. How do whales efficiently filter tiny food particles from large volumes of water using baleen structures? 2.b Ask yourself what your design wants to do. Key functions of the design • Filtration: Separate desired materials (e.g., small particles) from larger volumes of fluid or other substances. • Energy Efficiency: Achieve filtration passively, without requiring external energy input. • Durability: Maintain functionality under repetitive or prolonged use. Biological contexts • Sieve-like structure: Mimic the overlapping keratin bristles in whale baleen to create a flexible yet durable filtration system. • Selective capture: Design for efficient retention of small particles while allowing fluids to pass freely. • Low energy usage: Use passive flow dynamics, leveraging natural currents or gravity for filtration. 2.c Flip the question. Consider opposite functions. How do organisms in nature efficiently and sustainably filter small particles without complex machinery?
Step 3 – Discover	3.a Search for natural models that match the same functions and context as your design solution. Function Passive, efficient, and selective filtration. Natural models • Whale baleen: Keratin bristles create a flexible, semi-permeable barrier for filtering krill and plankton from water. • Mangrove roots: Trap sediments while allowing water to flow, aiding in natural filtration.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



- **Spiderwebs:** Capture fine particles like dust and pollen with intricate, overlapping fibre patterns.

3.b Identify experts & connect to communities of biologists and naturalists.

Experts

- **Universities and research institutions**
 - **Woods Hole Oceanographic Institution:** Studies marine biology, including whale feeding mechanisms.
 - **National Institute for Materials Science (NIMS):** Focuses on bioinspired materials, including filtration systems.
- **Professional Communities:**
 - **American Filtration Society:** Explores advances in filtration technologies inspired by nature.
 - **Biomimicry Institute:** Connects innovators to resources on bioinspired design.

Connect to communities

- **Online forums and groups**
 - **ResearchGate:** Collaborate with marine biologists and materials scientists working on filtration technologies.
 - **LinkedIn groups:** Discuss sustainable filtration systems with industry professionals.
- **Local organisations and events**
 - **Ocean conservation conferences:** Learn about whale biology and bioinspired technologies.
 - **Materials science workshops:** Explore applications of sieve-like structures in industrial design.

Step 4 – Abstract

4.a Summarise the key elements of the biological strategy. Highlighting the core functions and keywords. If possible, make a diagram/ drawing and/ or find images that can inform the design.

Core functions and keywords

1. Sieve-like structure

- **Keywords:** Filtration, keratin, flexibility.
- **Natural model:** Whale baleen.
- **Function:** Use a layered, fibrous structure to trap small particles while allowing fluids to pass through.

2. Selective capture

- **Keywords:** Particle retention, efficiency, size differentiation.
- **Natural Model:** Baleen bristle arrangement.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



	• Function: Retain particles of specific sizes while maximising the throughput of water or other fluids. 3. Energy efficiency • Keywords: Passive filtration, flow dynamics, sustainability. • Natural Model: Baleen-driven water flow. • Function: Leverage natural currents or gravity to achieve filtration without active energy input. 4.b Translate lessons from nature into design strategies. Rewrite the strategy without using biological terms and connect it to the functions and the context from a human perspective. Sieve-like structure • Design strategy: Use flexible, overlapping fibres to create a semi-permeable barrier for filtration systems. Selective capture • Design strategy: Optimise spacing and alignment of fibres to target specific particle sizes for retention. Energy efficiency • Design strategy: Design systems to operate passively, relying on gravity, flow dynamics, or natural pressure gradients.
Step 5 – Emulate	“Emulation is an exploratory process that strives to capture a “recipe” or “blueprint” in nature’s example that can be modelled in our own designs.” https://toolbox.biomimicry.org/methods/emulate/ 5.a List your key information and explore as many ideas as possible. 1. Sieve-like structure • Develop filters for industrial use, such as wastewater treatment or food production, using flexible fibre arrangements. • Create personal water filtration devices inspired by baleen structures for outdoor or emergency use. 2. Selective capture • Design air filters that trap fine pollutants while allowing clean air to flow efficiently. • Develop sieves for microplastic removal in water bodies, targeting particles of specific sizes. 3. Energy efficiency • Build passive filtration systems for rural or off-grid communities, eliminating the need for electricity.





- Integrate filtration into drainage systems, using gravity-driven water flow for debris capture.

5.b Organise your ideas into categories that include the features, the context, the constraints, etc. and select the design concepts that best fit your solution.

1. Features

- **Filtration**
 - Flexible fibre arrangements for particle capture.
 - Durable, lightweight materials for extended use.
- **Selective capture**
 - Adjustable spacing for targeting specific particle sizes.
 - Multi-layered systems for improved filtration efficiency.
- **Energy efficiency**
 - Passive flow systems require no external energy.
 - Self-cleaning mechanisms to reduce maintenance.

2. Context

- **Target Users**
 - Industries needing eco-friendly and efficient filtration systems.
 - Outdoor enthusiasts requiring portable water filters.
- **Applications**
 - Industrial (wastewater treatment, food processing).
 - Consumer (water filters, air purifiers).
 - Environmental (microplastic removal, pollution mitigation).

3. Constraints:

- **Technical challenges**
 - Balancing filtration efficiency with fluid throughput.
 - Ensuring material durability in varying conditions.
- **Cost considerations**
 - Reducing costs for large-scale production.
 - Making filters affordable for low-income communities.
- **Environmental impact**
 - Using sustainable, biodegradable materials.
 - Minimising ecological disruption during manufacturing.

Step 6 – Evaluate

6.a Evaluate the design concept(s) in relation to their alignment with the design challenge's criteria and constraints, as well as their compatibility with



Earth's systems. Assess the feasibility of both the technical and business models.

The baleen-inspired filtration solution addresses critical challenges in particle retention, energy efficiency, and sustainability. Its applications span the industrial, consumer, and environmental fields, but challenges such as scalability and material durability remain.

6.b Revise and revisit previous steps as necessary to generate a viable solution.

Refinements include

- **Enhance durability:** Develop advanced polymers or natural fibres that mimic baleen's flexibility and resilience.
- **Optimise scalability:** Improve manufacturing techniques to produce layered, sieve-like structures efficiently and affordably.
- **Focus on sustainability:** Use recyclable or biodegradable materials in filter designs.

By addressing these refinements, the baleen-inspired filtration system can offer innovative, eco-friendly solutions for a wide range of filtration needs across various industries and environments.

Additional resources:

<https://biomimicry.org/>



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



WP3 Training Modules on Biomimicry Process Design

Task 3.1/ A1. Developing Self-learning Kit for VET students - LP: ATS / CPs: ALL

LET'S MIMIC SOLUTIONS

A solution refers to the steps applied to solve the challenge identified, through biomimicry.

Solution: Nature Noise Barriers

BIOMIMICRY DESIGN	Description
Step 2 – Biologise	2.a Ask yourself how nature can solve this. • How do natural systems manage noise in their environments? • How do forests dampen sound through layered vegetation? • How do animals like owls use soft feathers to minimise sound during flight? 2.b Ask yourself what your design wants to do. Determine the key functions of your design and identify contexts in nature. Functions can refer to the role played by an organism's adaptations or behaviours that enable it to survive. They can also refer to something your design solution needs to do. • The design aims to passively absorb or deflect urban noise, inspired by nature's strategies for sound management. 2.c Flip the question. Consider opposite functions. • Instead of solely reducing noise, consider how natural systems use sound barriers to maintain quiet zones or protect sensitive areas.
Step 3 – Discover	3.a Search for natural models that match the same functions and context as your design solution. • Forests and dense vegetation create natural sound buffers. • Owl feathers absorb sound through soft, fringed edges. • Seashells and caves use shape and structure to deflect and dampen noise. 3.b Identify experts & connect to communities of biologists and naturalists. • Acoustic ecologists and bioacoustics researchers. • Engage with biomimicry design communities and urban planning groups focused on noise reduction.
Step 4 – Abstract	4. Summarise the key elements of the biological strategy. Highlighting the core functions and keywords. If possible, make a diagram/ drawing and/ or find images that can inform the design. Core elements



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



	- Layered structures, soft surfaces, and strategic shapes to diffuse sound waves. 4.b Translate lessons from nature into design strategies. Rewrite the strategy without using biological terms and connect it to the functions and the context from a human perspective. - Use multi-layered green walls with dense foliage. - Incorporate soft, porous materials inspired by animal adaptations. - Design urban structures with curved forms to scatter sound.
Step 5 – Emulate	5.a List your key information and explore as many ideas as possible. Key features - Passive sound absorption. - Modular green designs. - integration with urban landscapes. Ideas - Living sound barriers are constructed from layers of vegetation. - Acoustic panels mimicking the appearance of owl feathers for quiet zones. - Curved, sound-reflecting structures inspired by seashells. 5.b Organise your ideas into categories that include the features, the context, the constraints, etc. and select the design concepts that best fit your solution. Features: Sound absorption, sustainability. Context: High-traffic urban areas, public spaces. Constraints: Space limitations, budget.
Step 6 – Evaluate	6.a Evaluate the design concept(s) concerning their alignment with the design challenge's criteria and constraints, as well as their compatibility with Earth's systems. Assess the feasibility of both the technical and business models. Criteria - Noise reduction. - Environmental integration. - Low maintenance. Feasibility Moderate cost but scalable and eco-friendly over time. 6.b Revise and revisit previous steps as necessary to generate a viable solution. Test solutions in urban pilot projects and gather feedback to refine designs.





Additional resources:

<https://biomimicry.org/>



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



WP3 Training Modules on Biomimicry Process Design

Task 3.1/ A1. Developing Self-learning Kit for VET students - LP: ATS / CPs: ALL

LET'S MIMIC SOLUTIONS

A solution refers to the steps applied to solve the challenge identified, through biomimicry.

Solution: Cactus Water Storage and Distribution Systems

BIOMIMICRY DESIGN	Description
Step 2 – Biologise	2.a Ask yourself how nature can solve this. - Desert plants like cacti and succulents have evolved to store water in their tissues and minimise evaporation. - Some animals, like the Namib desert beetle, can capture water from fog through structures on their bodies. - Certain plants, like the agave, have deep roots that access water below the surface and are adapted to dry climates. 2.b Ask yourself what your design wants to do. Determine the key functions of your design and identify contexts in nature. Functions can refer to the role played by an organism's adaptations or behaviours that enable it to survive. They can also refer to something your design solution needs to do. - Reduce water usage in urban landscapes without compromising aesthetics or plant health. - Promote self-sustaining, drought-tolerant plantings and systems that minimise the need for irrigation. 2.c Flip the question. Consider opposite functions. - How do plants store and conserve water? vs. How can plants actively capture and conserve atmospheric moisture? - How do animals adapt to extreme dryness? vs. How can animals help us develop systems for water harvesting in urban spaces?
Step 3 – Discover	3.a Search for natural models that match the same functions and context as your design solution. - Research plants such as the desert rose, which thrives in dry environments and stores water efficiently. - Study animals like the Namib desert beetle, which collects water from fog and condensation. - Explore plant and animal adaptations in arid ecosystems for insights into water retention strategies. 3.b Identify experts & connect to communities of biologists and naturalists.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



	• Contact botanists, ecologists, and biologists specializing in desert ecosystems and water conservation. • Engage with communities working on sustainable landscaping, urban ecology, and water-efficient systems.
Step 4 – Abstract	4. Summarise the key elements of the biological strategy. Highlighting the core functions and keywords. If possible, create a diagram or drawing and/or find images that can inform the design. • Water storage through specialised tissues and deep-root systems. • Collection of atmospheric water using natural structures (e.g., water-harvesting surface textures). • Drought resistance and the ability to conserve water over extended periods. 4.b Translate lessons from nature into design strategies. Rewrite the strategy without using biological terms and connect it to the functions and the context from a human perspective. • Design landscaping with native and drought-tolerant plants that require minimal water input. • Integrate fog-collection or water-harvesting surfaces, inspired by the Namib beetle’s body structures, to collect atmospheric moisture for irrigation. • Use deep-rooted plants that naturally access groundwater, reducing the need for surface irrigation.
Step 5 – Emulate	5.a List your key information and explore as many ideas as possible. • Drought-resistant plant species. • Rainwater and fog collection surfaces. • Smart irrigation systems that mimic the natural water retention and storage found in ecosystems. 5.b Organise your ideas into categories that include features, context, constraints, etc., and select the design concepts that best fit your solution. Features • Use of native, drought-tolerant plants. • Water-harvesting structures. • Efficient irrigation systems that mimic natural water cycles. Context • Urban parks, streetscapes, and residential areas. • Locations with water scarcity or limited access to irrigation resources.





	Constraints • Initial installation costs for water-harvesting systems. • Maintenance requirements for specialized irrigation solutions.
Step 6 – Evaluate	6.a Evaluate the design concept(s) concerning their alignment with the design challenge's criteria and constraints, as well as their compatibility with Earth's systems. • Assess the feasibility of implementing water-harvesting structures in an urban setting. • Assess the degree to which native plant species can adapt to local urban environments. • Check compatibility with local regulations for water usage and sustainability goals. 6.b Revise and revisit previous steps as necessary to generate a viable solution. • Refine water collection technologies based on climate data and local water availability. • Adjust plant selection based on regional preferences and environmental factors.

Additional resources:

<https://biomimicry.org/>



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



WP3 Training Modules on Biomimicry Process Design

Task 3.1/ A1. Developing Self-learning Kit for VET students - LP: ATS / CPs: ALL

LET'S MIMIC SOLUTIONS

A solution refers to the steps applied to solve the challenge identified, through biomimicry.

Solution: Nature recycling system

BIOMIMICRY DESIGN	Description
Step 2 – Biologise	2.a Ask yourself how nature can solve this. - How do animals, insects, or microorganisms sort and process materials in their natural environment? - How do ecosystems break down organic matter and recycle nutrients efficiently? 2.b Ask yourself what your design wants to do. Determine the key functions of your design and identify contexts in nature. Functions can refer to the role played by an organism's adaptations or behaviours that enable it to survive. They can also refer to something your design solution needs to do. - The design should create an efficient and self-sustaining waste sorting and recycling system inspired by natural processes. - The system must identify different types of waste, sort them accordingly, and facilitate the recycling process with minimal human intervention. 2.c Flip the question. Consider opposite functions. - How do animals store or protect valuable resources in nature? (versus: how do they process waste?) - How do ecosystems maintain balance and recycle energy in their habitats? (versus: how do ecosystems generate waste?)
Step 3 – Discover	3.a Search for natural models that match the same functions and context as your design solution. - In nature, fungi break down organic matter and recycle nutrients in soil. - Ants and termites efficiently sort and transport materials within their colonies. - Microorganisms in composting systems work together to decompose waste and create fertile soil. 3.b Identify experts and connect to communities of biologists and naturalists. - Consult with ecologists and environmental engineers specialising in waste management or natural recycling processes.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



	Reach out to experts studying ecosystems and the breakdown of organic matter, such as those researching composting and waste decomposition.
Step 4 – Abstract	4. Summarise the key elements of the biological strategy. Highlighting the core functions and keywords. If possible, create a diagram or drawing and/or find images that can inform the design. Biological strategy Efficient waste sorting and decomposition inspired by ants, fungi, and microorganisms. Core functions Material sorting: Similar to how ants organise waste and food in their nests. Decomposition and recycling: Inspired by fungi breaking down organic material into nutrients. Collaboration: Microorganisms work together to efficiently decompose waste and enrich the soil. 4.b Translate lessons from nature into design strategies. Rewrite the strategy without using biological terms and connect it to the functions and the context from a human perspective. - The design strategy would create an automated system that sorts different types of waste (organic, recyclable, non-recyclable) using sensors and mechanical sorting methods, mimicking the precision of ants in organizing resources. - The system would integrate microbial processes that accelerate waste decomposition, similar to natural composting, making use of waste to generate energy or organic products like fertilisers.
Step 5 – Emulate	5.a List your key information and explore as many ideas as possible. - Automated sorting of waste by type and material. - Microbial waste processing systems (similar to composting or natural recycling). - Reusable materials recovery system to recycle plastic, metals, and organic waste. 5.b Organise your ideas into categories that include the features, the context, the constraints, etc., and select the design concepts that best fit your solution. Categories Functionality: Automated waste sorting, recycling, and organic decomposition. Sustainability: Integration of microbial processes to reduce landfill waste and generate organic products.





	• Feasibility: Implementation of AI and sensors for sorting, while maintaining low energy consumption.
Step 6 – Evaluate	6.a Evaluate the design concept(s) in relation to their alignment with the design challenge's criteria and constraints, as well as their compatibility with Earth's systems. Assess the feasibility of both the technical and business models. • The design addresses the challenge by automating waste sorting and integrating natural recycling processes. • It aligns with sustainable practices, reducing the amount of waste sent to landfills and minimising human labour. Feasibility High initial costs for automation, but long-term savings and environmental benefits make it a worthwhile investment. 6.b Revise and revisit previous steps as necessary to generate a viable solution. • Reassess the cost-benefit analysis for large-scale implementation and find ways to reduce initial costs. • Explore partnerships with local municipalities and environmental organisations to pilot the solution.

Additional resources:

<https://biomimicry.org/>



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



WP3 Training Modules on Biomimicry Process Design

Task 3.1/ A1. Developing Self-learning Kit for VET students - LP: ATS / CPs: ALL

LET'S MIMIC SOLUTIONS

A solution refers to the steps applied to solve the challenge identified, through biomimicry.

Solution: Cactus Water Storage and Distribution Systems

BIOMIMICRY DESIGN	Description
Step 2 – Biologise	2.a Ask yourself how nature can solve this. Cacti are excellent models for efficient water collection and storage. Their unique structure allows them to capture moisture from the air and funnel it into their roots, even in arid conditions. 2.b Ask yourself what your design wants to do. Determine the key functions of your design and identify contexts in nature. Functions can refer to the role played by an organism's adaptations or behaviours that enable it to survive. They can also refer to something your design solution needs to accomplish. The design should be capable of capturing and storing water from rainfall or humidity in urban settings, minimising water loss and optimising storage for later use during dry periods. 2.c Flip the question. Consider opposite functions. How do plants deal with water scarcity? vs. How can we store excess water to prevent flooding during heavy rains?
Step 3 – Discover	3.a Search for natural models that match the same functions and context as your design solution. - The structure of cactus spines and ridges allows them to channel water directly into their roots, preventing evaporation and maximising water capture. Similar methods could be applied to urban architecture to create efficient rainwater harvesting systems. 3.b Identify experts & connect to communities of biologists and naturalists. - Engage with experts in plant physiology and sustainable water management to understand how cactus adaptations can be translated into urban water systems.
Step 4 – Abstract	4. Summarise the key elements of the biological strategy. Highlighting the core functions and keywords. If possible, create a diagram or drawing and/or find images that can inform the design. The cactus uses its unique shape and surface texture to funnel moisture toward its roots. These adaptations can be mimicked in urban water systems to collect, store, and utilise water in a sustainable way. 4.b Translate lessons from nature into design strategies. Rewrite the strategy without using biological terms and connect it to the functions and the context from a human perspective.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Step 5 – Emulate	Urban infrastructure could be designed with surfaces that collect and channel water efficiently, using materials that mimic the texture and shape of cactus spines. For example, rooftops could be equipped with features that capture rainwater and direct it to storage tanks or green spaces for later use. 5.a List your key information and explore as many ideas as possible. • Water collection through surface textures. • Passive water harvesting systems in buildings. • Using cactus-inspired ridges or spines to channel rainwater into storage systems. 5.b Organise your ideas into categories that include the features, the context, the constraints, etc., and select the design concepts that best fit your solution. • Features: Efficient water capture, storage, and minimal evaporation. • Context: Urban settings with varying rainfall patterns. • Constraints: Space limitations, installation costs, and integration with existing infrastructure.
Step 6 – Evaluate	6.a Evaluate the design concept(s) in relation to their alignment with the design challenge's criteria and constraints, as well as their compatibility with Earth's systems. Assess the feasibility of both the technical and business models. Design alignment • The water collection system inspired by cactus structures is aligned to improve urban water management by offering efficient water capture and storage, especially in areas prone to drought and flooding. • The solution could contribute to more sustainable urban environments by reducing water wastage and minimising flood risk through efficient rainwater harvesting. Compatibility with Earth's systems • The design mimics natural water collection methods, which are inherently sustainable. The use of biomimicry to replicate cactus-like features ensures the solution works harmoniously with Earth's natural water cycles, rather than disrupting them. • This system would promote water conservation, reduce reliance on traditional water infrastructure, and work with nature rather than against it. Feasibility of the technical model • Pros: The technology for creating water collection surfaces that mimic cactus structures is feasible and can be integrated into existing buildings or urban infrastructure with proper design. • Cons: The initial costs of installing these systems may be high, and retrofitting older buildings might present challenges. However, the long-





term benefits of reduced water consumption and flooding could outweigh these costs.

Feasibility of the business model

- Given the rising interest in sustainability and climate resilience, there is a growing market for solutions like this. Partnerships with urban planners, municipalities, and eco-conscious builders could support the adoption of these systems. However, the initial investment could be a barrier for widespread implementation.

6.b Revise and revisit previous steps as necessary to generate a viable solution.

Revisions to consider

- Further exploration of cost-effective materials or scalable solutions to minimise initial costs.
- Consideration of modular designs that can be adapted to different urban settings, making it easier to integrate the system into existing infrastructure.

Additional resources:

<https://biomimicry.org/>



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



WP3 Training Modules on Biomimicry Process Design

Task 3.1/ A1. Developing Self-learning Kit for VET students - LP: ATS / CPs: ALL

LET'S MIMIC SOLUTIONS

A solution refers to the steps applied to solve the challenge identified, through biomimicry.

Solution: Termite mounds which regulate temperature and humidity

BIOMIMICRY DESIGN	Description
Step 2 – Biologise	2.a Ask yourself how nature can solve this. Nature solves cooling challenges through various biological strategies. For instance, termites construct mounds with intricate internal structures that effectively regulate temperature and humidity despite extreme external conditions. These mounds stay cool in high temperatures due to their natural ventilation system. 2.b Ask yourself what your design wants to do. Determine the key functions of your design and identify contexts in nature. Functions can refer to the role played by an organism's adaptations or behaviours that enable it to survive. They can also refer to something your design solution needs to accomplish. The design wants to reduce the energy consumption required for cooling systems in industrial plants by replicating nature's strategies for passive cooling. Specifically, it aims to optimise internal temperature control without relying on energy-intensive air conditioning or refrigeration systems. 2.c Flip the question. Consider opposite functions. • How can nature help maintain heat or keep processes warm without excessive energy? • How can we prevent overcooling while still ensuring optimal conditions in an industrial setting?
Step 3 – Discover	3.a Search for natural models that match the same functions and context as your design solution. • The termite mound is a well-known natural model for passive cooling, utilising the natural flow of air and its structural design to maintain a stable internal temperature. • Other potential models might include the cooling strategies of certain desert plants or the skin of animals like elephants, which regulates body temperature through highly effective circulation mechanisms. 3.b Identify experts & connect to communities of biologists and naturalists. • Experts in bioclimatic architecture, such as those involved in passive cooling technologies, can provide valuable insights into the most effective biomimetic applications. • Naturalists specialising in desert ecosystems or those who study thermoregulation in animals may also offer valuable perspectives.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Step 4 – Abstract	4. Summarise the key elements of the biological strategy. Highlighting the core functions and keywords. If possible, create a diagram or drawing and/or find images that can inform the design. The cactus uses its unique shape and surface texture to funnel moisture toward its roots. These adaptations can be mimicked in urban water systems to collect, store, and sustainably utilise water. 4.b Translate lessons from nature into design strategies. Rewrite the strategy without using biological terms and connect it to the functions and the context from a human perspective. Urban infrastructure could be designed with surfaces that collect and channel water efficiently, using materials that mimic the texture and shape of cactus spines. For example, rooftops could be equipped with features that capture rainwater and direct it to storage tanks or green spaces for later use.
Step 5 – Emulate	5.a List your key information and explore as many ideas as possible. Key information • Passive ventilation systems. • Heat-absorbing materials. • Self-regulating temperature control. • Sustainable cooling technologies. Ideas • Design factory spaces with passive ventilation systems similar to termite mounds. • Use eco-friendly materials such as natural stone or clay that have high thermal mass for buildings. • Implement a sensor-driven system to regulate airflow and internal temperatures automatically. 5.b Organise your ideas into categories that include the features, the context, the constraints, etc., and select the design concepts that best fit your solution. Categories • Features: Passive cooling, self-regulating temperature, use of natural materials • Context: Industrial factories, energy-intensive manufacturing processes • Constraints: Cost of initial installation, integration into existing buildings • Selected design concept: A hybrid solution combining passive ventilation and thermal mass, with an automated system for airflow management.
Step 6 – Evaluate	6.a Evaluate the design concept(s) in terms of their alignment with the design challenge's criteria and constraints, as well as their compatibility with Earth's systems. Assess the feasibility of both the technical and business models.





Design alignment

The design solution directly addresses the challenge of reducing energy consumption in industrial cooling by utilising nature-inspired methods for temperature regulation, thereby reducing reliance on energy-intensive air conditioning systems.

Compatibility with Earth's systems:

The solution is highly compatible with Earth's systems, utilising natural materials and passive cooling strategies, thereby reducing the environmental impact of industrial cooling processes.

Feasibility of the technical model:

The technology is feasible, as passive cooling systems and heat-absorbing materials already exist. However, initial costs for installing such systems can be high, and retrofitting older factories may be challenging.

Feasibility of the business model:

The business model is viable, especially in the long term. Energy savings from reduced cooling costs and the growing demand for sustainable solutions will likely make the system profitable over time. Governments and environmental organizations may offer subsidies or grants for such initiatives.

6.b Revise and revisit previous steps as necessary to generate a viable solution.

Revisions to consider

- Further research into low-cost materials for heat regulation that can be used in the initial stages of the design.
- Explore modular designs that allow companies to integrate the system gradually, reducing the financial burden of full implementation.

Additional resources:

<https://biomimicry.org/>



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



WP3 Training Modules on Biomimicry Process Design

Task 3.1/ A1. Developing Self-learning Kit for VET students - LP: ATS / CPs: ALL

LET'S MIMIC SOLUTIONS

A solution refers to the steps applied to solve the challenge identified, through biomimicry.

Solution: Nature Precision Irrigation System

BIOMIMICRY DESIGN	Description
Step 2 – Biologise	2.a Ask yourself how nature can solve this. Nature's ecosystems use water efficiently through various mechanisms, such as the distribution of water via plant root systems and rainwater absorption techniques of certain plants. For example, plants like the cactus store water and use it strategically, while moss absorbs and retains moisture efficiently. 2.b Ask yourself what your design wants to do. Determine the key functions of your design and identify contexts in nature. Functions can refer to the role played by an organism's adaptations or behaviours that enable it to survive. They can also refer to something your design solution needs to do. The design needs to ensure that water is distributed precisely and efficiently across agricultural fields, minimizing waste and ensuring that each plant receives the appropriate amount of hydration based on its needs and the surrounding environment. 2.c Flip the question. Consider opposite functions. Instead of focusing on how water can be added to the soil, consider how plants manage to reduce water loss through transpiration. How do plants prevent water from evaporating too quickly or ensure that moisture is stored where it's needed most?
Step 3 – Discover	3.a Search for natural models that match the same functions and context as your design solution. - Examine how desert plants, such as succulents and cacti, store water and release it gradually. Additionally, the root systems of forest trees have evolved to absorb moisture deeply from the soil and distribute it efficiently to different parts of the plant. - Study how mosses and ferns retain water, which could inspire new approaches to storing and distributing moisture. 3.b Identify experts & connect to communities of biologists and naturalists. - Engage with plant biologists who specialise in water storage mechanisms in plants. - Connect with experts in precision agriculture and hydrology to gain insights into existing water-saving technologies and challenges in irrigation.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Step 4 – Abstract	4.a Summarise the key elements of the biological strategy. Highlighting the core functions and keywords. If possible, create a diagram or drawing and/or find images that can inform the design. • Cacti store water in their tissues, which can be used gradually over time. • Mosses can absorb and hold water in a way that prevents excessive evaporation. • Tree roots create a deep and wide network that allows the plant to access moisture over a larger area, even in dry conditions. 4.b Translate lessons from nature into design strategies. Rewrite the strategy without using biological terms and connect it to the functions and the context from a human perspective. • Design an irrigation system inspired by the way cacti store water, using smart moisture sensors and smart valves to release water slowly and efficiently as needed. • Incorporate micro-irrigation techniques, similar to how moss absorbs and retains water, to ensure that water is delivered directly to the plant roots without unnecessary evaporation. • Design an irrigation network that mimics the root systems of trees, ensuring water can be accessed deeply and efficiently, reaching the furthest roots.
Step 5 – Emulate	5.a List your key information and explore as many ideas as possible. • Smart irrigation system with real-time moisture monitoring. • Self-regulating systems that adjust water flow based on weather conditions and plant needs. • Low-pressure drip irrigation to minimise evaporation and runoff. • Water storage tanks that slowly release moisture according to the plant's needs, mimicking the water storage capabilities of cacti. 5.b Organise your ideas into categories that include the features, the context, the constraints, etc., and select the design concepts that best fit your solution. Key features • Smart moisture sensors. • Drip irrigation system for targeted water distribution. • Adaptive watering schedules based on weather patterns. Context • Implemented in dry or drought-prone areas with agriculture dependent on irrigation. • Supports sustainable farming practices. Constraints





	• High initial installation costs for the advanced system. • Technical support is required for system maintenance.
Step 6 – Evaluate	6.a Evaluate the design concept(s) concerning their alignment with the design challenge's criteria and constraints, as well as their compatibility with Earth's systems. The system aligns with the challenge by offering a solution to water waste and ensuring that crops receive the right amount of hydration. Compatibility with Earth's systems The system uses natural principles of water conservation and storage, and it minimises environmental impact by reducing water waste and promoting sustainable farming practices. 6.b Revise and revisit previous steps as necessary to generate a viable solution. • Ensure the system is scalable for large fields and affordable for small-scale farmers. • Consider solar-powered or low-energy options for running the irrigation system in regions with limited access to electricity.

Additional resources:

<https://biomimicry.org/>



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



WP3 Training Modules on Biomimicry Process Design

Task 3.1/ A1. Developing Self-learning Kit for VET students - LP: ATS / CPs: ALL

LET'S MIMIC SOLUTIONS

A solution refers to the steps applied to solve the challenge identified, through biomimicry.

Solution: Resilient structure of Palm trees

BIOMIMICRY DESIGN	Description
Step 2 – Biologise	2.a Ask yourself how nature can solve this. Biological model Palm trees are highly flexible and resilient structures that can withstand extreme winds in tropical storms and hurricanes. Their long, slender trunks and aerodynamic fronds allow them to bend without breaking, dispersing wind forces efficiently. Additionally, their deep and expansive root systems provide a strong anchor in loose or sandy soils.
Step 3 – Discover	3.a Search for natural models that match the same functions and context as your design solution. Solution overview Design resilient buildings inspired by the structural properties of palm trees, integrating flexibility, aerodynamic design, and deep anchoring systems. The solution aims to create energy-efficient, weather-resistant structures that can withstand high winds and extreme weather events. Key features of the design Aerodynamic building shape • The building's shape mimics the streamlined fronds of a palm tree, reducing wind resistance and pressure on the structure. • Rounded or tapered edges can redirect wind flow, minimizing potential damage. Flexible structural materials • Use flexible building materials, such as high-strength composites or carbon fibre, inspired by the pliability of palm trunks. • The building can sway and dissipate energy during high winds without sustaining structural damage. Deep anchoring foundations • Employ deep foundation systems inspired by palm tree root structures, ensuring stability even in loose or sandy soil. • Include adjustable foundations for areas with seismic activity, adding multi-hazard resilience. Lightweight and modular components



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Step 4 – Abstract

- Modular, lightweight components reduce overall structural load while maintaining strength, similar to the lightweight composition of palm fronds.
- These components can be prefabricated, lowering construction costs and timelines.

Energy efficiency features

- Incorporate natural ventilation designs inspired by the spacing of palm fronds, which allow airflow while providing shade.
- Integrate rooftop solar panels and rainwater harvesting systems for sustainable resource use.

4. Summarise the key elements of the biological strategy. Highlighting the core functions and keywords. If possible, create a diagram or drawing and/or find images that can inform the design.

Applications

- Coastal buildings in hurricane-prone regions.
- Modular housing units for disaster relief.
- Skyscrapers in urban areas face extreme weather events.

Expected outcomes

- Improved safety and durability of buildings in extreme weather.
- Reduction in repair and rebuilding costs after disasters.
- Promotion of sustainable and adaptive architectural designs.

Partner involvement

- **Architectural firms:** Designing biomimetic building prototypes.
- **Engineering companies:** Testing flexible materials and anchoring systems.
- **Government agencies:** Providing funding and subsidies for resilient building initiatives.

Step 5 – Emulate

5.a List your key information and explore as many ideas as possible.

- Smart irrigation system with real-time soil moisture monitoring, inspired by the sensitivity of plant roots to water levels.
- Self-regulating systems that adjust water flow based on weather conditions, mimicking the behaviour of moss and cacti in adapting to water availability.
- Low-pressure drip irrigation systems to reduce evaporation and minimise water runoff, similar to how desert plants minimise water loss.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



- Water storage tanks that mimic the water retention abilities of cacti, gradually releasing moisture to plants based on their needs.
- Root-inspired underground water distribution systems to ensure even hydration across the soil.

5.b Organise your ideas into categories that include the features, the context, the constraints, etc. and select the design concepts that best fit your solution.

Key features

- **Smart moisture sensors:** Monitor soil conditions in real-time to regulate irrigation.
- **Drip irrigation system:** Ensures targeted and efficient water distribution.
- **Adaptive watering schedules:** Use weather data to determine optimal irrigation timing and frequency.
- **Water storage solutions:** Tanks designed to replicate cacti water retention capabilities.

Context

- Designed for agricultural fields in drought-prone or arid regions.
- Supports sustainable farming practices by reducing water waste and ensuring resource efficiency.
- Constraints
- High initial costs for advanced technology and installation.
- Training is required for farmers to use and maintain the system.
- Limited scalability in areas with poor access to technology or electricity.

Step 6 – Evaluate

6.a Evaluate the design concept(s) in relation to their alignment with the design challenge's criteria and constraints, as well as their compatibility with Earth's systems. Assess the feasibility of both the technical and business models.

The solution addresses the challenge by reducing water waste and ensuring crops receive adequate hydration.

Alignment with criteria

- Reduces water usage.
- Enhances crop yields through precise and efficient hydration.
- Supports sustainable agriculture by mimicking natural water conservation principles.

Compatibility with Earth's systems



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



- Uses biomimetic principles that align with natural water management and conservation strategies.
- Minimises environmental impact by reducing runoff, evaporation, and water waste.

6.b Revise and revisit previous steps as necessary to generate a viable solution.

- **Scalability:** Develop modular systems for small-scale and large-scale farms to make the solution more accessible.
- **Affordability:** Explore options for subsidies, partnerships, and affordable versions for smallholder farmers.
- **Energy efficiency:** Integrate solar power or other renewable energy sources to run the irrigation system in remote areas.
- **Maintenance:** Develop a user-friendly interface and provide technical support or training programs for farmers.

Additional resources:

<https://biomimicry.org/>



WP3 Training Modules on Biomimicry Process Design

Task 3.1/ A1. Developing Self-learning Kit for VET students - LP: ATS / CPs: ALL

LET'S MIMIC SOLUTIONS

A solution refers to the steps applied to solve the challenge identified, through biomimicry.

Solution: Nature efficient insulation and thermal regulation

BIOMIMICRY DESIGN	Description
Step 2 – Biologise	2.a Ask yourself how nature can solve this. Biological model The natural world offers a variety of examples of efficient insulation and thermal regulation, one of the most well-known being the structure of animal burrows. For instance, the European rabbit burrow maintains a relatively stable temperature, even during extreme seasonal temperature changes, due to the insulating properties of the surrounding soil. Another example is the polar bear's fur, which provides excellent thermal insulation against freezing temperatures through a combination of dense underfur and hollow guard hairs that trap air.
Step 3 – Discover	3.a Search for natural models that match the same functions and context as your design solution. Solution overview Design a building insulation system inspired by natural thermal regulation mechanisms, such as those found in animal burrows and polar bear fur. The goal is to develop an insulation material that enhances energy efficiency by using natural and biodegradable materials, offering thermal stability without reliance on synthetic or non-biodegradable alternatives. Key features of the design • Biodegradable insulation materials: The use of cellulose-based materials, hempcrete, or mycelium (fungal roots) as natural insulation, which mimic the insulating properties of soil in animal burrows or the thermal regulation in polar bear fur. • Multi-layered insulation: Like the layers of fur in polar bears, insulation can involve several layers with varying densities and structures to trap heat in colder climates or allow ventilation in warmer climates. • Thermal mass and airflow regulation: Building components that integrate passive heating and cooling, inspired by burrows, where the thermal mass of the walls regulates internal temperatures while allowing for airflow and preventing overheating. • Natural ventilation systems: Including air channels and vents inspired by animal burrows, which allow for the natural flow of warm and cool air to enhance temperature regulation without the use of mechanical systems.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Step 4 – Abstract	4.a Summarise the key elements of the biological strategy. Highlighting the core functions and keywords. If possible, create a diagram or drawing and/or find images that can inform the design. Applications • Residential homes in extreme climates: Buildings in hot or cold climates where energy use for heating or cooling is high can benefit from better natural insulation. • Public and commercial buildings: Schools, hospitals, and offices are looking to reduce energy consumption and create healthier, more sustainable environments. • Eco-friendly construction projects: Homes built with sustainable materials, aiming for green building certifications such as LEED. Expected outcomes • Reduced energy consumption for heating and cooling, lowering both operational costs and environmental impact. • Improved indoor comfort by stabilising internal temperatures year-round. • Increased adoption of sustainable, biodegradable materials in the construction industry. Partner involvement • Material manufacturers: Supply and develop sustainable, biodegradable insulation materials, such as mycelium, hempcrete, and cellulose. • Architectural firms: Design buildings that incorporate these new insulation materials and passive thermal regulation systems. • Government agencies: Provide support and incentives for green building solutions and sustainable construction practices.
Step 5 – Emulate	5.a List your key information and explore as many ideas as possible. • Natural insulation materials: Mycelium, hempcrete, cellulose, and wool-based insulation materials. • Layered insulation systems: Multiple layers of materials with varying thermal properties to create a multi-functional insulating system, similar to polar bear fur or burrow structures. • Passive temperature regulation: Incorporate systems to balance temperature fluctuations without mechanical interventions, inspired by natural systems like animal burrows or hibernation chambers. • Ventilation channels: Incorporate passive airflow channels that regulate temperatures naturally, without the need for energy-intensive HVAC systems.



5.b Organise your ideas into categories that include the features, the context, the constraints, etc. and select the design concepts that best fit your solution.

Category	Features
Materials	Biodegradable materials, such as hempcrete, cellulose, and mycelium, are used for insulation.
Insulation System	A multi-layered insulation system inspired by the fur of polar bears and their burrows.
Thermal Regulation	Utilisation of natural ventilation channels for regulating airflow and temperature.
Energy Efficiency	Integrating natural heat regulation to reduce reliance on artificial heating or cooling systems.

Context

- This solution is suitable for regions experiencing extreme climates, particularly those where energy use for heating or cooling is a concern.
- The design also supports the adoption of eco-friendly materials in the building industry, contributing to sustainable architecture.

Constraints

- The cost of eco-friendly materials may be initially higher, though long-term savings in energy costs could offset the upfront investment.
- Scaling the solution for large buildings or urban environments may require adjustments to traditional construction techniques.

Step 6 – Evaluate

6.a Evaluate the design concept(s) concerning their alignment with the design challenge's criteria and constraints, as well as their compatibility with Earth's systems. Assess the feasibility of both the technical and business models.

Alignment with the challenge

This design offers a natural solution to the challenge by using biomimicry to reduce energy consumption for heating and cooling. By mimicking the insulation properties of animal burrows and polar bear fur, the solution directly addresses the need for improved insulation.

Compatibility with Earth's systems



The use of biodegradable, natural materials aligns with Earth's systems, reducing waste and minimising the environmental footprint of buildings. This passive temperature regulation system also minimises the need for external energy inputs, thereby reducing the building's carbon footprint.

6.b Revise and revisit previous steps as necessary to generate a viable solution.

- **Scalability:** Explore modular insulation options that can be adapted for different building sizes, from small homes to large commercial buildings.
- **Affordability:** Investigate mass production of biodegradable materials to lower costs, and consider subsidies or incentives for the adoption of sustainable materials in construction.
- **Maintenance:** Ensure that the passive ventilation systems are easy to maintain and adaptable to different climate conditions. Additionally, provide support for installing insulation materials in existing buildings, not just new construction.

Additional resources:

<https://biomimicry.org/>



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



WP3 Training Modules on Biomimicry Process Design

Task 3.1/ A1. Developing Self-learning Kit for VET students - LP: ATS / CPs: ALL

LET'S MIMIC SOLUTIONS

A solution refers to the steps applied to solve the challenge identified, through biomimicry.

Solution: Natural filtration systems for purify water

BIOMIMICRY DESIGN	Description
Step 2 – Biologise	2.a Ask yourself how nature can solve this. Biological model Natural filtration systems, such as wetlands, utilise plants, microorganisms, and natural processes to clean and purify water. Wetlands filter out pollutants by using plant roots to absorb nutrients and contaminants, while microorganisms break down organic matter. The slow movement of water through wetland soil also helps trap particles and reduce the release of pollutants. Additionally, biofiltration in soils and riverbeds effectively removes toxins through natural biochemical processes.
Step 3 – Discover	3.a Search for natural models that match the same functions and context as your design solution. Solution overview Design a wastewater treatment system based on the principles of natural filtration, utilising plants, microorganisms, and biofilter systems to purify water. The solution aims to reduce chemical use and energy consumption while maintaining effective filtration and purifying capabilities. Key features of the design • Plant-based biofilters: Utilise the root systems of plants like reeds or cattails, which are known to absorb contaminants and purify water, creating a natural filtration system. • Microbial biofilm layers: Incorporate layers of natural microorganisms that can break down organic contaminants and convert harmful compounds into less toxic substances. • Layered filtration media: Use natural materials such as gravel, sand, and activated carbon, which mimic the filtration process of riverbeds and soil, to physically and chemically filter out pollutants. • Slow water movement: Implement a system that slows down water flow, allowing for extended filtration time, similar to the natural filtration in wetlands, where water passes through different substrates and interacts with microorganisms.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Step 4 – Abstract

4.a Summarise the key elements of the biological strategy. Highlighting the core functions and keywords. If possible, create a diagram or drawing and/or find images that can inform the design.

Applications

- Small-scale municipal and community wastewater treatment plants.
- Decentralised or rural wastewater management systems.
- Eco-villages, agricultural wastewater treatment, or stormwater filtration systems.
- Urban water reclamation and reuse systems.

Expected outcomes

- Reduced reliance on energy-intensive chemical treatment processes.
- Effective reduction of pollutants, such as nitrogen, phosphorus, and organic matter.
- Improved water quality for reuse or discharge into natural water sources.
- Increased sustainability and cost-efficiency for wastewater treatment operations.

Partner involvement

- **Environmental engineers:** Designing the system and integrating biological elements into existing infrastructure.
- **Municipalities and government agencies:** Supporting pilot projects, providing funding, and implementing systems.
- **Agricultural and eco-community developers:** Applying systems in rural or decentralized locations.

Step 5 – Emulate

5.a List your key information and explore as many ideas as possible.

- Floating wetland systems for wastewater treatment in lagoons or ponds.
- Microbial fuel cells combined with biofiltration to enhance water purification.
- Constructed wetlands with varying depths and plant types to treat different contaminants.
- Modular biofiltration units that can be scaled based on the size of the community or facility.

5.b Organise your ideas into categories that include the features, the context, the constraints, etc. and select the design concepts that best fit your solution.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



	Key features • Modular biofilter units that integrate plant-based filtration. • Incorporation of microbial layers for enhanced breakdown of organic matter. • Low-maintenance, gravity-powered filtration system for small-scale communities. Context • Suitable for rural and urban locations where conventional wastewater treatment is difficult or costly to implement. • Can be scaled for large or small facilities, depending on the size of the community or wastewater volume. Constraints • Slower treatment process compared to conventional chemical treatments. • Initial setup costs for constructing biofilter systems. • Challenges in maintaining optimal plant and microbial health for long-term functionality.
Step 6 – Evaluate	6.a Evaluate the design concept(s) in relation to their alignment with the design challenge's criteria and constraints, as well as their compatibility with Earth's systems. Assess the feasibility of both the technical and business models. The system addresses the challenge by offering a sustainable, low-energy, and chemical-free alternative to traditional wastewater treatment methods. It mimics natural filtration processes, which are effective at purifying water, reducing pollutants, and maintaining a balanced ecosystem. Alignment with criteria • Minimises energy consumption and environmental impact. • Relies on natural processes for water purification, reducing reliance on synthetic chemicals. • Scalable and adaptable to various community sizes and environmental conditions. Compatibility with Earth's systems • The solution aligns with ecological principles by using natural filtration methods that work in harmony with the environment. • Enhances biodiversity by incorporating plant life and microorganisms into the system, thereby helping to preserve and promote ecological health.





6.b Revise and revisit previous steps as necessary to generate a viable solution.

- **Scalability:** Design modular systems that can be adapted to different-sized communities or industrial applications.
- **Cost-effectiveness:** Explore options for government subsidies, grants, or partnerships to lower initial installation costs.
- **Sustainability:** Use locally sourced materials and native plants to reduce costs and improve system resilience.

Additional resources:

<https://biomimicry.org/>



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



WP3 Training Modules on Biomimicry Process Design

Task 3.1/ A1. Developing Self-learning Kit for VET students - LP: ATS / CPs: ALL

LET'S MIMIC SOLUTIONS

A solution refers to the steps applied to solve the challenge identified, through biomimicry.

Solution: Nature's natural air purification systems

BIOMIMICRY DESIGN	Description
Step 2 – Biologise	2.a Ask yourself how nature can solve this. Biological model The solution draws inspiration from nature's natural air purification systems. Specifically, plants like <i>spider plants</i> and <i>peace lilies</i> have been shown to filter indoor air by absorbing harmful chemicals and particulates through their leaves and roots. Additionally, particular species of moss and algae can capture fine particulates in the air. At the same time, some trees, like the <i>silver birch</i> and <i>urban ash</i>, are known to absorb carbon dioxide and other air pollutants through their leaves and bark.
Step 3 – Discover	3.a Search for natural models that match the same functions and context as your design solution. Solution overview Design a natural air filtration system based on plant systems that will be implemented in urban areas to reduce pollution levels and improve air quality. The system would incorporate plants known for their air-purifying properties, along with other natural materials like moss or algae, strategically placed in urban spaces. Key features of the design • Green walls and green roofs: Utilise a variety of air-purifying plants in vertical gardens and rooftop gardens to naturally filter the air, absorbing pollutants and providing shade to mitigate heat island effects. • Moss mats and algae panels: Install moss mats and algae panels in high-traffic areas, such as alongside roads, to trap delicate particulate matter and convert CO₂ into oxygen. • Tree planting initiatives: Plant trees with proven air-purifying properties along roads, in parks, and urban squares to absorb pollutants directly from the air. Expected outcomes • Reduction in urban air pollutants (e.g., PM_{2.5}, NO_x). • Improvement in public health due to cleaner air. • Increased green space in urban environments, which also improves mental well-being.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Step 4 – Abstract

4.a Summarise the key elements of the biological strategy. Highlighting the core functions and keywords. If possible, create a diagram or drawing and/or find images that can inform the design.

Applications

- Urban areas with high levels of air pollution.
- Parks, public squares, and along major roadways.
- Green roofs and walls for commercial buildings and public infrastructure.

Expected outcomes

- Enhanced urban air quality.
- Reduction in respiratory diseases among residents.
- Contribution to urban sustainability through natural filtration.

Partner involvement

- **Urban planners and municipal governments:** Support the integration of green air filtration solutions in city planning and funding.
- **Landscape architects and horticulturists:** Design and select plants and materials that are suitable for effective filtration.
- **Environmental agencies:** Monitor the effectiveness and impact of the air filtration systems on air quality and public health.

Step 5 – Emulate

5.a List your key information and explore as many ideas as possible.

- Green walls made of a variety of air-purifying plants, such as spider plants and peace lilies, which absorb indoor pollutants.
- Moss panels that collect and filter fine particles in the air.
- Vertical gardens that not only purify air but also add aesthetic value and encourage biodiversity.
- Tree planting initiatives featuring trees that absorb carbon dioxide and other pollutants, such as silver birch or urban ash.
- Algae-based filters that capture carbon and particulates from the air.

5.b Organise your ideas into categories that include the features, the context, the constraints, etc. and select the design concepts that best fit your solution.

Key features

- Air-purifying plant systems (green walls, moss, algae, and trees).
- Modular and scalable for different urban settings (parks, roadsides, rooftops).
- Low-energy, sustainable technology with minimal maintenance needs.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



	Context • Target urban areas with high levels of pollution. • Focus on cost-effective solutions that can be implemented in dense urban environments and on infrastructure like roads, buildings, and parks. Constraints • Maintenance: Requires regular care for plant systems and potential replanting. • Cost: Initial setup costs for infrastructure and plant systems may be high; however, there are long-term benefits in terms of health and energy savings. • Space: Availability of suitable spaces for large-scale installations (e.g., rooftops or parks).
Step 6 – Evaluate	6.a Evaluate the design concept(s) concerning their alignment with the design challenge's criteria and constraints, as well as their compatibility with Earth's systems. Assess the feasibility of both the technical and business models. Alignment with challenge The natural air filtration system directly addresses the challenge of improving urban air quality while reducing environmental impact. By utilising plants and other natural materials, the solution reduces pollutants in a sustainable, energy-efficient manner, without relying on synthetic or high-energy filtration systems. The solution also promotes the natural regulation of air quality, similar to how ecosystems maintain balance through the roles of plants in absorbing CO₂, particulates, and other air pollutants. Compatibility with Earth's systems The design aligns with Earth's systems by mimicking natural processes such as photosynthesis, plant transpiration, and natural filtration. Plants naturally absorb CO₂ and pollutants, while also providing oxygen and reducing the heat island effect. This solution supports a circular and restorative approach to urban planning, reducing reliance on artificial systems and integrating biological processes into the urban environment. 6.b Revise and revisit previous steps as necessary to generate a viable solution. • Scalability: To make the design more scalable, further research could focus on optimizing the plant species selection based on their effectiveness in air filtration in different climate zones and pollution types. Modular green walls and rooftop gardens can be designed for easy installation and maintenance across various urban environments, from residential buildings to public parks. The solution can also be adapted for use in smaller, more affordable setups, such as portable moss mats or DIY kits for individual households or community spaces.





- **Affordability:** A phased approach could be adopted, starting with pilot projects in specific areas (e.g., heavily polluted neighbourhoods or business districts) and scaling up as results are observed. Partnerships with governments or environmental organisations could help offset initial costs. Additionally, exploring government incentives or subsidies for green infrastructure could make the solution more affordable.
- **Maintenance and longevity:** To address the maintenance concerns, the system can be designed with low-maintenance plants and materials that require minimal care. Additionally, automated irrigation or watering systems could be integrated to reduce the time and labour involved in upkeep. Regular monitoring systems could track the effectiveness of the filtration and alert city managers to any areas needing attention.
- **Energy efficiency:** Since the design is based on natural processes, it requires little to no additional energy input, making it highly sustainable. However, for larger installations, integrating renewable energy sources (e.g., solar panels for automated irrigation systems) could further enhance energy efficiency and reduce the environmental footprint.

Additional resources:

<https://biomimicry.org/>



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



WP3 Training Modules on Biomimicry Process Design

Task 3.1/ A1. Developing Self-learning Kit for VET students - LP: ATS / CPs: ALL

LET'S MIMIC SOLUTIONS

A solution refers to the steps applied to solve the challenge identified, through biomimicry.

Solution: Gecko-Inspired Adhesives

BIOMIMICRY DESIGN	Description
Step 2 – Biologise	2.a Ask yourself how nature can solve this. • How do geckos adhere to surfaces without using glue or residue? • How do natural systems create temporary adhesion that is reusable? 2.b Ask yourself what your design wants to do. • Achieve reversible adhesion. • Stick securely to various surfaces, even under different environmental conditions. • Leave no residue when removed. 2.c Flip the question. Consider opposite functions. • How do geckos adhere to surfaces?. • How do natural systems ensure things do not stick to them (e.g., lotus leaves repelling water)?.
Step 3 – Discover	3.a Search for natural models that match the same functions and context as your design solution. • Research the adhesive properties of gecko toepads, focusing on Van der Waals forces. • Study other animals with adhesive capabilities, such as tree frogs and insects like beetles. • Review scientific literature on bio adhesion and reversible adhesives. 3.b Identify experts & connect to communities of biologists and naturalists. • Connect with biologists specializing in animal biomechanics. • Collaborate with materials scientists researching bio-inspired adhesives. • Engage with biomimicry communities like the Biomimicry Institute..
Step 4 – Abstract	4.a Summarise the key elements of the biological strategy. Highlighting the core functions and keywords. If possible, make a diagram/ drawing and/ or find images that can inform the design. Core functions Adhesion, reversibility, self-cleaning.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Key elements

Microstructures on gecko toes use Van der Waals forces to stick to surfaces without leaving residue. These structures maintain adhesion even on dusty surfaces.



Michel Pierfitte, CC BY-SA 3.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>>, via Wikimedia Commons

4.b Translate lessons from nature into design strategies. Rewrite the strategy without using biological terms and connect it to the functions and the context from a human perspective.

Develop surfaces or materials with microscopic structures that can adhere to smooth or uneven surfaces without glue or residue. Ensure reusability and durability for consumer or industrial applications.

Step 5 – Emulate

5.a List your key information and explore as many ideas as possible.

Features

Microstructures mimic gecko toe pads to create adhesion without glue.

Ideas

Develop reusable, residue-free tape for household, medical, or industrial applications. Create climbing gear with enhanced grip.

5.b Organise your ideas into categories that include the features, the context, the constraints, etc. and select the design concepts that best fit your solution.

Features

Adhesion via microstructures, durability, and reusability.

Context

Indoor and outdoor applications, non-toxic materials.

Constraints

Material costs, surface compatibility, and wear over time.



	Idea selected A reusable adhesive strip for household use.
Step 6 – Evaluate	6.a Evaluate the design concept(s) in terms of their alignment with the design challenge's criteria and constraints, as well as their compatibility with Earth's systems. Assess the feasibility of both the technical and business models. Alignment Strong alignment with the challenge to create reusable, residue-free adhesives. Meets sustainability goals by eliminating the use of chemical adhesives. Feasibility Technically feasible with current material science advancements. However, scalability and cost need to be evaluated for mass production. Compatibility with the Earth's systems Made from biodegradable or recyclable materials to minimise environmental impact. 6.b Revise and revisit previous steps as necessary to generate a viable solution. Explore alternate materials that maintain adhesion but reduce manufacturing costs. Revisit microstructure designs to enhance durability for repeated use.

Additional resources:

<https://biomimicry.org/>

<https://www.youtube.com/watch?v=vS0TulPoeBs> – “The Stickiest *Non-Sticky* Substance”



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



WP3 Training Modules on Biomimicry Process Design

Task 3.1/ A1. Developing Self-learning Kit for VET students - LP: ATS / CPs: ALL

LET'S MIMIC SOLUTIONS

A solution refers to the steps applied to solve the challenge identified, through biomimicry.

Solution: Termite-Inspired Ventilation Systems

BIOMIMICRY DESIGN	Description
Step 2 – Biologise	2.a Ask yourself how nature can solve this. • How do termites regulate the temperature and airflow inside their mounds? • How do natural systems manage heat without external energy sources? 2.b Ask yourself what your design wants to do. • Passively regulate temperature. • Optimize airflow for cooling or heating. • Mimic nature's energy-efficient climate control systems. 2.c Flip the question. Consider opposite functions. • How do termites control internal temperatures?. • How do natural systems trap heat or prevent airflow?.
Step 3 – Discover	3.a Search for natural models that match the same functions and context as your design solution. • Study termite mounds and their passive cooling mechanisms. • Explore natural ventilation systems in other animals, such as prairie dog burrows. • Research academic papers on thermoregulation in social insects. 3.b Identify experts & connect to communities of biologists and naturalists. • Consult entomologists studying termites and their ecological roles. • Network with sustainable architecture and engineering researchers. • Partner with environmental scientists familiar with ecosystem thermodynamics..
Step 4 – Abstract	4.a Summarise the key elements of the biological strategy. Highlighting the core functions and keywords. If possible, make a diagram/ drawing and/ or find images that can inform the design.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Source: <https://flickr.com/photos/48539981@N03/29383903862>

Core functions

Passive cooling, airflow regulation.

Key elements

Termite mounds use a network of vents and chambers to maintain stable internal temperatures, even in extreme climates.

4.b Translate lessons from nature into design strategies. Rewrite the strategy without using biological terms and connect it to the functions and the context from a human perspective.

Design ventilation systems that regulate air movement and temperature using a network of interconnected pathways, reducing reliance on energy-intensive cooling systems.

Step 5 – Emulate

5.a List your key information and explore as many ideas as possible.

Features

Passive airflow control using a network of channels.

Ideas

Design energy-efficient HVAC systems for large buildings. Create low-cost cooling systems for arid regions.

5.b Organise your ideas into categories that include the features, the context, the constraints, etc. and select the design concepts that best fit your solution.

Features

Natural cooling, passive system, sustainable materials.

Context

Hot climates, areas with limited electricity.



Step 6 – Evaluate	Constraints
	Building regulations, scalability for different structures.
	Idea selected
	Passive cooling system for schools in hot climates.
	6.a Evaluate the design concept(s) concerning their alignment with the design challenge's criteria and constraints, as well as their compatibility with Earth's systems. Assess the feasibility of both the technical and business models.
	Alignment
	Effectively meets goals for passive cooling in hot climates, reducing reliance on energy-intensive HVAC systems.
	Feasibility
	Requires integration into existing architectural designs, which may add initial cost. Long-term savings from energy efficiency enhance viability.
	Compatibility with the Earth's systems
	Reduces carbon footprint and aligns with sustainable urban development.
	6.b Revise and revisit previous steps as necessary to generate a viable solution.
	Test ventilation designs in different building types. Collaborate with architects to refine designs for cost-effective implementation.

Additional resources:

<https://biomimicry.org/>

<https://www.youtube.com/watch?v=qP8DSdfoiZw> – A video on How Termite mounds Cool Itself | Biomimetic architecture: Zimbabwe Eastgate center



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



WP3 Training Modules on Biomimicry Process Design

Task 3.1/ A1. Developing Self-learning Kit for VET students - LP: ATS / CPs: ALL

LET'S MIMIC SOLUTIONS

A solution refers to the steps applied to solve the challenge identified, through biomimicry.

Solution: Humpback Whale Flipper-Inspired Wind Turbines

BIOMIMICRY DESIGN	Description
Step 2 – Biologise	2.a Ask yourself how nature can solve this. How do humpback whales use their flippers to move efficiently through water? - How do natural systems optimize fluid dynamics to maximize energy transfer? 2.b Ask yourself what your design wants to do. - Reduce drag and improve efficiency. - Minimize turbulence and vibration. - Capture more energy with the same effort. 2.c Flip the question. Consider opposite functions. - How do whale flippers enhance movement efficiency?. - How do natural systems resist movement or create drag (e.g., certain seeds designed to stay in one place)?.
Step 3 – Discover	3.a Search for natural models that match the same functions and context as your design solution. - Research humpback whale flipper structures and tubercles. - Study fluid dynamics in marine animals with optimized movement, like dolphins. - Review scientific papers on aerodynamics in nature. 3.b Identify experts & connect to communities of biologists and naturalists. - Connect with marine biologists focusing on cetacean anatomy and behaviour. - Work with mechanical and aerospace engineers researching biomimetic applications. - Engage with oceanography institutes and biofluid mechanics specialists..
Step 4 – Abstract	4.a Summarise the key elements of the biological strategy. Highlighting the core functions and keywords. If possible, make a diagram/ drawing and/ or find images that can inform the design.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Core functions

Enhanced fluid dynamics, reduced drag, increased lift.

Key elements

Tubercles (bumps) on humpback whale flippers streamline movement through water, improving energy efficiency.



Source: Humpback Whale Flipper-Inspired Wind Turbines, AI generated by Canva

4.b Translate lessons from nature into design strategies. Rewrite the strategy without using biological terms and connect it to the functions and the context from a human perspective.

Create aerodynamic structures with strategically placed ridges or contours to reduce drag and improve performance in wind or water flow applications.

Step 5 – Emulate

5.a List your key information and explore as many ideas as possible.

Features

Tubercles reduce drag and improve lift.

Ideas

Modify turbine blades to improve efficiency in low-wind areas. Explore similar concepts for boat propellers or drones.

5.b Organise your ideas into categories that include the features, the context, the constraints, etc. and select the design concepts that best fit your solution.

Features

Drag reduction, aerodynamic efficiency.

Context

Renewable energy sector, offshore and onshore settings.

Constraints



Step 6 – Evaluate	Manufacturing costs and durability in extreme weather. Selected concept Turbine blades optimized for low-wind environments. 6.a Evaluate the design concept(s) concerning their alignment with the design challenge's criteria and constraints, as well as their compatibility with Earth's systems. Assess the feasibility of both the technical and business models. Alignment Meets the goal of increasing efficiency in low-wind environments, improving renewable energy output. Feasibility Technically feasible with existing turbine manufacturing technologies; however, it may require investment in retrofitting existing turbines. Compatibility with the Earth's systems Reduces dependency on fossil fuels and integrates seamlessly into sustainable energy initiatives. 6.b Revise and revisit previous steps as necessary to generate a viable solution. Refine blade designs for cost-effective retrofitting. Test durability in extreme weather conditions to ensure long-term performance
--------------------------	---

Additional resources:

<https://biomimicry.org/>

<https://www.youtube.com/watch?v=1eDYZEYrkM> – A Short video by Stephen Dewar, Philip Watts & Frank Fish - Turbines and fans inspired by whales (SHORT)



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



WP3 Training Modules on Biomimicry Process Design

Task 3.1/ A1. Developing Self-learning Kit for VET students - LP: ATS / CPs: ALL

LET'S MIMIC SOLUTIONS

A solution refers to the steps applied to solve the challenge identified, through biomimicry.

Solution: Firefly-Inspired LED Efficiency

BIOMIMICRY DESIGN	Description
Step 2 – Biologise	2.a Ask yourself how nature can solve this. • How do fireflies produce bright light without generating heat? • How do natural systems manage energy efficiency in bioluminescence? 2.b Ask yourself what your design wants to do. • Maximize light output while minimizing energy use. • Avoid heat loss during energy conversion. • Produce light in an eco-friendly way. 2.c Flip the question. Consider opposite functions. • How do fireflies maximize light efficiency? • How do natural systems suppress or absorb light (e.g., nocturnal animals avoiding detection)?
Step 3 – Discover	3.a Search for natural models that match the same functions and context as your design solution. • Study the microstructures in firefly lanterns that enhance light emission. • Research bioluminescence in other organisms, such as jellyfish or deep-sea fish. • Explore literature on bio-inspired optics and photonics. 3.b Identify experts & connect to communities of biologists and naturalists. • Collaborate with entomologists studying light-producing insects. • Partner with optical engineers and nanotechnology researchers. • Network with lighting design professionals and bioengineering experts..
Step 4 – Abstract	4.a Summarise the key elements of the biological strategy. Highlighting the core functions and keywords. If possible, make a diagram/ drawing and/ or find images that can inform the design.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Source: Firefly-Inspired LED AI generated by Canva

Core functions

Optimized light emission, energy efficiency.

Key elements

The microstructures on firefly lanterns prevent internal reflection and maximize light output.

4.b Translate lessons from nature into design strategies. Rewrite the strategy without using biological terms and connect it to the functions and the context from a human perspective.

Develop lighting solutions with surface textures or materials that reduce energy loss and enhance brightness. Focus on optimizing angles and reflectivity.

Step 5 – Emulate

5.a List your key information and explore as many ideas as possible.

Features

Microstructures optimize light output.

Ideas

Improve brightness in energy-efficient LEDs for homes and vehicles. Create outdoor lighting systems with minimal energy loss.

5.b Organise your ideas into categories that include the features, the context, the constraints, etc. and select the design concepts that best fit your solution.

Features

Enhanced brightness, reduced energy loss.

Context

Urban lighting, energy-saving devices.

Constraints

Integration with existing lighting systems, cost efficiency.



	Selected concept High-efficiency LED bulbs for public lighting.
Step 6 – Evaluate	6.a Evaluate the design concept(s) concerning their alignment with the design challenge's criteria and constraints, as well as their compatibility with Earth's systems. Assess the feasibility of both the technical and business models. Alignment Enhances brightness and reduces energy consumption, addressing the needs of urban and residential lighting. Feasibility Integration with current LED production processes is achievable. Costs are competitive with conventional LEDs. Compatibility with the Earth's systems Reduces energy use, aligning with global sustainability targets. 6.b Revise and revisit previous steps as necessary to generate a viable solution. Conduct user testing to refine the balance between brightness and efficiency. Explore partnerships with manufacturers to scale production.

Additional resources:

<https://biomimicry.org/>

<https://www.youtube.com/watch?v=7qrfCpMhjc> - "How fireflies inspired energy-efficient lights - BBC World Service, 30 Animals podcast"



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



WP3 Training Modules on Biomimicry Process Design

Task 3.1/ A1. Developing Self-learning Kit for VET students - LP: ATS / CPs: ALL

LET'S MIMIC SOLUTIONS

A solution refers to the steps applied to solve the challenge identified, through biomimicry.

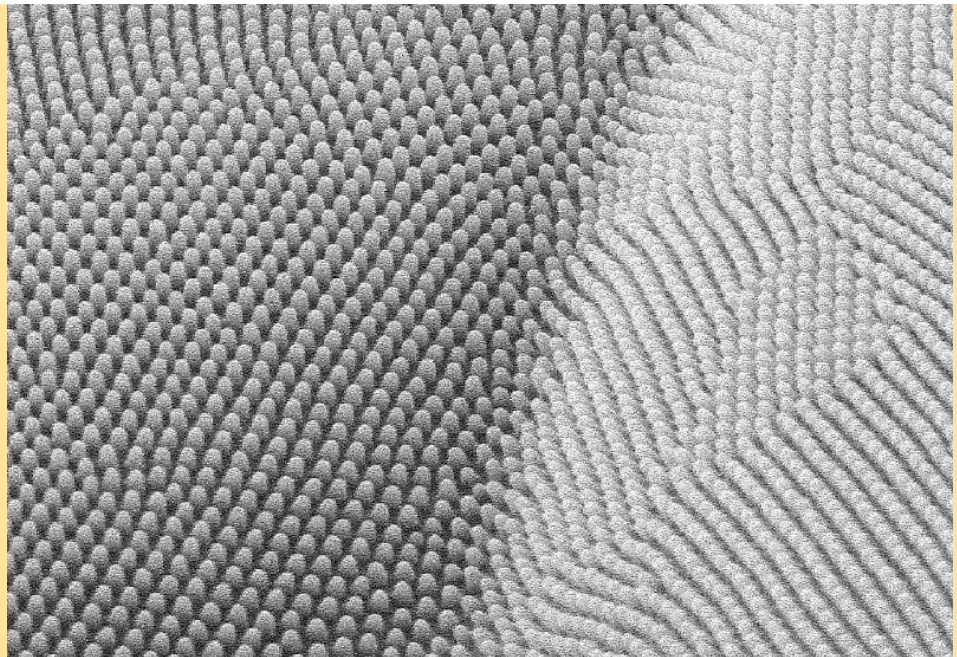
Solution: Moth Eye-Inspired Anti-Reflective Coatings

BIOMIMICRY DESIGN	Description
Step 2 – Biologize	2.a Ask yourself how nature can solve this. • How do moth eyes minimize light reflection? • How do natural systems reduce glare to enhance visibility? 2.b Ask yourself what your design wants to do. • Reduce reflection and glare on surfaces. • Maximize light absorption for better performance. • Enhance visibility under various lighting conditions. 2.c Flip the question. Consider opposite functions. • How do moth eyes reduce reflection? • How do natural systems amplify reflection or scatter light (e.g., iridescent butterfly wings)?
Step 3 – Discover	3.a Search for natural models that match the same functions and context as your design solution. • Study moth eye nanostructures that reduce reflection. • Explore anti-reflective adaptations in other animals, such as nocturnal predators. • Review academic research on bio-inspired anti-glare materials. 3.b Identify experts & connect to communities of biologists and naturalists. • Connect with entomologists researching nocturnal insects. • Collaborate with material scientists developing nanostructured coatings. • Engage with physicists specializing in light manipulation..
Step 4 – Abstract	4.a Summarise the key elements of the biological strategy. Highlighting the core functions and keywords. If possible, make a diagram/ drawing and/ or find images that can inform the design.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Source: <https://asknature.org/strategy/eyes-are-anti-reflective/>

Core functions

Reflection reduction, improved visibility.

Key elements

Moth eyes have nanoscale structures that minimize glare and reflection, allowing them to see clearly in low light.

4.b Translate lessons from nature into design strategies. Rewrite the strategy without using biological terms and connect it to the functions and the context from a human perspective.

Design surfaces with nano-patterned coatings to minimize reflection and enhance clarity in optical devices, displays, or solar panels.

Step 5 – Emulate

5.a List your key information and explore as many ideas as possible.

Features:

Non-patterned surfaces minimize reflection.

Ideas

Apply coatings to reduce glare on smartphone screens and improve the efficiency of solar panels by minimizing reflection.

5.b Organise your ideas into categories that include the features, the context, the constraints, etc., and select the design concepts that best fit your solution.

Features

Glare reduction, improved light absorption.

Context



	Consumer electronics, renewable energy. Constraint Manufacturing scalability and wear resistance. Idea selected Anti-reflective coating for solar panels in high-sun regions.
Step 6 – Evaluate	6.a Evaluate the design concept(s) concerning their alignment with the design challenge's criteria and constraints, as well as their compatibility with Earth's systems. Assess the feasibility of both the technical and business models. Alignment Effectively addresses glare reduction and light absorption for electronics and solar panels. Feasibility Nano-patterned coating production is technically feasible but requires scaling to reduce costs. Compatibility with the Earth's systems Enhances solar energy efficiency, contributing to renewable energy goals. 6.b Revise and revisit previous steps as necessary to generate a viable solution. Optimise coating for durability and cost. Explore secondary applications, such as automotive glass or eyewear

Additional resources:

<https://biomimicry.org/>

https://www.youtube.com/watch?v=JvnD-A_dkmY - “Moth-eye-inspired Sub-wavelength antireflective structures for solar cells”



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



WP3 Training Modules on Biomimicry Process Design

Task 3.1/ A1. Developing Self-learning Kit for VET students - LP: ATS / CPs: ALL

LET'S MIMIC SOLUTIONS

A solution refers to the steps applied to solve the challenge identified, through biomimicry.

Solution: Kingfisher-Inspired Bullet Trains

BIOMIMICRY DESIGN	Description
Step 2 – Biologise	2.a Ask yourself how nature can solve this. • How does the kingfisher's beak move through water with minimal disturbance?. • How do natural systems reduce noise during high-speed movement?. 2.b Ask yourself what your design wants to do. • Minimize noise and aerodynamic drag. • Maintain stability at high speeds. • Reduce energy loss during motion. 2.c Flip the question. Consider opposite functions. • How does the kingfisher reduce disturbance during movement?. • How do natural systems maximize turbulence or create noise (e.g., how some predators create splashes to confuse prey)?.
Step 3 – Discover	3.a Search for natural models that match the same functions and context as your design solution. • Study the aerodynamic properties of the kingfisher's beak. • Explore other birds with efficient diving techniques, like gannets. • Review research on fluid mechanics and aerodynamics in bird anatomy. 3.b Identify experts & connect to communities of biologists and naturalists. • Collaborate with ornithologists studying avian biomechanics. • Work with transport engineers focusing on noise reduction and aerodynamics. • Engage with design consultants for high-speed train systems..
Step 4 – Abstract	4.a Summarise the key elements of the biological strategy. Highlighting the core functions and keywords. If possible, make a diagram/ drawing and/ or find images that can inform the design.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Source: <https://www.flickr.com/photos/lipkee/505129764/>

Core functions

Noise reduction and streamlined movement.

Key elements

The pointed beak of the kingfisher reduces the shockwave created when diving into water, enabling silent and efficient motion.

4.b Translate lessons from nature into design strategies. Rewrite the strategy without using biological terms and connect it to the functions and the context from a human perspective.

Design transportation systems with tapered shapes to minimize noise and energy loss, thereby enhancing efficiency in high-speed travel or underwater vehicles.

Step 5 – Emulate

5.a List your key information and explore as many ideas as possible.

Features

Streamlined shape reduces noise and energy consumption.

Ideas

Design quiet and efficient high-speed trains. Adapt the concept for airplanes or underwater vessels.

5.b Organise your ideas into categories that include the features, the context, the constraints, etc., and select the design concepts that best fit your solution.

Features: Noise reduction, energy efficiency.



	Context High-speed transportation systems, urban settings. Constraints Aerodynamic testing, manufacturing costs. Selected concept Noise-optimized bullet trains for urban areas.
Step 6 – Evaluate	6.a Evaluate the design concept(s) concerning their alignment with the design challenge's criteria and constraints, as well as their compatibility with Earth's systems. Assess the feasibility of both the technical and business models. Alignment Reduces noise pollution and energy consumption for urban high-speed trains, while improving passenger comfort. Feasibility Aerodynamic improvements are technically feasible but may require redesign of train exteriors. Compatibility with the Earth's systems Supports sustainable transportation goals by reducing energy use and emissions. 6.b Revise and revisit previous steps as necessary to generate a viable solution. Conduct wind-tunnel testing to refine the nose shape. Collaborate with engineers to integrate aerodynamic features without compromising safety.

Additional resources:

<https://biomimicry.org/>

https://www.youtube.com/watch?v=F_fZroQxD_g - “A kingfisher helped reshape Japan's bullet train - BBC World Service, 30 Animals podcast”



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



WP3 Training Modules on Biomimicry Process Design

Task 3.1/ A1. Developing Self-learning Kit for VET students - LP: ATS / CPs: ALL

LET'S MIMIC SOLUTIONS

A solution refers to the steps applied to solve the challenge identified, through biomimicry.

Solution: Spider Silk-Inspired Synthetic Fibers

BIOMIMICRY DESIGN	Description
Step 2 – Biologise	2.a Ask yourself how nature can solve this. • How do spiders create strong, lightweight silk? • How do natural systems combine strength and flexibility in materials? 2.b Ask yourself what your design wants to do. • Provide strength and elasticity in one material. • Be lightweight and durable. • Adapt to different uses, such as medical sutures or protective gear. 2.c Flip the question. Consider opposite functions. • How do spiders make their silk so strong? • How do natural systems produce weak fibres (e.g., cobwebs designed to break easily)?
Step 3 – Discover	3.a Search for natural models that match the same functions and context as your design solution. • Study the molecular composition and structure of spider silk. • Research other natural fibres, such as silkworm silk or mussel threads. • Explore academic papers on bio-inspired materials and tensile strength. 3.b Identify experts & connect to communities of biologists and naturalists. • Connect with arachnologists specializing in spider silk production. • Collaborate with textile engineers and materials scientists. • Engage with biomaterials research labs and startups.
Step 4 – Abstract	4.a Summarise the key elements of the biological strategy. Highlighting the core functions and keywords. If possible, make a diagram/ drawing and/ or find images that can inform the design.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Source: https://www.freepik.com/free-photo/natural-abstract-background-with-cobwebs-sunlight_18857742.htm#fromView=search&page=1&position=9&uuid=08af6ed4-64b0-4e9b-a7b1-f7f92169bcdd

Core functions

Strength, elasticity, light weight.

Key elements

Spider silk is a protein-based fibre with a unique molecular structure that combines high tensile strength and flexibility.

4.b Translate lessons from nature into design strategies. Rewrite the strategy without using biological terms and connect it to the functions and the context from a human perspective.

Develop lightweight, strong, and flexible materials for use in construction, safety gear, or medical applications, focusing on molecular alignment for durability.

Step 5 – Emulate

5.a List your key information and explore as many ideas as possible.

Features

High strength and elasticity, lightweight.

Ideas

Develop lightweight cables for construction. Create medical sutures that are both strong and flexible.

5.b Organise your ideas into categories that include the features, the context, the constraints, etc., and select the design concepts that best fit your solution.

Features



	Strength, flexibility, and biocompatibility. Context Construction, medical, and sports equipment. Constraints Synthetic production costs and environmental sustainability. Selected concept Biodegradable surgical sutures for medical use.
Step 6 – Evaluate	6.a Evaluate the design concept(s) concerning their alignment with the design challenge's criteria and constraints, as well as their compatibility with Earth's systems. Assess the feasibility of both the technical and business models. Alignment Meets goals for strong, lightweight materials in medical and construction applications. Feasibility The synthetic production of spider silk proteins is advancing, but it requires scaling up for widespread use. Compatibility with the Earth's systems Use biodegradable or sustainable inputs to reduce environmental impact. 6.b Revise and revisit previous steps as necessary to generate a viable solution. Experiment with alternative biopolymers to reduce costs. explore hybrid materials to enhance functionality

Additional resources:

<https://biomimicry.org/>

<https://www.youtube.com/watch?v=cTF3Hy5w8Io> - "A Spider Inspired Solution to Sustainable Fashion | Turning Liquid Into Thread=The Future of Design?"



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



WP3 Training Modules on Biomimicry Process Design

Task 3.1/ A1. Developing Self-learning Kit for VET students - LP: ATS / CPs: ALL

LET'S MIMIC SOLUTIONS

A solution refers to the steps applied to solve the challenge identified, through biomimicry.

Solution: Boxfish-Inspired Car Design

BIOMIMICRY DESIGN	Description
Step 2 – Biologise	2.a Ask yourself how nature can solve this. • How does the boxfish move efficiently through water despite its boxy shape?. • How do natural systems balance stability and low drag in their forms?. 2.b Ask yourself what your design wants to do. • Reduce drag and fuel consumption. • Maintain stability and manoeuvrability. • Ensure safety and efficiency in design. 2.c Flip the question. Consider opposite functions. • How does the boxfish reduce drag while maintaining stability?. • How do natural systems create instability or drag when needed (e.g., fish flaring fins to slow down)?.
Step 3 – Discover	3.a Search for natural models that match the same functions and context as your design solution. • Study the hydrodynamic shape of the boxfish and its unique carapace structure. • Research other aquatic animals with stable yet low-drag shapes. • Review literature on bio-inspired automotive design. 3.b Identify experts & connect to communities of biologists and naturalists. • Partner with marine biologists specializing in fish morphology. • Work with automotive designers and engineers in biomimicry projects. • Collaborate with hydrodynamics experts in industrial applications..
Step 4 – Abstract	4.a Summarise the key elements of the biological strategy. Highlighting the core functions and keywords. If possible, make a diagram/ drawing and/ or find images that can inform the design.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Source: <https://www.inaturalist.org/photos/339539534>

Core functions

Stability, low drag.

Key elements

The boxfish has a streamlined body shape that balances drag reduction with stability, enabling efficient movement in water.

4.b Translate lessons from nature into design strategies. Rewrite the strategy without using biological terms and connect it to the functions and the context from a human perspective.

Design vehicles or structures with rounded, streamlined shapes for improved stability and efficiency in fluid or air movement.

Step 5 – Emulate

5.a List your key information and explore as many ideas as possible.

Features

Streamlined body balances drag reduction and stability.

Ideas

Design compact cars with improved fuel efficiency. Use the shape for underwater

5.b Organise your ideas into categories that include the features, the context, the constraints, etc., and select the design concepts that best fit your solution.

Features

Low drag, high stability.

Context

Urban transportation, underwater exploration.



Step 6 – Evaluate	Constraints Consumer preferences, regulatory requirements. Selected concept Fuel-efficient city car with a streamlined design. 6.a Evaluate the design concept(s) concerning their alignment with the design challenge's criteria and constraints, as well as their compatibility with Earth's systems. Assess the feasibility of both the technical and business models. Alignment Streamlined design reduces drag and improves fuel efficiency in urban vehicles. Feasibility Car manufacturing processes can incorporate this design with minimal adjustments. However, consumer acceptance needs to be tested. Compatibility with the Earth's systems Reduces fuel consumption and aligns with green transportation initiatives. 6.b Revise and revisit previous steps as necessary to generate a viable solution. Test prototypes in real-world driving conditions to gather consumer feedback and refine both aesthetics and functionality.
--------------------------	---

Additional resources:

<https://biomimicry.org/>

<https://www.youtube.com/watch?v=5tFglhATUZs> – “Mercedes-Benz bionic car”



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



WP3 Training Modules on Biomimicry Process Design

Task 3.1/ A1. Developing Self-learning Kit for VET students - LP: ATS / CPs: ALL

LET'S MIMIC SOLUTIONS

A solution refers to the steps applied to solve the challenge identified, through biomimicry.

Solution: Namib Desert Beetle-Inspired Water Harvesting

BIOMIMICRY DESIGN	Description
Step 2 – Biologise	2.a Ask yourself how nature can solve this. • How does the Namib Desert beetle collect water from fog? • How do natural systems capture moisture from the air in arid environments? 2.b Ask yourself what your design wants to do. • Capture and channel water efficiently. • Work in dry, low-humidity environments. • Be sustainable and adaptable to various climates. 2.c Flip the question. Consider opposite functions. • How does the Namib beetle harvest water? • How do natural systems prevent moisture loss (e.g., cacti with water-retentive structures)?
Step 3 – Discover	3.a Search for natural models that match the same functions and context as your design solution. • Study the water collection strategies of the Namib Desert beetle. • Explore other organisms in arid environments, such as cacti or lizards. • Review research on fog-harvesting mechanisms in nature. 3.b Identify experts & connect to communities of biologists and naturalists. • Collaborate with entomologists studying desert beetles and their adaptations. • Work with environmental engineers focusing on water scarcity solutions. • Engage with sustainability researchers and desert ecologists..
Step 4 – Abstract	4.a Summarise the key elements of the biological strategy. Highlighting the core functions and keywords. If possible, make a diagram/ drawing and/ or find images that can inform the design.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Source: Namib Desert Beetle-Inspired Water Harvesting AI created by Canva

Core functions

Water collection, survival in arid environments.

Key elements

The Namib Desert beetle has hydrophilic (water-attracting) bumps on its back that capture moisture from fog, channelling it to its mouth.

4.b Translate lessons from nature into design strategies. Rewrite the strategy without using biological terms and connect it to the functions and the context from a human perspective.

Create materials or structures with moisture-attracting surfaces for water collection in dry areas, integrating passive systems for water harvesting

Step 5 – Emulate

5.a List your key information and explore as many ideas as possible.

Features

Hydrophilic bumps capture water from the air.

Ideas

Develop portable water-harvesting devices for arid regions and integrate them into buildings for passive water collection.

5.b Organise your ideas into categories that include the features, the context, the constraints, etc. and select the design concepts that best fit your solution.

Features

Passive water collection, moisture condensation.

Context

Desert environments, drought-prone areas.

Constraints

Durability and cost of large-scale implementation.



	Idea selected A rooftop system for water harvesting in dry regions.
Step 6 – Evaluate	6.a Evaluate the design concept(s) concerning their alignment with the design challenge's criteria and constraints, as well as their compatibility with Earth's systems. Assess the feasibility of both the technical and business models. Alignment Captures water passively, addressing water scarcity in arid regions. Feasibility Effective for small-scale applications; scalability for community use requires additional research. Compatibility with the Earth's systems Operates passively without energy input, reducing environmental impact. 6.b Revise and revisit previous steps as necessary to generate a viable solution. Test prototypes in diverse climate conditions. Explore integration with existing water infrastructure

Additional resources:

<https://biomimicry.org/>

<https://www.youtube.com/watch?v=TmyfqjXOf7M&t=25s> – “Can Namib Desert Beetles Help Us Solve Our Drought Problems? | Think Like a Tree”



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



WP3 Training Modules on Biomimicry Process Design

Task 3.1/ A1. Developing Self-learning Kit for VET students - LP: ATS / CPs: ALL

LET'S MIMIC SOLUTIONS

A solution refers to the steps applied to solve the challenge identified, through biomimicry.

Solution: Pinecone-Inspired Building Materials

BIOMIMICRY DESIGN	Description
Step 2 – Biologise	2.a Ask yourself how nature can solve this. • How do pinecones respond to changes in humidity? • How do natural systems regulate moisture or open/close mechanisms? 2.b Ask yourself what your design wants to do. • Adapt to environmental moisture levels. • Control ventilation passively without external energy. • Enhance energy efficiency in buildings. 2.c Flip the question. Consider opposite functions. • How do pinecones react to humidity changes? • How do natural systems resist environmental changes or remain unaffected by moisture (e.g., desert plants with waxy coatings)?
Step 3 – Discover	3.a Search for natural models that match the same functions and context as your design solution. • Study the hygroscopic properties of pinecones and their response to moisture. • Research other natural materials with adaptive responses to humidity. • Explore scientific papers on passive design inspired by plant mechanisms. 3.b Identify experts & connect to communities of biologists and naturalists. • Partner with botanists studying seed dispersal and plant structures. • Collaborate with architects and civil engineers focused on sustainable design. • Engage with biomimicry networks and adaptive material researchers..
Step 4 – Abstract	4.a Summarise the key elements of the biological strategy. Highlighting the core functions and keywords. If possible, make a diagram/ drawing and/ or find images that can inform the design.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Source: https://www.freepik.com/free-photo/closeup-shot-pine-cones-hanging-tree_12859335.htm#fromView=search&page=1&position=6&uuid=93831a35-4f6b-47a0-b085-c080801f1261

Core functions

Responsive material behaviour, moisture adaptation.

Key elements

Pinecones open or close their scales in response to humidity levels, utilising their structure to regulate seed dispersal.

4.b Translate lessons from nature into design strategies. Rewrite the strategy without using biological terms and connect it to the functions and the context from a human perspective.

Design building materials or structures that adjust to humidity changes, improving ventilation and reducing the need for mechanical systems in climate control.

Step 5 – Emulate

5.a List your key information and explore as many ideas as possible.

Features

Materials adapt to changes in humidity for natural ventilation.

Ideas

Develop smart building facades that open or close automatically based on weather conditions. Use for greenhouses or climate-sensitive buildings

5.b Organise your ideas into categories that include the features, the context, the constraints, etc. and select the design concepts that best fit your solution.

Features

Responsive material, natural humidity control.



	Context Green architecture and energy-efficient construction. Constraints Material cost and durability under varying conditions. Selected concept Humidity-responsive building panels for greenhouses.
Step 6 – Evaluate	6.a Evaluate the design concept(s) concerning their alignment with the design challenge's criteria and constraints, as well as their compatibility with Earth's systems. Assess the feasibility of both the technical and business models. Alignment Responsive materials naturally manage humidity, reducing energy consumption in climate-sensitive buildings. Feasibility Material development is achievable but requires testing for long-term durability. Compatibility with the Earth's systems Low-energy and sustainable material aligns with green building initiatives. 6.b Revise and revisit previous steps as necessary to generate a viable solution. Conduct field tests in various climates. Collaborate with architects to refine integration into building designs.

Additional resources:

<https://biomimicry.org/>

<https://youtube.com/shorts/3o6ZeiqpA8g?si=dUHqGroWqAH-TUK->



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



WP3 Training Modules on Biomimicry Process Design

Task 3.1/ A1. Developing Self-learning Kit for VET students - LP: ATS / CPs: ALL

LET'S MIMIC SOLUTIONS

A solution refers to the steps applied to solve the challenge identified, through biomimicry.

Solution: Passive cooling system inspired by desert beetles

BIOMIMICRY DESIGN	Description
Step 2 – Biologise	2.a Ask yourself how nature can solve this. How do beetles, such as the Namib Desert beetle, survive in extremely hot environments with little water? Context These beetles manage heat and water loss using unique physical adaptations. The Namib beetle, for instance, uses a combination of hydrophilic bumps and hydrophobic channels on its back to collect and funnel water from morning fog. Additionally, some beetles regulate body temperature through reflective shell coatings, behavioural shading, or microstructural surface adaptations that minimise heat absorption. 2.b Ask yourself: What do I want my design to do? • Regulate temperature passively using natural principles. • Collect moisture or disperse heat in buildings or electronics. • Minimise or eliminate the need for energy-consuming cooling systems. 2.c Flip the question. Consider opposite functions. How do desert beetles avoid overheating during the hottest parts of the day? How do organisms retain or conserve moisture and avoid water loss?
Step 3 – Discover	3.a Search for natural models that match the same functions and context as your design solution. • Namib Desert beetle (<i>stenocara gracilipes</i>): Uses surface structures to harvest water from fog and manage heat. • Fennec fox: Has large ears to dissipate heat. • Saharan silver ant: Reflects sunlight with unique triangular hairs. • Cactus and agave: Use self-shading and reflective surfaces to reduce water loss and overheating. • Termites: Engineer mounds to passively regulate temperature. 3.b Identify experts & connect to communities of biologists and naturalists.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

- Entomologists specializing in desert insect adaptations.
- Materials scientists and engineers researching bioinspired passive cooling surfaces.
- Architecture and biomimicry communities (e.g., Biomimicry Institute, AskNature.org).
- Climate-responsive architecture experts and thermal dynamics researchers..

Step 4 – Abstract

4.1 Summarise the key elements of the biological strategy.

Highlighting the core functions and keywords. If possible, make a diagram/ drawing and/ or find images that can inform the design.

Core functions

Passive cooling, moisture collection, surface temperature control.

Key elements

- **Micro- and nano-scale surface patterning:** Alternating hydrophilic and hydrophobic zones.
- **Heat-reflective surfaces:** Structural colours or coatings that reduce solar absorption.
- **Behavioural/ structural shielding:** Orientation and surface textures to reduce heat intake.

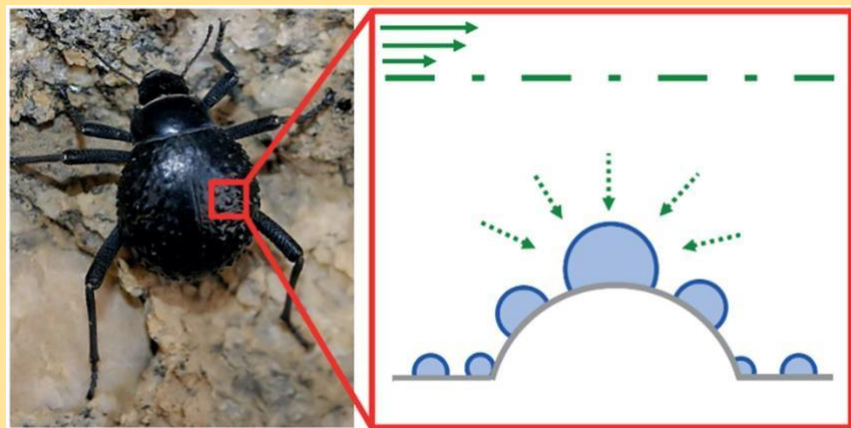


Image retrieved from [Researchgate](#)

4.b Translate lessons from nature into design strategies. Rewrite the strategy without using biological terms and connect it to the functions and the context from a human perspective.

- Design **building materials** or **coatings** that mimic beetle shell patterns to collect dew or reflect heat.
- Create **roofing panels** with textured surfaces to channel condensation or reflect infrared light.
- Develop **ventilated facade systems** with beetle-inspired microstructures for enhanced evaporative cooling.

Step 5 – Emulate

- Use **surface geometry** to enhance convective cooling and radiation emission, reducing heat buildup..

5.1 List your key information and explore as many ideas as possible.

Key concepts

- Hydrophilic/hydrophobic surface engineering.
- Passive water harvesting and cooling.
- Reflective and textured material coatings.
- Directional water transport systems.

Ideas

- Self-cooling building claddings.
- Fog-harvesting walls for arid regions.
- Beetle-inspired textiles for thermoregulating clothing.
- Passive cooling covers for electronics or outdoor units.
- Beetle-shell inspired car paints or roof coatings to reduce internal heat gain.

5.2 Organise your ideas into categories that include the features, the context, the constraints, etc. and select the design concepts that best fit your solution.

Context	Features	Constraints
Buildings in hot/arid zones	Passive dew collection, heat reflection, and cooling	Scaling surface texture, durability
Electronics	Overheat reduction using surface structuring	Miniaturization, material compatibility
Textiles	Thermoregulation and moisture control	Comfort, washability, and affordability
Urban furniture/shelters	Self-cooling benches or shaded walkways	Weather resistance, vandal-proofing

Idea selected





Step 6 – Evaluate

A building facade system that mimics the Namib beetle's shell to cool and collect water in hot, arid climates passively. This system uses micro-textured panels to direct condensed fog or dew toward storage and ventilation units.

6.1 Evaluate the design concept(s) concerning their alignment with the design challenge's criteria and constraints, as well as their compatibility with Earth's systems. Assess the feasibility of both the technical and business models.

Alignment with criteria

- Meets goals for low-energy cooling and water conservation.
- Inspired directly by an organism that thrives in extreme heat and water scarcity.
- Can integrate with sustainable architecture or green building certification systems.

Feasibility

- **Technical:** Material science supports fabrication of micro-structured surfaces; fog-harvesting has proven viability.
- **Economic:** Initial R&D investment is moderate; long-term savings in energy/water costs are high.
- **Environmental:** Promotes sustainable cooling with no emissions or refrigerants. Materials should aim for recyclability.

6.2 Revise and revisit previous steps as necessary to generate a viable solution.

- **Prototype testing:** Evaluate surface textures in lab-controlled heat and humidity conditions.
- **Iterate materials:** Improve hydrophobic/hydrophilic contrast for fog collection.
- **Optimise shape:** Refine geometry for different climatic contexts (e.g., vertical vs. horizontal installations).

Additional resources:

AskNature on Namib Beetle Water Harvesting

<https://biomimicry.org/>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032118302302>

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3930861/>



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



WP3 Training Modules on Biomimicry Process Design

Task 3.1/ A1. Developing Self-learning Kit for VET students - LP: ATS / CPs: ALL

LET'S MIMIC SOLUTIONS

A solution refers to the steps applied to solve the challenge identified, through biomimicry.

Solution: Manta ray-inspired underwater propulsion

BIOMIMICRY DESIGN	Description
Step 2 – Biologise	2.a Ask yourself how nature can solve this. How do manta rays achieve manoeuvrable underwater propulsion? Context Manta rays and similar marine animals propel themselves using undulating fin movements, generating thrust with minimal turbulence. Their flexible, wing-like pectoral fins allow silent, stable, and energy-efficient gliding through water. 2.b Ask yourself: What do I want my design to do? • Propel efficiently and quietly through water. • Replace or supplement traditional thrusters. • Enable agile, bioinspired underwater movement. 2.c Flip the question. Consider opposite functions. • How do traditional propeller systems cause inefficiencies and noise?. • How can flexible, soft-bodied movement reduce wear, noise, and turbulence?.
Step 3 – Discover	3.a Search for natural models that match the same functions and context as your design solution. • Manta rays: Large surface area fins with oscillatory motion. • Stingrays and eagle rays: Use dynamic wing-like propulsion. • Cephalopods (like squids and octopuses): Use jet propulsion and body undulation. • Fish (e.g., tuna, eels): Offer contrasting caudal propulsion models. 3.b Identify experts & connect to communities of biologists and naturalists. • Marine biologists specialising in locomotion. • Engineers in biomimetic robotics and soft robotics. • Research institutions like MIT's Biomimetic Robotics Lab..



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Step 4 – Abstract

4.1 Summarise the key elements of the biological strategy. Highlighting the core functions and keywords. If possible, make a diagram/ drawing and/ or find images that can inform the design.

Core functions

Silent propulsion, manoeuvrability, energy efficiency.

Key elements

- Oscillating fin-based thrust instead of rotary propellers.
- Flexibility in body and fins for adaptive movement.
- Streamlined, drag-reducing body shape.
- Smooth energy transfer along the fin's surface.

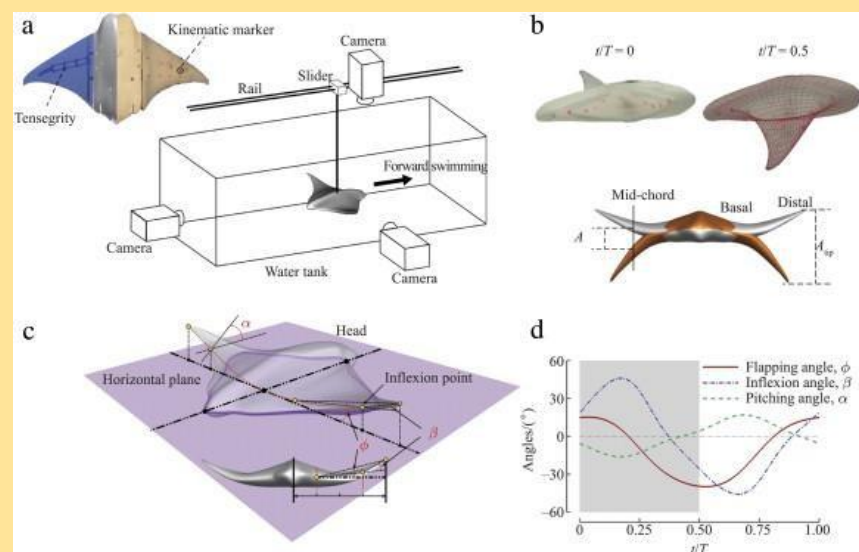


Image retrieved from [Sciencedirect](https://www.sciencedirect.com)

4.b Translate lessons from nature into design strategies. Rewrite the strategy without using biological terms and connect it to the functions and the context from a human perspective.

Create soft-robotic fin systems that oscillate like manta ray pectoral fins to propel underwater vehicles silently and efficiently. Use flexible polymers or smart materials controlled by precision actuators to replicate natural wave propagation.

Step 5 – Emulate

5.1 List your key information and explore as many ideas as possible.

Ideas

- Underwater drones with lateral fin propulsion.
- Autonomous exploration bots with ray-like movement.
- Rescue or inspection devices that move silently around coral reefs or infrastructure.

Step 6 – Evaluate

5.2 Organise your ideas into categories that include the features, the context, the constraints, etc. and select the design concepts that best fit your solution.

Context	Features	Constraints
Underwater Drones	Silent gliding, high manoeuvrability	Cost, waterproofing actuators
Environmental Surveys	Low disturbance to marine life	Data collection integration
Military/Stealth Ops	Minimal acoustic signature	Complex control systems
Coral Reef Monitoring	Precise control and obstacle avoidance	Size restrictions, low-energy systems

Idea selected

An autonomous underwater glider with manta-inspired lateral fin propulsion, designed for quiet marine surveys and exploration.

6.1 Evaluate the design concept(s) concerning their alignment with the design challenge's criteria and constraints, as well as their compatibility with Earth's systems. Assess the feasibility of both the technical and business models.

Alignment

- Matches goals for sustainable, efficient, and low-noise propulsion.
- Bioinspired movement enables operation in ecologically sensitive zones.

Technical feasibility

- Advances in soft robotics make flexible propulsion viable.
- Control systems for undulatory motion are improving.

Business model

- Strong potential in marine research, defence, and aquaculture.
- Eco-tourism and underwater photography may benefit from silent propulsion systems.

Earth compatibility

- Low energy consumption.
- Reduced mechanical pollution and marine disruption.
- Biodegradable or recyclable construction materials can enhance sustainability.



6.2 Revise and revisit previous steps as necessary to generate a viable solution.

- Test materials for durability and energy efficiency.
- Optimise actuator placement for smoother fin wave propagation.
- Expand to modular designs for variable depth and speed use.

Additional resources:

<https://asknature.org>

<https://biomimicry.org/>



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



WP3 Training Modules on Biomimicry Process Design

Task 3.1/ A1. Developing Self-learning Kit for VET students - LP: ATS / CPs: ALL

LET'S MIMIC SOLUTIONS

A solution refers to the steps applied to solve the challenge identified, through biomimicry.

Solution: Bio-inspired self-healing concrete

BIOMIMICRY DESIGN	Description
Step 2 – Biologise	2.a Ask yourself how nature can solve this. How do biological organisms heal themselves after injury? Nature responds to damage through autonomous repair mechanisms, like: • Human bones regenerating fractures via mineral deposition. • Skin closes wounds through cellular signalling. • Plants seal bark wounds with resins. Natural model Bacteria-activated healing, as seen in some microbial interactions, where calcite-producing bacteria fill voids in living systems. 2.b Ask yourself: What do I want my design to do? • Heal microcracks in concrete automatically. • Respond to water or air infiltration by activating the healing process. • Extend the operational life of buildings and bridges. 2.c Flip the question. Consider opposite functions. • Instead of preventing cracks entirely, how can we enable materials to respond intelligently to damage?. • How can we mimic life's ability to regenerate in an inorganic material?.
Step 3 – Discover	3.a Search for natural models that match the same functions and context as your design solution. • Bones: Mineralisation processes fill cracks over time. • Trees: Bark regenerates after injury using internal fluid and sap. • Bacteria: Spore-forming bacteria activate under moisture to produce limestone, sealing gaps.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



	3.b Identify experts & connect to communities of biologists and naturalists. • Microbiologists researching calcifying bacteria. • Civil engineers focused on smart materials. • Biomimicry institutes and material scientists..
Step 4 – Abstract	4.1 Summarise the key elements of the biological strategy. Highlighting the core functions and keywords. If possible, make a diagram/ drawing and/ or find images that can inform the design. Core functions Autonomous repair, moisture activation, mineralisation. Key elements • Triggered by environmental cues (e.g. moisture). • Microorganisms or microcapsules release binding agents. • Fills microcracks before they propagate.



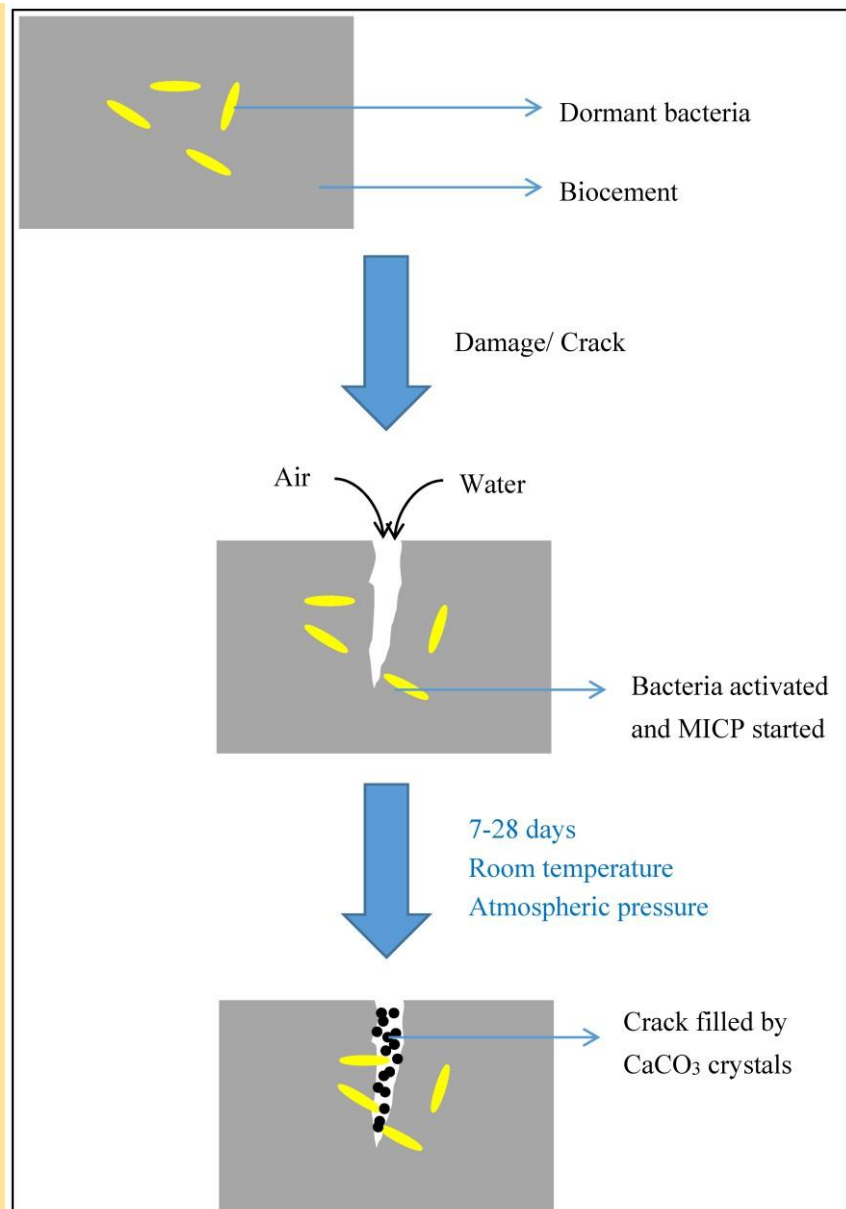


Image retrieved from [MDPI](#)

4.b Translate lessons from nature into design strategies. Rewrite the strategy without using biological terms and connect it to the functions and the context from a human perspective.

Develop concrete embedded with capsules or spore-forming bacteria that release calcite or binding polymers when cracks form and moisture enters, effectively healing the structure before significant damage occurs.

Step 5 – Emulate

5.1 List your key information and explore as many ideas as possible.

Key ideas

- Bacteria-activated concrete.

- Microencapsulated healing agents.
- Sensors that detect crack formation and trigger healing.
- Integration with modular building components.

5.2 Organise your ideas into categories that include the features, the context, the constraints, etc. and select the design concepts that best fit your solution.

Context	Features	Constraints
Infrastructure (bridges, roads)	Water-activated healing, microbially driven	Exposure to contaminants, temperature cycles
High-rise buildings	Long-term integrity, smart structure potential	Certification hurdles, embedded systems cost
Military bunkers	Damage resistance, lower visibility of maintenance	Harsh conditions, chemical compatibility
Housing in remote areas	Minimal maintenance, long lifespan	Lack of skilled labour, limited monitoring tools

Idea selected

Bacteria-based self-healing concrete that activates upon crack formation and contact with moisture, sealing gaps with calcium carbonate deposits.

Step 6 – Evaluate

6.1 Evaluate the design concept(s) concerning their alignment with the design challenge's criteria and constraints, as well as their compatibility with Earth's systems. Evaluate the feasibility of the technical and business model.

Criteria fit

- Passive, automatic healing.
- Increases structural resilience.
- Reduces material waste over time.

Feasibility

- Technically viable (already in prototype/commercial trial phase).





- Cost-effective over the long term compared to traditional repairs.
- Environmentally positive due to reduced reconstruction needs.

Earth compatibility

- Aligns with circular economy principles.
- Bacteria are naturally occurring and environmentally benign.
- Can reduce carbon emissions from concrete production by extending the lifecycle.

6.2 Revise and revisit previous steps as necessary to generate a viable solution.

- Test bacterial survivability over decades.
- Adapt for extreme climates or saltwater environments.
- Explore hybrid systems (e.g., bacterial + chemical capsules).

Additional resources:

<https://asknature.org>

<https://biomimicry.org/>

<https://www.mdpi.com/1996-1944/13/21/4993>



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



WP3 Training Modules on Biomimicry Process Design

Task 3.1/ A1. Developing Self-learning Kit for VET students - LP: ATS / CPs: ALL

LET'S MIMIC SOLUTIONS

A solution refers to the steps applied to solve the challenge identified, through biomimicry.

Solution: Shark-skin inspired anti-fouling surfaces

BIOMIMICRY DESIGN	Description
Step 2 – Biologise	2.a Ask yourself how nature can solve this. How do organisms in nature, such as sharks, manage to prevent the accumulation of microorganisms and other unwanted organisms on their surfaces without relying on chemical defences or constant cleaning? Sharks avoid biofouling without the use of secretions or chemicals. Their skin is covered in microscopic riblet structures (dermal denticles) that create a rough, flowing surface, preventing microorganisms from settling. 2.b What do I want my design to do? • Prevent adhesion of algae, bacteria, and barnacles. • Work passively- no toxins or active cleaning. • Be applicable in dynamic environments (e.g., moving ships). 2.c Flip the question • Instead of using chemical deterrents, how can we design surfaces that inherently prevent fouling?. • How can texture alone discourage colonisation?.
Step 3 – Discover	3.a Search for natural models that match the same functions and context as your design solution. • Shark skin: Ribbed texture prevents attachment. • Dolphin skin: Constantly regenerating and low-friction. • Lotus leaves: Superhydrophobic and self-cleaning. • Fish scales: Flexible and protective. 3.b Identify experts & connect to communities of biologists and naturalists. • Marine biologists and biomaterials scientists. • Naval engineers and green coating developers. • Biomimicry communities like Biomimicry 3.8..



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Step 4 – Abstract

4.1 Summarise the key elements of the biological strategy. Highlighting the core functions and keywords. If possible, make a diagram/ drawing and/ or find images that can inform the design.

Core functions

Anti-adhesion, self-cleaning, passive biofouling resistance.

Key elements

- Micro/nanoscale riblet patterns.
- Directional flow channels.
- Surface hardness and elasticity balance.

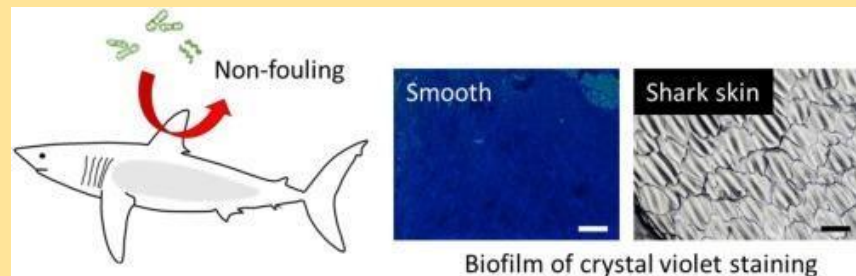


Image retrieved from [Elsevier](#)

4.b Translate lessons from nature into design strategies. Rewrite the strategy without using biological terms and connect it to the functions and the context from a human perspective.

Develop coatings or films with micropatterned surfaces that mimic shark skin to disrupt microbial adhesion. Use 3D-printing, embossing, or nanoimprint lithography to scale production. Ensure application to boats, medical devices, and even architectural surfaces.

Step 5 – Emulate

5.1 List your key information and explore as many ideas as possible.

Key ideas

- Shark-skin textured wraps for ships.
- Micro-patterned hospital equipment coatings.
- Anti-biofilm surfaces in wastewater pipes.
- Paints with embedded riblet patterns.

5.2 Organise your ideas into categories that include the features, the context, the constraints, etc. and select the design concepts that best fit your solution.

Context	Features	Constraints
---------	----------	-------------

Step 6 – Evaluate

Marine vessels	Riblet-patterned hull coatings, drag reduction	UV wear, considerable surface coverage cost
Medical devices	Anti-bacterial textured coatings	Biocompatibility, cleaning protocols
Water infrastructure	Fouling-resistant pipe interiors	Flow dynamics, installation complexity
Architecture (e.g. pools)	Algae-preventing tiles or coatings	Aesthetic compatibility, weathering

Idea selected

Flexible shark-skin inspired surface wrap for boats and underwater infrastructure that prevents fouling without leaching chemicals.

6.1 Evaluate the design concept(s) concerning their alignment with the design challenge's criteria and constraints, as well as their compatibility with Earth's systems. Evaluate the feasibility of the technical and business model.

Criteria fit

- Passive resistance to fouling.
- No chemicals involved.
- Scalable to large surfaces.

Feasibility

- Technologically viable with modern microfabrication.
- Costs more than paint but is offset by durability and environmental safety.

Earth compatibility

- Zero toxicity.
- Enhances ocean health.
- Recyclable substrate materials possible.

6.2 Revise and revisit previous steps as necessary to generate a viable solution.

- Improve durability for high-abrasion areas.
- Explore hybrid solutions: texture + non-toxic repellents.
- Test performance in various marine environments..



Additional resources:

<https://asknature.org>

<https://biomimicry.org/>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0927776519308823>



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



WP3 Training Modules on Biomimicry Process Design

Task 3.1/ A1. Developing Self-learning Kit for VET students - LP: ATS / CPs: ALL

LET'S MIMIC SOLUTIONS

A solution refers to the steps applied to solve the challenge identified, through biomimicry.

Solution: Forest-Inspired Urban Air Filtration

BIOMIMICRY DESIGN	Description
Step 2 – Biologise	2.a Ask yourself how nature can solve this. How do forest ecosystems purify the air by capturing and breaking down airborne pollutants through physical and biochemical processes involving leaves, bark, and microbes? 2.b What do I want my design to do? • Remove air pollutants passively using forest-mimicking surfaces. • Function in dense urban environments. • Improve human health and biodiversity. 2.c Flip the question • Instead of using mechanical filtration systems, how can we design architectural elements that act like trees?. • What natural systems remove air contaminants without noise or electricity?.
Step 3 – Discover	3.a Search for natural models that match the same functions and context as your design solution. • Forests: Leaves capture dust; bark and soil bacteria break down pollutants. • Mosses and lichens: Absorb heavy metals and fine particles. • Epiphytes (e.g., ferns): Grow vertically and filter air. • Soil microbiomes: Transform harmful gases into nutrients. 3.b Identify experts & connect to communities of biologists and naturalists. • Ecologists and botanists studying urban vegetation. • Environmental engineers. • Green infrastructure and living wall designers. .
Step 4 – Abstract	4.1 Summarise the key elements of the biological strategy. Highlighting the core functions and keywords. If possible, create a diagram/ drawing and/ or find images that can inform the design.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Core functions

Particulate capture, gaseous absorption, passive chemical transformation.

Key elements

- Dense leaf structures and porous surfaces.
- Microbial action in roots and biofilms.
- Vertical layering and varied textures.

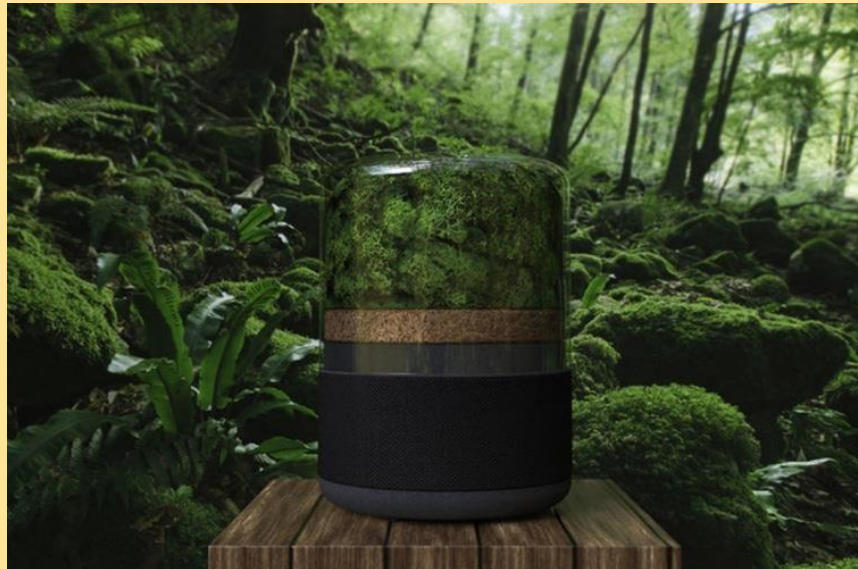


Image retrieved from [Mymodernmet](https://www.mymodernmet.com)



Retrieved from [Whatdesigncando](https://www.whatdesigncando.com)

Step 5 – Emulate

4.b Translate lessons from nature into design strategies. Rewrite the strategy without using biological terms and connect it to the functions and the context from a human perspective.

Design vertical green walls, modular moss panels, or biofilters for urban use. Integrate airflow-maximising forms, surface textures, and plants or biofilms that passively filter and degrade pollutants.

5.1 List your key information and explore as many ideas as possible.

Key ideas

- Living facades with diverse plant species.
- Air-cleaning kiosks or bus stops with moss columns.
- Urban furniture with embedded biofiltration modules.
- Rooftop or roadside “mini-forests” with layered canopy design.

5.2 Organise your ideas into categories that include the features, the context, the constraints, etc. and select the design concepts that best fit your solution.

Context	Features	Constraints
Building facades	Vertical green walls with air-purifying plants	Irrigation, structural support
Public transportation	Moss-filter bus stops or station panels	Exposure to vandalism, seasonal variation
Urban plazas/parks	Tree-like structures with filtering capabilities	Space usage, maintenance
School zones/hospitals	Bio-reactive walls or air-cleaning outdoor furniture	Cost, integration with existing structures

Idea selected

Modular forest-inspired green wall system using moss and microbe-rich substrates for passive urban air purification.

Step 6 – Evaluate

6.1 Evaluate the design concept(s) concerning their alignment with the design challenge's criteria and constraints, as well as their compatibility with Earth's systems. Evaluate the feasibility of the technical and business model.

Criteria fit

- Passive resistance to fouling.





- No chemicals involved.
- Scalable to large surfaces.

Feasibility

- Technologically viable with modern microfabrication.
- Costs more than paints but is offset by durability and environmental safety.

Compatibility with the Earth's systems

- Zero toxicity.
- Enhances ocean health.
- Recyclable substrate materials possible.

6.2 Revise and revisit previous steps as necessary to generate a viable solution.

- Customise plant/moss species for regional air pollutants.
- Embed sensors to track air quality and plant health.
- Combine with educational or aesthetic functions.

Additional resources:

- <https://asknature.org>
- <https://biomimicry.org/>
- <https://mymodernmet.com/briiv-air-filter/>
- <https://www.whatdesigncando.com/stories/vertical-forests-reduce-energy-use-improve-urban-air-quality/>



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



WP3 Training Modules on Biomimicry Process Design

Task 3.1/ A1. Developing Self-learning Kit for VET students - LP: ATS / CPs: ALL

LET'S MIMIC SOLUTIONS

A solution refers to the steps applied to solve the challenge identified, through biomimicry.

Solution: Owl Feather-Inspired Acoustic Panels

BIOMIMICRY DESIGN	Description
Step 2 – Biologise	2.a Ask yourself how nature can solve this. How do owls achieve near-silent flight through physical adaptations in their feathers that scatter and absorb sound, enabling them to hunt without alerting their prey? 2.b What do I want my design to do? • Reduce unwanted environmental and indoor noise using passive physical mechanisms. • Be installable in buildings, vehicles, or infrastructure. • Improve soundscapes without adding electronic systems. 2.c Flip the question • Instead of blocking or cancelling sound electronically, how can we disperse or absorb sound like owls do?. • What textures or microstructures passively dampen sound in nature?.
Step 3 – Discover	3.a Search for natural models that match the same functions and context as your design solution. • Owl feathers: Fringe-like structures on the leading and trailing wing edges scatter air turbulence and suppress sound. • Pine trees or bamboo: Absorb and diffuse wind-generated sound through flexible, porous canopies. • Mosses and ferns: Soft, layered structures that absorb vibration and noise. 3.b Identify experts & connect to communities of biologists and naturalists. • Ornithologists studying owl morphology. • Acoustic engineers and biomimicry researchers. • Soundscape design consultants and environmental psychologists..



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Step 4 – Abstract

4.1 Summarise the key elements of the biological strategy. Highlighting the core functions and keywords. If possible, create a diagram/ drawing and/ or find images that can inform the design.

Core functions

Sound absorption, turbulence diffusion, vibration damping.

Key elements

- Serrated edges and porous feather texture.
- Irregular surface topography.
- Directional sound scattering.

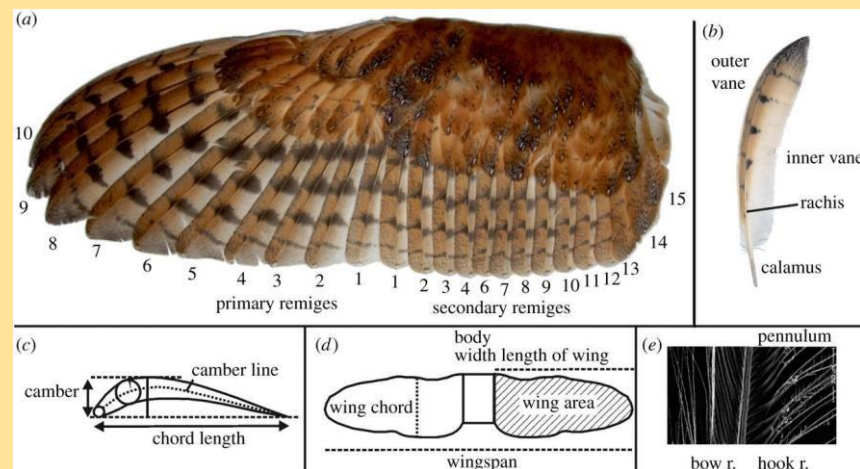


Image retrieved from [Royal Society Publishing](https://royalsocietypublishing.org/)

4.b Translate lessons from nature into design strategies. Rewrite the strategy without using biological terms and connect it to the functions and the context from a human perspective.

Design acoustic panels and baffles with microstructured or fringed surfaces that replicate the appearance of owl feathers. These could be created using sound-absorbent composite materials, arranged in curved or layered geometries that reflect and trap sound waves in indoor or outdoor settings.

Step 5 – Emulate

5.1 List your key information and explore as many ideas as possible.

Key ideas

Lightweight ceiling panels with micro-grooved, fringe-like textures.

- Outdoor noise barriers shaped like feather arrays.
- Public seating or partitions using vibration-dampening soft textures.
- Modular acoustic panels for classrooms or coworking spaces.



5.2 Organise your ideas into categories that include the features, the context, the constraints, etc. and select the design concepts that best fit your solution.

Context	Features	Constraints
Urban housing developments	Facade panels inspired by owl feathers to absorb traffic and industrial noise, improving resident comfort	Weather resistance, integration into building codes, and cost of biomimetic materials
Schools and public libraries	Interior ceiling and wall panels with microstructured surfaces to diffuse and absorb sound, promoting a quiet learning environment	Fire safety certification, aesthetic requirements, cleaning/maintenance
Public transport infrastructure (train stations, subways)	Curved owl-feather-mimic baffles to dampen high-frequency sounds from engines and PA systems	High foot traffic durability, installation logistics, vibration resistance
Open office workspaces	Lightweight hanging partitions and wall systems based on owl wing fringe patterns to reduce human speech noise	Installation flexibility, material costs, compatibility with existing office layouts

Step 6 – Evaluate

6.1 Evaluate the design concept(s) concerning their alignment with the design challenge's criteria and constraints, as well as their compatibility with Earth's systems. Assess the feasibility of both the technical and business models.

Criteria fit

- Effectively meets the goal of passive noise reduction.
- Inspired directly by owl wing morphology.
- Scalable to multiple architectural contexts.

Feasibility

- Technically viable with today's manufacturing (CNC, 3D printing, moulded polymers).
- Low energy use compared to active noise control.



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



- Can be integrated into aesthetic design.

Earth compatibility

- Panels made of biodegradable or recycled fibres are eco-friendly.
- Reduces acoustic pollution without increasing energy load.

6.2 Revise and revisit previous steps as necessary to generate a viable solution.

- Tailor panel surface texture to specific frequency ranges (e.g. traffic vs. human speech).
- Test for fire safety, mould resistance, and indoor air quality compatibility.
- Explore partnerships with interior design brands or urban furniture producers..

Additional resources:

<https://asknature.org>

<https://biomimicry.org/>

<https://mymodernmet.com/briiv-air-filter/>

<https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsfs.2016.0078>



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



WP3 Training Modules on Biomimicry Process Design

Task 3.1/ A1. Developing Self-learning Kit for VET students - LP: ATS / CPs: ALL

LET'S MIMIC SOLUTIONS

A solution refers to the steps applied to solve the challenge identified, through biomimicry.

Solution: Lotus Leaf & Penguin Feather-Inspired Anti-Icing Surfaces

BIOMIMICRY DESIGN	Description
Step 2 – Biologise	2.a Ask yourself how nature can solve this. How do lotus leaves and penguin feathers prevent water from sticking and freezing on their surfaces by using microscopic textures and surface chemistry that repel moisture and limit ice adhesion? 2.b What do I want my design to do? • Passively prevent or reduce ice accumulation. • Avoid the use of electricity or chemicals. • Be scalable and adaptable to different surface materials. 2.c Flip the question • Instead of removing ice after it forms, how can we stop it from forming or sticking in the first place?. • How can we mimic natural strategies for moisture repellence and thermal insulation?.
Step 3 – Discover	3.a Search for natural models that match the same functions and context as your design solution. • Lotus leaf: Superhydrophobic micro/nano structures that cause water to bead up and roll off, preventing freezing. • Penguin feathers: The overlapping barbs trap air, reducing contact with water and limiting freezing, while promoting rapid drying. • Butterfly wings and springtail skin: Repel moisture through patterned scales and roughness. 3.b Identify experts & connect to communities of biologists and naturalists. • Surface engineering researchers in anti-icing technologies. • Biologists studying cold-climate adaptations. • Materials science and textile innovation labs..



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Step 4 – Abstract

4.1 Summarize the key elements of the biological strategy. Highlighting the core functions and keywords. If possible, make a diagram/ drawing and/ or find images that can inform the design.

Core function

Super hydrophobicity, low thermal conductivity, and moisture repellence.

Key elements

- Hierarchical roughness at micro- and nano-scales.
- Wax-like surface coatings in nature.
- Air-trapping structures that insulate or shed moisture quickly.

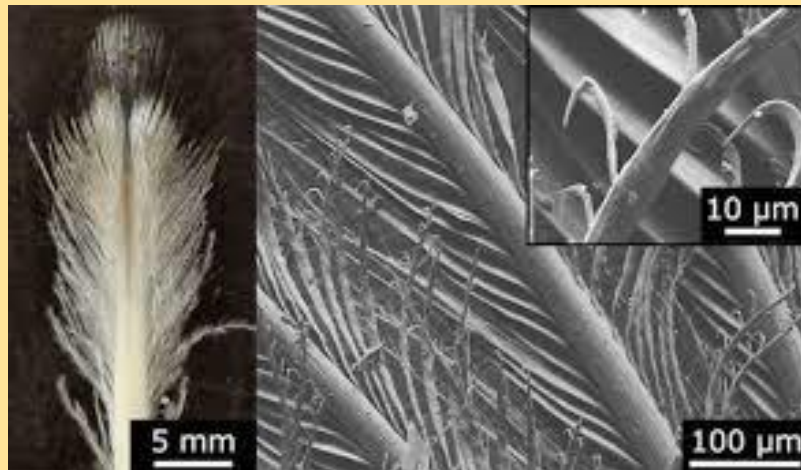


Image retrieved from [DownToEarth](https://www.downtoearth.org.uk)

4.b Translate lessons from nature into design strategies. Rewrite the strategy without using biological terms and connect it to the functions and the context from a human perspective.

Create coatings or surface treatments that mimic lotus leaf microstructures and penguin feather arrangements. Incorporate air-

Step 5 – Emulate

trapping patterns, low surface energy materials, or 3D-textured films for use on infrastructure or vehicles exposed to cold.

5.1 List your key information and explore as many ideas as possible.

Key ideas

- Transparent, anti-icing window films for cars and aircraft.
- Protective coatings for wind turbine blades in snowy regions.
- Penguin-inspired fibre coatings for extreme-weather clothing.
- Anti-icing road reflectors or rail infrastructure panels.

5.2 Organise your ideas into categories that include the features, the context, the constraints, etc. and select the design concepts that best fit your solution.

Context	Features	Constraints
Aircraft wings/windows	Transparent, hydrophobic textured coatings	UV resistance, aerodynamic tolerance, and optical clarity
Wind turbine blades	Textured surfaces with ice-repelling grooves	Durability under wind and rain erosion
Cold-weather clothing	Lightweight fibres with air-trapping, moisture-wicking design	Breathability, manufacturing cost, comfort
Urban infrastructure (rails, roads)	Ice-resistant panels or tiles inspired by the lotus leaf texture	Impact resistance, installation feasibility

Step 6 – Evaluate

6.1 Evaluate the design concept(s) concerning their alignment with the design challenge's criteria and constraints, as well as their compatibility with Earth's systems. Assess the feasibility of both the technical and business models.

Criteria fit

- Passive, nature-based solution that eliminates toxic chemicals and reduces energy use.
- Inspired directly by two robust, field-tested natural models (lotus + penguin).

Feasibility

- Laboratory success in creating superhydrophobic coatings.
- Requires durability testing for mechanical wear, UV exposure, and dirt accumulation.

Compatibility with the Earth's systems





- Avoids polluting de-icing agents.
- Materials can be biodegradable or recyclable.
- Promotes long-term sustainability in multiple sectors.

6.2 Revise and revisit previous steps as necessary to generate a viable solution.

- Customise microstructure designs for different climates.
- Combine with solar-absorbing or insulating materials.
- Modularise surface applications for ease of repair or replacement..

Additional resources:

<https://asknature.org>

<https://biomimicry.org/>

<https://www.downtoearth.org.in/wildlife-biodiversity/penguin-feathers-help-inspire-new-de-icing-techniques-87092>



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



WP3 Training Modules on Biomimicry Process Design

Task 3.1/ A1. Developing Self-learning Kit for VET students - LP: ATS / CPs: ALL

LET'S MIMIC SOLUTIONS

A solution refers to the steps applied to solve the challenge identified, through biomimicry.

Solution: Lotus Leaf & Butterfly Wing-Inspired Water-Repellent Textiles

BIOMIMICRY DESIGN	Description
Step 2 – Biologise	2.a Ask yourself how nature can solve this. How do lotus leaves and butterfly wings repel water using structured surface textures and hydrophobic chemistry that prevent moisture from clinging to or penetrating the surface? 2.b What do I want my design to do? • Passively repel water and moisture. • Be safe for skin and the environment. • Retain flexibility, softness, and breathability. 2.c Flip the question • Instead of waterproofing by sealing or blocking, how can we keep surfaces dry through texture alone?. • Can we create structured, breathable surfaces that repel water at a microscopic level?.
Step 3 – Discover	3.a Search for natural models that match the same functions and context as your design solution. • Lotus leaves: Have micro-papillae covered in nanostructures that trap air and reduce water contact. • Butterfly wings: Scales form patterns that create superhydrophobicity and iridescence. • Duck feathers: Water rolls off thanks to layered, waxy barbs. • Spider silk: Beads and channels direct water away. 3.b Identify experts & connect to communities of biologists and naturalists. • Textile engineers focused on functional finishes. • Biophysics researchers in micro/nanostructures. • Green chemistry professionals working on fluorine-free repellents..
Step 4 – Abstract	4.1 Summarise the key elements of the biological strategy. Highlighting the core functions and keywords. If possible, create a diagram/ drawing and/ or find images that can inform the design.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Core functions

Super hydrophobicity, breathability, and capillary-driven water removal.

Key elements

- Multi-scale (micro and nano) roughness.
- Hydrophobic surface materials or treatments.
- Flexible structure allowing movement and air flow.



Image retrieved from Ptri.dost.gov.ph



Image retrieved from [LinkedIn](https://www.linkedin.com)

4.b Translate lessons from nature into design strategies. Rewrite the strategy without using biological terms and connect it to the functions and the context from a human perspective.

Develop fabrics with structured fibres or surface treatments that mimic the lotus leaf and butterfly wing. Use non-toxic hydrophobic compounds (e.g. silicones, waxes, or graphene-based coatings) and

Step 5 – Emulate

textured fibre weaving techniques to create water-shedding, breathable textiles.

5.1 List your key information and explore as many ideas as possible.

Key ideas

- Athletic wear that remains dry and breathable during intense activity.
- Rainproof medical gowns or PPE with natural superhydrophobic coatings.
- Fashion textiles with water-beading effects and colour-shifting surfaces (butterfly-inspired).
- Eco-friendly outdoor gear without chemical repellents.

5.2 Organise your ideas into categories that include the features, the context, the constraints, etc. and select the design concepts that best fit your solution.

Context	Features	Constraints
Outdoor sportswear	Breathable fabrics with lotus-like water repellence	Wash durability, tactile softness, and swvapourapor transfer
Protective medical clothing	Non-toxic hydrophobic coating, lightweight barrier properties	Sterilization compatibility, biodegradability
Fashion & design textiles	Color-shifting, water-shedding micro-patterns (butterfly)	Cost of structure replication, consistency in large areas
Technical uniforms (rescue, military)	Durable, dry-on-contact outer layers	Abrasion resistance, bulk/weight balance

Step 6 – Evaluate

6.1 Evaluate the design concept(s) concerning their alignment with the design challenge's criteria and constraints, as well as their compatibility with Earth's systems. Evaluate the feasibility of the technical and business model.

Criteria fit

- Passive, non-toxic, breathable solution.
- Mimics two well-understood, effective biological models.

Feasibility





- Ongoing success in textile nanotechnology and green chemistry.
- Requires a balance of performance, comfort, and sustainability.

Compatibility with the Earth's systems

- Avoids harmful fluorochemicals (PFAS).
- Can use recycled fabrics and biodegradable polymers.
- Reduces the need for reapplication or harsh cleaning.

6.2 Revise and revisit previous steps as necessary to generate a viable solution.

- Improve resistance to washing cycles and abrasion.
- Test compatibility with dyed or printed fabrics.
- Combine bioinspired design with renewable fibre technologies (e.g., hemp, bamboo). .

Additional resources:

<https://asknature.org>

<https://biomimicry.org/>

<https://www.ptri.dost.gov.ph/s-t/philippine-silk-s-t-program/2-transparency-seal/uncategorised/73-mimicking-nature-s-waterproof-technology>

<https://www.linkedin.com/pulse/biomimicry-nature-inspires-design-high-tech-apparel-siddhi-mathur/>



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



WP3 Training Modules on Biomimicry Process Design

Task 3.1/ A1. Developing Self-learning Kit for VET students - LP: ATS / CPs: ALL

LET'S MIMIC SOLUTIONS

A solution refers to the steps applied to solve the challenge identified, through biomimicry.

Solution: Whale-Inspired Wind Turbine Blades

BIOMIMICRY DESIGN	Description
Step 2 – Biologise	2.a Ask yourself how nature can solve this. How do humpback whales achieve extraordinary agility and lift in water using large, irregularly shaped flippers with tubercles (bumps) that optimise flow separation and reduce drag? 2.b What do I want my design to do? • Improve lift and efficiency in wind turbine blades. • Enhance performance in turbulent or low-speed airflow. • Reduce structural stress and mechanical wear. 2.c Flip the question • Instead of streamlining blades for smooth surfaces, what if irregular shapes like tubercles improve performance? • How can turbulent airflow be used constructively?
Step 3 – Discover	3.a Search for natural models that match the same functions and context as your design solution. • Humpback whale flippers: Tubercles on leading edges create alternating pressure zones, increasing lift and delaying stall. • Bird wings: Adjust shape dynamically for efficient gliding or flapping. • Fish fins: Passive flexibility enhances propulsion and steering. 3.b Identify experts & connect to communities of biologists and naturalists. • Marine biologists and fluid dynamics researchers. • Aerospace engineers working in biomimetic aerodynamics. • Renewable energy institutions.
Step 4 – Abstract	4.1 Summarise the key elements of the biological strategy. Highlighting the core functions and keywords. If possible, make a diagram/ drawing and/ or find images that can inform the design. Core functions Lift generation, turbulence management, stall delay. Key elements • Leading-edge bumps (tubercles).



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

- Localized airflow control.
- Enhanced stability under varying fluid speeds.

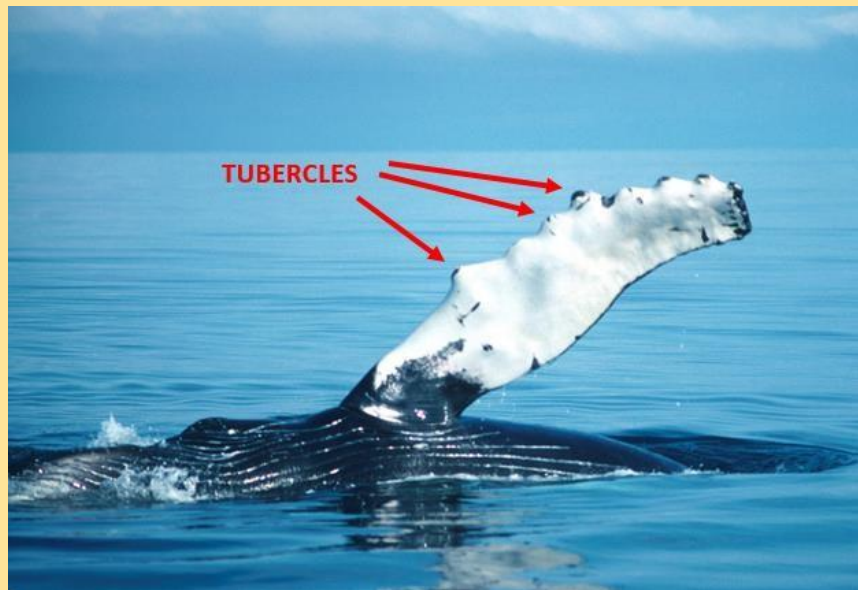


Image retrieved from [EnergiMedia](#)



Image retrieved from [ResearchGate](#)

4.b Translate lessons from nature into design strategies. Rewrite the strategy without using biological terms and connect it to the functions and the context from a human perspective.

Design wind turbine blades with scalloped, tubercle-inspired edges. Use composite materials and precision moulding techniques to replicate the aerodynamic benefits of whale flippers, improving airflow dynamics under a range of wind speeds.

Step 5 – Emulate

5.1 List your key information and explore as many ideas as possible.

Key ideas

- Entire turbine blades are shaped with tubercle leading edges.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



- Retrofitting kits for existing turbines.
- Mini-wind turbines for urban or off-grid use with biomimetic blades.
- Drone propellers or underwater turbines using the same principle.

5.2 Organise your ideas into categories that include the features, the context, the constraints, etc. and select the design concepts that best fit your solution.

Context	Features	Constraints
Onshore wind farms	Whale-inspired blades for enhanced lift in variable winds	Manufacturing cost, retrofit challenges
Offshore turbines	Better performance in turbulent ocean wind	Corrosion resistance, maintenance logistics
Urban wind installations	Small turbines with tubercle blades to increase output	Space limitations, aesthetic integration
Drone and UAV propulsion systems	Efficient, quiet, biomimetic propellers	Precision required, lightweight material compatibility

6.1 Evaluate the design concept(s) concerning their alignment with the design challenge's criteria and constraints, as well as their compatibility with Earth's systems. Evaluate the feasibility of the technical and business model.

Criteria fit

- Boosts energy output and reliability.
- Reduces noise, stall, and stress.

Feasibility

- Supported by CFD (computational fluid dynamics) and real-world testing.
- Commercial prototypes (e.g. WhalePower blades) have shown efficiency gains.

Compatibility with the Earth's systems

- Supports renewable energy scaling.
- May allow smaller turbines to replace fossil-based generators in more zones.
- Promotes longer-lasting components with lower environmental impact.



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Step 6 – Evaluate



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



6.2 Revise and revisit previous steps as necessary to generate a viable solution.

- Optimise tubercle geometry for different turbine scales.
- Test performance under extreme weather.
- Partner with manufacturers for sustainable material options.

Additional resources:

<https://asknature.org>

<https://biomimicry.org/>

<https://energi.media/innovation/canadian-inventors-turbine-humpback-whales-increasing-wind-efficiency/>

https://www.researchgate.net/figure/a-Humpback-whale-pectoral-flippers-and-b-Manufactured-adapted-tubercles-on-the_fig4_322112572



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



WP3 Training Modules on Biomimicry Process Design

Task 3.1/ A1. Developing Self-learning Kit for VET students - LP: ATS / CPs: ALL

LET'S MIMIC SOLUTIONS

A solution refers to the steps applied to solve the challenge identified, through biomimicry.

Solution: Bio-Inspired Mussel Microplastic Filtration

BIOMIMICRY DESIGN	Description
Step 2 – Biologise	2.a Ask yourself how nature can solve this. How do mussels, sponges, and oysters efficiently filter particles from water and manage to bind to surfaces using bioadhesives in wet and turbulent conditions? 2.b What do I want my design to do? • Capture microplastic particles from flowing or standing water. • Function without requiring continuous power or chemicals. • Be biodegradable, recyclable, and safe for ecosystems. 2.c Flip the question • Instead of removing plastics at collection points, how can we integrate nature-inspired filtration into existing water systems? • Can we replicate the passive, sticky, fibrous, or mesh-based strategies of aquatic filter feeders?
Step 3 – Discover	3.a Search for natural models that match the same functions and context as your design solution. • Mussels: Filter out particles and secrete sticky threads (byssus) to anchor and trap. • Sponges: Filter water through porous canals using passive flow and choanocytes. • Oysters and clams: Trap suspended solids while protecting themselves. • Mangrove roots and seagrass: Trap debris in natural fibre webs. 3.b Identify experts & connect to communities of biologists and naturalists. • Marine biologists studying benthic filtration. • Bioadhesive material researchers. • Water purification and biomimicry startups..



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

Step 4 – Abstract

4.1 Summarise the key elements of the biological strategy.

Highlighting the core functions and keywords. If possible, create a diagram/ drawing and/ or find images that can inform the design.

Core functions

Passive filtration, adhesive binding, particle entrapment.

Key elements

- Sticky, fibrous networks.
- Porous, flow-optimised geometries.
- Bioadhesive secretion and mesh regeneration.

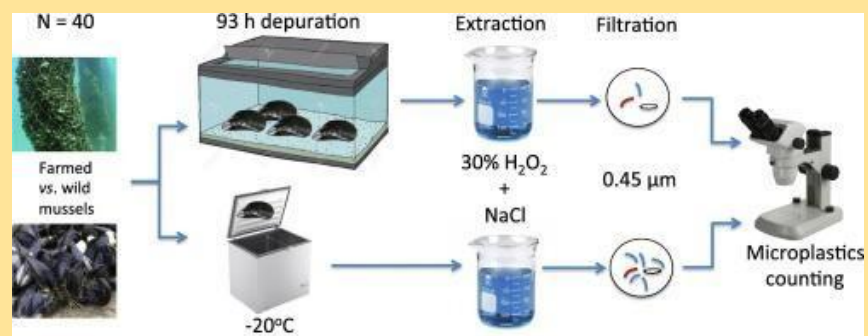


Image retrieved from [ScienceDirect](#)

4.b Translate lessons from nature into design strategies. Rewrite the strategy without using biological terms and connect it to the functions and the context from a human perspective.

Design bio-inspired filtration membranes or meshes that mimic mussel gills and threads to trap microplastics. Use biopolymer-based adhesives or create modular filter panels that can be inserted into urban waterways, treatment plants, or floating cleanup stations.

Step 5 – Emulate

5.1 List your key information and explore as many ideas as possible.

Key ideas

- Mussel-inspired floating filters deployed in rivers or storm drains.
- Bio-adhesive mesh inserts in water treatment plants.
- Modular microplastic traps attached to docks, buoys, or bridges.
- Sponge-inspired porous biofilters for aquaculture or greywater reuse.

5.2 Organise your ideas into categories that include the features, the context, the constraints, etc. and select the design concepts that best fit your solution.

Step 6 – Evaluate

Context	Features	Constraints
Urban drainage systems	Bio-mesh inserts for microplastic capture	Debris buildup, retrofit compatibility
Coastal and river environments	Floating mussel-mimic filtration units	Buoyancy control, marine life interaction
Water treatment infrastructure	Mussel-thread-inspired filters with bioadhesive capture zones	Biofilm maintenance, flow pressure optimization
Aquaculture & marine farming	Sponge-like passive microplastic traps in net pens	Durability in saltwater, species-specific compatibility

6.1 Evaluate the design concept(s) concerning their alignment with the design challenge's criteria and constraints, as well as their compatibility with Earth's systems. Assess the feasibility of both the technical and business models.

Criteria fit

- Removes plastics with low energy input.
- Compatible with regenerative water management.
- Supports biodiversity by using non-toxic, biologically safe methods.

Feasibility

- Bioinspired filtration is already under pilot (e.g. Nature-Inspired Solutions at MIT).
- Requires iterative prototyping for flow and clog resistance.

Compatibility with the Earth's systems

- Uses biodegradable, non-toxic materials.
- Avoids harm to wildlife or ecosystems.
- Encourages long-term cleanup over reactionary interventions.

6.2 Revise and revisit previous steps as necessary to generate a viable solution.

- Test filtration performance across particle sizes and conditions.
- Develop modular systems for easy removal and cleaning.
- Monitor for unintended ecological effects (e.g. species entrapment)..

Additional resources:

- <https://asknature.org>



Co-funded by
the European Union

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



- <https://biomimicry.org/>
- <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X1930061X>



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.