

Mestrado

Design Industrial e de Produto

Faculdade de Belas Artes e Faculdade de Engenharia

Design e Micélio.

Desenvolvimento de um artefacto para observação de materiais.

Ana Raquel Souto Alves

Orientador

Professor Doutor Rui Mendonça

Coorientador

Professora Doutora Cláudia Lima



MESTRADO EM DESIGN INDUSTRIAL E DE PRODUTO
UNIVERSIDADE DO PORTO

O JÚRI

PRESIDENTE

Doutora Lúcia Maria Pinto Lopes

PROFESSORA AUXILIAR DA FACULDADE DE BELAS ARTES DA UNIVERSIDADE DO PORTO

ORIENTADOR

Doutor Rui Jorge Leal Ferreira Mendonça da Fonseca

PROFESSOR ASSOCIADO CONVIDADO COM AGREGAÇÃO DA UNIVERSIDADE DE TRÁS OS MONTES E ALTO DOURO

ARGUENTE

Doutor João Francisco Machado Gomes da Silva

PROFESSOR COORDENADOR DO INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO INSTITUTO POLITÉCNICO DO PORTO

19

15 DEZEMBRO 2025

MESTRE Ana Raquel Souto Alves

MDIP/195

Resumo

O presente projeto teve como objetivo principal a exploração e o desenvolvimento de materiais à base de micélio, procurando compreender o seu potencial no âmbito do design e no desenvolvimento de novos materiais. A investigação seguiu um plano experimental que incluiu a produção de amostras utilizando diferentes substratos, como serrim, papel, resíduos têxteis, permitindo analisar as suas propriedades, texturas e comportamentos. Como culminância do processo, foi concebida uma mesa de luz inspirada nos instrumentos de microscopia, pensada como dispositivo expositivo e educativo. A peça integra objetos de vidro que encapsulam amostras selecionadas e utiliza a luz como elemento revelador, evidenciando as qualidades visuais e estruturais do micélio. Este artefacto traduz o percurso experimental numa experiência tangível, aproximando a investigação laboratorial do universo do design e reforçando a percepção do micélio como matéria com elevado potencial para futuras aplicações. O projeto situa-se na interseção entre design e ciência, propondo não apenas a exploração de novos caminhos para a utilização do micélio, mas também uma reflexão mais ampla sobre o papel do design enquanto tradutor, revelador e potenciador de práticas regenerativas e educativas.

Palavras-chave: Design, Ciência, Micélio, Material, Luz

Abstract

The main objective of this project was the exploration and development of mycelium-based materials, seeking to understand their potential within the field of design and in the development of new materials. The research followed an experimental plan that included the production of samples using different substrates, such as sawdust, paper, and textile waste, allowing the analysis of their properties, textures, and behaviors. As the culmination of this process, a light table was conceived, inspired by microscopy instruments and designed as both an educational and exhibition device. The piece integrates glass objects that encapsulate selected samples and uses light as a revealing element, highlighting the visual and structural qualities of mycelium. This artifact translates the experimental journey into a tangible experience, bringing laboratory research closer to the universe of design and reinforcing the perception of mycelium as a material with high potential for future applications. The project is situated at the intersection of design and science, proposing not only the exploration of new paths for the use of mycelium but also a broader reflection on the role of design as a translator, revealer, and enhancer of regenerative and educational practices.

Keywords: Design, Science, Mycelium, Material, Light

Agradecimentos

A realização desta dissertação representa o culminar de uma etapa marcante da minha vida académica e pessoal, possível apenas graças ao apoio, incentivo e presença de várias pessoas e instituições, às quais deixo o meu mais profundo agradecimento. Em primeiro lugar, agradeço ao meu orientador, Professor Rui Mendonça, pela orientação científica, disponibilidade constante e visão crítica que foram fundamentais em todas as etapas deste trabalho. Ao meu lado esteve também a minha coorientadora, Professora Cláudia Lima, cuja dedicação e contributos foram essenciais para o amadurecimento desta investigação. Quero expressar um especial agradecimento ao Professor Júlio Borlido Santos, que acompanhou de perto o processo laboratorial, sempre com generosidade e rigor, bem como à Professora Maria Stretch Almeida e à Engenheira Carla Oliveira, cujo apoio e conhecimentos técnicos foram determinantes para a concretização prática da pesquisa. No BioLab, encontrei uma verdadeira comunidade de partilha e colaboração. Deixo o meu sincero agradecimento à Joana Matos, Sofia Gouveia, José Pedro Neves, Ângela Faria e Mariana Gil, pela disponibilidade, ajuda constante e entusiasmo, que tanto enriqueceram esta experiência.

Aos meus colegas e amigos especialmente, ao Rodrigo Pinho, Rui Silva, Miguel Pinto, Marco Barbosa e Vicente Sottomayor, agradeço pela amizade, pelas conversas, pela troca de ideias e pelo apoio inestimável nos momentos mais exigentes deste percurso. À minha família, o meu mais profundo reconhecimento pelo amor incondicional, paciência e força que me transmitiram em todos os momentos. Foram a base sólida que me sustentou e a motivação que me impulsionou a nunca desistir. De igual modo, agradeço às entidades industriais que colaboraram e disponibilizaram recursos e conhecimentos indispensáveis para transformar este projeto em realidade, tornando possível a materialização prática das ideias aqui exploradas. Por fim, a todos aqueles que, de forma direta ou indireta, contribuíram para este trabalho, deixo o meu sincero e sentido obrigado.

Resumo
Abstract
Agradecimentos

(capítulo */um*)

1 Introdução

- 1.1 Enquadramento do Tema
- 1.2 Objetivos
- 1.3 Metodologia
 - 1.3.1 Metodologia de Investigação
 - 1.3.2 Metodologia de Projeto
- 1.4 Estrutura da dissertação

(capítulo */dois*)

2 Revisão da literatura

- 2.1 Bio Design
- 2.2 Design e Sustentabilidade
 - 2.2.1 Economia Circular
- 2.3 Multidisciplinaridade - Design e Ciência
- 2.4 Micélio no Design de produto
 - 2.4.1 MyHlemet by StudioMOM
 - 2.4.2 Mycelium Leather
 - 2.4.3 MycoWorks
 - 2.4.4 Bio Couros
- 2.5 O que é o Micélio?
- 2.6 Estudos de caso
 - 2.6.1 Sebastian Cox
 - 2.6.2 Jonas Edvard
 - 2.6.3 Oficina Corpuscoli
 - 2.6.4 Blast Studio
 - 2.6.5 Kuo Duo
 - 2.6.6 Mogu
 - 2.6.7 Ecovative
 - 2.6.8 MYCO-ALGA
 - 2.6.9 Critical Concrete Porto
 - 2.6.10 Hy-Fi
 - 2.6.11 Mylea
- 2.7 Síntese dos casos de estudo
- 2.8 Conclusão

(capítulo /*três*)**3 Plano experimental**

3.1 Fase 1

3.1.1 *Spawn* (Semente)

3.1.2 Observações

3.2 Fase 2

3.2.1 Seleção, recolha

e tratamento de resíduos.

3.2.2 A celulose e o micélio

3.2.3 *Pleurotus Ostreatus*

3.2.4 Observações

3.2.5 Conclusão

3.3 Fase 3

3.4 Fase 4

3.4.1 Avaliação de crescimento

3.4.2 Cultivo em meio líquido

3.4.3 Observações

(capítulo /*quatro*)**4 Projeto**4.1 O distanciamento como
reflexão no Design

4.2 Luz

4.3 Análise

4.4 Proposta

4.5 Análise formal - Platina

4.5.1 Maquetização

4.5.2 Prototipagem

4.6 Iluminação

4.7 Lâminas

4.8 Suporte

(capítulo /*cinco*)**5 Considerações finais**

5.1 Conclusão

5.2 Limitações

5.3 Perspetivas futuras

(Lista de figuras)

- Figura 1 - Primeira sessão do BioLab, no dia 26 de fevereiro de 2024.
- Figura 2 - Reunião da equipa BioLab, antes da sessão laboratorial no dia 11 de março de 2024.
- Figura 3 - Equipa BioLab, dia 1 de julho de 2024. Fotografia da autoria da investigadora.
- Figura 4 - Última sessão BioLab, apresentação do projeto pela equipa no dia 1 de julho de 2024.
- Figura 5 - Imagem microscópica do Velcro.
- Figura 6 - Zoa, Modern Meadow.
- Figura 7 - Processo de corte das folhas.
- Figura 8 - Grow Pattern
- Figura 9 - Diagrama de Borboleta (Butterfly Diagram) da Economia Circular.
- Figura 10 - Sebastian Cox e Ninela Ivanova.
- Figura 11 - BioCouture, casacos feitos de material celulósico.
- Figura 12 - (à esquerda) MyHelmet, um capacete produzido com micélio e palha.
- Figura 13 - (à direita) Composições de materiais testados pelo StudioMOM.
- Figura 14 - Reishi, MycoWorks.
- Figura 15 - A estrutura principal do couro (A) e do couro artificial (B).
O couro ainda reflete a estrutura histológica da pele
- Figura 16 - A Desserto Leather é uma alternativa sustentável ao couro tradicional, produzida a partir de catos.
- Figura 17 - A MuSkin é uma alternativa vegetal ao couro, produzida a partir de cogumelos.
- Figura 18 - Ciclo de vida simplificado de um cogumelo.
- Figura 19 - Rede de hifas em borra de café.
- Figura 20 - Composição das hifas.
- Figura 21 - Diversas aplicações do micélio em produtos, Embalagens de proteção(1); Sinalética (2); Painéis acústicos (3); Moda (4 e 5); Mobiliário (6).
- Figura 22 - MyStool de Jonas Edvard
- Figura 23 - Abajur e banco à base de micélio e resíduos de carvalho.
- Figura 24 - Sebastian Cox e Ninela Ivanova.
- Figura 25 - Jonas Edvard
- Figura 26 - Myx Lamp (1), Myx Stoll (2), Myx Tile (3), Myx Chair (4).
- Figura 27 - Mogu (1), Bio-Ex-Machina (2), The Growing Lab (3).
- Figura 28 - Bio-Ex-Machina, Officina Corpuscoli.
- Figura 29 - OPT OOG, projeto de impressão em 3D de duas colunas orgânicas únicas, com 2,20 metros de altura, para a montra de uma loja de ótica na Bélgica.
- Figura 30 - Lovely Trash column.
- Figura 31 - Heathrow Trophies.
- Figura 32 - Processo de criação das máscaras.
- Figura 33 - Resíduos têxteis utilizados na produção dos painéis acústicos.
- Figura 34 - Painéis acústicos Mogu.
- Figura 35 - Forager (1), Mushroom Packaging (2), AirMycelium (3), Grensulate (4), MycoBoard (5).
- Figura 36 - MycoFlex.
- Figura 37 - Cada módulo é projetado computacionalmente utilizando algoritmos generativos inspirados pelo crescimento micelial.
- Figura 38 - Módulo individual.
- Figura 39 - Montagem dos módulos MYCO-ALGA com padrão não repetitivo.

Figura 40 - MYCO-ALGA

Figura 41 - Equipa Critical Concrete.

Figura 42 - Workshop de Maurici Montalti.

Figura 43 - Fase de crescimento do micélio.

Figura 44 - O painel é sólido e compacto, no entanto é fácil de cortar. A textura interna é fina, densa e totalmente colonizada pelo micélio.

Figura 45 - A equipa realizou um teste de fogo, colocando a amostra em contacto direto com a chama de uma vela. Foi possível observar que a camada de micélio não se queima completamente e protege o cartão do contacto direto com a chama.

Figura 46 - O último teste foi realizado para testar as propriedades de impermeabilidade: a água escorre sobre a superfície não causando danos ao material. Na imagem, podemos observar que as gotas não penetram a superfície.

Figura 47 - Tijolo utilizado na construção do pavilhão.

Figura 48 - Interior do pavilhão.

Figura 49 - Hy-Fi.

Figura 50 - Medidas da amostra.

Figura 51 - Translucidez da amostra quando exposta à luz.

Figura 52 - Revestimento de uma das faces da amostra com algodão.

Figura 53 - Mylea.

Figura 54 - Spawn de Pleurotus em grãos de trigo.

Figura 55 - Substrato utilizado na experiência, grão de trigo.

Figura 56 - Lavagem do grão de trigo para eliminação de impurezas.

Figura 57 - O substrato submerso em água para absorção da mesma.

Figura 58 - Materiais necessários, tampa com um furo, papel alumínio e tecido de filtro.

Figura 59 - Esterilização dos substratos nos frascos.

Figura 60 - Após a esterilização, os frascos mantiveram-se neste estado até atingirem temperatura ambiente.

Figura 61 - Estufa improvisada com lâmpada de calor infravermelhos.

Figura 62 - Estágios de crescimento das amostras.

Figura 63 - Substratos escolhidos para a fase 2 do plano experimental.

Figura 64 - Com uma faca, cortou-se o caule do Pleurotus em secções de aproximadamente 3 centímetros.

Figura 65 - Realizou-se uma solução numa proveta de 100 ml, com 20 ml de lixívia + 80 ml de água destilada.

Figura 66 - Colocou-se as secções de Pleurotus num frasco com tampa, adicionando a solução de lixívia a 20% até cobrir o material. Aguardou-se 10 minutos.

Figura 67 - Procedeu-se a lavagens consecutivas das secções em água destilada.

Figura 68 - Com uma pinça, passou-se cuidadosamente as secções de Pleurotus através da chama do bico de Bunsen.

Figura 69 - Tubos de ensaio com Potato Dextrose Agar.

Figura 70 - Dividir a porção obtida em fragmentos tão pequenos quanto possível.

Figura 71 - Utilizando uma agulha, transferiu-se um fragmento para o centro do tubo com PDA.

Figura 72 - Plaqueamento do meio líquido PDA.

Figura 73 - Plaqueamento do meio líquido YMA (cor mais amarelada).

Figura 74 - Placas solidificadas de ambos os meios. As placas posicionadas à direita são do meio PDA e à esquerda são do meio YMA.

Figura 75 - Observação do micélio utilizando uma câmara.

Figura 76 - Crescimento do inóculo esterilizado em lixívia em PDA.

Figura 77 - Crescimento do inóculo esterilizado à chama em PDA.

- Figura 78 - Recolha de uma pequena amostra de inóculo do tubo de ensaio, neste caso do inóculo esterilizado em lixívia.
- Figura 79 - Colocação da amostra no centro da Placa de Petri, neste caso em PDA.
- Figura 80 - Imagens Microscópio.
- Figura 81 - Processo de tratamento dos resíduos.
- Figura 82 - Preparação da pasta de papel.
- Figura 83 - Esterilização dos frascos com os substratos correspondentes.
- Figura 84 - Preparação e esterilização do meio líquido nutritivo.
- Figura 85 - Inoculação do meio.
- Figura 86 - Avaliação do crescimento dos diferentes inóculos nas placas de Petri.
- Figura 87 - Designação dos diferentes clones de cada placa para melhor avaliação do crescimento.
- Figura 88 - Placas de Petri com diferentes crescimentos radiais.
- Figura 89 - Divisão da placa em quadrados para formar inóculos.
- Figura 90 - Inoculação dos frascos.
- Figura 91 - Medição das quantidades de cada componente.
- Figura 92 - Preparação e selagem dos sacos.
- Figura 93 - Esterilização dos substratos.
- Figura 94 - Inoculação dos substratos em sacos.
- Figura 95 - 1 - Serrim, 2 - Serrim + MDF
- Figura 96 - 1 - Fibras de palmeira, 2 - Tronco de palmeira
- Figura 97 - 1 - Papel, 2 - Pasta de papel
- Figura 98 - Café
- Figura 99 - Distribuição das misturas no molde.
- Figura 100 - Identificação por cores das diferentes misturas.
- Figura 101 - Inoculação dos substratos.
- Figura 102 - Crescimento após primeira semana de incubação.
- Figura 103 - Crescimento após a terceira semana de incubação.
- Figura 104 - Amostra desidratada.
- Figura 105 - Divisão das amostras, de acordo com a quantidade de substratos.
- Figura 106 - Peças desenformadas.
- Figura 107 - Detalhe de uma das peças, pertencente ao grupo com maior quantidade de café.
- Figura 108 - Mistura dos dois componentes.
- Figura 109 - Estado da amostra após uma semana de crescimento.
- Figura 110 - Estado da amostra no dia 17 de junho de 2024.
- Figura 111 - Detalhe do crescimento do micélio da amostra.
- Figura 112 - Nesta amostra, o micélio formou apenas uma rede densa superficial devido à falta de ventilação.
- Figura 113 - Estado da amostra após o processo de inativação de desidratação do micélio, realizada por 15 horas a 60 graus celsius.
- Figura 114 - Preparação do substrato. Às tiras de papel adicionou-se água, obtendo uma pasta.
- Figura 115 - Após as tiras de papel molhadas, procedeu-se à sua trituração de forma a obter uma mistura uniforme.
- Figura 116 - Eliminação do excesso de água da pasta.
- Figura 117 - Mistura de 1:1 de borras de café + pasta de papel.
- Figura 118 - Inoculação.
- Figura 119 - Após uma semana de incubação, o micélio estava presente sobretudo à volta dos locais de inoculação.

Figura 120 - Após 3 semanas de incubação, o micélio tinha-se espalhado e criado uma camada densa na superfície do molde.

Figura 121 - Procedeu-se à extração da peça do molde.

Figura 122 - Inoculação a partir de culturas de micélio em Placas de Petri.

Figura 123 - Após uma semana de inoculação: foi removido o frasco de cima, para facilitar o crescimento do micélio na camada inferior do substrato.

Figura 124 - Resultados após 3 semanas de crescimento.

Figura 125 - Tentativa de pressagem a quente para a inativação do micélio.

Figura 126 - Inativação e desidratação do micélio: Estufa a 60°C durante 15 horas.

No entanto foi necessário prolongar o tempo de desidratação.

Figura 127 - Peça totalmente seca.

Figura 128 - Preparação da mistura de impermeabilização - Cera de abelha + óleo de girassol + óleo de coco (1:1:1).

Figura 129 - Impermeabilização.

Figura 130 - Neste projeto, a investigadora pretendeu utilizar como substrato pasta de papel, café e micélio. A proposta consistia no desenvolvimento de azulejos modulares em placas de Petri no entanto, durante o processo laboratorial, a presença de contaminações bacterianas acabou por dominar a amostra.

Figura 131 - Resíduos de ganga.

Figura 132 - Preparação de um tabuleiro com a ganga e o café, adicionando 60% de água.

Figura 133 - Duas semanas de crescimento.

Figura 134 - Quatro semanas de crescimento.

Figura 135 - Procedeu-se à pressagem da amostra utilizando um ferro de engomar (150°).

Figura 136 - Impermeabilização das amostras com cera de abelha.

Figura 137 - Construção de um saco, através da costura.

Figura 138 - Resultado final.

Figura 139 - Amostras apresentadas na sessão final do BioLab, no dia 1 de julho de 2024.

Figura 140 - Recolha e separação dos tipos de resíduos têxteis.

Figura 141 - Esterilização dos resíduos.

Figura 142 - Colocação dos resíduos em tabuleiros.

Figura 143 - Colocação do substrato nutricional - café, e água.

Figura 144 - Inoculação das amostras com spawn.

Figura 145 - Selagem e armazenamento das amostras.

Figura 146 - Detalhe da inoculação.

Figura 147 - Estágios de crescimento do micélio das amostras.

Figura 148 - Colocação da amostra entre duas folhas de papel vegetal.

Figura 149 - Pressagem a quente, 3 vezes por 20 segundos, a aproximadamente 150°.

Figura 150 - Amostra após inativação do micélio através de pressagem a quente.

Figura 151 - Amostra não prensada.

Figura 152 - Amostra prensada.

Figura 153 - A amostra foi colocada submersa numa solução aquosa de 20% de glicerol, para adquirir mais flexibilidade.

Figura 154 - Resultado final de uma das amostras desta fase.

Figura 155 - Análise SEM.

Figura 156 - Conjunto de substratos utilizados nesta fase, e método de crescimento das amostras em recipientes.

Figura 157 - Foi realizada uma mistura exemplo para identificar a quantidade dos componentes tendo em conta o volume do recipiente.

Figura 158 - Colocação dos componentes em sacos. De arcodo com o número de amostras a realizar, a quantidade substrato foi adequada.

Figura 159 - Em cada recipiente, foi colocada uma quantidade de substrato composto por serrim e café. Em seguida, é realizada a inoculação com uma quantidade de spawn de *pleurotus ostreatus*.

Figura 160 - Cada recipiente foi selado com alumínio, ficando armazenados num local escuro à temperatura ambiente.

Figura 161 - 12 de maio de 2025. Figura 162 - 19 de maio de 2025.

Figura 163 - 26 de maio de 2025.

Figura 164 - Processo de remoção das amostras do substrato.

Figura 165 - Neste primeiro pós-processamento, as amostras foram armazenadas na estufa a 40° durante três horas para desidratar.

Figura 166 - Após a desidratação, as amostras foram submetidas a um processo de prensagem.

Figura 167 - As amostras foram desidratadas na estufa, durante três horas a 60°. Ainda foram expostas à temperatura ambiente até alcançarem a desidratação desejada.

Figura 168 - De seguida, as amostras foram submersas numa solução composta por água e glicerol (20%), por oito horas. Após este processo, foram novamente desidratadas, e finalmente prensadas.

Figura 169 - Colocação do meio líquido YMA no interior dos três recipientes.

Figura 170 - A partir de uma cultura em substrato, retirou-se uma pequena porção de rede hifal.

Figura 171 - Colocou-se essa porção no interior do recipiente.

Figura 172 - As amostras foram colocadas à temperatura ambiente.

Figura 173 - Crescimento do micélio no dia 26 de maio de 2025.

Figura 174 - Crescimento do micélio no dia 3 de junho de 2025.

Figura 175 - Crescimento do micélio no dia 9 de junho de 2025.

Figura 176 - Remoção das amostras.

Figura 177 - Limpeza da face de contacto com o meio líquido.

Figura 178 - As amostras foram desidratadas na estufa a 40° durante três horas.

Figura 179 - Processo de prensagem das amostras a cerca de 150°.

Figura 180 - Estado da amostra no dia 30 de junho de 2025.

Figura 181 - Ganga/Linho1/Papel1/Sintético1/Meio Líquido1.

Figura 182 - Compressa/Linho2/Papel2/Sintético2/Meio Líquido2.

Figura 183 - Materiais à luz.

Figura 184 - ARTIS-Micropia.

Figura 185 - Detalhe de uma parede com 150 placas de Petri que contêm diferentes microorganismos.

Figura 186 - Expanded Self, 2012.

Figura 187 - Micrarium.

Figura 188 - The Package.

Figura 189 - Imagens radiográficas da zona torácica do século XX.

Figura 190 - Knol.

Figura 191 - Artefactos expostos no Laboratório Ferreira da Silva, do Museu de História Natural e da Ciência da Universidade do Porto.

Figura 192 - Artefactos expostos no Centro Português de Fotografia.

- Figura 193 - Mesa de luz com slides de lanterna mágica.
- Figura 194 - Mesa de luz vertical com fotografias de Teófilo Braga.
- Figura 195 - Artefactos observados na visita à casa da imagem.
- Figura 196 - Vista aproximada de slides de lanterna mágica sobrepostos numa mesa de luz.
- Figura 197 - Registo de reuniões com orientadores e colegas, momentos fundamentais para o desenvolvimento do projeto.
- Figura 198 - Platina (Mechanical Stage).
- Figura 199 - Registo fotográfico de platinas de microscópio, para a análise formal.
- Figura 200 - Esboços referentes à definição dos diferentes componentes da platina. Representa a procura por peças já existentes no mercado, facilitando a conceção do objeto.
- Figura 201 - Vista explodida.
- Figura 202 - Medidas gerais.
- Figura 203 - Esquemas dos deslizamentos de componentes da platina.
- Figura 204 - Renders da platina. Além da estrutura da platina, o projeto incluiu um vidro integrado numa das peças.
- Figura 205 - Maquete inicial, para estudo de medidas e componentes.
- Figura 206 - Maquetização da platina em metal.
- Figura 207 - Maquete de metal
- Figura 208 - Ensaio prático para estudo do conjunto.
- Figura 209 - Soldadura dos componentes.
- Figura 210 - Estrutura da peça após processo de soldadura.
- Figura 211 - Peça finalizada.
- Figura 212 - Processo de escolha do lacado, com o Professor Rui Mendonça.
- Figura 213 - Peça final.
- Figura 214 - Ensaio inicial da ligação elétrica.
- Figura 215 - Componentes da ligação elétrica. (1) LED, (2) Regulador de intensidade, (3) Transformador.
- Figura 216 - Esquema da ligação elétrica.
- Figura 217 - Estudo formal de botões.
- Figura 218 - Protótipos de botões desenvolvidos para o regulador de intensidade luminosa, produzidos através de impressão 3D.
- Figura 219 - Modelo da caixa do transformador, concebida para integrar-se de forma discreta na estrutura, garantindo a organização técnica do componentes elétrico e reforçando o princípio de invisibilidade formal do projeto.
- Figura 220 - Modelo do suporte amovível do LED, projetado para permitir a sua substituição e manutenção de forma prática.
- Figura 221 - Protótipos dos componentes.
- Figura 222 - Registo fotográfico realizado na Casa Cofil, no Porto, durante a pesquisa de componentes elétricos. A imagem mostra a diversidade de fios disponíveis e outros elementos técnicos expostos em vitrines, que serviram de referência para a definição da cablagem e dos detalhes construtivos da platina.

Figura 223 - Cerra-cabos de borracha transparente selecionado para organizar e guiar os fios elétricos, assegurando um acabamento limpo e a integração discreta destes componentes na estrutura da platina. Escolheu-se cabos acetinados na cor preta para a composição elétrica da platina, combinando funcionalidade e estética através de uma textura suave e uma presença visual discreta, em consonância com o objetivo de invisibilidade formal do projeto.

Figura 224 - Casa Cofil, Porto.

Figura 225 - Dimensões das placas de vidro

Figura 226 - Prototipagem da moldura.

Figura 227 - Peças de fixação.

Figura 228 - Exemplificação da fixação dos vidros com as cavilhas.

Figura 229 - Detalhe da fixação com um material encapsulado.

Figura 230 - Escolha dos materiais.

Figura 231 - Constituição dos artefactos de vidro.

Figura 232 - Peças de vidro.

Figura 233 - Detalhe das amostras de papel expostas à luz.

Figura 234 - Amostra exposta à luz.

Figura 235 - Suporte para lâminas de microscópio.

Figura 236 - Estudo formal do suporte.

Figura 237 - Versões iniciais do suporte.

Figura 238 - Espaço de trabalho na carpintaria.

Figura 239 - Primeira maquete.

Figura 240 - Construção do protótipo da última versão.

Figura 241 - Axonometria e medidas gerais do suporte.

Figura 242 - Render da última versão do suporte.

Figura 243 - Investigadora em ambiente de oficina, durante o processo de aperfeiçoamento do suporte de madeira.

Figura 244 - Vista lateral do suporte.

Figura 245 - Vista frontal do suporte.

Figura 246 - Vista superior da platina.

Figura 247 - Detalhe da platina.

Figura 248 - Iluminação da platina.

Figura 249 - Impacto da luz sobre os materiais.

Figura 250 - Detalhe de um material exposto à luz.

Figura 251 - Vista superior dos materiais sobrepostos na platina.

Figura 252 - Detalhe em alto contraste de um material exposto à luz.

Figura 253 - Material industrial exposto à luz.

Figura 254 - Material Linho exposto à luz.

Figura 255 - Material Papel 1 exposto à luz.

Figura 256 - Material Papel 2 exposto à luz.

Figura 257 - Material resultante da Fase 3, exposto à luz.

Figura 258 - Material Papel 2 sobreposto na platina.

Figura 259 - Legendas gravadas diretamente no suporte através de tecnologia laser.

Figura 260 - Pormenor das legendas, gravadas de acordo com a orientação dos objetos expostos.

Figura 261 - Pormenor das legendas.

(Índice de tabela)

Tabela 1

Tabela síntese dos casos de estudos. 72

Tabela 2

Tabela de comparação das amostras realizadas nos frascos. 98

Tabela 3

Tabela de observações das amostras da Fase 4. 118



(Cultura de micélio_ Fotografia da autoria da investigadora)

(capítulo um_ *introdução*)

(1.1)

Enquadramento do tema

Num contexto global marcado pela crescente urgência de práticas mais sustentáveis e regenerativas, o design assume um papel fundamental como agente de transformação ecológica, social e cultural. A crise ambiental, agravada pelas mudanças climáticas, pela exaustão de recursos naturais e pela produção massiva de resíduos, tem impulsionado o aparecimento de abordagens inovadoras que integram ciência, tecnologia e natureza. É neste cenário que o biodesign se destaca como uma das frentes mais promissoras, promovendo uma reconfiguração profunda dos processos produtivos e das relações entre humanos e ecossistemas. O biodesign, ao integrar organismos vivos, como bactérias, fungos e algas, no desenvolvimento de materiais e objetos, propõe uma nova lógica de criação que ultrapassa os limites do design tradicional.

Entre os organismos explorados, destaca-se o micélio, a rede vegetativa dos fungos, que se tem revelado um material versátil, biodegradável e com grande potencial para aplicações em arquitetura, moda, embalagens, etc. Inserido neste contexto, o presente projeto de tese desenvolve-se a partir de um plano experimental de investigação, exploração e produção de materiais à base de micélio, culminando na criação de uma peça que articula função expositiva, materialidade e conceito. Inspirada numa platina de microscópio em escala aumentada, a peça foi concebida como uma mesa de luz, permitindo a observação das características visuais e estruturais dos materiais desenvolvidos através da incidência de luz. Esta abordagem combina a estética do objeto com uma função investigativa, tornando visível o que é normalmente invisível: as qualidades subtis de um material biológico. A tese situa-se na interseção entre design experimental e investigação de materiais, propondo uma prática especulativa e sensorial que visa não apenas desenvolver novos materiais, mas também criar novas formas de perceção, entendimento e relação com a matéria viva.

(1.2)

Objetivos

O presente projeto teve como principal objetivo explorar o potencial de materiais à base de micélio no contexto do design experimental, investigando as propriedades e aplicações possíveis. Através do desenvolvimento e da experimentação em ambiente laboratorial, procurou-se não só entender o comportamento físico e estético destes materiais orgânicos, mas também fomentar a reflexão crítica sobre os limites da matéria. Um dos eixos centrais do projeto foi a valorização educativa do próprio percurso experimental, assumindo que, mesmo os materiais que não atingiram qualidade suficiente para compor um produto final funcional, carregam em si um importante valor investigativo. Longe de serem descartados como resíduos, estes fragmentos de tentativa e erro foram integrados à narrativa do projeto, ilustrando a importância do processo construtivo como parte do fazer em design.

Como culminância do processo, o projeto resultou na criação de uma mesa de luz, inspirada em instrumentos de observação laboratorial, especialmente os utilizados em microscopia. A mesa foi concebida como dispositivo expositivo e educativo, possibilitando a visualização detalhada das texturas, falhas, variações e potenciais dos materiais cultivados ao longo da pesquisa. A escolha por um objeto associado à observação científica reforça o caráter experimental da investigação, promovendo uma aproximação entre o universo do design e o da ciência. Além de funcionar como peça de design em si, a mesa de luz também atua como plataforma de mediação de conhecimento, permitindo que o público tenha contacto direto com o material, com os seus estados intermediários, e as suas imperfeições e poesia. Desta forma, o projeto propõe um novo olhar sobre o micélio, não apenas como alternativa sustentável de matéria-prima, mas como agente provocador de uma abordagem mais sensível, crítica e educativa no design de materiais.

(1.3)

Metodologia

A metodologia aplicada neste projeto é composta por duas fases essenciais: a primeira envolve a realização de uma pesquisa bibliográfica e de análise de casos de estudo (investigação); a segunda foca-se no desenvolvimento do trabalho experimental seguido do projeto. Durante todo o período de investigação e desenvolvimento do produto foram realizadas reuniões semanais com a equipa de orientação e um grupo de estudantes do Mestrado em Design Industrial e de Produto (também a desenvolver projetos de investigação) perspetivando momentos de reflexão e discussão sobre o trabalho semanal, debate de ideias e análise de resultados em cada fase, bem como, resolução de problemas conceptuais e técnicos que emergiram ao longo do projeto.

Numa primeira instância, recorreu-se a uma pesquisa teórica, com base em artigos científicos, em websites, e em formatos físicos, como livros. Posteriormente, a metodologia modifica-se pelo foco no desenvolvimento e exploração do material resultante e na sua posterior aplicação num projeto de design. Após a elaboração do material, procurou-se identificar as suas principais características de modo a adaptá-lo corretamente a uma tipologia de objeto.

(1.3.1)

Investigação

Esta investigação combinou vários métodos qualitativos. Nesta fase, paralelamente à pesquisa documental, foi realizada uma entrevista com o investigador Júlio Borlido Santos com o objetivo de recolher informação sobre micélio e as suas aplicações no contemporâneo. Júlio Borlido Santos é Biólogo, Mestre em Biologia Molecular e Celular e atualmente encontra-se a fazer um Doutoramento em Ciências da Comunicação. Desempenha um papel fundamental na organização, promoção e formação avançada para cientistas sobre “Ciência, Ética e Sociedade” (i3S).

Esta entrevista, realizada no Instituto de Investigação e Inovação em Saúde (I3S), permitiu uma partilha e discussão de informações sobre micologia, produtos e projetos emergentes que integram a utilização de micélio e uma discussão de potenciais caminhos no âmbito da presente investigação.

Posteriormente, surgiu um convite para uma colaboração com o projeto Biolab do Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar (ICBAS), que consistiria no desenvolvimento, em ambiente laboratorial, de materiais à base de micélio e a sua posterior aplicação em artefactos. Para o processo foi utilizada uma metodologia laboratorial apoiada em procedimentos idealizados pela equipa para cada sessão letiva.

O Biolaboratório - Projeto de Experimentação Multidisciplinar é uma unidade curricular “InovPed” que procura explorar a interseção entre ciência/arte/sociedade. Organiza-se em duas instituições da Universidade do Porto, o Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar (ICBAS) e a Faculdade de Ciências (FCUP), e ainda no Instituto de Investigação e Inovação em Saúde (i3S). Este projeto envolve investigadores de várias áreas, incluindo biologia, comunicação de ciência e artes plásticas. O grande objetivo do Biolaboratório é o incentivo a uma aprendizagem multidisciplinar de modo a potenciar a construção de várias competências, pretendendo, como resultado, uma elevada adaptabilidade dos estudantes às exigências atuais do mercado de trabalho (Biolab, s.d.). Antes do início das sessões laboratoriais foi necessária a realização de uma apresentação para que se conhecessem os docentes e os elementos da equipa do Biolab, sendo os docentes Maria Strecht Monteiro Mata de Almeida (Professora Auxiliar no Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar), José Júlio Borlido Santos (Biólogo e investigador no Instituto de Investigação e Inovação em Saúde) e Maria Manuela Carvalho de Sousa Lopes Almeida (Professora Auxiliar no Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar), e os investigadores Joana Matos, Sofia Gouveia, José Pedro Neves, Ângela Faria e Mariana Gil. A esta equipa juntou-se a investigadora do presente projeto.



Figura 1
Primeira sessão do BioLab, no dia 26 de fevereiro de 2024.
Fotografia da autoria da investigadora.

Foram realizadas 14 sessões laboratoriais semanais com um período de 2 horas e meia (17.00 - 19:30), ao longo das quais se desenvolveram vários exercícios de experimentação e inovação colaborativa de um compósito à base de micélio. As sessões tiveram início no dia 26 de fevereiro de 2024 e terminaram no dia 1 de julho de 2024. Uma vez por semana (segunda-feira), a equipa reunia-se e de forma iterativa foi discutindo o assunto em questão. Como designer e investigadora em design imersa neste ambiente laboratorial dinâmico, fui desafiada a integrar conceitos biológicos, pesquisando como estes poderiam influenciar os princípios de design funcional e estético. Cada sessão frequentada permitiu um conhecimento acrescido através de exercícios de experimentação, onde se exploraram as propriedades do micélio e sua capacidade de formar estruturas resilientes capazes de serem utilizadas na produção de artefactos.

Assim, juntamente com investigadores de várias áreas (biologia, engenharia, medicina, química e artes plásticas), foram realizadas várias experiências do micélio com diferentes materiais e técnicas de moldagem. Estas experiências não só contribuíram para a aprendizagem, aprofundamento de conhecimentos e habilidades práticas, mas também despertaram o interesse pela criação de soluções inovadoras aliadas ao desenvolvimento de produtos e o interesse em desafiar os limites do Design.

A escolha, recolha e tratamento dos resíduos utilizados neste projeto, inclui-se nesta fase. Estes foram escolhidos tendo por base pesquisas de casos de estudo, e suportes teóricos como a tese de mestrado em Engenharia Civil da Universidade de Coimbra, “Desenvolvimento de biomaterial para Isolamento térmico a partir de resíduo agroflorestal e micélio de fungo” (Pires,2017), e a tese de mestrado em Arquitetura de Chalmers University of Technology, “Myconnection, the endeavour of bonds with nature mycelium material study” (Tezycka, 2022). A sua recolha foi feita em estabelecimentos da localidade de residência da investigadora e arredores, e o seu tratamento foi realizado em contexto de laboratório. Neste seguimento, foram realizadas culturas puras de micélio e, quando atingido o tempo de crescimento recomendado, foram desenvolvidas amostras com diferentes resíduos.



Figura 2
Reunião da equipa BioLab, antes da sessão laboratorial no dia 11 de março de 2024. Fotografia da autoria da investigadora.



Figura 3
Equipa BioLab, dia 1 de julho de 2024. Fotografia da autoria da investigadora.



Figura 4
Última sessão BioLab, apresentação do projeto pela equipa no dia 1 de julho de 2024.
Fotografia da autoria da investigadora.

(1.3.2)

Metodologia de projeto

Na fase de projeto, a metodologia aplicada estruturou-se em várias etapas complementares, desde as pesquisas iniciais até ao desenvolvimento de protótipos. Primeiramente, procurou-se compreender de forma aprofundada os resultados obtidos na fase experimental anterior, análise que se revelou fundamental para a escolha da tipologia de artefacto mais adequada. Este processo permitiu identificar as potencialidades expressivas do material e definir estratégias para amplificar as suas características, atribuindo-lhe maior valor conceptual e estético.

A partir da tipologia definida, realizaram-se pesquisas conceptuais e formais, com o propósito de explorar conceitos análogos, mapear referências de mercado e compreender o público-alvo. Esta etapa contribuiu para enquadrar o projeto em termos de relevância e de oportunidades de inovação. Seguiu-se então um processo iterativo de idealização da peça expositiva, que culminou na conceção de uma mesa de luz. As ideias foram sucessivamente transportadas para objetos tangíveis através da realização de maquetes exploratórias, que serviram como estudo das diferentes componentes do dispositivo. Estas maquetes foram essenciais para avaliar questões de ergonomia, bem como a relação do objeto com o utilizador e com o espaço, permitindo ajustar dimensões, proporções e formas ao seu contexto de integração. Em paralelo, no ambiente laboratorial e com o apoio da equipa do Biolab, foram produzidas novas amostras de micélio, correspondentes aos materiais selecionados, de modo a reunir todos os elementos necessários para a fase de prototipagem. Esta simultaneidade entre investigação material e desenvolvimento formal assegurou a coerência entre conceito, matéria e função no percurso projetual.

(1.4)

Estrutura da Investigação

Esta dissertação está estruturada em 5 capítulos. O primeiro apresenta as informações que introduzem a temática dos bio compósitos, assim como os objetivos a alcançar, quais foram as metodologias adotadas e a estrutura da dissertação. No segundo capítulo expõe-se a revisão da literatura, conceitos como Biodesign e, o que é o Micélio, a apresentação dos casos de estudo. No terceiro capítulo apresenta-se o desenvolvimento do material, no qual se insere a descrição das experiências com diferentes materiais e os seus resultados. O quarto capítulo apresenta-se a seleção das amostras para aplicação no artefacto e a criação de protótipos. Por fim, no último capítulo (quinto) são apresentadas as considerações finais, limitações e previsões do futuro do projeto.



(Jonas Edvard/ Myx Color_ <https://www.jonasedvard.com/myx/myx-color>)

(capítulo dois_ *literatura*)

(2.1)

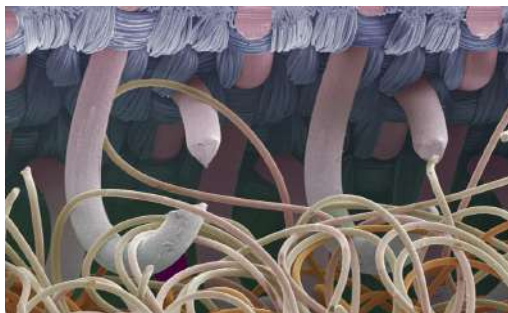
Biodesign

Antes do surgimento do Biodesign, a Biomimética era uma prática ancestral, no campo de design, baseada na procura de inspiração em padrões e estratégias da natureza. Esta abordagem serviu como base para o desenvolvimento do Biodesign, no qual os recursos naturais são fisicamente integrados em produtos de design. Foi no século XV, que surgiu um dos primeiros exemplos de biomimética com Leonardo Da Vinci. Através da observação do voo das aves, produziu esboços de máquinas voadoras que viriam a inspirar os irmãos Wright na construção do primeiro avião motorizado bem-sucedido. O conceito ganhou visibilidade em 1997, com a publicação do livro *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*, de Janine M. Benyus. Na obra, a autora destaca diversas inovações tecnológicas inspiradas na natureza, desde o velcro, criado por George de Mestral após a observação de rebarbas de plantas aderindo à sua roupa, até os comboios-bala japoneses, cujo design aerodinâmico foi inspirado no formato do bico de um guarda-rios. Estes exemplos mostram a influência da natureza em soluções criativas e eficientes para os desafios humanos (Fearnley-Whittingstall, 2024).

Figura 5

Imagem microscópica do Velcro.

Fonte: <https://www.conceptkicks.com/design/sole-systems-006-the-natural-world>



Os séculos XX e XXI marcaram avanços decisivos na tecnologia de computação, na ciência dos materiais e na engenharia genética, permitindo que o Biodesign ultrapassasse a mera imitação da natureza, permitindo a criação de novos materiais vivos. Esta transformação foi impulsionada pela necessidade de enfrentar a degradação acelerada do meio ambiente. Os sistemas industriais tradicionais, baseados em lógicas lineares e extrativas, contrastam com os processos regenerativos da natureza. Como resposta, surgiu a visão de uma relação simbiótica, na qual a inovação e os sistemas naturais colaboram para gerar soluções sustentáveis e mutuamente benéficas, em vez de exploratórias (Fearnley-Whittingstall, 2024).

Os avanços em biotecnologia também se tornaram acessíveis e transformaram a forma como abordamos a vida como recurso criativo. Por exemplo, a modificação genética, que desde o ano de 1970, quando cientistas alteraram o ADN de bactérias para produzir insulina humana, as técnicas de manipulação genética evoluíram enormemente. Hoje, é possível sintetizar este tipo de moléculas artificiais que se replicam e formam novas células, abrindo possibilidades para designers e engenheiros utilizarem formas de vida como mecanismos de fabricação de produtos (Myers, 2018).

Atualmente, os designers enfrentam um período de pressão, intelectual e ética, de forma a alterar e repensar sobre métodos, objetivos e prioridades sobre a degradação a que assistimos do meio ambiente. Diante destas limitações variáveis e potencialmente intensificadas ao longo do tempo, os designers estão a ir além da criação comum. Ao explorarem sistemas naturais conseguem atingir uma eficiência quase perfeita ao nível do uso de energia e materiais, e aplicando esses princípios no desenvolvimento de soluções inovadoras e sustentáveis. De forma a conseguirem atingir um desempenho ecológico aprimorado por meio da integração com sistemas naturais, os designers recorrem a especialistas no campo da biologia, com o objetivo de obter orientação e experiência. Isso contrasta fortemente com a abordagem de design no século XX, marcada pela mecanização de funções para dominar, isolar e controlar as forças da natureza, geralmente utilizando avanços nos campos da química e física. Os exemplos apresentados destacam como esta nova abordagem, de projetar com base na biologia, promove colaborações com cientistas e antecipa o tipo de cooperação interdisciplinar que podemos esperar no futuro (Myers, 2018).

Esta integração de vida no design, não resolve inteiramente os problemas ambientais e apresenta riscos e erros, mau uso e impacto em ecossistemas naturais. Apesar disso, os benefícios e a necessidade de alinhar práticas aos sistemas biológicos superam os riscos. A colaboração interdisciplinar é guiada por prioridades sociais e sinais de mercado, mas faltam regulamentações e incentivos para viabilizar produtos ambientalmente sustentáveis. Embora países como Alemanha e Noruega liderem com políticas ecológicas, outros, como os EUA, estão atrasados. Para enfrentar os crescentes custos das mudanças climáticas, é necessário incluir os impactos ambientais nos custos de produção e implementar restrições e incentivos. Hoje, a biologia tem potencial para desempenhar um papel equivalente, transformando o design e a economia global. A integração de processos biológicos na criação de produtos pode atender às pressões de um mercado globalizado por inovação, competitividade e sustentabilidade, enquanto apoia o crescimento económico e responde à necessidade atual por soluções mais ecológicas. Assim, o design moldado pela biologia representa não apenas uma nova estética, mas uma mudança de paradigma para o futuro da humanidade (Myers, 2018).

O Biodesign é uma abordagem inovadora, e as suas aplicações são vastas e abrangem áreas como na arquitetura, através da construção de estruturas que se autorreparam e se adaptam ao meio ambiente envolvente regulando a temperatura e humidade. Na indústria têxtil, são produzidos tecidos cultivados a partir de organismos vivos, reformulando o conceito de moda e consumo, e reduzindo os resíduos e impactos ambientais gerados. Para além destas aplicações, o Biodesign destaca-se na criação de estratégias de biorremediação e agricultura regenerativa, através da utilização de microrganismos que permitem restaurar ecossistemas degradados ou melhorar a produtividade agrícola sem uso de químicos (Myers, 2018).

ZOA

Suzanne Lee (Inglaterra) / Amy Congdon (Inglaterra)
Modern Meadow (EUA)

Zoa é um projeto que apresenta um material inovador que pode sinalizar o fim do desperdício significativo associado à produção tradicional de couro. O elemento essencial deste couro que lhe confere características como textura, flexibilidade e resistência é o colagénio, uma proteína estrutural fundamental presente nos tecidos conjuntivos dos animais. Este mantém unidos componentes como a pele, os tendões e os ligamentos. Desse modo, a indústria recorre a animais de grande porte, como bois, que oferecem uma fonte abundante desse composto (Myers, 2018).

A produção de couro, devido ao uso de produtos químicos tóxicos e à geração de grandes quantidades de resíduos durante processo de tratamento, enfrenta sérios desafios de sustentabilidade ambiental. Estes problemas impulsionaram o desenvolvimento de materiais alternativos ao couro que não utilizam produtos de origem animal (Kefale, Kebede, & Birlie, 2023). Atualmente, o desenvolvimento de bio couros é uma área em constante crescimento. Apesar de serem promovidos como opção mais sustentável, sejam de ou contenham plástico, baseada em plantas ou a junção dos dois, ainda levantam dúvidas sobre os seus impactos a longo prazo (Tonti, 2023).

A maioria destas alternativas sintéticas contém polímeros, como o policloreto de vinilo (PVC) e o poliuretano (PU). Estes materiais conquistaram um mercado relevante, reduzindo questões sociais e ambientais tradicionalmente associadas à fabricação de couro. Porém, estes substitutos sintéticos envolvem componentes químicos perigosos na sua produção. Além disso, por serem derivados de combustíveis fósseis, são não biodegradáveis e enfrentam as mesmas limitações de descarte que a maioria dos plásticos (Kefale, Kebede, & Birlie, 2023). A empresa Modern Meadow, através de uma solução mais sustentável e ética, adotou uma abordagem diferente: utiliza leveduras geneticamente modificadas que se alimentam de açúcar (nutriente) para produzir colagénio. Este é então purificado e transformado num novo tipo de material por meio de processos próprios da empresa. Como não depende da forma animal, o material resultante pode assumir diversas espessuras, texturas e formatos (Myers, 2018).

Figura 6 - Zoa, Modern Meadow.
Fonte: <https://promostyl.com/zoa-the-future-of-leather-by-modern-meadow/?lang=en>



Growth Pattern

Allison Kudla (EUA) - Center for digital arts and experimental media, university of washington, EUA

Neste projeto, o artista molda um sistema vivo através de um padrão manufaturado, que depois se desenvolve e muda de forma naturalmente. Utilizando folhas de tabaco recortadas num padrão bilateralmente simétrico e suspensas em placas de Petri quadradas dispostas em mosaico, contendo os nutrientes necessários para promover o crescimento de novas folhas. As células da planta, assim como os esporos, são capazes de se multiplicar e eventualmente de se diferenciar em todos os diferentes tipos celulares do organismo completo. No projeto Growth Pattern, as novas folhas que crescem passam por mudanças morfológicas, estendendo assim a forma do motivo botânico tradicionalmente inspirado ao longo do tempo. Por outro lado, embora as placas sejam ecossistemas fechados, uma contaminação acidental pode causar a decomposição do tecido vegetal ou a infestação por parasitas, permitindo que o design mude de maneiras imprevisíveis (Myers, 2018).



Figura 7

Processo de corte das folhas.

As folhas de tabaco são cortadas em formas específicas e preparadas sob uma câmara esterilizada para minimizar a probabilidade de contaminação das placas.

Fonte: Myers, W. (2018). Bio Design. thames & hudson Ltd.



Figura 18

Grow Pattern.

Os azulejos são ecossistemas autossuficientes que normalmente apresentam apenas variações sutis, mas, se um parasita entrar no recipiente durante a preparação, ele pode alterar o padrão de crescimento das folhas originalmente planejado.

Fonte: Myers, W. (2018). Bio Design. thames & hudson Ltd.

No documentário “Against the grain”, dirigido por Duncan Parker, Sebastian Cox, artesão/ designer britânico, reflete sobre a sua abordagem sustentável na produção de produtos uma vez que considera a sua profissão ser o motor do consumismo. Cox começou a olhar para o futuro de modo mais crítico e questionou-se sobre o porquê, como, e que impacto temos no mundo através do que fazemos, refletindo também sobre a influência que possuímos nas gerações seguintes.

O documentário apresenta o processo de criação do designer desde o primeiro pensamento até ao desenvolvimento das peças de mobiliário. Tendo em conta o seu trabalho, as suas práticas de design sustentáveis e regenerativas movimentam-se por um caminho mais amplo, procurando minimizar o impacto ambiental combinando-o com a criação de produtos de alta qualidade e durabilidade. Através do seu processo de criação, Cox oferece-nos um ponto de vista perspicaz sobre como o pensamento inovador, o respeito pelos materiais e processos naturais podem conduzir a desenvolvimentos transformadores no design e na indústria (Marchmont House, 2023).

O design desempenha um papel central na resposta às necessidades de inovação, especialmente num mundo que enfrenta desafios crescentes de sustentabilidade. Ao combinar criatividade e funcionalidade, o design não resolve apenas problemas imediatos, mas também antecipa soluções que minimizam o impacto ambiental, promovem o uso responsável de recursos e fortalecem a economia circular. Inovar com foco na sustentabilidade significa integrar a visão estratégica do design com práticas que priorizem o ciclo de vida dos produtos, garantindo que as soluções atendam tanto às necessidades sociais quanto às exigências ecológicas de longo prazo.

(2.2)

Design e Sustentabilidade

Durante o século XIII, novos estilos de vida foram adotados em simultâneo com certos sistemas naturais. Meister Eckhart, teólogo alemão, afirmou que o planeta em que vivemos é um recurso frágil e sensível que se vai degradando graças ao esforço humano. De acordo com o autor, esta preocupação pelo meio ambiente não surgiu apenas no mundo contemporâneo, mas teve início há muito tempo. A partir do século XIX, a classe alta, que apreciava a vida quotidiana ao ar livre, era a primeira a contestar sobre a desflorestação por parte das empresas madeireiras, no entanto o que movia esse descontentamento não era a preocupação pela biodiversidade, mas sim um motivo apenas estético (Chapman, 2015).

Entretanto, no final do mesmo século, o movimento Arts and Crafts teve o seu começo na Inglaterra, e a decadência do ambiente foi relacionada com as culturas emergentes marcadas pelo materialismo exagerado. Este modo de consumismo extravagante, foi cultivado pelo ritmo acelerado da produção do pós-revolução industrial que por sua vez era o responsável pela destruição da biosfera, aumentando a preocupação por parte de alguns empresários. Sucessivamente, estas preocupações foram integradas nas práticas criativas de alguns designers vanguardistas como Charles Eames, Frank Lloyd Wright e Richard Buckminster Fuller. As criações destes, incluindo William Morris e Marcel Breuer, constituem o testemunho concreto dos primeiros passos da indústria do design na busca de um futuro mais sustentável (Chapman, 2015).

Em 1987, foi realizado, pela comissão para o Meio Ambiente e Desenvolvimento (WCED), um relatório intitulado de Brundtland em que pela primeira vez o conceito de desenvolvimento sustentável foi inserido (Manzini & Vezzoli, 2008).

“Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs” (Manzini & Vezzoli, 2008).

Considerando esta definição, o desenvolvimento sustentável não se relaciona apenas com o meio ambiente em si, mas fundamentalmente com o bem-estar das pessoas que resulta em qualidade ambiental. Podemos concluir que surge um princípio ético importante; somos responsáveis pelas gerações futuras. O documento, O Nosso Futuro Comum, foi historicamente fundamental por dois aspetos, por um lado originou um debate internacional acerca da nossa responsabilidade no futuro, por outro, começou-se a questionar sobre as ideias de desenvolvimento, o que nunca havia sido discutido. O termo “desenvolvimento” combinado com o adjetivo “sustentável” resultou na impossibilidade de discutir sobre a ideia de desenvolvimento único, sem nenhum adjetivo associado. Após a divulgação deste documento, a nível internacional, surgiram várias iniciativas sendo a mais relevante as Nações Unidas. Em 1992, no Rio de Janeiro, decorreu a Conferência sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, e 10 anos depois foi realizada em Joanesburgo, a Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável. Atualmente, este conceito é estavelmente integrado entre os vários atores económicos, sociais e institucionais (Manzini & Vezzoli, 2008).

Manzini e Vezzoli (2002), defendem que o encontro entre o design industrial e o assunto ambiental tem-se focado principalmente em dois níveis de interferência: o redesign ambiental e a projeção de novos produtos em substituição dos já existentes. Esta atividade foi, e ainda é, útil e necessária para a questão ecológica. Contudo, hoje sabemos que o seu papel isolado já não é suficiente, porque para alcançar a sustentabilidade ambiental, não é suficiente melhorar o que já existe, mas sim pensar em novos produtos, serviços e comportamentos diversos dos conhecidos até hoje. Ou seja, é necessário operar a outros níveis, com outros parâmetros a serem considerados: projetar novos produtos ou serviços intrinsecamente sustentáveis e a proposta de novos cenários que correspondam a estilos de vida sustentáveis. Portanto, o design para a sustentabilidade tem como objetivo responder às necessidades do bem-estar social, utilizando significativamente menos recursos ambientais. No entanto, exige uma gestão integrada de produtos, serviços e comunicações, garantindo propostas claras, tratando-se de um design estratégico que orienta empresas comprometidas com a perspectiva de sustentabilidade ambiental. Por outro lado, o design para a sustentabilidade deve avaliar regularmente as implicações ambientais, considerando soluções viáveis a nível técnico, económico e social. Além disso, deve incorporar os condicionantes do ciclo de vida de produtos e serviços, seguindo a metodologia do Life Cycle Design (LCD).

A metodologia do Life Cycle Design entende-se como a forma de conceber o desenvolvimento de novos produtos tendo como objetivo que, durante todas as fases de projeto, sejam consideradas as possíveis implicações ambientais ligadas às fases do próprio ciclo de vida do produto (pré-produção, produção, distribuição, uso e descarte) procurando, assim, minimizar todos os efeitos negativos possíveis. O LCD e o design para a sustentabilidade complementam-se no desenvolvimento de produtos e serviços sustentáveis. Sem a perspetiva estratégica do design para a sustentabilidade, este tipo de metodologia ficaria limitada à melhoria de produtos já existentes, enquanto o design para a sustentabilidade, sem o LCD como base, careceria de análises ambientais sólidas para orientar as suas propostas (Manzini & Vezzoli, 2002).

(2.2.1)

Economia Circular

Desde as sociedades primitivas que viviam num modelo de escassez, movidas pela necessidade, a circularidade existe como um princípio natural. A economia circular foca-se na preservação de valores e na gestão de diferentes tipos de ativos, sendo guiada pela necessidade, o que a torna o modelo económico mais sustentável no cenário pós-industrial. É entendido como economia circular, o processo de otimização da utilização dos objetos e não a sua produção, preservando o valor de uso dos objetos e os seus componentes nos seus níveis máximos de utilidade e valor, e gerindo de forma rentável em concorrência com outras vias económicas. Pelo contrário, os ciclos naturais não possuem qualquer finalidade ou objetivo, nem restrições monetárias ou culturais. Atualmente, o desenvolvimento histórico da economia circular como um processo de acumulação ao longo do tempo apresenta várias formas de circularidade, sociedade circular e economia circular que existem em paralelo, interligadas e em concorrência com a economia industrial linear (Stahel, 2019).

“In our current economy, we take materials from the Earth, make products from them, and eventually throw them away as waste – the process is linear. In a circular economy, by contrast, we stop waste being produced in the first place” (MacArthur, s.d.).

A economia circular é um modelo de negócios sustentável que procura minimizar desperdícios e regenerar recursos, integrando capital natural, humano, cultural e manufaturado. O seu grande objetivo é manter produtos, materiais e recursos em uso pelo maior tempo possível, promovendo a reutilização e reciclagem. Por outro lado, conceitos como *Ecology Industry* e *Industrial Symbioses*, que fazem parte da ideia de Greening of industry, focam no reaproveitamento de resíduos dentro da economia linear. Estes conceitos pretendem reduzir impactos ambientais e aumentar a eficiência económica ao transformar resíduos de produção em matéria-prima para outros processos. No entanto, muitas vezes não atingem a eficiência de sistemas fechados, como os da economia circular. Esta ideia trabalha dentro do modelo linear, promovendo o uso de resíduos, mas sem transformar completamente os sistemas (Stahel, 2019).

Apesar dos benefícios económicos e ambientais, muitos agentes que atuam no modelo linear necessitam de incentivos para evitar desperdícios, mesmo com as perdas financeiras geradas por eles. Além disso, práticas como reaproveitamento podem ser menos eficientes do que sistemas fechados. A prevenção de resíduos possui um carácter cultural, já que o desperdício é uma forma de ineficiência económica. Por exemplo, no Japão, onde valorizam a eficiência, é suficiente apontar que o desperdício é “antinacional” para motivar mudanças (Stahel, 2019).

O processo de tornar a indústria mais sustentável teve diversas origens, objetivos e criadores como a *Industrial Ecology*, conceito criado por Thomas Graedel, que pretende reduzir o impacto ambiental e o consumo de recursos naturais. Outro exemplo, a *Industrial Simbioses*, consiste em parcerias entre indústrias onde resíduos de uma são utilizados como matéria-prima para outra. Contudo, estas podem ser afetadas por mudanças estruturais no mercado. *Industrial Metabolism*, foi um conceito proposto por Robert Ayres, que compara o fluxo de materiais e energia na indústria ao metabolismo biológico. Por fim, a *Cleaner Production*, consiste numa estratégia preventiva para minimizar resíduos e emissões, aumentando a eficiência (Stahel, 2019).

O diagrama “borboleta” da Fundação Ellen MacArthur diferencia ciclos da Biosfera (como agricultura regenerativa) dos da Tecnosfera (economia industrial circular). A bioeconomia, que inclui agricultura e bioenergia, é mais linear que circular, uma vez que produtos como alimentos e energia muitas vezes não podem ser reutilizados. Embora a bioeconomia e a economia circular compartilhem pontos em comum, muitas iniciativas da bioeconomia ainda dependem de tecnologias emergentes para recuperação eficiente de recursos (Stahel, 2019).

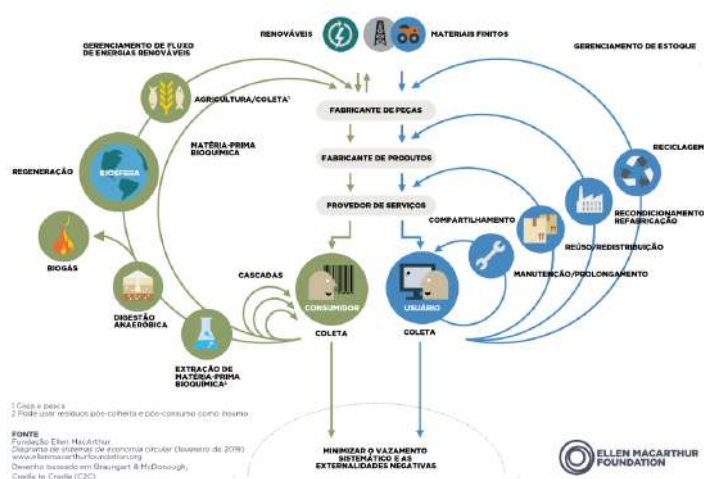


Figura 9

Diagrama de Borboleta (Butterfly Diagram) da Economia Circular.

Fonte: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/pt/o-diagrama-de-borboleta>

(2.3)

Multidisciplinaridade - Design e Ciência

De modo a enfrentar desafios sociais complexos e pouco definidos, os inovadores têm adotado, cada vez mais, uma abordagem interdisciplinar, combinando métodos de design com conhecimentos científicos. Esta integração visa criar soluções mais eficazes e inovadoras, aproveitando a complementaridade entre diferentes formas de pensamento e processos criativos e multidisciplinares. A conexão entre arte, design, engenharia e ciência, procura explorar novas possibilidades e impulsionar avanços tecnológicos e conceptuais. Contudo, esta colaboração enfrenta desafios devido às diferenças inerentes entre as disciplinas envolvidas. Cada campo possui a sua própria linguagem, metodologias e modos de abordar os problemas, gerando por vezes dificuldades na comunicação e na compreensão mútua entre os intervenientes. Enquanto o design lida com incertezas e explora soluções abertas e iterativas, a ciência e a engenharia seguem abordagens sistemáticas e baseadas em evidências. A diferença entre paradigmas pode gerar conflitos na tomada de decisões, definição de processos e na avaliação de resultados obtidos. A organização e clarividência sobre como estruturar e gerar estas interações é importante para evitar a fragmentação e ineficiência destas colaborações (Sander, Nolwenn, & Céline, 2019).

Portanto, a multidisciplinaridade é fundamental para o design, permitindo que diferentes áreas do conhecimento se complementem para criar soluções inovadoras e sustentáveis. Esta abordagem colaborativa é essencial para enfrentar os desafios complexos e interconectados do mundo moderno, promovendo um futuro onde a tecnologia e a natureza coexistem harmoniosamente.

A relação entre o design e a engenharia de materiais, pode ser inserida dentro do cenário construído pela interseção entre a cultura do design e as ciências. Nos últimos anos, um número crescente de designers caminha no sentido de conectar as suas abordagens com disciplinas científicas, posicionando-se como ponte de conexão entre o conhecimento científico e a sociedade. O fortalecimento dessa relação entre design e ciência tornou-se um fenómeno amplamente difundido, que adquiriu múltiplas formas resultantes da combinação de infinitas variantes do design com diversas áreas científicas (Langella, 2021).

No campo do desenvolvimento de materiais, são várias as motivações que conduzem os designers a se aproximarem da ciência, algumas movidas pela praticidade e outras pelo conceito. Num contexto onde a inovação estilística se apresenta cada vez mais limitada e as inovações tecnológicas são frequentemente restringidas por processos padronizados, a ciência surge como uma fonte poderosa de inspiração. Oferece caminhos para soluções inovadoras, tanto em termos de desempenho dos materiais quanto na criação de novas experiências sensoriais e funcionais. A colaboração entre design e ciência dos materiais pode nascer a partir de um compromisso ético: o de aproximar o conhecimento científico da sociedade de forma acessível e aplicada (Langella, 2021).

Mas, muitas vezes, essa aproximação também reflete o desejo de legitimar o trabalho do designer ao vinculá-lo aos valores de utilidade e necessidade comumente associados à ciência. Essa relação reflete uma tendência do design contemporâneo de buscar, na ciência, respostas para desafios urgentes, como a proteção ambiental, a sustentabilidade e o bem-estar coletivo. Em mercados saturados por produtos de curta vida útil e estética repetitiva, muitos designers recorrem à ciência como uma base ética e cultural sólida para propor inovações com propósito. Nesse sentido, apoiar o avanço científico por meio do design passa a ser visto como um gesto nobre, uma forma de resgatar o papel social e cultural do design como agente de transformação positiva na vida das pessoas (Langella, 2021).

A crescente complexidade dos desafios ambientais e sociais atuais tem impulsionado o desenvolvimento de novos materiais para além dos limites tradicionais da estética e da funcionalidade. Neste contexto, a multidisciplinaridade surge como um pilar essencial, unindo campos como a biologia, a ciência dos materiais, a ecologia e a ética ao processo criativo do design. Um exemplo notável desta abordagem é o projeto Mycelium + Timber¹, desenvolvido pelo designer britânico Sebastian Cox em colaboração com a bióloga Ninela Ivanova. Neste projeto, resíduos de madeira, tradicionalmente considerados subprodutos descartáveis, são combinados com micélio, a estrutura radicular dos fungos, para formar um novo tipo de biomaterial: leve, resistente, compostável e com baixa pegada de carbono. A iniciativa não apenas propõe uma alternativa viável aos materiais sintéticos e poluentes, mas também reflete uma prática de design que se apoia no conhecimento científico para criar sistemas produtivos regenerativos. Essa convergência entre design, ciência e natureza revela o potencial transformador do pensamento multidisciplinar, mostrando como a colaboração entre saberes pode gerar inovações alinhadas com os princípios de circularidade e respeito ecológico (Marchmont House, 2023).



Figura 10

Sebastian Cox e Ninela Ivanova.

Fonte: <https://mywarehousehome.com/blogs/trend-watch/mycelium-timber-from-sebastian-cox-ninela-ivanova>

¹ A designer e investigadora búlgara Ninela Ivanova e o designer britânico Sebastian Cox uniram-se para criar algo bastante invulgar: bancos e luminárias leves e compostáveis, produzidos a partir de resíduos de madeira verde ligados por micélio de fungos. O projeto, intitulado Mycelium + Timber, foi apresentado na Somerset House como parte da exposição Design Frontiers durante o London Design Festival 2017 (Dawood, 2017).

(2.4)

Micélio no Design de produto

Nos últimos dez anos, houve um avanço no desenvolvimento de novos materiais pelos designers que utilizam processos naturais de crescimento e reprodução de organismos vivos, como fungos e algas. Designers como Suzanne Lee, com o seu projeto BioCouture, e Maurizio Montalti, da Officina Corposculi, destacam-se como pioneiros neste campo de interseção entre o design e a biologia. Suzanne Lee desenvolveu uma linha de vestuário a partir do cultivo de bactérias. Por outro lado, Montalti explora o uso do micélio para criar materiais e investigar métodos de fabricação alternativos. Ambos conseguiram desenvolver um conjunto de materiais variados, desde o papel até ao couro, que apresentam propriedades técnicas e estéticas favoráveis (Cemere & Karana, 2017).



Figura 11

BioCouture, casacos feitos de material celulósico.

Fonte: <https://nextnature.org/en/magazine/story/2015/interview-suzanne-lee>

Esta abordagem, utilização destes materiais no design de produtos, teve a sua origem nos avanços da biotecnologia, inicialmente desenvolvidos para a fabricação de tecidos biológicos. Com a crescente e fácil acessibilidade da ciência e das tecnologias de produção, a bio fabricação tornou-se um caminho viável para as pessoas fora deste campo. A possibilidade de co-criar com a natureza, através das suas múltiplas formas de expressão que podem ser atingidas e a oportunidade de reinventar os padrões tradicionais de produção, têm proporcionado um crescente interesse sobre a interação entre biologia, arte, arquitetura e design (Cemere & Karana, 2017).

DIY - ("Do It Yourself") é uma prática que incentiva a criação, personalização e reparo de objetos sem depender de profissionais, valorizando autonomia e criatividade (Guayabero, 2019).

A esta prática emergente de design designa-se de Growing Design, que envolve a criação de materiais e produtos a partir de organismos vivos, recorrendo a uma forma de prática de material "*Do it yourself*" (DIY). Permite aos designers explorar novas estéticas e controlar todo o processo de produção, desde o desenvolvimento do material até à realização do produto final. Atualmente, o crescente interesse sobre Growing Design é evidenciado por várias exposições, publicações, conferências e comunidades online. No entanto, uma vez que é recente, ainda é um campo pouco compreendido, com confusões conceptuais em relação a outras práticas que combinam design e biologia. Apesar de vários organismos poderem ser aplicados no Growing Design, o foco concentra-se especificamente no micélio para o desenvolvimento de materiais (Cemere & Karana, 2017).

Devido à sua versatilidade, o micélio, especificamente a sua estrutura, tem ganho bastante destaque nos últimos anos, tornando-se popular no campo do design de produto pelos seus diversos benefícios. Sendo um material sustentável e ecológico, pode ser utilizado para criar um vasto conjunto de produtos, desde móveis e embalagens até materiais de construção. Uma das vantagens da utilização do micélio é a sua capacidade de crescimento e formação de estruturas complexas sem a necessidade de introduzir fatores externos, como água e luz solar, acabando por torná-lo num material com elevada eficiência em termos de recursos. A partir do micélio obtêm-se materiais considerados fortes e duráveis, com capacidade de resistir ao desgaste, sendo adequados para produtos de uso diário. Para além dos benefícios práticos associados, o micélio possui uma pegada ambiental reduzida, uma vez que requer poucos recursos para e durante o seu crescimento, e ainda é compostável sendo uma alternativa sustentável e responsável para o design de produtos (Ceme re & Karana, 2017).

Dentro do universo de projetos já realizados que integram micélio como material, foi realizada uma seleção de produtos que demonstram de forma notável o impacto do uso deste material, de como pode revolucionar tanto a funcionalidade quanto a sustentabilidade dos produtos.

(2.4.1)

MyHelmet by StudioMom

Este projeto desenvolvido pelo estúdio de design StudioMom, é um exemplo inovador de como o micélio pode ser integrado no desenvolvimento de produtos de segurança pessoal, como os capacetes de ciclismo. Myhelmet é um capacete biodegradável, que não só protege o ciclista como também reduz o impacto ambiental associado à produção e descarte desta tipologia de produtos. O micélio foi cultivado em moldes específicos, formando a estrutura do capacete, oferecendo a proteção e resistência necessária e adequadas para o uso diário. Em comparação com os capacetes tradicionais fabricados em plástico e espuma de poliestireno, que demoram centenas de anos para se decompor, o capacete de micélio é biodegradável (Frearson, 2022).

Figura 12 - (à esquerda) MyHelmet, um capacete produzido com micélio e palha.

Figura 13 - (à direita) Composições de materiais testados pelo StudioMOM.

Fonte: <https://www.dezeen.com/2022/05/17/mycelium-cycle-helmet-myhelmet-studiomom/>



O design Myhelmet substitui o EPS por um micélio cultivado num substrato de resíduos agrícolas. Durante o seu crescimento, o micélio é submetido a um processo de aquecimento breve tornando a sua composição semelhante à do EPS, rígida, leve e de baixa condutividade térmica. A estrutura da superfície natural do micélio cria um espaço para o fluxo de ar, ajudando a manter a cabeça do utilizador fria. Este processo foi desenvolvido pela designer Alessandra Sisti, sendo o seu projeto de conclusão do mestrado em Design e Engenharia no Politécnico di Milano. Sisti aliando-se ao StudioMOM foi capaz de avançar ainda mais no seu projeto, desenvolvendo e testando um conjunto amplo de composições com o objetivo de encontrar a solução mais eficaz (Frearson, 2022).

(2.4.2)

Mycelium Leather

A utilização industrial de fungos no desenvolvimento de tecidos surgiu na década de 1950, quando as semelhanças entre as propriedades estruturais da quitina (presente na biomassa fúngica) e da celulose (na madeira) foram exploradas para criar papel de escrita feito de compósitos desses dois polímeros. A aplicação de fungos na fabricação de papel foi ampliada para o seu cultivo em resíduos de fábricas de papel e a sua compressão para criar papéis derivados de micélio. Recentemente, a biomassa fúngica encontrou diversas aplicações, incluindo revestimentos, embalagens de alimentos, materiais de construção, entre outros, a partir das quais podem ser derivados tecidos para roupas e substitutos de couro (Amobonye, Lalung, Wasthi K., & Pallai, 2023).

Atualmente, as principais empresas deste setor emergente incluem Ecovative, Bolt Threads, Mogu, Muskin, Grado Zero Space, MycoTech e MycoWorks. A mudança gradual para materiais sustentáveis e inovação tecnológica são alguns dos fatores que resultam na aceitação e popularidade destas alternativas ao couro animal nestas regiões em comparação com o resto do mundo. O aumento da necessidade de produtos sustentáveis e livres de crueldade animal, bem como as colaborações entre empresas fabricantes de couro à base de fungos e marcas de moda internacionalmente reconhecidas, impulsionaram o crescimento desta indústria emergente. Contudo, observa-se que os processos de fabricação destes materiais à base de micélio têm custos elevados, uma vez que são necessários grandes investimentos em pesquisa e no seu próprio desenvolvimento. De igual maneira, são necessários vários recursos para que as empresas obtenham as certificações de organizações reguladoras, resultando num aumento no valor final dos produtos, em comparação com os materiais convencionais (Amobonye, Lalung, Wasthi K., & Pallai, 2023).

(2.4.3)

Myco Works

A MycoWorks é uma empresa de biotecnologia que se dedica ao desenvolvimento de materiais de alta qualidade utilizando FineMycelium. Com mais de 30 anos de pesquisa e inovação lideradas pela sua equipa criativa, a MycoWorks desenvolveu a plataforma FineMycelium que possibilitou a criação de uma classe de materiais premium, sem origem animal, representando a próxima evolução do micélio. A empresa combina as ferramentas da biotecnologia com a excelência na produção e criatividade artesanal para cultivar o futuro dos materiais (MycoWorks, 2022). A MycoWorks produz o Reishi (através da tecnologia FineMycelium) adaptado com um material têxtil embutido in situ ou sem nenhum tecido. Existe uma variedade de materiais têxteis que podem ser escolhidos para serem incorporados ao Reishi. O material têxtil (base estrutural adicionada) é colocado num recipiente plano, em que o micélio cresce colonizando o tecido e formando uma camada densa, incorporando-o ao micélio. Como alternativa, o micélio pode crescer até atingir força e robustez adequadas sem a adição de tecido como base estrutural. (Williams, Cenian, Golsteijn, Morris, & L. Scullin, 2022).



Figura 14

Reishi, MycoWorks

Fonte: <https://circumfauna.org/leather-circumfauna/mycoworks>

(2.4.4)

Bio couros

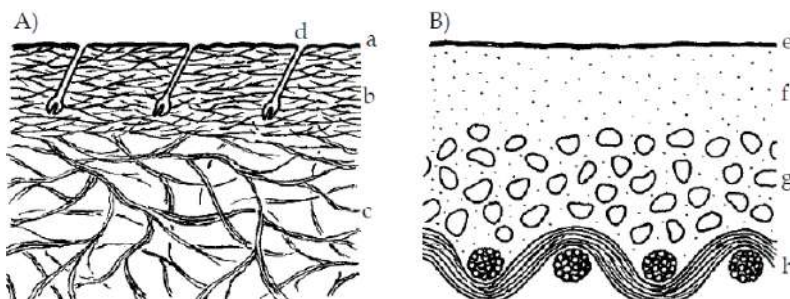
A produção de couro, devido ao uso de produtos químicos tóxicos e à geração de grandes quantidades de resíduos durante o tratamento de peles e couros crus, enfrenta sérios desafios de sustentabilidade ambiental. Estes problemas impulsionaram o desenvolvimento de materiais alternativos ao couro que não utilizam produtos de origem animal (Kefale, Kebede, & Birlie, 2023). Atualmente, o desenvolvimento de bio couros é uma área em constante crescimento. Apesar de serem promovidos como opção mais sustentável em comparação com os couros tradicionais, sejam de ou contenham plástico, baseada em plantas ou a junção dos dois, ainda levantam dúvidas sobre os seus impactos a longo prazo (Tonti, 2023).

A maioria destas alternativas sintéticas contém polímeros, como o policloreto de vinilo (PVC) e o poliuretano (PU). Estes materiais conquistaram um mercado relevante, reduzindo questões sociais e ambientais tradicionalmente associadas à fabricação de couro. Porém, estes substitutos sintéticos envolvem componentes químicos perigosos na sua produção. Além disso, por serem derivados de combustíveis fósseis, são não biodegradáveis e enfrentam as mesmas limitações de descarte que a maioria dos plásticos. Nos últimos anos, foram desenvolvidas alternativas de bio-couro para substituir o couro natural. Por exemplo, a empresa Hide Biotech, em Londres, utiliza proteínas de colagénio isoladas para criar substitutos convencionais de couro. Já o bio-couro feito a partir do crescimento de micélio está a atingir destaque como uma solução promissora. Este material combina vantagens económicas, responsabilidade social e sustentabilidade ambiental, tornando-se uma alternativa viável tanto para o couro natural quanto para os substitutos artificiais, com aplicações em outros produtos (Kefale, Kebede, & Birlie, 2023).

O couro apresenta propriedades únicas, muito valorizadas em diversas aplicações, como resistência e elasticidade, permeabilidade, resistência à abrasão e durabilidade. Apesar da concorrência de materiais sintéticos no passado, que triunfaram devido a preços mais baixos e facilidade de processamento, o couro continua popular pelas suas propriedades benéficas, aparência natural e sensação de material nobre. Os materiais sintéticos são constituídos por um suporte têxtil coberto por duas ou mais camadas de polímeros sintéticos. Atualmente, são comuns têxteis de poliéster revestidos com filmes de PVC ou PU, tornando estes materiais totalmente derivados de combustíveis fósseis. Para imitar a aparência do couro, é possível criar uma textura através de processos de estampagem (Meyer, Dietrich, Schulz, & Mondschein, 2021).

Figura 15

A estrutura principal do couro (A) e do couro artificial (B). O couro ainda reflete a estrutura histológica da pele (Meyer, Dietrich, Schulz, & Mondschein, 2021).



Nos últimos anos, devido à preocupação com sustentabilidade industrial, procura-se atingir o uso de materiais naturais e a substituição de matérias-primas fósseis não renováveis. Apesar de o couro ser um material “bio-based” e renovável, estes fatores não levaram a um renascimento do seu uso. Pelo contrário, o couro tem enfrentado uma maior pressão devido às discussões contínuas sobre as emissões de gases de efeito estufa associadas à criação de gado, a sustentabilidade da sua produção e o bem-estar animal. Simultaneamente, cresce o número de pessoas que optam por dietas sem carne ou por evitar completamente produtos de origem animal. Estes desafios emergentes destacam a necessidade de novas abordagens na cultura e no desenvolvimento de materiais. Atualmente, estudam-se novas abordagens biotecnológicas para a criação de materiais alternativos ao couro, através de métodos que utilizam fungos, e a simbiose de bactérias e leveduras para a produção de redes fibrosas que imitam a estrutura da pele animal. Além disso, a redução de componentes fósseis presentes no couro sintético, é baseada na sua substituição por resíduos agrícolas como, folhas de cato moídas (Desserto), resíduos de maçã (Appleskin). Destacando-se Piñatex, um material que utiliza fibras de folhas de abacaxi revestidas com políácido láctico (PLA) (Meyer, Dietrich, Schulz, & Mondschein, 2021).

“Plant and PU – hybrids”

Na tentativa de reduzir a dependência do couro sintético em relação aos combustíveis fósseis, diversos pioneiros do couro recorreram a plantas e fungos. Embora os resíduos vegetais variem, o produto final é um híbrido semelhante de planta e poliuretano (PU). De maneira geral, a matéria vegetal é processada numa substância que é aplicada a um tecido e revestida com PU, para oferecer resistência à água e durabilidade (Tonti, 2023).

Couros de origem vegetal

A celulose é um componente essencial presente nas paredes celulares das plantas verdes. A sua resistência e rigidez derivam principalmente das microfibras de celulose organizadas nas paredes celulares. Reconhecida como o polímero orgânico mais abundante no nosso planeta, possui uma natureza regenerativa. Os bio-couros utilizam a celulose presente na biomassa vegetal para proporcionar rigidez ao produto final. As técnicas de produção utilizadas para estes tipos de bio couros variam de acordo com a fonte de celulose utilizada. O Piñatex, um dos bio-couros de origem vegetal mais conhecidos, é produzido a partir das fibras das folhas de abacaxi, subprodutos da indústria de abacaxi. As fibras após a sua extração, são submetidas a um processo de limpeza e secagem, seguidamente combinadas com ácido polilático (PLA), formando uma malha não tecida que é revestida para criar o produto final (Kefale et al., 2023).

Outro exemplo é o Desserto, produzido a partir de folhas de cato. É composto por uma camada compacta, uma camada de espuma e uma base tecida por vezes de poliéster, algodão ou uma mistura de ambos. Este material é sustentável porque é fabricado a partir de catos cultivados e colhidos duas vezes ao ano. Após serem lavadas e trituradas, as folhas de cato são secas ao sol por três dias. Após as fibras e proteínas extraídas das folhas, é criada uma mistura que é transformada no couro. Por não conter PVC e possuir apenas 28% de poliuretano bio, este material é considerado sustentável (Kefale et al., 2023).

Couro de origem fúngica

Os fungos são organismos aeróbicos com crescimento neutro em carbono, nesse sentido, investigadores de diversas áreas procuram soluções mais viáveis para reduzir o impacto ambiental. O micélio, a rede de filamentos microscópicos, cujas hifas se ramificam e interconectam, formam redes que se podem estender por quilómetros, tornando os fungos um dos maiores organismos existentes (Kefale et al., 2023).

Os corpos de frutificação das espécies *Fomitella* e *Phellinus ellipsoideus* têm sido utilizados para produzir couro à base de micélio. Estas alternativas apresentam uma solução ética e ambientalmente sustentável em substituição ao couro natural. O crescimento e os avanços atuais sobre couros biológicos à base de fungos estão diretamente ligados a empresas biotecnológicas, como MycoWorks e Bolt Threads, que já desenvolveram produtos como sandálias, bolsas, sapatos, pulseiras de relógio e carteiras a partir destes materiais inovadores. Produzido a partir de resíduos agrícolas e cogumelos como Reishi e Ostra, o material é tratado para melhorar flexibilidade, durabilidade e aparência. Este processo, mais rápido e sustentável que o couro animal, representa uma inovação promissora na indústria de materiais ecológicos (Kefale et al., 2023).

Couros de origem bacterial

A celulose bacteriana é uma substância presente em algumas bactérias, que oferece uma alternativa à celulose vegetal, aquando da sua produção em grande quantidade através do uso da biotecnologia. Alguns microrganismos são fontes potenciais de celulose bacteriana, sendo um biomaterial de celulose pura. Esta substância tem a aparência de uma película gelatinosa, composta por nanofibras tridimensionais interligadas, que resultam em alta porosidade, grande capacidade de absorção de água e alta cristalinidade (Kefale, Kebede, & Birlie, 2023).

A celulose bacteriana é vista como uma alternativa ao couro através da síntese industrial de fibras de celulose por bactérias do género *Komagataeibacter*. Estas bactérias são usadas em processos de fermentação para produtos como a kombucha. Durante a respiração aeróbica, sozinhas ou em cooperação com outras bactérias e leveduras, essas bactérias criam películas de celulose que se acumulam no meio extracelular. Essas películas podem ser produzidas em espessuras necessárias e, quando secas, fornecem um material flexível semelhante ao couro, com características comparáveis ao couro animal. Utilizando a fermentação industrial de nutrientes básicos, grandes quantidades dessas películas podem ser produzidas. As características táteis da celulose bacteriana são comparáveis às de couros de alta qualidade, sendo elástica e de acabamento fino. Um estudo relatou a criação de um couro biológico derivado de celulose bacteriana produzida a partir de kombucha, combinada com soro de leite ácido, sumo de maçã e grãos de cerveja usados. Os compósitos biológicos resultantes mostraram boa estabilidade de forma e flexibilidade considerável (Kefale, Kebede, & Birlie, 2023).

Couros de origem animal (celular)

Recorrendo à biotecnologia, os couros de origem animal podem ser replicados como é o caso da empresa Modern Meadow, que desenvolveu um couro biológico em laboratório, cultivando células bovinas que produzem colagénio em um meio específico, sem prejudicar os animais. Embora a estrutura do colágeno seja distinta da pele natural, a técnica permite criar um material funcional. No entanto, outro processo foi desenvolvido pela empresa Hide Biotech, utilizando resíduos de peixes, como escamas para produzir couro alternativo. Este método fortalece as redes de colagénio, não sendo necessárias as etapas separadas de tingimento ou curtimento, uma vez que os corantes e óleos são integrados durante a fabricação (Kefale, Kebede, & Birlie, 2023).



Figura 16

A Desserto Leather é uma alternativa sustentável ao couro tradicional, produzida a partir de catos. Fonte: <https://www.designboom.com/design/desserto-cactus-vegan-leather-06-26-2020/>

Figura 17

A MuSkin é uma alternativa vegetal ao couro, produzida a partir de cogumelos. Fonte: <https://tocco.earth/article/fungus-alternative-to-animal-leather-muskin/>

(2.5)

O que é o micélio?

Os fungos são muito diversos e essenciais para o funcionamento do planeta Terra, onde existem cerca de 1,5 milhões de espécies descobertas. Além de serem cogumelos, são órgãos reprodutores. À semelhança dos animais, um fungo é um organismo eucariótico, ou seja, as suas células contêm um núcleo em vez de ADN flutuante. Também são heterotróficos, como o ser humano, o que significa que têm de consumir o seu alimento, ao contrário das plantas fotossintetizantes que recebem a sua energia através da luz solar. Os fungos, geralmente, assumem a forma de uma rede filamentosa denominada de micélio, constituída por células ligadas individualmente, as hifas (Ecovative, s.d.).

“The difference between animals and fungus is simple: Animals put food in their bodies, where as fungi put their bodies in the food.” (Sheldrake, 2020).

Como apresenta a figura 18, a vida dos fungos segue um padrão cíclico, iniciado pelos esporos que crescem e se transformam em micélio. Este elemento é responsável por gerar cogumelos, que produzem novos esporos, reiniciando o ciclo (Ecovative, s.d.). O crescimento do micélio ocorre por expansão das hifas a partir de um esporo ou de um inóculo. Após esta fase, as hifas criam uma ramificação formando colónias com um padrão semelhante a uma árvore. Estas interconectam-se por fusão hifal (anastomose), criando uma estrutura composta por redes de fibras. As condições nutricionais e ambientais influenciam a densidade de ramificação bem como a sua topologia (Islam, Tudryn, Bucinell, Schadler, & Picu, 2017).

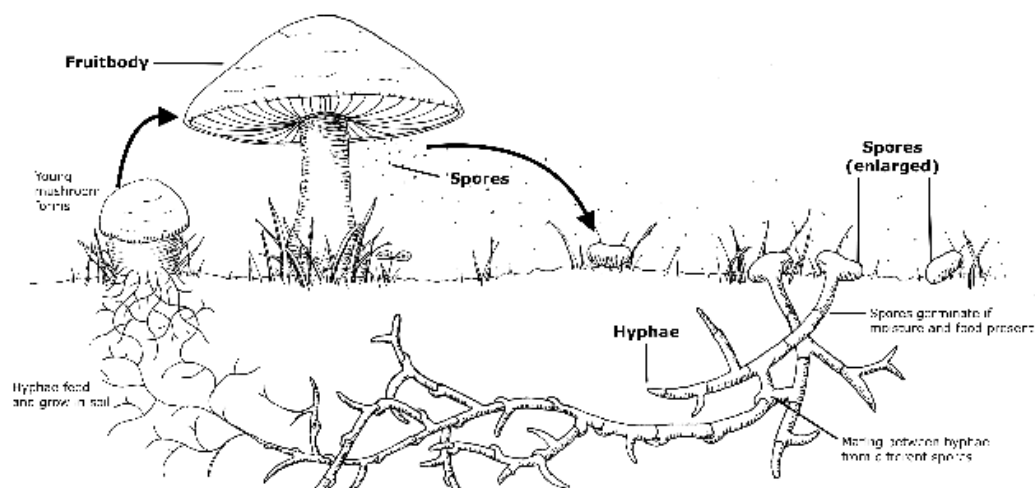


Figura 18 - Ciclo de vida simplificado de um cogumelo.

Dos esporos produzidos por um cogumelo, apenas uma pequena parte cairá em locais adequados para germinar, dando origem às hifas. As hifas de diferentes espécies podem crescer no solo ou na madeira e, posteriormente, formar um pequeno fruto. Este, por sua vez, cresce, e o caule e o chapéu expandem-se até se tornarem num cogumelo.

Fonte: <https://www.sciencelearn.org.nz/images/3689-mushroom-life-cycle>



Figura 19
Rede de hifas crescida em borra de café.
Fotografia da autoria da investigadora.

Na extremidade de cada hifa, encontra-se a “ponta principal”. É nesta célula terminal que acontece uma parte significativa da atividade metabólica e crescimento. No interior destas células, encontra-se uma estrutura biológica minúscula e complexa chamada *Spitzenkörper*. Esta atua como centro de organização de crescimento celular, sendo responsável por dirigir continuamente a produção de material hifal. À medida que o fungo avança em busca de nutrientes, o *Spitzenkörper* coordena a expansão hifal, permitindo que as hifas se integrem em vários substratos (Sudbery, 2008).

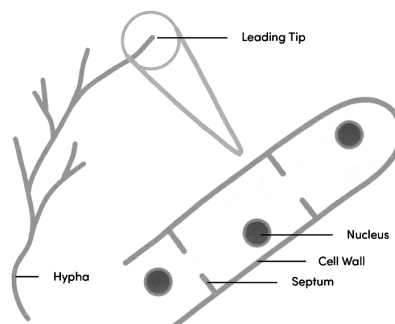


Figura 20 - Composição das hifas. Adptado pela autora.
Fonte: <https://shop.ecovative.com/pages/mycelium-101>

Existem inúmeras hifas numa teia micelial, uma vez que esta se divide e cresce constantemente. Se seguirmos qualquer ramo até à ponta, todas elas trabalham da mesma forma, eliminando enzimas para digerir a fonte de alimento em que o micélio está a crescer, ou para afastar a concorrência (Ecovative, s.d.).

O micélio comporta-se como uma rede de bio polímeros, na qual as suas propriedades mecânicas são determinadas pelo comportamento individual dos filamentos e pela organização topológica dentro da rede. Quando submetidos a cargas externas, os filamentos individuais reorientam-se e deformam de acordo com suas propriedades elásticas, orientação e conexões na rede, resultando numa resposta global complexa do material. Estudos teóricos, experimentais e computacionais sobre outros materiais baseados em redes, como actina e colagénio, demonstraram a forte influência das propriedades da rede sobre as características macroscópicas do material (Islam, Tudryn, Bucinell, Schadler, & Picu, 2017).

Ao longo da história da humanidade, o potencial industrial dos fungos tem sido explorado desde a produção de alimentos até a biotecnologia médica. Recentemente começaram a serem considerados e explorados como recursos alternativos para a criação de novos materiais. Os materiais à base de micélio podem ser cultivados através de dois métodos: a exploração da capacidade do micélio integrar outros componentes na sua rede para formar um material sólido ou por meio de culturas líquidas de micélio. Os compósitos de micélio são fabricados inoculando o fungo num substrato de compostos orgânicos. O micélio vai degradando e colonizando o substrato orgânico, utilizando os produtos da degradação como nutrientes para desenvolver as suas hifas, enquanto forma e funde novas ramificações, criando uma rede mais densa (Karana, Blauwhoff, Hultink, & Camere, 2018).

Além do elemento mais essencial, a água, o substrato deve fornecer os nutrientes necessários para o crescimento do micélio. Os compostos adequados para o substrato podem ser obtidos a partir de resíduos provenientes da agricultura, como palha, serrim e outras fibras como o algodão. O tipo de substrato utilizado influencia significativamente as propriedades físicas e sensoriais do material resultante. Os materiais apenas compostos por micélio são obtidos a partir de uma cultura líquida do mesmo. A cultura em meio líquido pode ocorrer em recipientes estáticos ou agitados mecanicamente. Quando são cultivados numa cultura líquida estática, os fungos formam uma camada de hifas na superfície do líquido. Após a sua desidratação, o material resultante pode variar em propriedades e se assemelhar a couro, papel ou plástico. Dependendo dos aditivos fornecidos ao micélio no final do seu cultivo (por exemplo, glicerol), o resultado pode variar em cor, translucidez e rigidez. Para a fabricação destes materiais à base de micélio é necessária uma esterilização adequada de todos os componentes que integram o processo, desde o material laboratorial até ao substrato onde o micélio irá crescer. A cultura de micélio deve ser mantida sob condições ambientais controladas de luz, temperatura e humidade para garantir um crescimento estável dentro de um período de cerca de duas a três semanas. As condições ideais de temperatura e humidade variam dependendo da espécie de fungo utilizada, no entanto, a maioria desenvolve-se entre 25 e 35 °C. A água é essencial para o metabolismo fúngico, as condições corretas de humidade devem ser mantidas em torno de 60–65% para evitar que a desidratação do substrato. Condições de escuridão também são preferíveis, não apenas para evitar a formação de corpos de frutificação, mas também para favorecer o crescimento rápido do micélio. Como finalização do processo de crescimento, o micélio pode ser inativado desidratando o material a uma temperatura mínima de 60 °C, ou deixado em temperatura ambiente (Karana, Blauwhoff, Hultink, & Camere, 2018).



Figura 21 - Diversas aplicações do micélio em produtos, Embalagens de proteção(1); Sinalética (2); Painéis acústicos (3); Moda (4 e 5); Mobiliário (6).

Fontes: 1 - <https://www.grown.bio/protective-packaging/> 2 - <https://www.futurematerialsbank.com/material/mycelium-16/> 3 - <https://mogu.bio/> 4 e 5 - <https://materialdistrict.com/article/mycotex-textile-mushroom-mycelium/> 6 - https://www.futurematerialsbank.com/material/mycelium-4/officina-corpuscoli-the-growing-lab_-mycelia-mykes-mycelium-chair-officinacorpuscoli-3/

(2.6_casos de estudo)

Esta secção envolve uma recolha aprofundada de informação e dos avanços mais recentes no campo dos materiais à base de micélio juntamente com as suas aplicações. Este conjunto de projetos ou empresas apresenta as possíveis aplicações para os materiais resultantes deste projeto. Inclui uma ampla variedade de setores, como construção, mobiliário, embalagens, e ainda está organizado por áreas de aplicação de modo a conseguir-se uma leitura mais fluida da informação apresentada. Foram definidos parâmetros base de forma a separar e catalogar os projetos, definindo-se as áreas de aplicação, embalagens, têxteis, mobiliário, isolamento, arquitetura e design especulativo.



Figura 22
MyStool de Jonas Edvard
Fonte: <https://www.jonasedvard.com/myx/project-two-dzr7a>

(2.6.1)

Sebastian Cox

A curiosidade sobre o micélio e a motivação para investigar sobre este tema debruçou-se sobre um projeto de criação e produção de mobiliário comercial, com um material inovador à base de micélio, criado por Sebastian Cox, um designer, artesão e ambientalista reconhecido pela sua abordagem inovadora e sustentável na produção de mobiliário.

Mycelium + Timber - Exploring biofacture in a new collection of grown furniture.

Este projeto consiste na produção de uma série de bancos e candeeiros produzidos a partir de resíduos de madeira, inoculados com a espécie *Fomes fomentarius*. O próprio micélio modifica cada peça à medida que cresce, ligando as aparas de madeira em torno de estruturas criadas propositadamente, formando objetos de design leves, extremamente resistentes e completamente compostáveis. Esta relação material, entre madeira e fungo é um fenómeno natural. Graças a uma ampla pesquisa e experimentação, identificaram que a espécie de micélio *Fomes fomentarius* apresenta maior eficácia em combinação com duas espécies de madeira britânica atualmente sem valor económico significativo e frequentemente tratadas como resíduo. Aproveitaram este emparelhamento perfeito de materiais e aplicaram de forma inteligente a relação simbiótica na criação de mobiliário contemporâneo (Cox, s.d.).

We have a near obsession with trying to find new uses for wood. I've always felt dissatisfied with combining this incredibly sustainable material with even the greenest of bioplastics. Mycelium offers us the opportunity to create products that not only continue but advance our ethos of sustainability and test our ability as a studio to design for new methods of manufacture (Cox, s.d.).

Este projeto de Sebastian Cox marcou uma mudança significativa na percepção e no uso do micélio como material sustentável, impulsionando interesse e pesquisa em torno deste recurso natural. A pesquisa de casos de estudo acabou por se expandir, abordando uma gama crescente de produtos baseados em micélio, e continua a abrir novas fronteiras na busca por uma produção industrial mais sustentável e responsável.

Figura 23 - Abajur e banco à base de micélio e resíduos de carvalho.

Fonte: <https://www.dezeen.com/2017/09/20/mushroom-mycelium-timber-suede-like-furniture-sebastian-cox-ninela-ivanova-london-design-festival/>





Figura 24

Sebastian Cox e Ninela Ivanova.

Fonte: <https://www.dezeen.com/2017/09/20/mushroom-mycelium-timber-suede-like-furniture-sebastian-cox-ninela-ivanova-london-design-festival/>

(2.6.2) Jonas Edvard

Jonas Edvard, nascido em 1982, é um designer dinamarquês que trabalha no campo da ciência dos materiais e em experiências aplicadas no design. Durante a última década, Edvard trabalhou de forma independente, investigando e desenvolvendo materiais inovadores com o objetivo de encontrar o valor funcional em recursos naturais sustentáveis. Certas matérias-primas como algas marinhas, fibras de plantas, cogumelos e resíduos de papel reciclado transformam-se em candeeiros, mobiliário e instalações artísticas (Thinkers and Makers, s.d.).

No início da sua carreira, Edvard trabalhou com materiais convencionais, no entanto acabou por se dedicar ao estudo de matérias-primas naturais. O design finlandês teve um impacto significativo no trabalho de Edvard, pois considera-o mais emocional e intuitivo entre as tradições de design escandinavo (Thinkers and Makers, s.d.).



Figura 25

Jonas Edvard

Fonte: <https://www.dwell.com/article/grow-your-own-designs-like-jonas-edvard-bc436b00>

Myx Lamp - 2013

Myx Lamp foi uma das primeiras criações do designer dinamarquês. Este projeto serviu como conclusão do curso na Royal Academy of Fine Arts, School of Design em Copenhaga, Dinamarca. O processo de criação do abajur tem uma duração de cerca de três semanas: as fibras têxteis e micélio crescem juntos, formando um tecido vivo, macio e flexível, moldado, neste caso, numa forma cilíndrica. Após duas semanas (fase de frutificação), os cogumelos são retirados da superfície externa do abajur, e o material residual que permanece é transformado na lâmpada final. A luminária é composta por resíduos, o micélio é proveniente de um comércio local de produção de cogumelos e as fibras são sobras da indústria têxtil. Ao invés de descartar estes resíduos, o designer reimagina-os, criando novos produtos (Rosie Flanagan, s.d.).

Myx Stoll - 2015

O banco Myx é uma extensão do trabalho com materiais têxteis de micélio que Edvard começou a desenvolver em 2013. O banco é inicialmente cultivado em conjunto a partir de 7 estruturas semelhantes que integram palha moldada e micélio com fibras têxteis. As peças individuais são posteriormente combinadas numa estrutura auto sustentável que se vai fundindo e alinhando de acordo com o crescimento natural do material do micélio. O banco mostra a conexão clara com o design industrial, permitindo a modelagem semelhante e modular de estruturas de materiais planos em peças modeladas em 3d, aprimoradas pelo efeito adesivo adicional do micélio para conectar e unir elementos ou estruturas em todo um corpo de materiais sólidos (Jonas Edvard, s.d.).

Myx Tile - 2017

Jonas Edvard desenvolveu um elemento modular de absorção de som que utiliza a capacidade de absorção natural da palha em combinação com o micélio. Formalmente, baseia-se num padrão tradicional de tecelagem tripla, tornando a estrutura total em algo infinito e em movimento contínuo em todas as direções.

O módulo de repetição é de dupla face sendo possível a sua colocação de modo livre, oferecendo absorção em ambos os lados, ou utilizada como elemento de parede, aproveitando o efeito de absorção indireta. As peças são compostas por apenas fibras de palha não tecidas e a sua capacidade de absorção natural torna-a ideal como componente estrutural em compósitos orgânicos, devido ao teor natural de lignina e ao comprimento das fibras. A MYX tile foi exibida pela primeira vez na Fungal Future Exhibition II no Museu TwentseWelle, nos Países Baixos (Edvard, s.d.).

Myx Chair - 2020

Dimensões 60 x 63 x 70 cm

A cadeira MYX é composta por micélio e fibras de palha, produzidos de forma natural, mas controlada. O micélio cresce entre camadas de fibras, criando um compósito orgânico que é ao mesmo tempo forte, leve e não requer energia adicional durante a produção. O cogumelo alimenta-se da fonte natural de celulose, e os componentes das fibras colam a estrutura dos materiais, formando uma peça sólida. A construção da cadeira é feita a partir de várias camadas de fibra agrícola, moldadas e dobradas em forma para criar uma placa laminada com uma estrutura ondulada, que depois cresce até adquirir uma forma sólida, resultando numa cadeira leve e resistente. O tempo de produção é de aproximadamente três a seis semanas, e a cadeira durará tanto quanto a natureza permitir.



Figura 26

Myx Lamp (1), Myx Stoll (2), Myx Tile (3), Myx Chair (4).

Fonte: <https://www.jonasedvard.com/myx>

(2.6.3)

Officina Corpuscoli

Fundada em 2010 por Maurizio Montalti (diretor do estúdio), a Officina Corpuscoli está sediada em Amesterdão e opera como um estúdio multidisciplinar. Além de prestar consultoria criativa, o estúdio (co)desenvolve projetos de pesquisa tanto sob encomenda quanto por iniciativa própria, muitas vezes em colaboração com sistemas e organismos vivos, com um foco particular nos fungos. Além das suas atividades na Officina Corpuscoli, Montalti é cofundador, presidente e diretor da Mogu, uma empresa de design que se destaca pela inovação e pelo compromisso com a sustentabilidade. A mogu dedica-se ao desenvolvimento, criação, fabricação e comercialização de diversos biomateriais e produtos, derivados de processos industriais baseados no cultivo de fungos.

O trabalho da Officina Corpuscoli é caracterizado por uma abordagem criativa transdisciplinar estabelecido numa prática colaborativa, fundamentada na investigação e experimentação. Explora e questiona temas sociais, até mesmo a própria disciplina de design. Deste modo cria oportunidades, análises críticas e visões progressistas para a indústria e sociedade em geral. Através de um processo co-criativo, o trabalho realizado atinge resultados inovadores que abrangem diversos meios. Antes de desenvolver projetos, a Officina Corpuscoli investiga temas como biotecnologia, biodiversidade, ecossistemas e o impacto humano sobre eles. A Officina concentra-se em explorar a microescala e adota uma visão holística do mundo como um macro-organismo interconectado (Corpuscoli, s.d.).



Figura 27 - Mogu (1), Bio-Ex-Machina (2), The Growing Lab (3).

Fontes: <https://www.corpuscoli.com/>



Figura 28
Bio-Ex-Machina, Officina Corpuscoli.
Fonte: <https://www.corpuscoli.com/projects/bio-ex-machina/>

(2.6.4)

Blast Studio

Blast Studio é uma empresa de design e arquitetura sediada em Londres, que se destaca por transformar resíduos urbanos em materiais de construção sustentáveis, utilizando biotecnologia e fabricação digital. Fundada em 2018 por Paola Garnousset, Martin Detoef, e Pierre de Pingo, a empresa tem como missão criar soluções inovadoras que combinem estética, funcionalidade e sustentabilidade, com um foco especial em processos de produção que integrem o meio ambiente e a economia circular (Studio, s.d.)

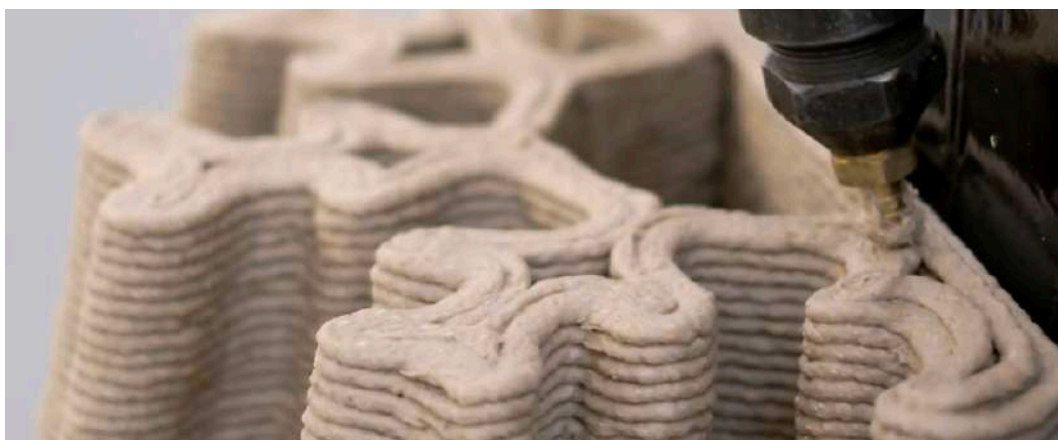


Figura 29

OPT OOG, projeto de impressão em 3D de duas colunas orgânicas únicas, com 2,20 metros de altura, para a montra de uma loja de ótica na Bélgica.

Fonte: <https://www.blast-studio.com/portfolio/opt-oog>

Um dos projetos mais notáveis da Blast Studio é a criação de estruturas impressas em 3D utilizando micélio combinado com resíduos de café. O micélio atua como um agente de ligação, transformando esses resíduos em materiais leves, duráveis e biodegradáveis. Este processo não só reduz o desperdício, mas também resulta em produtos que têm um impacto ambiental mínimo. A empresa é conhecida por desenvolver mobiliário urbano e outras estruturas utilizando a tecnologia de impressão 3D com micélio. Adotando uma abordagem holística para a sustentabilidade, cada projeto é pensado para criar um ciclo de vida que contribua para a regeneração do meio ambiente. Isso inclui o uso de materiais biodegradáveis, a transformação de resíduos em recursos com valor e a implementação de tecnologias que imitam processos naturais (Studio, s.d.).

A empresa também desenvolveu um algoritmo que produz formas propícias ao desenvolvimento do micélio. Recorrem à natureza para encontrar formas que se adaptem ao corpo e lhe proporcionem a mais incrível flexibilidade de apropriação. Durante as várias fases de fabrico, as geometrias são criadas para reter a humidade nos seus interstícios e produzir fendas protegidas do movimento do ar para replicar um clima adequado ao micélio. A impressão 3D também nos permite construir artefactos em muitas escalas, incluindo a escala de cogumelos, plantas e insetos com interstícios e fendas, bem como a escala dos seres humanos (Serra Utkum Ikiz, 2022).

Lovely Trash Column

Este projeto foi a primeira experiência, do Blast Studio, em impressão 3D de estruturas vivas com micélio, marcando o início de uma nova forma de projetar com resíduos. Criado a partir de copos de café descartados e micélio, abriu caminho para explorar como organismos vivos podem moldar a arquitetura. O projeto apresentou inúmeros desafios como o desenvolvimento de um material favorável à impressão que sustentasse o crescimento fúngico, até compreender como a geometria pode influenciar a humidade, ventilação e colonização. No entanto, permitiu adquirir aprendizagens valiosas sobre o micélio, entendido simultaneamente como parceiro vivo e limite de design. A forma da coluna foi inspirada e criada para a natureza, sendo gerada através de um algoritmo que desenvolve geometrias adequadas ao desenvolvimento do micélio. Ao manter a humidade nos seus interstícios e ao proteger o micélio da passagem do ar, as formas criadas imitam a atmosfera ideal para o desenvolvimento dos fungos. Como resultado, o micélio pode desenvolver todo o seu potencial nestes ambientes quentes e húmidos (Serra Utkum Ikiz, 2022).

Heathrow trophies

O projeto Heathrow Trophies foi encomendado pelo Aeroporto de Heathrow, e envolveu a criação de troféus personalizados utilizando resíduos reciclados e micélio. Para a criação do troféu, foram analisadas aves que simbolizavam cada categoria dos prémios. Com base nisto, desenvolveram um algoritmo que traduz a amplitude e frequência de voo da ave numa forma a ser impressa em 3D. Apresentam como exemplo o albatroz, como representação da categoria Net Zero, uma vez que a ave utiliza muito pouca energia para se deslocar em longas distâncias, resultando numa forma curva de baixa frequência e alta amplitude. Outro exemplo apresentado, o beija-flor foi a ave escolhida para representar a Saúde e o Bem-estar pela sua energia e agilidade, resultando numa forma abundante em texturas, com curvas de alta frequência e baixa amplitude (Blast Studio, s.d.).



Figura 30 (Esquerda)

Lovely Trash column.

Fonte: <https://www.blast-studio.com/portfolio/lovely-trash-column>

Figura 31 (Direita)

Heathrow Trophies.

Fonte: <https://www.blast-studio.com/portfolio/heathrow-awards>

(2.6.5)

Máscara de micélio e estudo de material, Kuo Duo - 2021

Este projeto foi desenvolvido pelo estúdio de design Kuo Duo, em que explorou o potencial do micélio como material sustentável para a criação de máscaras e outros produtos. O projeto pretende destacar, não só as capacidades funcionais, como também as propriedades estéticas do micélio. O micélio foi utilizado como material de design, e implicou a investigação sobre o seu crescimento, moldagem e resistência, procurando perceber como e em quais contextos pode ser aplicado, desde produtos funcionais até criações artísticas. O compromisso com a sustentabilidade por parte do estúdio reflete-se na escolha do micélio como material principal, por ser biodegradável e pode ser cultivado utilizando resíduos orgânicos, tornando-se uma alternativa aos materiais sintéticos. No âmbito do estudo, o estúdio desenvolveu um conjunto de máscaras utilizando micélio, explorando a funcionalidade e o valor estético deste material. As máscaras não só servem como proteção, mas também possuem um valor simbólico e artístico (Duo, s.d.).



Figura 32

Processo de criação das máscaras.

Fonte: <https://kuo-duo.com/MYCELIUM-MASK-MATERIAL>

O processo de produção das máscaras envolveu a junção de micélio com diferentes substratos com o objetivo de testar a resistência e a flexibilidade do material. Através de moldes, o Kuo Duo guiou o crescimento do micélio, resultando em formas precisas e únicas. As peças finais passaram por processos de secagem e tratamento para garantir que atingiram, a durabilidade suficiente para serem utilizadas (Duo, s.d.).

Este projeto demonstra como, no design sustentável, a utilização de materiais naturais pode ser inovadora e responsável. Como o estúdio Kuo Duo, a exploração de micélio não apenas para produção de objetos funcionais, cria várias possibilidades na indústria, promovendo uma cultura de sustentabilidade e respeito pelo meio ambiente. O estudo realizado contribui para aumentar a consciencialização sobre as vantagens dos usos de biomateriais e oferece insights relevantes para desenvolvimentos futuros nestes campos, mostrando a capacidade do design sobre a exploração e valorização de materiais (Duo, s.d.).

(2.6.6)

Mogu, Itália

Painéis acústicos.

Resíduos orgânicos e micélio.

Esta empresa destaca-se na produção de produtos através de materiais sustentáveis utilizando micélio. Interligando design, sustentabilidade e biotecnologia, a Mogu transforma resíduos orgânicos em materiais funcionais, aplicáveis em diversas áreas, desde revestimentos de interiores até mobiliário. Os principais produtos desta marca são os painéis acústicos constituídos por resíduos agrícolas e micélio. Para além de serem biodegradáveis, estes produtos possuem outras propriedades importantes como, isolamento acústico e térmico (Mogu, 2022).

A coleção Mogu Acoustic representa uma inovação no conforto acústico para interiores. Desenvolvidos a partir de micélio e resíduos têxteis reaproveitados, os módulos são leves, macios e semelhantes a uma espuma natural. Através de uma tecnologia própria, os painéis oferecem uma das soluções mais sustentáveis atualmente disponíveis para controlo acústico. Com acabamento aveludado e design tridimensional, estas peças são projetadas para maximizar a absorção sonora, reduzindo o ruído em ambientes com alta reverberação, como restaurantes, escritórios e espaços comerciais. Além disso, os produtos são 100% circulares, resultado de um processo produtivo ecológico e regenerativo, alinhado aos princípios da economia circular. O acabamento colorido utilizado na paleta Mogu Acoustic cobre completamente os materiais de micélio, e ao ser elástico não bloqueia o som e proporciona um toque suave (Mogu, 2022).



Figura 33 (Esquerda)

Resíduos têxteis utilizados na produção dos painéis acústicos.

Fonte: <https://theexplodedview.com/materialbb/acoustic-mycelium-tiles/>



Figura 34 (Direita)

Painéis acústicos Mogu.

Fonte: <https://theexplodedview.com/materialbb/acoustic-mycelium-tiles/>

(2.6.7)

Ecovative

Fundada em 2007 nos Estados Unidos da América, por Eben Bayer e Gavin McIntyre, a Ecovative é uma empresa especializada no campo da biotecnologia, destacando-se na criação de materiais à base de micélio. Pioneira no desenvolvimento de soluções ecológicas, esta empresa procura substituir materiais tradicionais (como o EPS) por alternativas mais ecológicas (Ecovative, s.d.).

Entre os seus diversos produtos, o mais conhecido é, MycoComposite™, a base da maioria dos produtos da Ecovative. Esta tecnologia utiliza resíduos agrícolas com substrato, que é colonizado e em poucos dias transforma-se num material rígido, leve e biodegradável. A este produto estão associadas algumas marcas, como a Mushroom® Packaging (uma solução de embalagens biodegradáveis em alternativa às produzidas em EPS), a Grow.bio (uma plataforma educacional para o cultivo de produtos com micélio em ambiente doméstico). Para além disso, a Grown.bio, empresa parceira sediada na Holanda, produz localmente produtos de micélio com MycoComposite™. Ainda estão associadas as marcas EcoCradle® (embalagens), Greensulate™ (painéis de isolamento) e MycoBoard™ (mobiliário).

Adicionalmente, AirMycelium™, é uma tecnologia criada para cultivar mantas contínuas e puras de micélio, sem necessidade de substrato sólido. Permite um maior controlo da textura, densidade e espessura. As marcas MycoFlex™ (espumas) e Forager™ (couros) utilizam esta tecnologia para fabricar os seus produtos.



Figura 35 - Forager (1), Mushroom Packaging (2), AirMycelium (3), Greensulate (4), MycoBoard (5).

Fontes: (1) <https://shop.ecovative.com/blogs/blog/traditional-leather-craft-meets-next-generation-mycelium-materials> (2) <https://shop.ecovative.com/blogs/blog/mushpack-is-back-and-growing> (3) <https://shop.ecovative.com/blogs/blog/ecovative-and-mycelium-materials-15-years-growing> (4) <https://www.smithsonianmag.com/arts-culture/insulation-made-out-of-mushrooms-56920324/> (5) <https://www.businessinsider.com/ecovative-turns-mushrooms-into-packaging-ikea-dell-2016-8>



Figura 36
MycoFlex
Fonte: <https://recono.me/ecovative-design-meet-the-start-up/>

(2.6.8)

MycoAlga, BioMatters - 2023

Módulos de revestimento impressos em 3D, à base de micélio, resíduos orgânicos e algas.

Dimensões: 170x170 mm e 50 mm de altura.

Este projeto baseia-se no desenvolvimento de um sistema de revestimentos modulares a partir da tecnologia de impressão 3D de materiais vivos como micélio, algas e resíduos orgânicos. Esta abordagem investiga e explora o uso de biomateriais regenerativos na arquitetura e no design, procurando soluções sustentáveis que integrem tecnologia digital (design paramétrico) e processos naturais. Os revestimentos desenvolvidos utilizam pastas biológicas que são impressas tridimensionalmente e cultivadas em moldes específicos. O micélio atua como um aglutinante natural, crescendo ao redor das estruturas e solidificando a forma final sem a necessidade de colas sintéticas e a sua exposição a altas temperaturas. Os resíduos orgânicos utilizados, como serrim, cascas de milho ou borras de café, são aproveitados como base estrutural e fonte nutricional para o desenvolvimento do micélio. Já as algas, como a espirulina, são incorporadas tanto pelas suas propriedades antibacterianas quanto pelo seu valor estético. Cada módulo impresso é singular, resultado obtido a partir das variações naturais do seu crescimento como também pelas possibilidades do design paramétrico. Após a impressão, os módulos passam por um processo de incubação controlada para permitir o crescimento do micélio, seguido por uma etapa de inativação do composto. O objetivo é oferecer uma alternativa aos revestimentos tradicionais, como os cerâmicos ou plásticos, propondo uma solução biodegradável, de baixo impacto ambiental e integrada ao ciclo da natureza (Melendez, 2023).

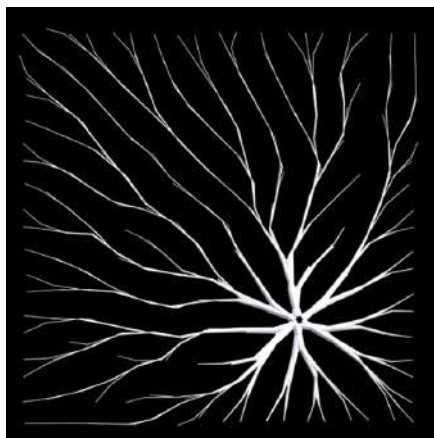


Figura 37 - Cada módulo é projetado computacionalmente utilizando algoritmos generativos inspirados pelo crescimento micelial.



Figura 38 - Módulo individual.



Figura 39 - Montagem dos módulos MYCO-ALGA com padrão não repetitivo.

Fonte: <https://www.designboom.com/design/biomatters-sustainable-tiling-system-3d-printing-mycelium-algae-myco-alga-11-06-2023/>



Figura 40
MycoAlga
Fonte: <https://www.designboom.com/design/biomatters-sustainable-tiling-system-3d-printing-mycelium-algae-myco-alga-11-06-2023/>

(2.6.9)

Critical Concrete Porto

Localizada na cidade do Porto, a Critical Concrete é uma organização sem fins lucrativos que enfrenta os desafios da indústria da construção, promovendo práticas sustentáveis. Neste local, a necessidade de soluções habitacionais é evidente, portanto a organização desafia os modelos tradicionais de desenvolvimento imobiliário e cria métodos para reabilitar habitações sociais, melhorando espaços públicos e culturais usados por comunidades de classe baixa. Além disso, questiona o significado político da sustentabilidade na arquitetura, reconhecendo as suas conotações ambíguas. De acordo com a Critical Concrete, a arquitetura sustentável é vista como estruturas duráveis e de fácil manutenção, construídas com materiais de origem local e resíduos reciclados (Critical Concrete, s.d.).



Figura 41

Equipa Critical Concrete.

Fonte: <https://www.designboom.com/architecture/critical-concrete-affordable-living-cultural-spaces-porto-05-28-2017/>

O projeto de isolamento à base de micélio desenvolvido pela Critical Concrete é um exemplo inovador da integração da sustentabilidade na construção civil. Este projeto surgiu da necessidade de encontrar alternativas mais ecológicas aos materiais comuns de isolamento. O processo de produção do isolamento envolve o cultivo de micélio em combinação com fibras vegetais, como a palha. As fibras fornecem a base estrutural e os nutrientes necessários para o crescimento do micélio. Conforme o seu crescimento, o micélio apodera-se das fibras, formando um material consistente (Critical Concrete, 2018).



Figura 42 - Workshop de Maurici Montalti.

Fonte: <https://criticalconcrete.com/producing-mycelium-insulation/>



Figura 43 - Fase de crescimento do micélio.

Fonte: <https://criticalconcrete.com/producing-mycelium-insulation/>

Em 2019, de acordo com os resultados das experiências realizadas no ano anterior, a equipa decidiu explorar de modo aprofundado, especificamente os resultados promissores dos tijolos de cartão, com o objetivo de melhorar o processo de produção. A redução de custos económicos e o tempo de produção, adequado a larga escala, foram os objetivos que se destacaram nesta nova pesquisa. Esta pesquisa explora o uso do micélio cultivado em cartão reciclado como um material de isolamento térmico e acústico sustentável. O processo consiste em triturar e esterilizar o cartão, humedecê-lo e inoculá-lo com esporos de micélio. Em seguida, o material é colocado em moldes e deixado em um ambiente controlado. Após o crescimento, os blocos são secos, interrompendo o desenvolvimento do micélio e garantindo sua durabilidade estrutural. Os resultados desta pesquisa mostraram que este material oferece boas propriedades de isolamento térmico, com valores comparáveis a materiais tradicionais como o poliestireno expandido (EPS). Além disso, devido à sua porosidade, também apresenta desempenho relevante como isolante acústico. Contudo, alguns desafios foram identificados, como a dificuldade em manter condições ideais de humidade e temperatura para garantir um crescimento uniforme e evitar contaminações por outros fungos ou bactérias. O tempo necessário para o cultivo (cerca de 2 a 3 semanas) também representa uma limitação para a produção em larga escala (Critical Concrete, 2019).



Figura 44

O painel é sólido e compacto, no entanto é fácil de cortar. A textura interna é fina, densa e totalmente colonizada pelo micélio.
Fonte: <https://criticalconcrete.com/mycelium-cardboard-insulation/>



Figura 45

A equipa realizou um teste de fogo, colocando a amostra em contacto direto com a chama de uma vela. Foi possível observar que a camada de micélio não se queima completamente e protege o cartão do contato direto com a chama.
Fonte: <https://criticalconcrete.com/mycelium-cardboard-insulation/>



Figura 46

O último teste foi realizado para testar as propriedades de impermeabilidade: a água escorre sobre a superfície não causando danos ao material. Na imagem, podemos observar que as gotas não penetram a superfície.
Fonte: <https://criticalconcrete.com/mycelium-cardboard-insulation/>

(2.6.10)

Hy-Fi, 2014

The Living

O Hy-Fi foi um pavilhão experimental projetado pelo estúdio The Living, liderado por David Benjamin, e construído no verão de 2014 no MoMA PS1, em Nova York. Desenvolvido como parte do programa Young Architects Program, o projeto destacou-se por utilizar materiais inovadores e sustentáveis, especialmente tijolos feitos a partir de micélio combinados com resíduos agrícolas, como cascas de milho. Estes blocos foram cultivados em moldes ao invés de serem fabricados com métodos industriais, resultando em uma estrutura leve, totalmente biodegradável e de baixo impacto ambiental. Cerca de 10.000 blocos foram utilizados na construção do pavilhão, tornando o Hy-Fi o maior projeto de construção com materiais de compósito de micélio até o momento.

Com cerca de 13 metros de altura, o pavilhão era formado por três torres entrelaçadas com aberturas estratégicas que favoreciam a entrada de luz natural e a ventilação cruzada. O design da estrutura remetia a chaminés ou colmeias, conferindo um aspecto orgânico e futurista ao espaço urbano onde foi instalado. Além de funcionar como abrigo temporário, o Hy-Fi serviu como um experimento de biofabricação e arquitetura circular, pois ao final de sua vida útil, os tijolos puderam ser compostados, reintegrando-se no ambiente (Almpani Lekka, Pfeiffer, Schmidts, & Seo, 2021).

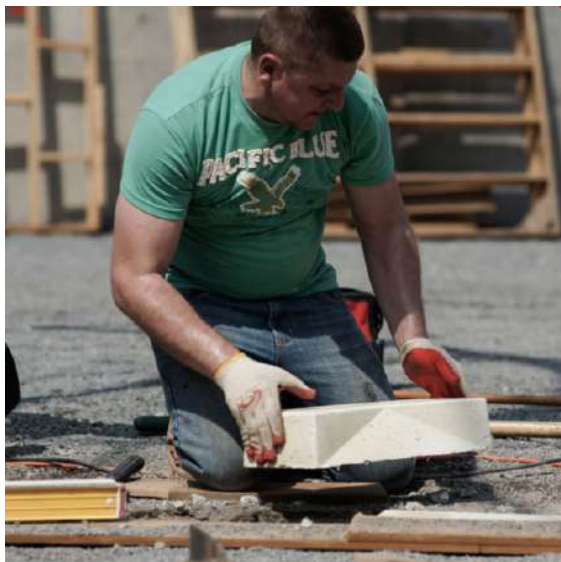


Figura 47

Tijolo utilizado na construção do pavilhão.

Fonte: <https://www.holcimfoundation.org/projects/hy-fi>



Figura 48

Interior do pavilhão.

Fonte: <https://www.vice.com/en/article/hy-fi-the-livings-local-sustainable-10000-brick-mushroom-tower-at-moma-ps1/>



Figura 49

Hy-Fi.

Fonte: <https://www.holcimfoundation.org/projects/hy-fi>

(2.6.11)

Mylea, Mycl

Indonésia
Biocouro

No âmbito do plano de investigação sobre materiais à base de micélio, a investigadora adquiriu uma amostra de biocouro produzido com micélio, especificamente um material disponível no mercado que utiliza serrim para o seu cultivo, como é o caso do biocouro Mylea. A investigadora procedeu à observação detalhada da amostra, destacando-se desde logo a textura e a sua flexibilidade. Comparado ao couro de origem animal, o material revelou-se mais leve, com um toque macio e uma espessura uniforme.

Esta alternativa é produzida a partir da transformação de resíduos agroflorestais em meio de crescimento para o micélio. Durante o período de incubação, que se pode prolongar durante várias semanas, a humidade e a temperatura do micélio são rigorosamente controladas até que a camada atinja a espessura adequada. Posteriormente, o micélio é processado utilizando corantes naturais, assegurando um acabamento sustentável e seguro. O processo de produção consiste no cultivo de cogumelos em sistemas de agricultura vertical, consumindo menos água e emitindo baixos níveis de carbono (Foundation, s.d.).

Figura 50
Medidas da amostra.

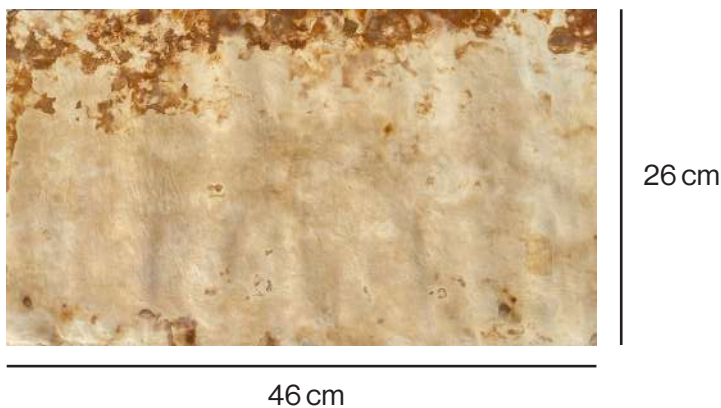


Figura 51
Translucidez da amostra quando
exposta à luz



Figura 52
Revestimento de uma das faces da
amostra com algodão.





Figura 53

Mylea.

Fotografia da autoria da investigadora.

(2.7) Síntese dos casos de estudo

Tabela 1

Tabela síntese dos casos de estudo.

Caso de Estudo	Materiais utilizados	Tipologia de objeto	Destaques
Mycelium + Timber Sebastian Cox e Ninela Ivanova	Resíduos de madeira (serrim).	Mobiliário e luminárias.	Design autoral.
Coleção Myx Jonas Edvard	Resíduos têxteis, palha.	Mobiliário.	Texturas e formas.
Officina Cospuscoli	Vários substratos.	Design especulativo, impressão 3D.	Investigação, tecnologias utilizadas e educação.
Blast Studio	Pasta de papel derivada de copos de café descartáveis.	Mobiliário e estruturas através de impressão 3D.	Impressão 3D a partir de resíduos urbanos.
Kuo Duo	Serrim.	Objetos especulativos.	Estética rústica.
Mogu	Resíduos têxteis.	Painéis acústicos.	Escala industrial, presença no mercado.
Ecovative	Resíduos agrícolas.	Embalagens, moda, materiais de construção.	Tecnologia líder.
MycoAlga MycoMatters	Serrim, resíduos agrícolas, borras de café e algas.	Módulos de revestimento.	Design generativo.
Critical Concrete	Resíduos agrícolas como palha, e cartão.	Painéis de isolamento térmico e acústico.	Testes de fogo, água e acústicos.
Hy-Fi	Substrato via Ecovative.	Materiais de construção (blocos).	Maior construção com micélio realizada até hoje.
Mylea	Resíduos agrícolas.	Biocouro.	Material inovador.
MyHelmet	Resíduos agrícolas.	Capacete para ciclismo.	Alternativa ao EPS.
MycoWorks	Meio nutritivo.	Biocouro.	Alta performance.

(2.8)

Conclusão

Esta tabela evidencia uma ampla variedade de resíduos orgânicos utilizados como substrato para o crescimento do micélio, refletindo abordagens criativas e contextualizadas em diferentes escalas. Esta diversidade aponta diretamente para o potencial do micélio na transformação de resíduos locais em materiais úteis, base fundamental que inspirou e orientou o plano experimental da investigadora.

Tendo em conta a tabela-síntese dos casos de estudo, torna-se possível perceber, a partir da amostra considerada, que os materiais mais utilizados são, sobretudo resíduos agrícolas, serrim, cartão e têxteis, que por serem lignocelulósicos, oferecem uma base rica em nutrientes para o crescimento do micélio. São resíduos abundantes e de baixo custo, representando o ponto de partida para o desenvolvimento de biomateriais.

Na maioria dos casos, os resíduos utilizados derivam de cadeias produtivas locais ou urbanas, como é o caso dos resíduos de madeira no projeto de Sebastian Cox, e os resíduos agrícolas utilizados por Jonas Edvard, ou ainda os copos descartáveis de papel recolhidos em cafés pela equipa da Blast Studio. Projetos como o da Critical Concrete, com papelão reciclado, ou o da Mogu, que utiliza resíduos têxteis, ampliam esta perspetiva ao provar que resíduos industriais e domésticos também podem ser revalorizados. Os diversos projetos também demonstram que a escolha do substrato não influencia apenas o desempenho técnico do material resultante, mas também as suas propriedades físicas, a sua aparência, tempo de colonização e aplicabilidade final. Esta análise permitiu à investigadora estruturar uma fase experimental com base em evidência prática e interdisciplinar.



(Estágio de crescimento do micélio_Fotografia da autoria da investigadora)

(capítulo três_ *plano experimental*)

(3.1)

Fase 1 - Experiência Autónoma

Objetivo

Desenvolver semente (*spawn*).

Documentação realizada pela investigadora.

(3.1.1)

***Spawn* (Semente)**

As sementes utilizadas para o crescimento dos corpos de frutificação dos cogumelos são geralmente designadas por *spawns*. Mais precisamente, a semente é o micélio de uma espécie de cogumelo com o seu substrato de semente. De facto, trata-se de um meio de crescimento fúngico impregnado com fragmentos de micélios de cogumelos que atuam como inóculo para o cultivo de cogumelos.

A qualidade das sementeiras de cogumelos pode afetar a qualidade final e a quantidade da produção de cogumelos. As sementeiras saudáveis e brancas são consideradas as melhores e, por conseguinte, selecionadas no processo de cultivo de cogumelos.

A manutenção da pureza das sementeiras é essencial para o cultivo de espécies-alvo de cogumelos, visto que o risco de contaminação por bactérias, fungos e vírus está sempre associado às sementeiras. Por vezes, os contaminantes crescem juntamente com as sementeiras, o que leva à deterioração do rendimento. Por conseguinte, devem ser praticadas técnicas apropriadas para a preparação de semente (Thakur, 2022).

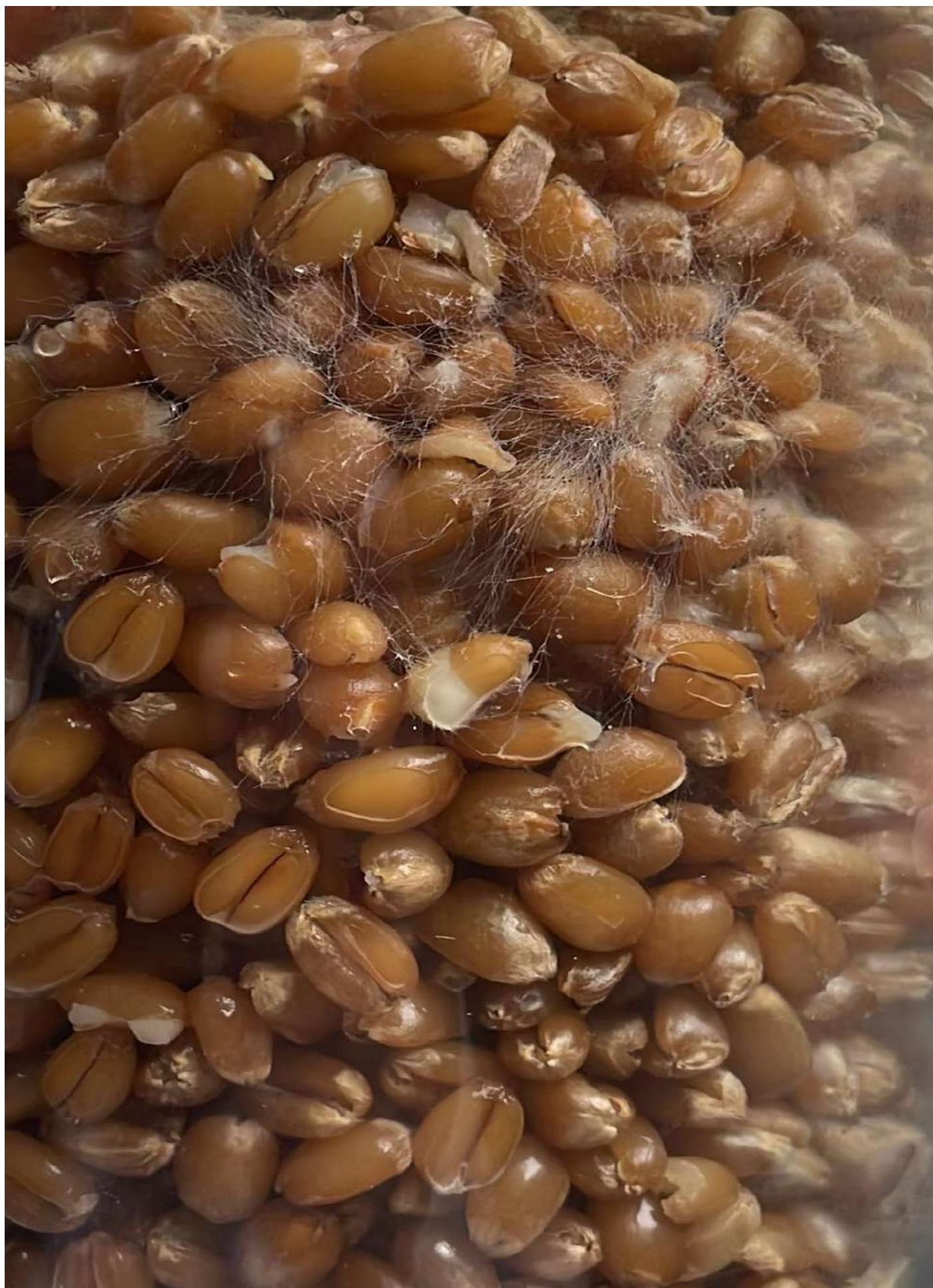


Figura 54
Spawn de *Pleurotus* em grãos de trigo.
Fotografia da autoria da investigadora.

Antes de colaborar com a equipa BioLab, a investigadora seguiu um protocolo para o crescimento de micélio em contexto doméstico. Serviu como aprendizagem sobre o tema, e conhecimento dos cuidados e comportamentos necessários. Esta experiência teve início no dia 15 de fevereiro de 2024 e prolongou-se até ao dia 4 de março de 2024.

O vídeo de António Ouro e Natureza, presente no Youtube², sobre o cultivo doméstico de spawn da espécie *Pleurotus Ostreatus* (Cogumelo Ostra), oferece um guia prático e detalhado. No entanto, foi necessário realizar uma pesquisa sobre as fases de crescimento do micélio. Num primeiro instante é importante preparar o substrato (superfície, sedimento, base, ou ainda qualquer outro meio que possa servir de suporte a organismos vivos). Podem ser usados palha, serrim ou resíduos agrícolas, e neste caso foi utilizado grão de trigo. O substrato foi submetido a um processo de limpeza uma vez que é necessário retirar todas as impurezas como o excesso de terra que contém. Durante 12/16 horas ficou submerso em água para que a absorvesse e diminuísse o tempo de cozedura - foi fervido cerca de 15 minutos. Após estes processos foi retirado da água (António Ouro e Natureza, 2018).



Figura 55 - Substrato utilizado na experiência, grão de trigo.



Figura 56 - Lavagem do grão de trigo para a eliminação das impurezas.



Figura 57 - O substrato submerso em água para absorção da mesma.

Utilizando 2 frascos de conservas vazios, o grão de trigo cozido foi colocado no interior de cada um (cerca de 200 gramas). Foi necessário tapar o topo de cada frasco com um tecido de filtro e a respetiva tampa com um furo para a circulação de ar e regular a humidade. Para proceder à esterilização do substrato os topos dos frascos foram envolvidos com papel de alumínio e posteriormente colocados numa panela de pressão durante 1 hora (para eliminar contaminantes). Excedido esse tempo os frascos esfriaram até atingir a temperatura ambiente (António Ouro e Natureza, 2018). <https://www.youtube.com/watch?v=EZVonmcynzw&t=5s>

²

<https://www.youtube.com/watch?v=EZVonmcynzw&t=5s> (Acedido a 2 de janeiro de 2024).

No momento da esterilização, os frascos foram colocados a ferver numa panela convencional durante 2 a 3 horas, por falta de a investigadora possuir uma panela de pressão. A impossibilidade da utilização da panela de pressão, poderá ter influenciado o crescimento do micélio pelas consequências que virão a ser apresentadas a seguir.



Figura 58 - Materiais necessários, tampa com um furo, papel alumínio e tecido de filtro.



Figura 59 - Esterilização dos substratos nos frascos.



Figura 60 - Após a esterilização, os frascos mantiveram-se neste estado até atingirem temperatura ambiente.

O passo seguinte é denominado de inoculação do micélio. Para este processo a investigadora utilizou uma embalagem de cogumelos ostra que se encontra à venda nos supermercados comuns. Num espaço limpo, utilizando luvas e um bisturi sempre desinfetado, retirou-se 3 a 4 pedaços do interior do caule do cogumelo que foram colocados imediatamente dentro dos frascos (António Ouro e Natureza, 2018).

Por fim, na fase da incubação, os frascos foram armazenados num local escuro e quente, com temperaturas entre 20 e 25° C (António Ouro e Natureza, 2018). A investigadora criou uma estufa utilizando uma caixa de plástico. Para que a estufa se mantivesse quente o suficiente, colocou-se ao lado uma lâmpada de calor infravermelhos. Durante um período de duas a quatro semanas, o micélio cresce colonizando o substrato do frasco. Foi importante monitorar o progresso do crescimento, para que fossem identificadas potenciais contaminações (António Ouro e Natureza, 2018).

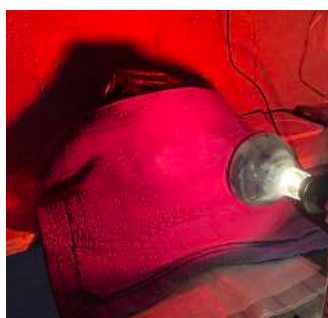


Figura 61 - Estufa improvisada com lâmpada de calor infravermelhos.

Resultados



21 de fevereiro



22 de fevereiro



24 de fevereiro



26 de fevereiro



2 de março

Figura 62 - Estágios de crescimento das amostras.

(3.1.2)

Observações

Após 4 dias da inoculação dos frascos, era notável o crescimento do micélio ao redor do inóculo, era possível visualizar a propagação das hifas pelos grãos de trigo. No dia 22 de fevereiro, a propagação do micélio aumentou tornando-se mais visível o crescimento em profundidade das hifas no frasco. No dia 24 de fevereiro, 6 dias depois da inoculação, devido ao aumento da temperatura, o crescimento do micélio disparou tornando-se muito visível. Uma semana depois da inoculação, é notório o crescimento do micélio pela nuvem aveludada que cobre praticamente todos os grãos de trigo. Ao longo do tempo, a humidade existente nos grãos de trigo começou a diminuir, conduzindo à desidratação do micélio notória pelas manchas acastanhadas (2 de março). O aparecimento destas manchas deve-se a dois possíveis fatores: à desidratação dos grãos de trigo, ou a um descuido durante o processo pré e pós inoculação, conduzido de contaminações. A impossibilidade de esterilização dos grãos de trigo utilizando uma panela de pressão pode ter influenciado a eliminação de contaminantes.

(3.2)

Fase 2 - Plano experimental em contexto laboratorial

Problema

Desenvolvimento de materiais à base de micélio e de resíduos industriais, como serrim, fibras de palmeira, cartão, café e têxteis.

Objetivos

Obter culturas puras do fungo - cultivar em meio sólido e líquido
Testar e avaliar o crescimento em diferentes substratos

Material de apoio

Placas de Petri
Tubos de ensaio
Frascos Erlenmeyer
Copos de vidro
Sacos de plástico

Documentação realizada pela investigadora e equipa do Biolab, sendo o registo fotográfico realizado pelos envolvidos no projeto.

(3.2.1)

Seleção, recolha e tratamento de resíduos

De acordo com a capacidade de crescimento do micélio em diferentes tipos de substratos, e através do seu processo natural de decomposição, pode transformar resíduos industriais em produtos úteis e sustentáveis. A equipa pesquisou e selecionou uma variedade de substratos compostos por diferentes tipos de resíduos industriais para investigar o potencial de crescimento do micélio em cada um deles. Este estudo aprofundado tem como objetivo entender quais os substratos oferecem as melhores condições para o desenvolvimento do micélio, levando em consideração fatores como a composição química, a densidade, e a porosidade dos materiais. Borra de café, dois tipos de serrim, fibras de palmeira, folhas de papel e resíduos têxteis foram os substratos selecionados pela equipa.

Serrim

A recolha de serrim numa carpintaria em Paços de Ferreira, cidade conhecida pela indústria do mobiliário, é um elemento importante na pesquisa conduzida pela investigadora uma vez que é natural desta localidade. Como o objetivo de explorar soluções sustentáveis para o aproveitamento de resíduos gerados pela indústria do mobiliário, a investigadora procedeu à recolha de serrim, um subproduto abundante nas carpintarias locais. Esta localidade, sendo um polo de produção de móveis em Portugal, gera uma quantidade significativa de serrim, que na maioria das vezes é tratado como resíduo descartável. No entanto, esse material tem um potencial inexplorado para ser reutilizado em processos produtivos, como na fabricação de novos materiais sustentáveis ou como substrato em pesquisas biotecnológicas. A investigadora, familiarizada com as práticas e o contexto da indústria local, viu no serrim uma oportunidade de promover uma economia circular na região. Durante a recolha do material, ela considera não apenas a quantidade disponível, mas também a qualidade e as propriedades do serrim, como granulometria e humidade, que são fundamentais para sua aplicação em diferentes processos experimentais. Foram recolhidos dois tipos de serrim: serrim de acácia e, serrim de carvalho com resíduos de MDF.

Fibras de Palmeira

Surgiu a oportunidade de testar resíduos de palmeiras, incluindo as fibras resistentes que compõem o tronco. Neste caso, foram recolhidos resíduos em ambiente doméstico desta espécie de palmeira e considerando o potencial uso deste material biológico, sugeriu-se o seu reaproveitamento e testagem do seu comportamento como um substrato para o crescimento de micélio.

Papel

Portugal, como muitos países, enfrenta desafios significativos relacionados ao desperdício de papel, que continua sendo um dos resíduos mais comuns gerados no país. Embora os esforços de reciclagem tenham melhorado ao longo dos anos, ainda existe um desperdício considerável que não é adequadamente reciclado. A recolha de jornais e cartão num estabelecimento de restauração onde a investigadora trabalha tornou-se uma prática fundamental na sua pesquisa voltada para a sustentabilidade. O estabelecimento, como muitos outros na indústria de restauração, gera uma quantidade considerável de resíduos de papel, como jornais deixados por clientes e embalagens de cartão usadas no transporte de alimentos e outros produtos. Em vez de simplesmente descartar esses materiais, a investigadora vê neles um recurso valioso para suas experimentações científicas. A prática de recolher jornais e cartão no ambiente de trabalho não apenas reduz o volume de resíduos destinados ao lixo, mas também proporciona um suprimento constante de substratos para as suas investigações sobre o crescimento de micélio.

Café

As borras de café, tradicionalmente descartadas após o preparo da bebida, têm se revelado um recurso valioso para diversas aplicações sustentáveis. Em vez de serem simplesmente jogadas fora, essas borras podem ser recolhidas e reaproveitadas de maneira criativa e ecológica, transformando um resíduo comum em um substrato útil para diversos fins. Uma das utilizações mais inovadoras das borras de café é como substrato para o crescimento de micélio, a estrutura vegetativa dos fungos. As borras de café são ricas em nutrientes como nitrogênio, que são essenciais para o desenvolvimento do micélio. Ao utilizar esse resíduo orgânico, pesquisadores e empreendedores podem cultivar micélio para produzir uma variedade de materiais sustentáveis, como bioplásticos, embalagens biodegradáveis, ou até mesmo alternativas ao couro.

Têxteis

Neste projeto, foram reunidos para testagem diversos substratos com o objetivo de desenvolver materiais à base de micélio, explorando como diferentes composições poderiam influenciar o crescimento e as propriedades resultantes. Entre as alternativas experimentadas, foi tomada a decisão de privilegiar a utilização de um substrato de origem têxtil. Esta escolha resultou não apenas do interesse em reaproveitar resíduos como recurso de valor, mas também da observação do modo como o micélio interagia com este suporte, criando texturas e comportamentos particularmente relevantes para a investigação. Assim, o substrato têxtil revelou-se um elemento central para o projeto, permitindo explorar novas combinações entre matéria orgânica e resíduos industriais e demonstrando o potencial do micélio enquanto componente ativo no desenvolvimento de materiais inovadores.

(3.2.2)

A celulose e o micélio

Como explicado anteriormente, o micélio é uma rede de hifas, que à medida que vai crescendo a partir de ligações naturais, forma um material denso. A rede de hifas invade e decompõe material orgânico, colonizando-o aos poucos, unindo o substrato numa estrutura forte e tridimensional. Durante o processo de colonização, o fungo pode degradar substâncias presentes nestes materiais, como a celulose e a lignina, usando enzimas específicas. Enquanto quebra os componentes do substrato lignocelulósico (mistura de lignina, celulose e hemicelulose), o micélio organiza-se e forma uma estrutura semelhante a blocos. Esta capacidade de se formar sozinho torna os fungos elementos favoráveis para o desenvolvimento de novos materiais (Alemu, Tafesse, & Mondal, 2022).

A celulose é a substância mais abundante nas plantas. Produzida a partir de longas cadeias de glicose, forma a estrutura das paredes celulares das plantas. Apesar de ser quimicamente simples, a sua organização é complexa, com partes bem ordenadas e outras mais desorganizadas. Os basidiomicetos, um grupo de fungos, são os melhores a decompor a celulose, pois muitos deles vivem em madeira morta ou folhas em decomposição. Embora os cientistas estudem este processo de decomposição por fungos desde os anos de 1950, o conhecimento sobre o assunto mudou recentemente. Descobertas recentes mostraram que além das enzimas tradicionais, os fungos também usam processos com oxigénio para decompor a celulose. Além disso, os investigadores passaram a estudar outros tipos de fungos, como os que vivem no solo ou formam parcerias com raízes de plantas, percebendo que eles também participam na degradação da celulose (Baldrian & Valášková, 2008). A escolha dos resíduos provenientes das árvores, papel e têxteis como substratos para o desenvolvimento de materiais à base de micélio foi inspirada não só nos casos de estudo, mas também foi estratégica pela elevada presença de celulose na sua composição.

(3.2.3)

Pleurotus Ostreatus - espécie selecionada

A espécie *Pleurotus Ostreatus* (cogumelo ostra) é conhecido pela sua adaptabilidade a diferentes condições ambientais e por possuir propriedades altamente nutricionais, medicinais e biorremediadoras. É reconhecido como o segundo cogumelo comestível mais cultivado, sendo produzido em regiões tropicais e temperadas. O *Pleurotus ostreatus* é encontrado naturalmente tanto em árvores mortas quanto vivas, incluindo espécies populares como faia, choupo, nogueira e salgueiro. O seu corpo de frutificação apresenta cores que variam do cinza ao castanho escuro e as suas dimensões variam entre 4 a 15 cm de largura. Alguns estudos cultivaram *Pleurotus ostreatus* para aplicações como compósitos ligados ao micélio. Concluíram que as propriedades estruturais do biomaterial são mais adequadas como alternativas de couro. Este fungo é considerado uma ferramenta biotecnológica atrativa e de baixo custo devido à sua tolerância inerente, e à sua capacidade de crescimento rápido sobre biomassas residuais como, sabugo de milho, borras de café, palha de trigo, farelo de trigo, aparas e serrim (Amobonye, Lalung, Wasthi K., & Pallai, 2023).



Figura 63
Substratos escolhidos para a fase 2 do plano experimental.

Preparação das culturas - 18 de março

- Esterlização
- Inoculação em meio sólido - tubos de ensaio
- Plaqueamento

Começou-se por esterilizar todos os materiais necessários, garantindo um ambiente livre de contaminantes que possam competir com o micélio. A presença de microrganismos na superfície do *Pleurotus ostreatus* (o nosso inóculo inicial), pode prejudicar e/ou interromper o seu crescimento. Pode também ser difícil distinguir quais as espécies de fungos presentes na amostra após o seu crescimento, tornando impossível garantir a presença de colónias puras. Para dar início à experiência, os cogumelos (da espécie *Pleurotus ostreatus*) adquiridos numa superfície comercial comum, foram preparados para o cultivo de micélio. Esta fase começa com a separação do caule e do chapéu do cogumelo. O caule do cogumelo é frequentemente a parte mais indicada para servir de inóculo para o desenvolvimento de micélio por várias razões: maior concentração de micélio porque é a parte mais próxima da superfície do substrato original onde o micélio se desenvolveu. Ou seja, existe maior concentração de micélio saudável e ativo, o que facilita o crescimento quando transferido para um novo substrato. Menor risco de contaminação, o caule tende a ser limpo ao contrário do chapéu do cogumelo, a parte mais exposta a ambientes externos propensa à contaminação por esporos de outros fungos, bactérias ou outros contaminantes. No processo de esterilização dos inóculos foram realizados dois tipos de procedimentos: Um com 20% de lixívia (proveta de 100 ml - 20 ml de lixívia + 80 ml de água destilada) por 10 minutos (figura x e x) seguido de lavagens consecutivas em água esterilizada, e o outro consistindo em passar os cogumelos num bico de Bunsen (esterilização à chama).



Figura 64 - Com uma faca, cortou-se o caule do Pleurotus em secções de aproximadamente 3 centímetros.



Figura 65 - Realizou-se uma solução numa proveta de 100 ml, com 20 ml de lixívia + 80 ml de água destilada.



Figura 66 - Colocou-se as secções de Pleurotus num frasco com tampa, adicionando a solução de lixívia a 20% até cobrir o material. Aguardou-se 10 minutos.



Figura 67 - Procedeu-se a lavagens consecutivas das secções em água destilada.



Figura 68 - Com uma pinça, passou-se cuidadosamente as secções de Pleurotus através da chama do bico de Bunsen.

Em tubos de ensaio procedeu-se à inoculação do fungo em PDA (Potato Dextrose Agar). Para este procedimento, a equipa decidiu utilizar três tipos de inóculo: um inóculo não esterilizado servindo de controlo, um inóculo esterilizado em lixívia e outro inóculo esterilizado à chama. A equipa procedeu à inoculação de pequenos fragmentos de Pleurotus Ostreatus num meio de cultura, para que os requisitos nutricionais para um crescimento adequado de fungos fossem atingidos. Atualmente, temos acesso a meios naturais ou sintéticos com composições diversas dependendo das necessidades nutricionais dos microrganismos. Embora os seus constituintes específicos possam variar, todos devem conter água, hidratos de carbono, nitrogénio e sais minerais. Procedeu-se ao retiro de um pedaço de cada inóculo, colocando-o diretamente no meio sólido presente nos tubos de ensaio. As amostras ficaram armazenadas num espaço à temperatura ambiente.



Figura 69 - Tubos de ensaio com Potato Dextrose Agar.



Figura 70 - Dividir a porção obtida em fragmentos tão pequenos quanto possível.



Figura 71 - Utilizando uma agulha, transferiu-se um fragmento para o centro do tubo com PDA.

O processo de plaqueamento começa com a preparação estéril dos meios (em estado líquido) em placas de Petri. Os meios são vertidos para as placas em quantidades uniformes e semelhantes. Neste momento da experiência foram usados dois tipos diferentes de meios sólidos, ambos adequados para cultivo de fungos:

Potato Dextrose Agar (PDA) - feita a partir de uma infusão real de batata em água destilada misturada com dextrose e agar em pó, posteriormente esterilizada em autoclave.

Yeast Malt Agar (YMA) - mistura de extrato de fermento, extrato de malte, dextrose e agar, dissolvido em água destilada e esterilizado em autoclave.



Figura 72 - Plaqueamento do meio líquido PDA.



Figura 73 - Plaqueamento do meio líquido YMA (cor mais amarelada).

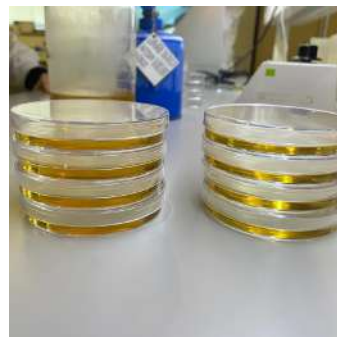


Figura 74 - Placas solidificadas de ambos os meios. As placas posicionadas à direita são do meio PDA e à esquerda são do meio YMA.

Avaliação de crescimento - 8 de abril

- Avaliação do crescimento dos inóculos em tubos de ensaio
- Inoculação das placas de Petri

Depois de algum tempo de espera para que o micélio se desenvolvesse, observou-se que não havia um crescimento significativo. O inóculo esterilizado com lixívia cresceu um pouco mais do que aquele esterilizado à chama.

As observações do desenvolvimento dos inóculos foram realizadas através de lupas, permitindo a sua visualização mais detalhada. Após os resultados obtidos, designou-se ao inóculo esterilizado em lixívia, clone 1 e ao inóculo esterilizado à chama de clone 2.

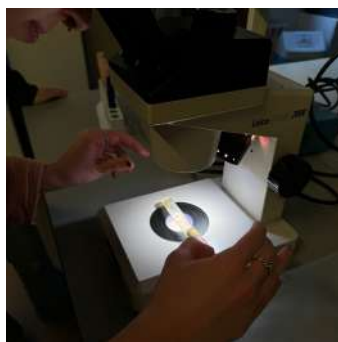


Figura 75 - Observação do micélio utilizando uma câmara.

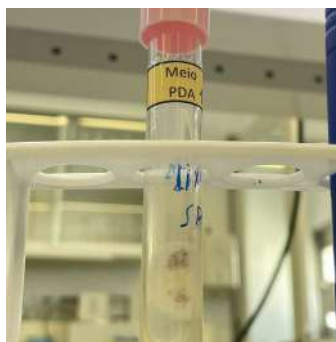


Figura 76 - Crescimento do inóculo esterilizado em lixívia em PDA.



Figura 77 - Crescimento do inóculo esterilizado à chama em PDA.

Nesta sessão, procedeu-se à inoculação das placas de Petri (em PDA e YMA) com as amostras crescidas previamente nos tubos de ensaio. Este procedimento requer uma recolha cuidadosa de uma pequena amostra do inóculo do tubo de ensaio e a sua colocação no centro da placa de Petri. A adesão estrita às condições de esterilidade é primordial, a fim de evitar a contaminação do inóculo fresco.

Estas amostras foram armazenadas numa estufa, a uma temperatura controlada de 24 graus celsius. Para prevenir a desidratação, procurou-se aumentar o teor de humidade do microambiente mantendo uma fonte de água (tabuleiro com água) junto das amostras.



Figura 78 - Recolha de uma pequena amostra de inóculo do tubo de ensaio, neste caso do inóculo esterilizado em lixívia.

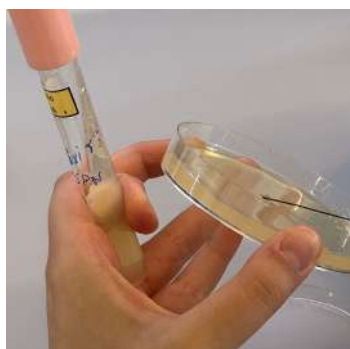


Figura 79 - Colocação da amostra no centro da Placa de Petri, neste caso em PDA.

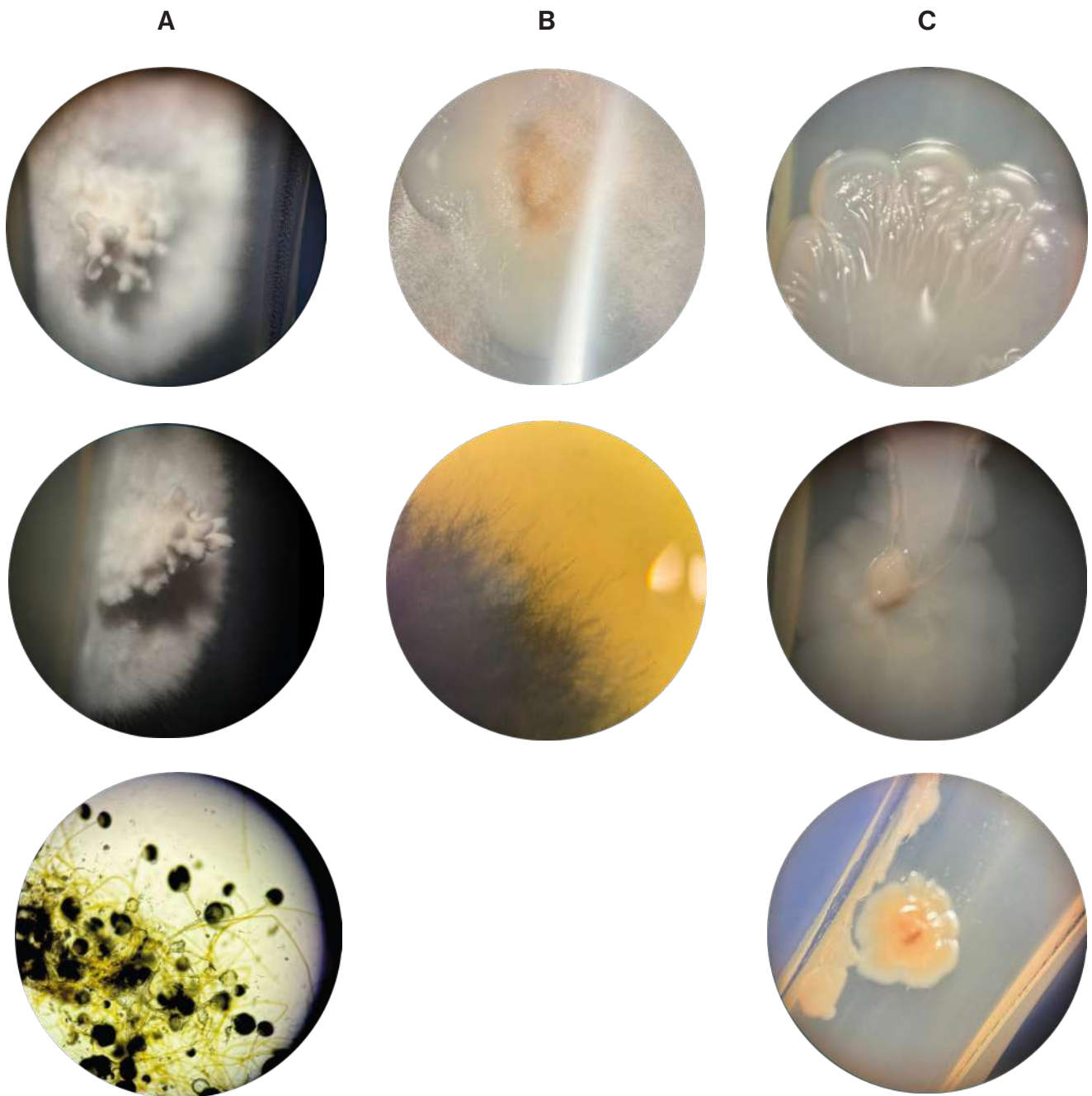


Figura 80
Imagens Microscópio

Coluna A - Imagens de microscópio do crescimento do inóculo esterilizado à chama.
Coluna B - Imagens de microscópio do crescimento do inóculo esterilizado em lixívia.
Coluna C - Imagens de microscópio do crescimento de algumas bactérias.

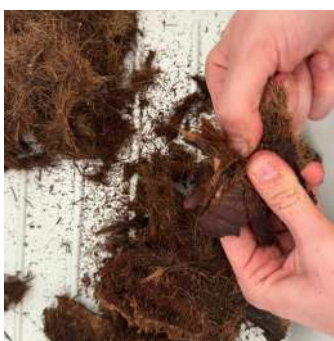
Preparação de substratos - 15 de abril

- Preparação de substratos
- Inoculação de meio líquido YMA

Até esta fase, usou-se meios de laboratório convencionais para cultivar micélio, no entanto o objetivo era experimentar e avaliar o seu desenvolvimento em diferentes materiais.

Alguns destes substratos foram manipulados devido à granulometria elevada, como por exemplo, os substratos de serrim, folhas de papel e cartão, fibras de palmeira e têxteis. Foram submetidos a processos manuais (Linha A) com o objetivo de diminuir o tamanho dos seus constituintes (Linha B).

A



B



Figura 81
Processo de tratamento dos resíduos.

No caso do papel e cartão, decidiu-se avaliar o desenvolvimento do micélio numa pasta preparada a partir de papel reciclado, que foi rasgado em pedaços pequenos e misturado com água até formar uma consistência homogênea e pastosa.

Para avaliar o crescimento do micélio em cada substrato, usaram-se dois recipientes diferentes: placas de petri de vidro para medir o crescimento radial, e copos de vidro, para medir a profundidade do crescimento do micélio. Em relação aos copos de vidro, em alguns deles, o substrato foi comprimido à mão para minimizar as bolhas de ar (definiu-se que este era um parâmetro a avaliar). Cada substrato foi colocado dentro dos recipientes. Para cada um foram utilizados 5 copos e uma placa de petri e todos os recipientes com o respectivo substrato no seu interior foram esterilizados na autoclave.

Após o tratamento, o substrato é adequadamente misturado para garantir uma distribuição uniforme dos nutrientes e uma textura homogênea. A hidratação é um fator crítico; o substrato deve ser humedecido até atingir um nível ideal de humidade que permita ao micélio absorver os nutrientes de forma eficaz.



Figura 82 - Preparação da pasta de papel.



Figura 83 - Esterilização dos frascos com os substratos correspondentes.

Nesta sessão a equipa procedeu à inoculação de meio líquido (em YMA), sendo utilizado na inoculação de substratos em sacos.



Figura 84 - Preparação e esterilização do meio líquido nutritivo.



Figura 85 - Inoculação do meio.

Inoculação dos substratos (frascos) - 22 de abril de 2024

- Avaliação do crescimento dos inóculos das placas de Petri
- Inoculação das amostras (frascos)
- Preparação dos substratos (sacos) - esterlização

No início da sessão procedeu-se à avaliação do crescimento do micélio inoculado nas placas de Petri na sessão de dia 8 de abril.

A avaliação do crescimento do micélio em placas de Petri é uma etapa essencial em pesquisas envolvendo fungos, especialmente em estudos de biotecnologia e produção de biomateriais. O processo consiste em inocular o micélio num meio de cultura nutritivo dentro das placas e monitorizar o seu desenvolvimento ao longo do tempo. Fatores como a temperatura, humidade e o tipo de substrato utilizado podem influenciar o ritmo e a densidade do crescimento. Observações detalhadas são feitas para entender a viabilidade do micélio e sua potencial aplicação em diferentes contextos.



Figura 86 - Avaliação do crescimento dos diferentes inóculos nas placas de Petri.

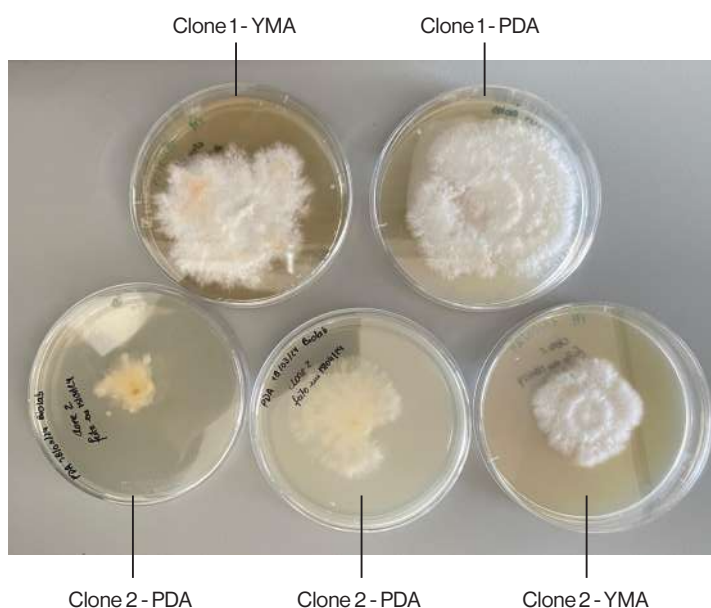


Figura 87 - Designação dos diferentes clones de cada placa para melhor avaliação do crescimento.



Figura 88 - Placas de Petri com diferentes crescimentos radiais.

Num ambiente esterilizado, dividiram-se as placas de Petri de PDA e YMA em quadrados como mostra a Figura 89, de forma a selecionar secções com crescimento substancial de micélio para usar como inóculo. Cada pequena secção foi então colocada na superfície de cada frasco com os substratos anteriormente preparados. Permitiu medir a profundidade de penetração do micélio no substrato ao longo do tempo.



Figura 89 - Divisão da placa em quadrados para formar inóculos.



Figura 90 - Inoculação dos frascos.

Nesta sessão também se procedeu à preparação de maiores quantidades de cada substrato em sacos. Os materiais eram colocados nos sacos, pesados e de acordo com as suas características procedeu-se à sua hidratação. Após este processo, os substratos foram submetidos a autoclave.



Figura 91 - Medição das quantidades de cada componente.



Figura 92 - Preparação e selagem dos sacos.



Figura 93 - Esterilização dos substratos.

Inoculação dos substratos (sacos) - 29 de abril de 2024

Na inoculação dos substratos armazenados em sacos usou-se o meio líquido preparado na sessão de dia 15 de abril de 2024. Na figura 94, observa-se a inoculação de um substrato composto apenas por aveia, com o objetivo de ser usado como spawn em processos posteriores.



Figura 94
Inoculação dos substratos em sacos.

Avaliação de crescimento (frascos) - 13 de maio de 2024

Nesta sessão, após 3 semanas de incubação a 28 graus celsius, procedeu-se à avaliação de crescimento dos substratos nos frascos e placas de Petri. Começando por ambos os substratos de serrim, como pode ser observado, o micélio só cresceu de forma residual neste substrato.

Figura 95

1 - Serrim
2 - Serrim + MDF

O crescimento ocorreu apenas junto ao ponto de inoculação e o grupo de hifas parece pequeno e frágil. Como tal, concluiu-se que o serrim não fornece nutrientes suficientes para um crescimento adequado do micélio. No entanto, este substrato será útil nas fases posteriores às experiências laboratoriais.

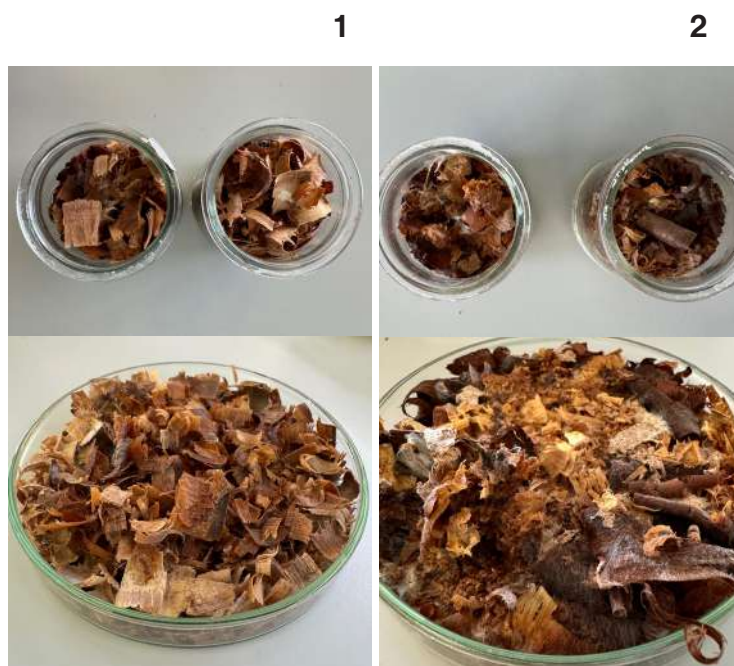


Figura 96

1 - Fibras de palmeira
2 - Tronco de palmeira

Nas placas, havia uma camada superficial de micélio a crescer em ambos os tipos de substratos de palmeira. Nos frascos, observou-se uma camada fina de micélio na superfície de ambos, exceto na amostra de palmeira não compactada, em que havia infiltração de micélio, embora ainda fosse frágil.

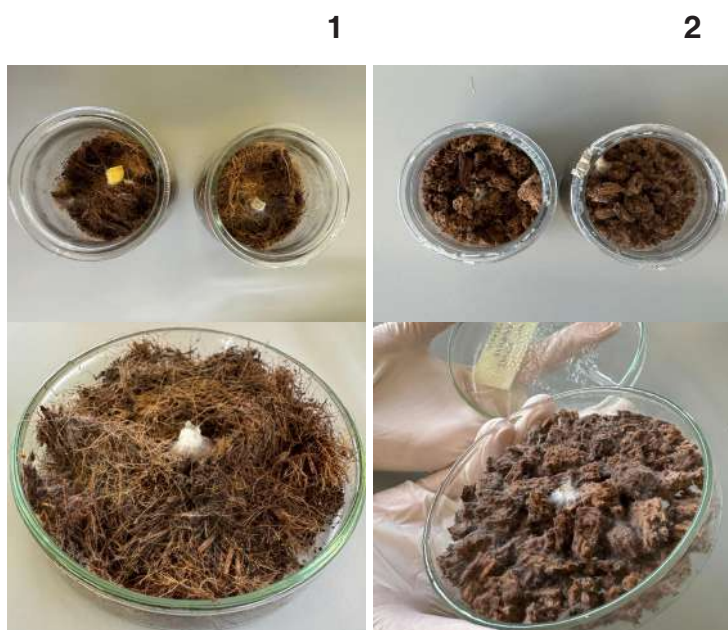
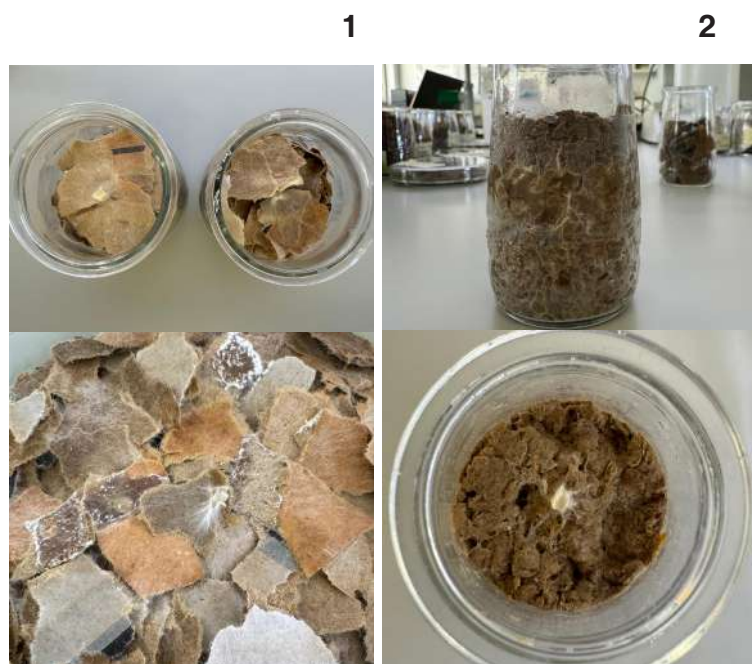


Figura 97

1 - Papel

2 - Pasta de papel

No substrato composto por tiras de papel, desenvolveu-se uma rede fina de micélio, atingindo a amostra inteira. O comportamento foi semelhante na amostra em que as tiras de papel foram compactadas. Observa-se que, o facto de o material ser composto em tiras, favorece o crescimento do micélio. Em relação ao desempenho do micélio na pasta de papel, observou-se uma rede fina que cresceu em todo o interior da amostra, chegando ao fundo do frasco. No entanto, quando a pasta de papel foi compactada, o crescimento do micélio só ocorreu ao longo da superfície exterior da amostra. As hifas não foram capazes de se propagar dentro do material denso, devido à falta de ventilação.

**Figura 98**

Café

Quando se analisou o crescimento do micélio em borra de café, descobriu-se que não só a expansão radial do local de inoculação era muito mais evidente do que o que ocorreu com qualquer um dos outros substratos, mas também colonizou toda a amostra, propagando-se pelo fundo do frasco e formando uma rede de hifas muito densa. Este comportamento foi evidente tanto nas amostras não compactadas como nas compactadas, com a diferença de que, no último caso, a estrutura do micélio era claramente mais densa na superfície da borra de café.

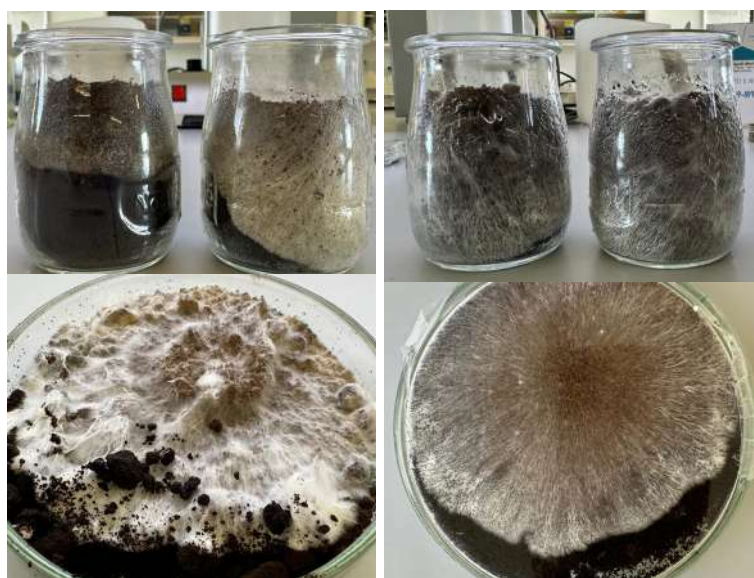


Tabela 2

Tabela de comparação das amostras realizadas nos frascos.

Substrato		Crescimento	Profundidade
Serrim (Acácia)	Controlo	0	0
	Não compactado	Sim.	Superficial, devido a desidratação.
	Compactado	Sim.	Superficial, devido a desidratação.
Serrim + MDF	Controlo	0	0
	Não compactado	Sim.	Escassa, não atingindo o fundo do frasco.
	Compactado	Sim.	Escassa, não atingindo o fundo do frasco.
Fibras de palmeira	Controlo	0	0
	Não compactado	Sim.	Pouca e superficial.
	Compactado	Sim.	Rede superficial.
Tronco de palmeira	Controlo	0	0
	Não compactado	Sim.	Rede fina até ao fundo do frasco.
	Compactado	Não.	0
Papel	Controlo	0	0
	Não compactado	Sim.	Rede muito fina até ao fundo do frasco.
	Compactado	Sim.	Rede muito fina até ao fundo do frasco.
Pasta de papel	Controlo	0	0
	Não compactado	Sim.	Por todo o interior e até ao fundo do frasco.
	Compactado	Sim.	Por toda a parede do frasco, mas apenas superficial.
Café	Controlo	0	0
	Não compactado	Sim.	Por todo o frasco.
	Compactado	Sim.	Por todo o frasco, uma rede mais densa, sobretudo na superfície.

Tabela 2

Tabela de comparação das amostras realizadas nas placas de Petri.

Na tabela não é apresentada a amostra de Pasta de Papel, porque para avaliar o crescimento do micélio foram usados apenas frascos.

Substrato	Crescimento	
Serrim de Acácia	Sim.	Superficial.
Serrim + MDF	Sim.	Muito fino e frágil.
Fibras de Palmeira	Sim.	Rede superficial.
Tronco de Palmeira	Sim.	Fino e pouco denso.
Papel	Sim.	Rede fina por toda a placa.
Café	Sim.	Rede por toda a placa.

(3.2.4)

Observações

Como se observou, as borras de café proporcionaram a maior expansão de hifas. No entanto, este material parecia ser demasiado frágil para suportar o desenvolvimento de uma rede de micélio totalmente durável e resistente, parcialmente devido à falta de espaço e/ou oxigénio disponível para permitir a penetração adequada dentro do substrato. Por essa razão, decidiu-se combinar a borra de café com um material menos denso e mais arejado antes de inocular a mistura com o micélio. O serrim, por outro lado, provou não ser suficientemente nutritivo para a criação de uma rede de micélio consistente, mas é um material mais robusto e poroso que poderia revelar-se útil do ponto de vista estrutural. Como tal, decidiu-se misturar estes dois substratos, em proporções diferentes, visando encontrar uma combinação adequada para a construção de um objeto à base de micélio. A borra de café foi misturada com serrim e a água foi adicionada para fornecer a humidade correta para o crescimento do micélio. Estas misturas foram colocadas dentro de diferentes recipientes e autoclavadas para descontaminação.

Após o estudo e cultivo de micélio, e a testagem de substratos, avançou-se para a combinação destes dois elementos, micélio e substratos. Na sessão de dia 13 de maio, a equipa reuniu-se para discutir sobre a fase de pós-processamento das amostras realizadas.

Experiência 1 - Serrim + Café - Inoculação através de Spawn.

Para esta experiência foi usado o processo de *molding*, recorreu-se a moldes para dar forma às misturas utilizadas. Este processo é comum e a sua maior vantagem é a menor necessidade da fase de pós-processamento. Uma das amostras realizadas recorreu à utilização de uma forma de silicone para bolos decorativa que proporcionou a testagem de diferentes condições da mistura, como por exemplo a quantidade de cada elemento.



Figura 99 - Distribuição das misturas no molde.



Figura 100 - Identificação por cores das diferentes misturas.

Conforme se apresenta nas imagens acima apresentadas, na fase da testagem realizou-se a seguinte divisão de quantidade de substratos:

Vermelho – 50% de café/ 50% de serrim

Verde – 80% de café/ 20% de serrim

Amarelo – 90% de café/ 10% de serrim

Após a esterilização da mistura e do molde, procedeu-se à inoculação do substrato com spawn, incubado por 3 semanas a 24 graus celsius.

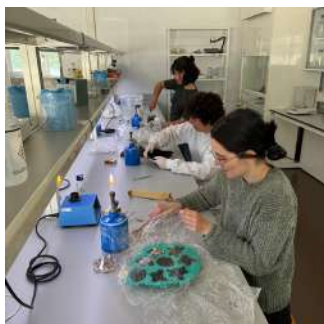


Figura 101 - Inoculação dos substratos.



Figura 102 - Crescimento após primeira semana de incubação.



Figura 103 - Crescimento após a terceira semana de incubação.



Figura 104 - Amostra desidratada.

Após o tempo de crescimento excedido, o micélio foi desativado num forno a 60º C e as peças foram desenformados.



Figura 105 - Divisão das amostras, de acordo com a quantidade de substratos.



Figura 106 - Peças desenformadas.



Figura 107 - Detalhe de uma das peças, pertencente ao grupo com maior quantidade de café.

Outra das amostras realizadas, recorreu à utilização de um recipiente retangular de vidro com o objetivo de formar um tijolo ou placa. Antes de proceder à mistura dos dois componentes (borras de café e serrim de acácia), o recipiente foi esterilizado numa solução de lixívia devido à baixa resistência do vidro durante a autoclavagem.



Figura 108 - Mistura dos dois componentes.



Figura 109 - Estado da amostra após uma semana de crescimento.



Figura 110 - Estado da amostra no dia 17 de junho de 2024.



Figura 111 - Destalhe do crescimento do micélio da amostra.



Figura 112 - Nesta amostra, o micélio formou apenas uma rede densa superficial devido à falta de ventilação.



Figura 113 - Estado da amostra após o processo de inativação de desidratação do micélio, realizada por 15 horas a 60 graus celsius.

Experiência 2 – Pasta de papel + café - Incoluação através de Spawn

Outra das combinações selecionada foi borra de café e pasta de papel. Para preparar o componente de papel deste substrato, trituraram-se alguns jornais velhos, humedecidos em água destilada e misturados até obter uma pasta. Depois de retirado o excesso de água, esta pasta foi combinada com uma quantidade igual de borra de café (1:1), colocada em recipientes diferentes e autoclavada.



Figura 114 - Preparação do substrato. As tiras de papel adicionou-se água, obtendo uma pasta.



Figura 115 - Após as tiras de papel molhadas, procedeu-se à sua trituração de forma a obter uma mistura uniforme.



Figura 116 - Eliminação do excesso de água da pasta.



Figura 117 - Mistura de 1:1 de borras de café + pasta de papel.

Numa das amostras desta experiência usou-se um modelo impresso em SLA (esterolitografia), impressora de resina epoxy, criado por Rui Silva, aluno do Mestrado em Design Industrial e de Produto da Faculdade de Belas Artes da Universidade do Porto. Os materiais usados neste tipo de impressão geralmente possuem baixos ponto de amolecimento e fusão, portanto o modelo foi esterilizado em lixívia antes da colocação da mistura na sua superfície.



Figura 118 - Inoculação.



Figura 119 - Após uma semana de incubação, o micélio estava presente sobretudo à volta dos locais de inoculação.



Figura 120 - Após 3 semanas de incubação, o micélio tinha-se espalhado e criado uma camada densa na superfície do molde.



Figura 121 - Procedeu-se à extração da peça do molde.

Pasta de papel + café - Inoculação através de cultura de micélio em placas de Petri

Através da utilização de inóculos cultivados em placas de Petri, procedeu-se ao desenvolvimento de um copo a partir da combinação de pasta de papel e café. Para esta experiência usou-se um frasco e um goblé como moldes. A partir da sequência do registo fotográfico da experiência apresenta-se todos os passos realizados para a produção desta peça.



Figura 122 - Inoculação a partir de culturas de micélio em Placas de Petri.



Figura 123 - Após uma semana de inoculação: foi removido o frasco de cima, para facilitar o crescimento do micélio na camada inferior do substrato.

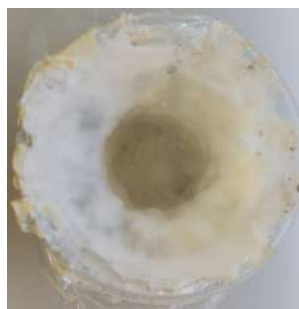


Figura 124 - Resultados após 3 semanas de crescimento.



Figura 125 - Tentativa de pressagem a quente para a inativação do micélio.



Figura 126 - Inativação e desidratação do micélio: Estufa a 60°C durante 15 horas. No entanto foi necessário prolongar o tempo de desidratação.



Figura 127 - Peça totalmente seca.



Figura 128 - Preparação da mistura de impermeabilização - Cera de abelha + óleo de girassol + óleo de coco (1:1:1).



Figura 129 - Impermeabilização.



Figura 130

Neste projeto, a investigadora pretendeu utilizar como substrato pasta de papel, café e micélio. A proposta consistia no desenvolvimento de azulejos modulares em placas de Petri no entanto, durante o processo laboratorial, a presença de contaminações bacterianas acabou por dominar a amostra.

Experiência 3 – Resíduos têxteis + café - Inoculação através de cultura de micélio em Placas de Petri

Neste projeto, já foram testados diversos tipos de substratos para o desenvolvimento de um material à base de micélio. Contudo, decidiu-se utilizar um substrato diferente: têxteis. Na busca por um produto final experimentou-se resíduos de tecidos de ganga combinados com café, o substrato nutricional escolhido. Para esta experiência foram usados inóculos cultivados em placas de Petri, divididos em pequenas secções e colocados na superfície da amostra.



Figura 131 - Desfazer a ganga.



Figura 132 - Preparação de um tabuleiro com a ganga e o café, adicionando 60% de água.



Figura 133- Duas semanas de crescimento.



Figura 134 - Quatro semanas de crescimento.



Figura 135 - Procedeu-se à preenssagem da amostra utilizando um ferro de engomar (150°).



Figura 136- Impermeabilização das amostras com cera de abelha.

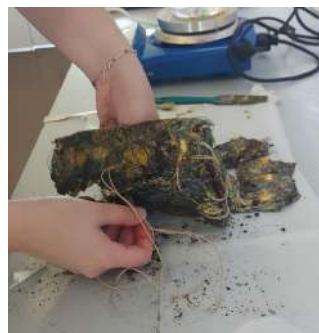


Figura 137 - Construção de uma saca.



Figura 138 - Resultado final.



Figura 139- Amostras apresentadas na sessão final do BioLab, no dia 1 de julho de 2024.

(3.2.5)

Conclusão

Os objetos decorativos criados exibiram resultados muito diferentes em relação à sua aparência e consistência. Deveu-se à diferença na quantidade de borra de café presente em cada peça. Em objetos com mais café, a rede de micélio foi mais desenvolvida devido às propriedades nutricionais deste substrato. Como tal, os objetos apresentavam uma melhor consistência quando comparados com aqueles com mais serrim. Além disso, o micélio foi capaz de cobrir a superfície do objeto, o que contribuiu para que se mantivessem as características mais complexas do molde, e em geral, uma melhor aparência. O objeto produzido a partir da mistura de pasta de papel e café, estava muito frágil após secagem, isso indicou que precisaríamos de um sustrato mais poroso com a inoculação distribuída uniformemente por toda a peça para alcançar melhores propriedades físicas.

Em relação à placa, após três semanas de incubação, o processo de crescimento do micélio foi interrompido. A amostra obtida não apresentava a resistência esperada pois a colonização do substrato pelo micélio não estava completa. Um período de incubação mais longo permitiria, possivelmente, que o micélio se expandisse por todo o substrato.

(3.3)

Fase 3

Objetivos

- Repetição do desenvolvimento do material: têxteis + café

Depois de discutir e identificar os erros obtidos na amostra anterior que combina têxteis e café, a investigadora teve interesse em repetir a experiência. Aqui foi utilizado o inóculo proveniente do *spawn* realizado numa das sessões laboratoriais. A utilização desta semente foi fundamental para o crescimento mais acelerado do micélio.

Preparação dos componentes



Figura 140 - Recolha e separação dos tipos de resíduos têxteis.



Figura 141 - Esterilização dos resíduos.

Inoculação das amostras



Figura 142 - Colocação dos resíduos em tabuleiros.



Figura 143 - Colocação do substrato nutricional - café, e água.



Figura 144 - Inoculação das amostras com spawn.



Figura 145 - Selagem e armazenamento das amostras.

17 de junho



Figura 146 - Detalhe da inoculação

21 de junho



4 de julho



12 julho



Figura 147 - Estágios de crescimento do micélio das amostras.

Após o cultivo e o crescimento do micélio desejado, as amostras passaram por um processo de pós-processamento essencial para garantir estabilidade, resistência e propriedades funcionais ao material resultante. A primeira etapa é a prensagem, realizada neste caso com o micélio ainda húmido, com o objetivo de compactar as fibras fúngicas, uniformizar a superfície e reduzir a espessura. Em seguida, as amostras foram submetidas a um tratamento com uma solução de glicerol diluído em água, aplicada por imersão. O glicerol atua como plastificante natural, penetrando na matriz e conferindo maleabilidade e flexibilidade, evitando que o material fique quebradiço após a secagem completa. Após este tratamento as amostras foram novamente secas.



Figura 148 - Colocação da amostra entre duas folhas de papel vegetal.



Figura 149 - Prensagem a quente, 3 vezes por 20 segundos, a aproximadamente 150°.



Figura 150 - Amostra após inativação do micélio através de prensagem a quente.



Figura 151 - Amostra não prensada.



Figura 152 - Amostra prensada.



Figura 153 - A amostra foi colocada submersa numa solução aquosa de 20% de glicerol, para adquirir mais flexibilidade.



Figura 154
Resultado final de uma das amostras desta fase.
Fotografia da autoria da investigadora.

(3.4)

Fase 4

Objetivos

- Análise de um produto existente no mercado.
- Desenvolvimento de um material semelhante.

Nesta fase recorreu-se à análise de um material de origem industrial, o Mylea, adquirido pela investigadora para compreender melhor as suas propriedades e composição. Para esta avaliação, realizou-se um teste de microscopia eletrónica de varrimento (SEM), realizada por Rui Fernandes (coordenador da plataforma de histologia e microscopia eletrónica do i3s), que permitiu observar em detalhe a constituição do material. Os resultados, discutidos em colaboração com Júlio Borlido Santos, revelaram que o Mylea é essencialmente formado por várias camadas de micélio compactado. Além disso, verificou-se que numa das faces existe uma camada de uma espécie de cola ou resina adesiva, aplicada para fixar o suporte de algodão presente na amostra.

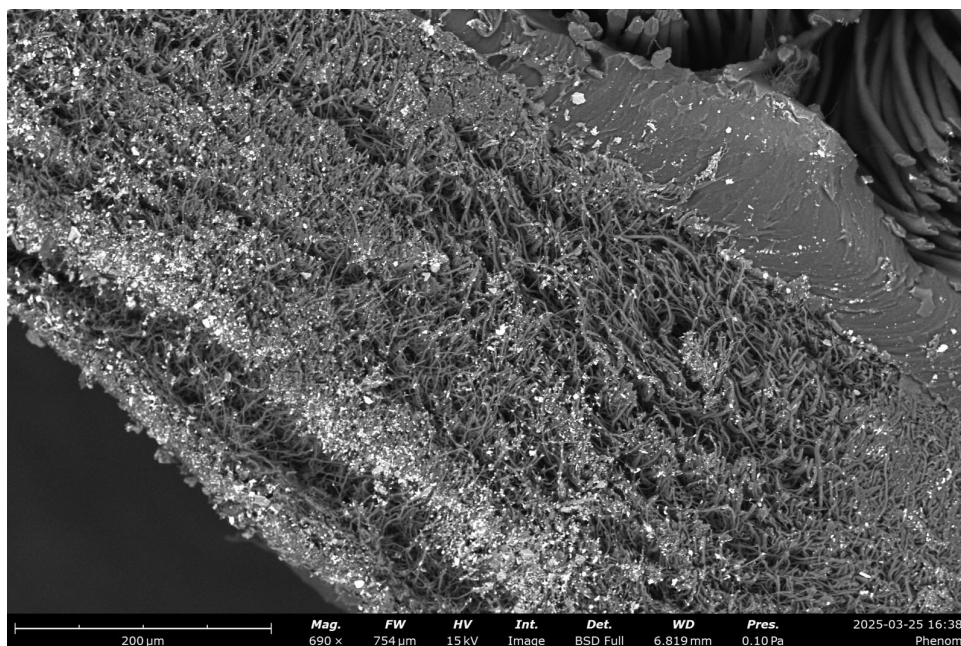


Figura 155 - Análise SEM.

Experiência

Como parte do processo de investigação, foi realizada outra experiência como conclusão da fase experimental. Consistiu no cultivo de micélio de *Pleurotus Ostreatus*, em diversos tecidos, incluindo linho de duas espessuras, dois tipos de tecidos sintéticos, ganga, compressa cirúrgica e por fim papel com celulose. O objetivo era avaliar a capacidade de colonização do micélio em diferentes malhas e texturas.

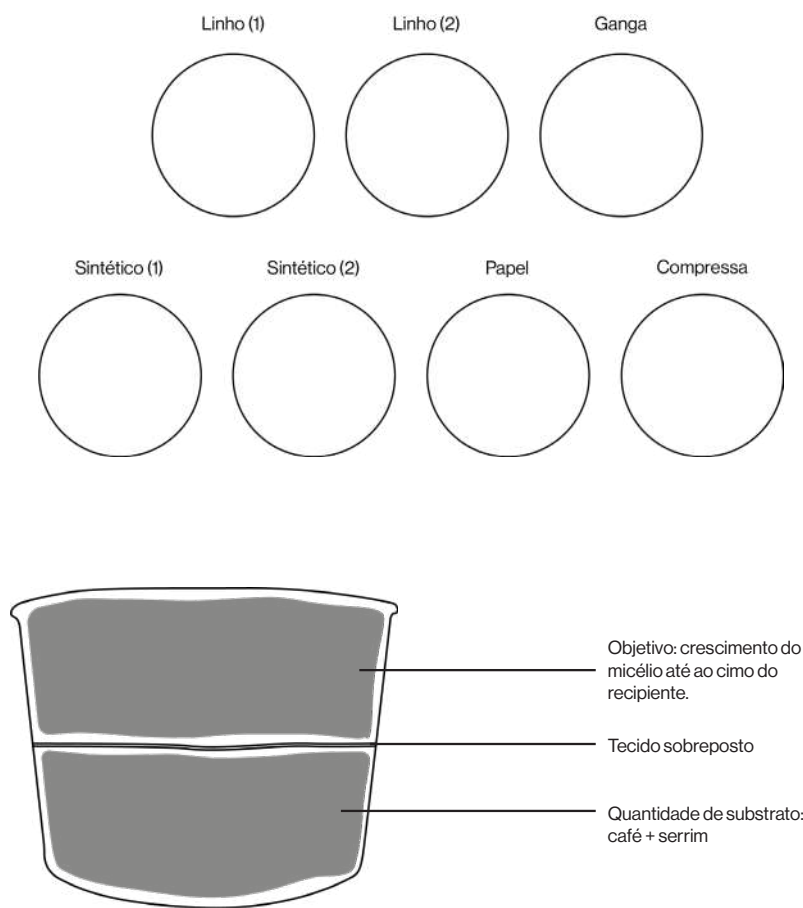


Figura 156 - Conjunto de substratos utilizados nesta fase, e método de crescimento das amostras em recipientes.

Preparação do substrato

90% café + 10% Serrim - 30 de abril de 2025

Preparação das amostras e inoculação

8 de maio de 2025



Figura 157 - Foi realizada uma mistura exemplo para identificar a quantidade dos componentes tendo em conta o volume do recipiente.



Figura 158 - Colocação dos componentes em sacos. De acordo com o número de amostras a realizar, a quantidade de substrato foi adequada.



Figura 159 - Em cada recipiente, foi colocada uma quantidade de substrato composto por serrim e café. Em seguida, é realizada a inoculação com uma quantidade de spawn de *Pleurotus ostreatus*.



Figura 160 - Cada recipiente foi selado com alumínio, ficando armazenados num local escuro à temperatura ambiente.

(3.4.1)

Avaliação de crescimento

Após a inoculação, as amostras foram colocadas num ambiente controlado, sendo regularmente avaliado o crescimento do micélio. Durante esta fase, observaram-se alguns fatores como a velocidade de desenvolvimento, densidade do micélio e possíveis sinais de contaminação.

Figura 161
12 de maio de 2025

Após uma semana de crescimento, as amostras apresentam uma rede hifal uniformemente dispersa por todo o substrato. No que toca à penetração do micélio no tecido, podemos observar que em todos os casos foi possível identificar uma camada leve inicial sobre o material têxtil.



Figura 162
19 de maio de 2025

Na segunda semana, observa-se um crescimento significativo da rede hifal, agora presente em maior densidade no substrato, bem como um aumento da camada sobre o tecido.



Figura 163
26 de maio de 2025

Após três semanas de crescimento, a rede hifal encontra-se notavelmente densa, e em alguns casos já não é possível identificar a camada sobre o material têxtil.



11 de junho de 2025

Início do pós-processamento / Amostras - Linho 1, Sintético 1, Papel 1, Ganga



Figura 164 - Processo de remoção das amostras.



Figura 165 - Neste primeiro pós-processamento, as amostras foram armazenadas na estufa a 40° durante três horas para desidratar.



Figura 166 - Após a desidratação, as amostras foram submetidas a um processo de prensagem.

30 de junho de 2025

Continuação do pós-processamento / Amostras - Linho 2, Sintético 2, Papel 2, Compressa



Figura 167 - As amostras foram desidratadas na estufa, durante três horas a 60°. Ainda foram expostas à temperatura ambiente até alcançar a desidratação desejada.



Figura 168 - De seguida, as amostras foram submersas numa solução composta por água e glicerol (20%), por oito horas. Após este processo, foram novamente desidratadas, e finalmente prensadas.

(3.4.2)

Cultivo em meio líquido

Foram desenvolvidas amostras de micélio cultivado em meio líquido YM.

Esta abordagem baseia-se nas técnicas utilizadas no processo de fabricação de couros à base de fungos, que permite um crescimento mais controlado e uniforme do micélio.



Figura 169 - Colocação do meio líquido YMA no interior dos três recipientes.



Figura 170 - A partir de uma cultura em substrato, retirou-se uma pequena porção de rede hifal.



Figura 171 - Colocou-se essa porção no interior do recipiente.



Figura 172 - As amostras foram colocadas à temperatura ambiente.



Figura 173 - Crescimento do micélio no dia 26 de maio de 2025.



Figura 174 - Crescimento do micélio no dia 3 de junho de 2025.



Figura 175 - Crescimento do micélio no dia 9 de junho de 2025.

11 de junho de 2025

Pós-processamento de uma amostra - Meio Líquido 1



Figura 176 - Remoção das amostras.



Figura 177 - Limpeza da face de contacto com o meio líquido.



Figura 178 - As amostras foram desidratadas na estufa a 40° durante três horas.



Figura 179 - Processo de prensagem das amostras a cerca de 150°.

30 de junho de 2025

Continuação do pós -processamento/ Amostras - Meio Líquido 2



Figura 180 - Estado da amostra no dia 30 de junho de 2025.

O pós-processamento destas amostras foi modificado em comparação com o realizado nas amostras de 11 de junho. Começou-se por desidratar as amostras a 60° na estufa durante cerca de três horas, e ainda foram expostas à temperatura ambiente para completar a desidratação necessária para o seguinte passo. Foram submersas numa solução composta por água e 20% de glicerol durante 8 horas.

Após este processo, foi necessário eliminar a humidade das amostras recorrendo à exposição à temperatura ambiente durante um dia. Finalizou-se o pós-processamento com a prensagem. Ao contrário da prensagem realizada nas amostras anteriores, foi usado um ferro de engomar que permite uma melhor visualização dos locais de prensagem e de um melhor controlo sobre a temperatura. Este seguimento de pós-processamento foi utilizado nas amostras Meio líquido 2 e nas amostras Linho 2, Sintético 2, Papel 2 e Compressa.



Figura 181 - Ganga/Linho1/Papel1/Sintético1/Meio Líquido1



Figura 182 - Compressa/Linho2/Papel2/Sintétic2/Meio Líquido2

(3.4.3) Observações

Tabela 3

Tabela de observações das amostras da Fase 4.

Amostra	Duração da incubação	Observações
Ganga	1 mês e meio	A amostra de ganga apresentou desafios no desenvolvimento do micélio devido à espessura elevada do tecido. O tempo reduzido de incubação resultou numa rede hifal fraca, e o excesso de temperatura durante a prensagem comprometeu a integridade do micélio.
Linho 1	1 mês e meio	Possível utilização de tratamentos anti-fúngicos/anti-bolor nos tecidos, poderão ter influenciado o crescimento e adesão das hifas aos mesmos.
Linho 2	2 meses	Após aproximadamente dois meses de crescimento, a amostra desenvolveu uma camada densa de micélio sobre o tecido, resultando numa rede uniforme e visualmente consistente, bastante alinhada com o aspeto físico desejado.
Sintético 1	1 mês e meio	A amostra não atingiu os objetivos esperados, apresentando baixa adesão da rede de micélio sobre o tecido. Durante o processo de prensagem, rede hifal tornou-se quebradiça e deslocou-se do suporte têxtil. A temperatura utilizada na prensagem foi excessiva, comprometendo a integridade do micélio e a sua fixação ao substrato.
Sintético 2	2 meses	A amostra apresentou melhorias em comparação com a amostra Sintético 1. A extensão do período de incubação permitiu um desenvolvimento mais completo do micélio. Além disso, a desidratação prévia antes da prensagem e a imersão em uma solução de glicerol a 20% contribuíram para uma maior flexibilidade e coesão do material final, favorecendo a adesão do micélio ao tecido e reduzindo a fragilidade observada em amostras anteriores.
Papel 1	1 mês e meio	A amostra não teve um período de incubação suficiente para permitir o desenvolvimento adequado do micélio. Além disso, a exposição à água acabou por fragilizar o suporte de papel, causando alguma desintegração do material.
Papel 2	2 meses	Devido ao longo período de incubação, esta amostra de papel desenvolveu uma rede de micélio especialmente densa e uniforme.
Compressa	2 meses	A amostra apresentou resultados favoráveis, com um crescimento do micélio adequado e boa adesão ao suporte.
Meio líquido 1	1 mês e meio	Pouco período de incubação. As três semanas de crescimento não foram suficientes para alcançar uma amostra favorável.
Meio líquido 2	2 meses	Após dois meses de crescimento, esta amostra apresentou uma espessura mais favorável em comparação com a amostra Meio Líquido 1.



(capítulo quatro_ *projeto*)

(4.1)

O distanciamento como reflexão no design

A prática do Design, frequentemente marcada por decisões intuitivas e ações no processo criativo, exige também momentos de distanciamento crítico. Este afastamento não implica uma quebra no processo criativo, mas uma suspensão temporária do pensamento que permite ao designer observar o seu trabalho com maior clareza. Segundo Schön (1983), o profissional reflexivo é aquele que permite submeter-se a situações surpresa, confusão ou incerteza, especialmente quando enfrenta problemas complexos e ambíguos. Nestas situações, não desenvolve uma solução, mas interrompe o automatismo da ação para refletir (Schön, 1983).

The practitioner allows himself to experience surprise, puzzlement, or confusion in a situation which he finds uncertain or unique. He reflects on the phenomena before him, and on the prior understandings which have been implicit in his behaviour. He carries out an experiment which serves to generate both a new understanding of the phenomena and the change in the situation. When someone reflects in action, he becomes a researcher in the practice context. He is not dependent on the categories of established theory and technique, but constructs a new theory of the unique case (Schön, 1983, p. 68).

Este processo é um modo de investigação localizada, o designer torna-se num investigador no contexto da prática, distanciando-se das soluções já estabelecidas para criar uma nova teoria do caso único. Este tipo de distanciamento permite revisitar e reconstruir a compreensão do problema. Ao contrário do que propõe o modelo de racionalidade técnica, em que o problema é dado e a solução é otimizada, Schön defende que os problemas necessitam de ser construídos a partir de situações confusas e incertas (Schön, 1983).

"In real-world practice, problems do not present themselves to the practitioner as givens. They must be constructed from the materials of problem situations which are puzzling, troubling, and uncertain." (Schön, 1983, p. 40)

Este movimento, que pode ocorrer pelas pausas durante o processo, diálogos com outros profissionais e prototipagens iterativas, constitui o que Schön denomina de *problem setting*, ou seja, a definição e enquadramento criativo do problema, que depende da forma como o designer nomeia e interpreta a situação. Refletir sobre a prática significa também questionar os hábitos que o designer repete de forma automática, sem consciência. Schön demonstra estes hábitos de saberes implícitos, formas de agir adquiridas com a experiência, mas raramente consciencializadas. Ao refletir, o designer pode identificar estas ações, analisá-las criticamente e questionar-se a si mesmo se continuam a fazer sentido no contexto atual. É isso que Schön descreve como "trazer à tona e criticar os entendimentos tácitos" (Schön, 1983).

A practitioners reflection can serve as corrective to overlearning. Through reflection, he can surface and criticize the tacit understandings that have grown up around the repetitive experiences of a specialized practice, and can make new sense of the situations of uncertainty or uniqueness which he may allow himself to practice.” (Schön, 1983, p. 61)

Segundo Munari (1981), o Design não é um ato puramente artístico ou intuitivo, no entanto é um processo orientado para a resolução de problemas reais. Neste processo, o desapego emocional do designer torna-se uma ferramenta essencial para manter a objetividade e a clareza num projeto. O envolvimento emocional excessivo com uma ideia pode comprometer a capacidade crítica do designer, tornando-o resistente a mudanças ou opiniões diferentes. Por isso, o designer deve ser capaz de se afastar das suas próprias propostas, observando-as como se pertencessem a outra pessoa. Este distanciamento permite-lhe avaliar com mais rigor se as soluções respondem ao problema identificado, e não apenas ao gosto pessoal ou investimento de tempo.

A abordagem projetual de Munari é composta por várias etapas, desde a identificação do problema à prototipagem. Em cada uma delas, o desapego emocional é um fator essencial, porque permite abandonar soluções que não funcionam e reconsiderar o percurso se for necessário. Ao contrário de se fixar a uma solução inicial, o designer deve manter a mente aberta para iterar e adaptar. Este modo de pensamento alinha-se com o de Donald Schön, ambos sugerem que o verdadeiro valor do Design não reside numa inspiração momentânea, mas na capacidade de reavaliar, refinar e responder com precisão às exigências contextuais de cada projeto. O desapego emocional não representa indiferença, mas sim uma postura madura e ética em relação ao processo criativo. É uma forma de respeitar a natureza funcional e comunicativa do design, permitindo que “das coisas nasçam coisas” com sentido, coerência e utilidade (Munari, 1981).

Ao longo da investigação desenvolvida no âmbito desta tese de mestrado, dedicada ao desenvolvimento de materiais à base de micélio, o processo criativo revelou-se particularmente difícil na transição entre o plano experimental e a fase de projeto. Depois de um longo período de testes, exploração de métodos de cultivo e análise das propriedades do material, tornou-se difícil identificar com nitidez um caminho projetual que traduzisse de forma funcional os resultados obtidos. Recorreu-se então a um distanciamento crítico, que permitiu à investigadora observar o percurso com maior clareza e reorganizar as ideias estrategicamente. A fase projetual foi marcada por um processo iterativo. Foram idealizados diversos ensaios formais e funcionais e reavaliações constantes, com o objetivo de adequar as qualidades do material a um produto. No entanto, foi através deste ciclo de tentativa e erro, que o projeto ganhou consistência. A exaustão do processo iterativo foi, paradoxalmente, o terreno onde emergiu a clareza final: uma proposta que dialoga com a matéria, com o processo e com a reflexão crítica sobre ambos.

(4.2)

Luz

A integração da luz como elemento revelador desempenha um papel fundamental na valorização dos materiais à base de micélio obtidos neste projeto, especialmente na apresentação das suas características, texturas, porosidades, variações de cor, translucidez e estruturas internas. Ao incidir sobre os materiais, a luz evidencia propriedades que seriam invisíveis a olho nu, permitindo perceber a complexidade intrínseca destes compostos naturais. Esta valorização não é apenas estética, mas conceptual. Ao tornar visíveis as qualidades físicas do material, a iluminação reforça o trabalho científico e experimental envolvido no seu processo de produção. A luz comunica visualmente o tempo de crescimento, a densidade do micélio, conectando o público com estes processos naturais invisíveis. Além disso, a luz pode ser usada como linguagem narrativa.

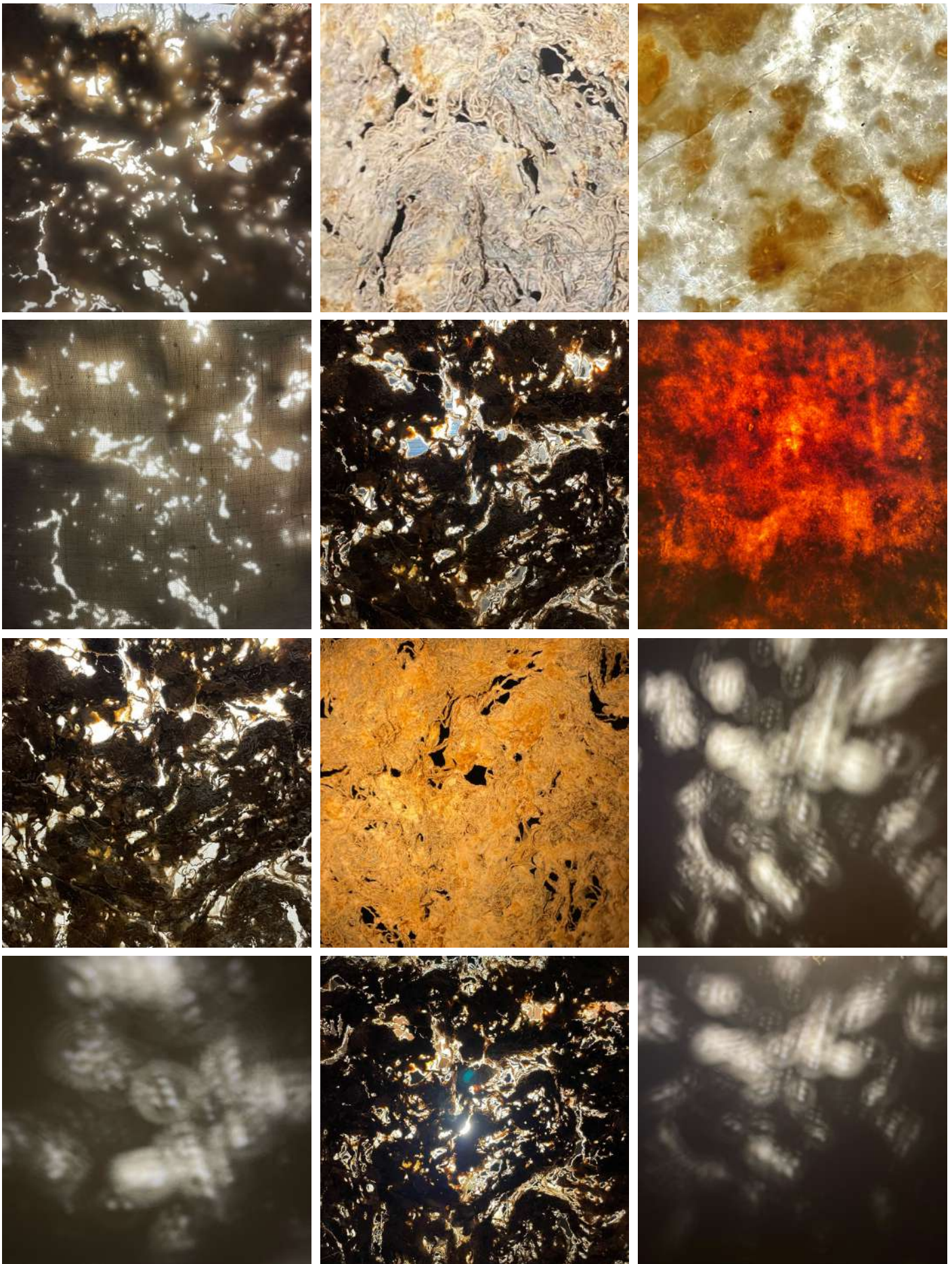


Figura 183
 Materiais à luz.
 Fotografias da autoria da investigadora.

(4.3)

Análise

O design exerce um papel fundamental como ponte entre o público e o conhecimento científico, transforma dados complexos em experiências compreensíveis e acessíveis. Em espaços como museus, esta conexão acontece de forma concreta: através do design de exposições, objetos e ambientes, a ciência deixa de ser um conteúdo restrito a especialistas e torna-se uma experiência sensível e educativa para todos os públicos. Os objetos expostos em museus, como por exemplo fósseis, instrumentos tecnológicos, peças arqueológicas, modelos anatômicos, entre outros, são, muitas vezes, carregados de informações científicas. No entanto, sem uma curadoria visual e comunicacional eficaz, estes objetos não transmitem plenamente o seu valor informativo. É neste espaço que o design atua: organiza, interpreta e apresenta os conteúdos de forma envolvente. O uso de tipografias legíveis, cores coerentes, sistemas de sinalização, maquetes táteis, tecnologias interativas e até mesmo o percurso espacial de uma exposição são decisões de design que facilitam a compreensão da ciência. O design não é apenas estética ou funcionalidade, é tradução.

ARTIS-Micropia

Amsterdão



Figura 184

ARTIS-Micropia.

Fonte: <https://www.museum.nl/en/artis-micropia>

O Micropia é um museu dedicado ao universo invisível dos microrganismos. Através de uma abordagem educativa e interativa, integra ciência, design e tecnologia para revelar um mundo oculto e fascinante que coexiste conosco. Dentro do museu, os visitantes encontram mais de 40 espécies de microrganismos vivos, observáveis através de microscópios conectados a suportes digitais, permitindo uma visualização detalhada e compreensível. Para além da simples exposição, o museu oferece uma narrativa envolvente sobre a importância ecológica dos micróbios, no solo, nos alimentos, no corpo humano, promovendo um novo olhar sobre sustentabilidade e saúde. A curadoria do museu integra rigor científico com apelo sensorial e estético, enriquecendo a experiência dos visitantes. Do ponto de vista de projetos expositivos, o Micropia mostra como a utilização de escalas aumentadas, ferramentas interativas e design imersivo pode transformar conceitos complexos em informação acessível ao público comum (Artis-Micropia, s.d.).



Figura 185

Detalhe de uma parede com 150 placas de Petri que contêm diferentes microorganismos.

Fonte: <https://www.museum.nl/en/artis-micropia>

Expanded Self, 2012

Sonja Bäuml



Figura 186 - Expanded Self, 2012

Fonte: <https://nihilsentimentalgia.com/2013/04/28/%E2%94%90-sonja-bauml-growing-a-second-skin-%E2%94%94/>

Sonja Bäume encontrou uma forma de visualizar a superfície invisível do corpo humano. Utilizou uma placa de Petri gigante como tela e as bactérias presentes no seu próprio corpo como tinta. Após aplicar a tinta invisível de bactérias no corpo, este é impresso sobre o ágar que é previamente colocado na placa de Petri (210 cm x 80 cm) (Silva S., 2013).

Micrarium

Grant Museum of Zoology

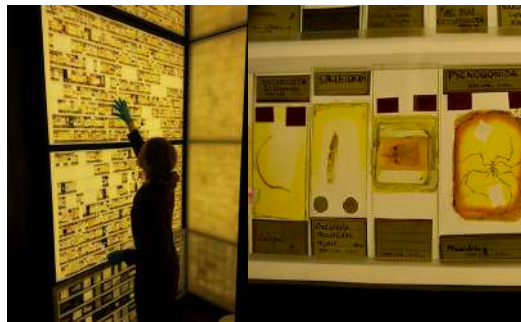


Figura 187 - Micrarium.

Fonte: <https://natsca.blog/2013/10/30/celebrating-the-mundane/>

O conceito de Micrarium revela-se particularmente inspirador para este projeto, na medida em que também procura tornar visível aquilo que, à primeira vista, permanece oculto. Tal como no museu, onde pequenos organismos são ampliados e iluminados para que o público possa apreciar a sua riqueza formal e biológica. Mais do que um objeto funcional, a peça torna-se um meio de mediação e descoberta, convidando a uma observação atenta e sensível dos organismos. Estão dispostas contra caixas de luz, mais de 2.000 lâminas estão em exibição no Micrarium, cobrindo as paredes do chão ao teto, criando um efeito visual impressionante (Moss, 2020).

The Package, 2006

Mark Dion



Figura 188 - The Package

Fonte: <https://www.icaboston.org/exhibitions/mark-dion-misadventures-21st-century-naturalist/>

The Package é uma exposição criada por Mark Dion na qual chama atenção para o trabalho invisível dentro de museus e instituições históricas. Dion enviou caixas para o Museu de Israel em Jerusalém, permitindo apenas que a equipa as examinasse por raio-X, sem abri-las. As caixas estão empilhadas de forma precária sobre caixas de luz montadas na parede, que exibem as imagens de raio-X. Por um lado, permite-nos refletir sobre os objetos misteriosos escondidos dentro das caixas. Por outro, chama atenção para o movimento constante de objetos para dentro e fora dos museus, e reconhece parte do trabalho nos bastidores necessário para produzir uma exposição (Hac, 2017).

Museu Centro Hospitalar do Porto

Hospital de Santo António

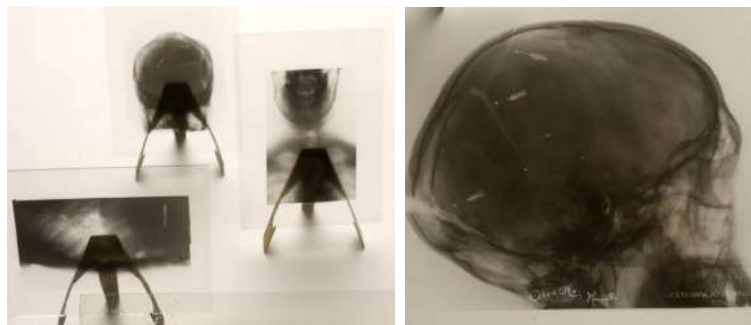


Figura 189 - Imagens radiográficas da zona torácica do século XX.

<https://hospitalsantoantonio360.pt/>

Numa visita, tanto física como virtual, ao Museu do Centro Hospitalar do Porto, foi possível observar radiografias em vidro, entre as quais se destaca um exemplar da zona torácica produzido na primeira metade do século XX. Esta peça testemunha os primórdios da radiologia em Portugal, iniciada poucos meses após a descoberta dos Raios X por Wilhelm Roentgen em 1895, numa época em que a radiografia era considerada um ramo especializado da fotografia e frequentemente realizada por fotógrafos ou médicos com prática fotográfica. O suporte em vidro, inventado por Richard Leach Maddox em 1871 e aperfeiçoado pelos irmãos Lumière, permitia exposições mais curtas e armazenamento prolongado, substituindo o colódio húmido. Amplamente utilizado até à década de 1940, este processo viria a ser substituído pelo filme radiográfico moderno, com base de poliéster flexível e transparente (António, s.d.).

KNOL Amesterdão



Figura 190 - Knol

Fonte: <https://www.designboom.com/art/knol-casts-luminous-insect-city-in-illusions-of-a-small-world-01-30-2014/>

A instalação do estúdio KNOL, é iluminada por 10 projetores suspensos e projeta uma cidade transparente de insetos, revelando os seus movimentos nas paredes ao redor. Os visitantes da instalação, por um lado, observam os pequenos insetos de cima, mas, por outro, são atraídos para dentro de seu mundo, por meio das grandes projeções refletidas no espaço (Azzarello, 2014).

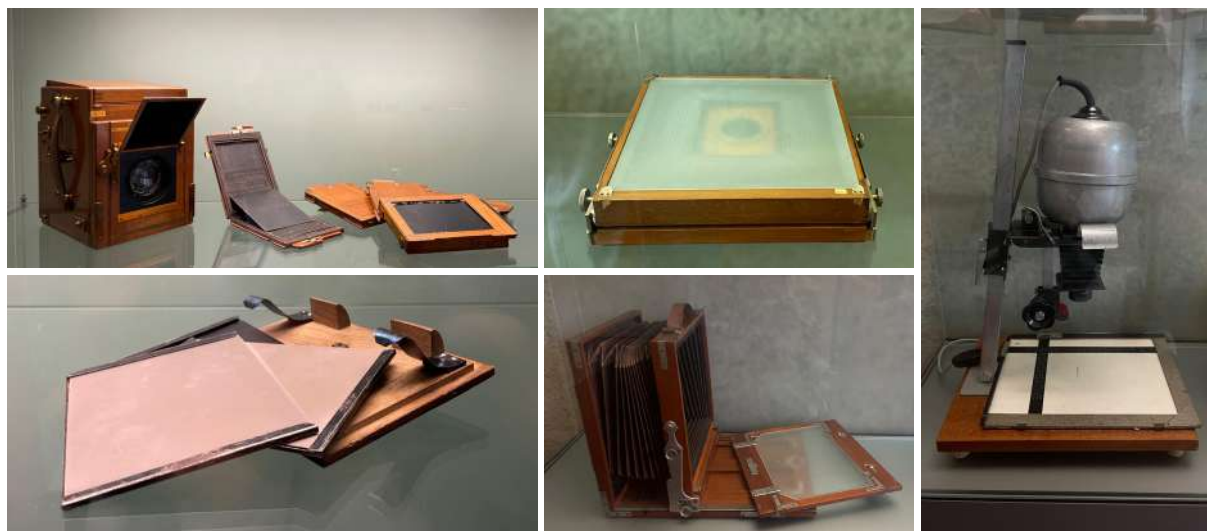
Museu de História Natural e da Ciência Universidade do Porto



Figura 191 - Artefactos expostos no Laboratório Ferreira da Silva, do Museu de História Natural e da Ciência da Universidade do Porto.
Fotografias da autoria da investigadora.

A visita ao Laboratório Ferreira da Silva, constituiu um momento fundamental no enquadramento conceptual e sensorial deste projeto. O espaço, preservado como testemunho da prática científica do início do século XX, apresenta-se como um ambiente onde instrumentos, vidrarias, reagentes e mobiliário evocam uma atmosfera de investigação minuciosa e experimental. Esta experiência permitiu refletir sobre a estreita relação entre ciência e design, evidenciando como a observação, a manipulação de materiais e a atenção ao detalhe fazem parte de ambos os campos.

Centro Português da Fotografia Porto



No âmbito da investigação, foi realizada uma visita ao Centro Português de Fotografia, com o objetivo de recolher referências formais, funcionais e conceptuais que pudessem inspirar a fase projetual. A observação de dispositivos como câmaras analógicas, ampliadores e superfícies translúcidas utilizadas para leitura de negativos permitiu refletir sobre a luz enquanto elemento técnico e sensível, fundamental para a interação visual e o detalhe analítico. Esta aproximação revelou a importância da luz difusa, da clareza funcional e da relação contemplativa entre o utilizador e o objeto, servindo de inspiração para um projeto que se pretende não apenas operativo, mas também sensorial. A visita constituiu, assim, um momento essencial de aproximação crítica ao tema, contribuindo para a definição dos parâmetros formais e conceptuais da mesa de luz a desenvolver.

Figura 192 - Artefactos expostos no Centro Português de Fotografia.

Fotografias da autoria da investigadora.

Casa da Imagem

Vila Nova de Gaia

A visita à Casa da Imagem, em Vila Nova de Gaia, foi um momento relevante no processo de recolha de estímulos visuais e conceptuais para o desenvolvimento do projeto. O espaço, marcado por uma forte ligação à história da fotografia e à prática da imagem como forma de pensamento, ofereceu um ambiente de observação que articulava dispositivos técnicos, objetos de arquivo e experiências sensoriais ligadas à luz, à projeção e à construção visual. A diversidade de câmaras, ampliadores e equipamentos expositivos permitiu refletir sobre o papel da luz como elemento mediador entre o olhar e o objeto, ressonando com os objetivos do projeto em curso. Esta experiência revelou-se particularmente inspiradora ao proporcionar um contacto direto com práticas de leitura e construção da imagem, contribuindo para a definição de estratégias formais e materiais a aplicar na fase projetual.



Figura 193
Mesa de luz com slides de lanterna mágica. Fotografia da autoria da investigadora.



Figura 194
Mesa de luz vertical com fotografias de Teófilo Braga. Fotografia da autoria da investigadora.



Figura 195
Artefactos observados na visita à casa da imagem. Fotografias da autoria da investigadora.

(4.4)

Proposta

A fase projetual caracterizou-se por um processo iterativo contínuo, no qual cada avanço implicou revisões, reformulações e decisões fundamentadas a partir da análise crítica do percurso até então desenvolvido. Esta dinâmica foi amplamente enriquecida pelas reuniões regulares com orientadores e pelas discussões informais com colegas, que desempenharam um papel fundamental ao oferecerem, por vezes visões muito diferenciadas, que permitiram ampliar as possibilidades de ação de uma forma muito construtiva. As críticas recebidas permitiram identificar fragilidades, reconhecer oportunidades de melhoria e explorar caminhos alternativos que não tinham sido inicialmente considerados. Este ambiente colaborativo, de escuta ativa e debate argumentado, revelou-se essencial para o amadurecimento do projeto, reforçando a importância do distanciamento crítico e da abertura à revisão. O processo de projetar deixou assim de ser uma linha linear para se tornar num percurso cíclico.

O desenvolvimento de materiais à base micélio tem sido explorado e desenvolvido em áreas como o design, biotecnologia e arquitetura. A promessa de um material biodegradável e com impacto ambiental reduzido tem mobilizado investigações interdisciplinares. No entanto, como em muitos processos experimentais emergentes, os resultados nem sempre correspondem às expectativas iniciais. Neste projeto desenvolvido, apesar dos esforços técnicos e metodológicos, o resultado revelou materiais com baixa resistência mecânica, limitando sua aplicação funcional direta. Este aspeto foi reinterpretado como parte essencial do processo de investigação, cujo valor não residiu apenas no produto final, mas na trajetória experimental. A partir desta mudança de perspectiva, o design expositivo foi utilizado como linguagem para valorizar o processo em si, tornando visível tanto as tentativas quanto os obstáculos enfrentados durante a investigação. Em vez de apresentar resultados bem-sucedidos, o projeto mostrou o próprio percurso da pesquisa como experiência estética e cognitiva. Não pretende atuar segundo critérios industriais, mas atuar enquanto dispositivo de reflexão, abrindo espaço para outras compreensões do que é inovação, progresso e valor no campo do design experimental.

Figura 197

Registo de reuniões com orientadores e colegas, momentos fundamentais para o desenvolvimento do projeto.
Fotografia da autoria da investigadora.



Quando se trata de transformar conteúdos complexos em informação acessível a públicos não especializados, recorre-se à utilização de analogias pois desempenham um papel fundamental na comunicação e compreensão de conceitos científicos. Contudo, estas analogias não representam com precisão os detalhes técnicos da investigação, no entanto oferecem uma imagem concreta e familiar que facilita a compreensão do conceito por parte do público. Atualmente, as analogias são parte integrante da linguagem científica. Funcionam como pontes cognitivas, permitindo a transferência de conhecimento da fonte para o alvo. Através desta transferência, o público é capaz de interligar conhecimentos prévios a novos conteúdos científicos, tornando-se um participante mais ativo no processo de aprendizagem. Neste sentido, as analogias não são meros adornos linguísticos, mas instrumentos de construção do pensamento e da compreensão conceitual. Além disso, são frequentemente utilizadas experiências materializadas e objetos concretos que funcionam como representantes mentais. Isso demonstra que o pensamento científico, está ancorado a imagens mentais e sensações físicas, reforçando a importância das analogias, como ligação entre o conhecimento técnico e a experiência humana. As analogias funcionam como um recurso estratégico não só para ensinar ciência, mas também para traduzi-la de forma significativa (Clemente, Reis, Ezingmüller, Tschimmel, & Pombo, 2023).

O projeto propõe a reinterpretação de uma mesa de luz inspirada numa platina de um microscópio, reinterpretando este dispositivo técnico como um objeto poético, sensorial e expositivo. A partir da ampliação física e simbólica de um instrumento científico, a mesa assume a função de revelar, ampliar e valorizar as propriedades únicas de materiais à base de micélio, deslocando o foco da observação laboratorial para uma experiência imersiva e contemplativa. Ao incorporar luz como elemento central, a mesa transforma-se numa superfície ativa, onde a matéria não é apenas visível, mas lida e interpretada. A iluminação, cuidadosamente pensada, permite evidenciar texturas, porosidades, densidades e comportamentos do micélio, tornando visíveis aspetos normalmente ocultos a olho nu. Inspirada formalmente na platina do microscópio, a mesa estabelece um diálogo direto com a linguagem visual da ciência. No entanto, ao deslocar esta linguagem para o campo do design, o projeto cria uma zona híbrida entre laboratório e museu, entre instrumento e peça artística. Trata-se de um objeto que opera como mediador entre conhecimento e estética, entre investigação científica e experiência sensorial. Mais do que uma peça de mobiliário ou suporte técnico, a mesa de luz afirma-se como um artefacto conceptual: um lugar onde se observa o micélio não apenas pelo seu potencial funcional, mas pela sua capacidade de mostrar um percurso de desenvolvimento de materiais.

(4.5)

Analise Formal

Platina

Em termos simples, uma *mechanical stage* (ou platina mecânica) é uma plataforma localizada abaixo das lentes objetivas de um microscópio. Esta peça fornece uma superfície estável e controlada para posicionar e movimentar as amostras em análise. Diferente de uma platina simples, que depende do ajuste manual da lâmina, a platina mecânica permite um controlo preciso e movimentos nas direções X e Y. A principal função de uma platina mecânica é facilitar o posicionamento preciso e a manipulação das amostras para observação. Esta precisão é essencial para obter observações e medições ao microscópio. Ao permitir movimentos controlados nas direções horizontais (X e Y), a platina mecânica possibilita que os utilizadores naveguem com facilidade sobre a amostra, explorando diferentes áreas de interesse e capturando imagens detalhadas (World, s.d.).

Durante esta fase, a análise por objetos semelhantes ou por modelos já existentes no mercado tornou-se uma estratégia importante para aprofundar o entendimento técnico e funcional de uma platina. O processo comparativo entre objetos permite identificar soluções mecânicas já consolidadas, avaliar diferentes abordagens construtivas e compreender os padrões de uso mais comuns em aplicações reais. A observação de platinas comerciais fornece dados importantes sobre dimensões típicas, materiais utilizados, tipos de movimento permitidos, além de informações sobre precisão, estabilidade e ergonomia. A base da platina em estudo possui dimensões de $180 \times 155 \times 27$ mm, e incorpora uma superfície de vidro de 116×96 mm. A área ativa efetiva de inspeção tem diâmetro de 37,6 mm, o que permite foco preciso sobre regiões específicas da amostra.



Figura 198

Platina (*Mechanical Stage*).

Fonte: <https://amscope.com/products/gt100>

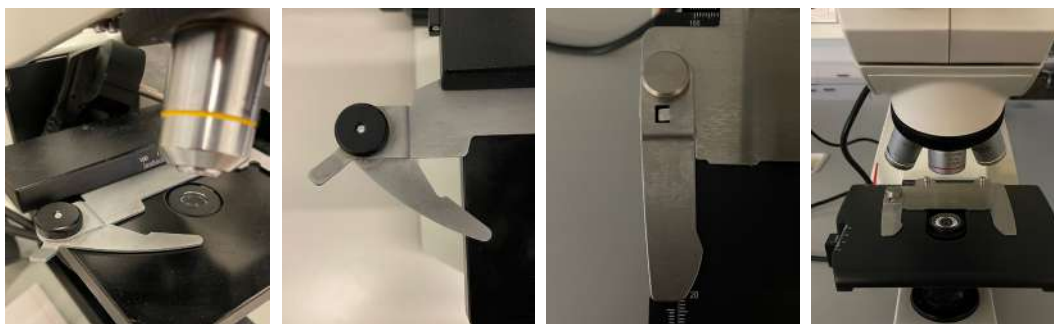


Figura 199
Registo fotográfico de platinas de microscópio, para a análise formal.
Fotografias da autoria da investigadora.

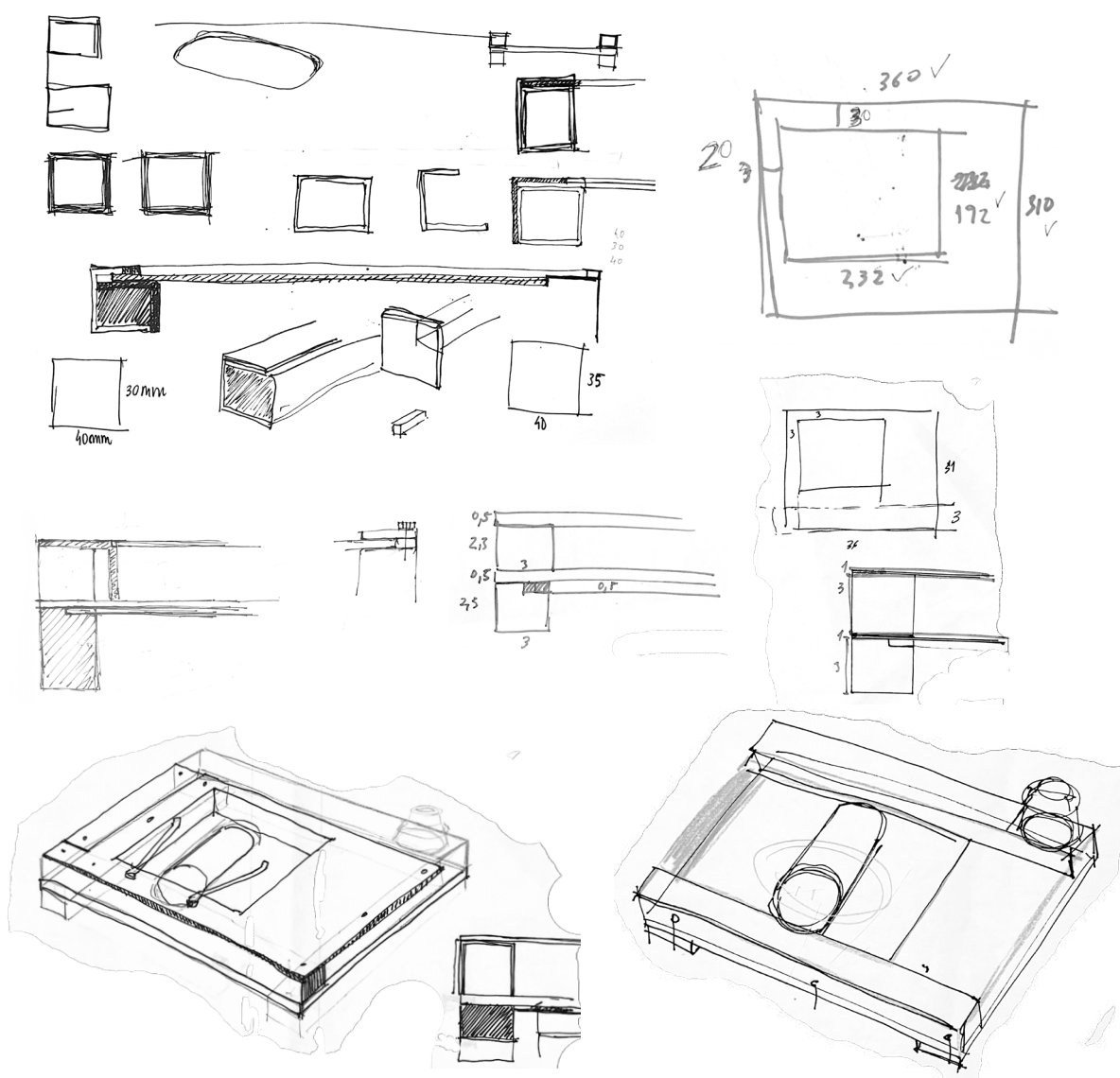


Figura 200
Esboços referentes à definição dos diferentes componentes da platina.
Representa a procura por peças já existentes no mercado, facilitando a conceção do objeto.
Imagem da autoria da investigadora.

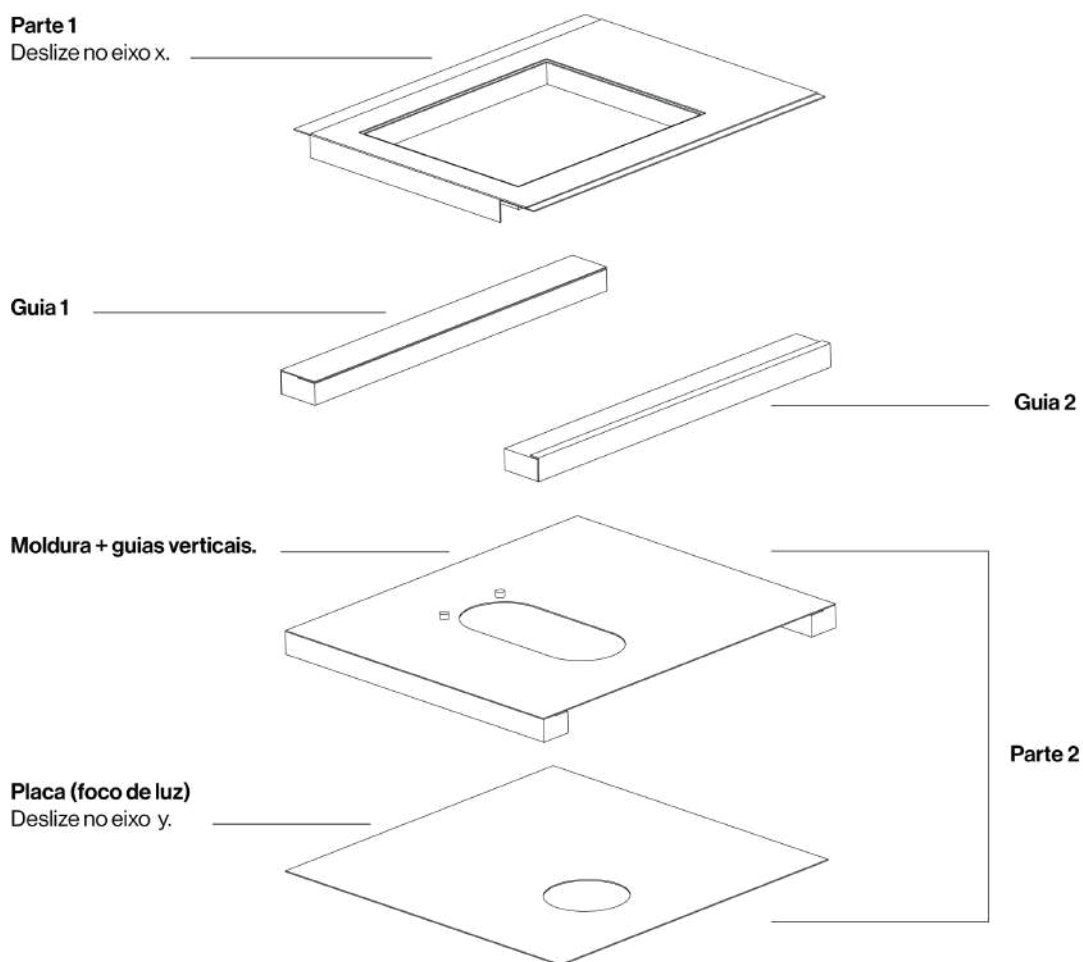
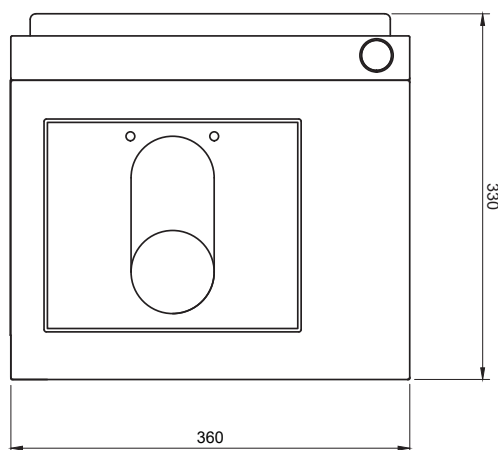


Figura 201
Vista explodida.
Imagem da autoria da investigadora.



A modelação da platina assumiu um papel essencial como mediadora entre a fase conceptual e a materialização do projeto. Através dela foi possível ensaiar dimensões, formas e sistemas de fixação, garantindo que a peça em questão respondesse de forma eficaz tanto às exigências funcionais como à intenção estética. Os modelos foram concebidos no programa Fusion 360.

Figura 202
Medidas gerais.
Imagem da autoria da investigadora.

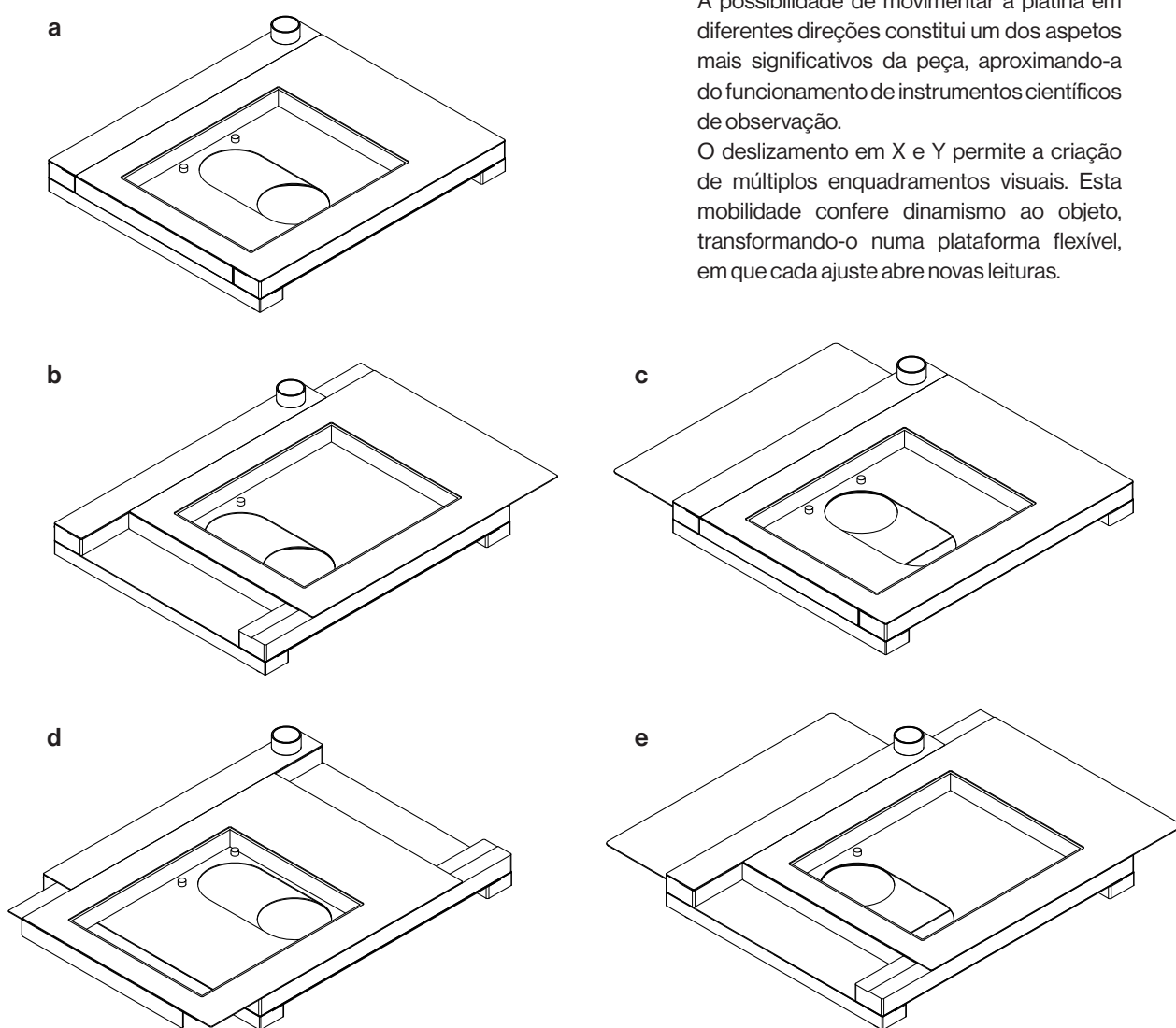


Figura 203
Esquemas dos deslizamentos de componentes da platina.
Imagem da autoria da investigadora.



Figura 204
Renders da platina. Além da estrutura da platina, o projeto incluiu um vidro integrado numa das peças.
Imagem da autoria da investigadora.

(4.5.1)

Maquetização

A fase de maquetização da platina em escala 2:1 foi uma etapa fundamental, permitindo a visualização ampliada de detalhes funcionais e estruturais que seriam difíceis de analisar em tamanho real. A maquete, construída numa escala duas vezes maior que a original, tem como principal objetivo facilitar a compreensão do projeto, promover ajustes ergonômicos e validar conceitos mecânicos antes da fabricação definitiva. Nesta fase, foram modeladas as principais partes da platina, como a base, as guias de movimentação, a superfície de apoio e os mecanismos de deslizamento nos eixos X e Y, respeitando as proporções e relações geométricas do projeto original. A ampliação da escala favorece a observação de tolerâncias relativas, folgas e possíveis interferências entre peças móveis, que podem passar despercebidas em escalas menores. Além disso, esta etapa contribui para a discussão entre os membros da equipa de projeto, facilitando a comunicação de ideias e a identificação precoce de falhas.



Figura 205 - Maquete inicial, para estudo de medidas e componentes.
Fotografia da autoria da investigadora.

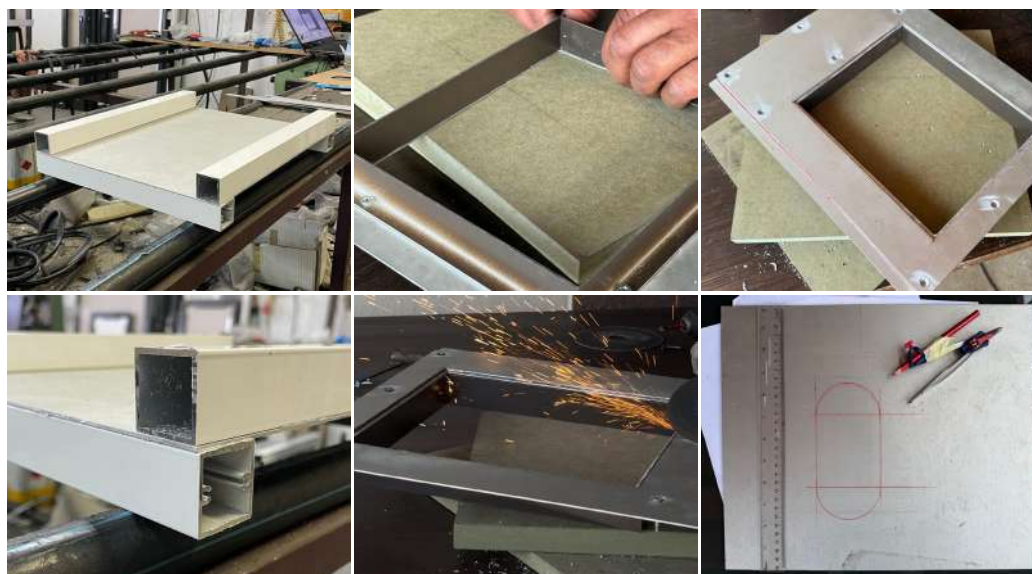


Figura 206 - Maquetização da platina em metal.
Fotografias da autoria da investigadora.



Figura 207 - Maquete de metal.
Fotografias da autoria da investigadora.

(4.5.2)

Prototipagem

A prototipagem da platina foi realizada numa empresa familiar à investigadora. Aluminios Barros é uma empresa portuguesa com mais de uma década de experiência na conceção e fabrico de soluções metálicas destinadas à construção e reabilitação. Especializa-se na produção de portas, portões, sistemas de caixilharia de alumínio e vidro, grades e outros elementos metálicos, oferecendo soluções personalizadas e com foco na robustez, funcionalidade e design integrado (Barros, s.d.). Esta fase começou com uma reunião de organização de componentes e escolha de materiais e tipos de fixação. Tendo em conta a quantidade de peças e o material, recorreu-se à soldadura como forma de fixação.



Figura 208 - Ensaio prático para estudo do conjunto.
Fotografias da autoria da investigadora.

As peças planas foram concebidas a partir de chapas de alumínio com 1,5 milímetros de espessura, recorrendo à tecnologia de corte a laser. Este processo teve como base os desenhos técnicos previamente desenvolvidos, nos quais foram definidos todos os contornos e recortes interiores. Durante uma das reuniões de acompanhamento do projeto, realizou-se um ensaio prático com o objetivo de estudar a localização exata das peças a serem soldadas (figura 208). Esta etapa foi essencial para antecipar eventuais incompatibilidades entre os elementos e garantir um alinhamento preciso antes da união definitiva. Este momento de experimentação colaborativa possibilitou ajustes fundamentais no posicionamento das peças e consolidou decisões importantes para a etapa seguinte de soldadura.



Figura 209 - Soldadura dos componentes.
Fotografias da autoria da investigadora.



Figura 210 - Estrutura da peça após processo de soldadura.
Fotografias da autoria da investigadora.

O processo de soldadura de alumínio exige elevada precisão e controlo técnico, dada a natureza do material, que apresenta elevada condutividade térmica e baixa margem de erro em relação a deformações. Ao longo do desenvolvimento do projeto, este processo foi encarado como uma prática em constante aperfeiçoamento, onde cada execução trouxe novos ajustes. Este percurso progressivo refletiu-se na melhoria contínua da qualidade das uniões.

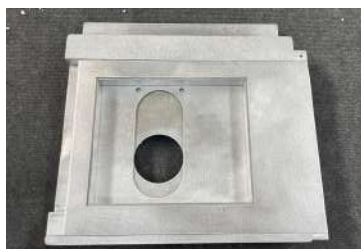


Figura 211 - Peça finalizada.
Fotografias da autoria da investigadora.



Figura 212 - Processo de escolha do lacado, com o Professor Rui Mendonça.
Fotografias da autoria da investigadora.



Figura 213 - Peça final.
Fotografias da autoria da investigadora.

(4.6)

Iluminação

Na reinterpretação da platina de microscópio em escala 2:1, foi necessária a adição de um foco de luz, uma escolha funcional que contribuiu diretamente para a melhor compreensão e valorização do projeto. A integração de um foco LED proporciona uma fonte de luz localizada, essencial para destacar texturas e cores, e a interação entre os componentes móveis da platina. Do mesmo modo, reforça a simulação do ambiente real de uso, onde a iluminação adequada é essencial para a observação de amostras. Ao simular a luz incidente de um microscópio real, transforma a platina num objeto de estudo ou expositivo. A presença do foco permitiu a exploração de conceitos complementares como, regular a intensidade luminosa através de dimmers ou potenciômetros, integrando assim aspectos elétricos e interativos à proposta.

Para a realização da ligação elétrica do sistema integrado na platina, foram necessários alguns componentes: uma placa LED (*Light Emitting Diode*, Díodo Emissor de Luz), um regulador de intensidade e um transformador. Optou-se pela seleção e integração de um foco LED como fonte de luz principal, dada a sua eficiência energética, baixa emissão de calor e capacidade de fornecer uma iluminação uniforme. Para assegurar a versatilidade do dispositivo, foi incorporado um regulador de intensidade, permitindo ajustar a luminosidade de acordo com as necessidades de observação ou de valorização expositiva. Este componente garante que a luz possa ser adaptada tanto para realçar detalhes mais subtis dos materiais como para criar um efeito visual mais impactante em contexto de exposição.

A ligação elétrica foi projetada para incluir um transformador, responsável por converter e estabilizar a corrente, prevenindo flutuações que possam comprometer a durabilidade do LED e a segurança do sistema. Esta fase implicou também a conceção de um circuito compacto e bem integrado no design da platina, de modo a não interferir com a estética nem com a funcionalidade da peça.



Figura 214 - Ensaio inicial da ligação elétrica.
Fotografias da autoria da investigadora.



Figura 215 - Componentes da ligação elétrica. (1) LED, (2) Regulador de intensidade, (3) Transformador. Fotografias da autoria da investigadora.

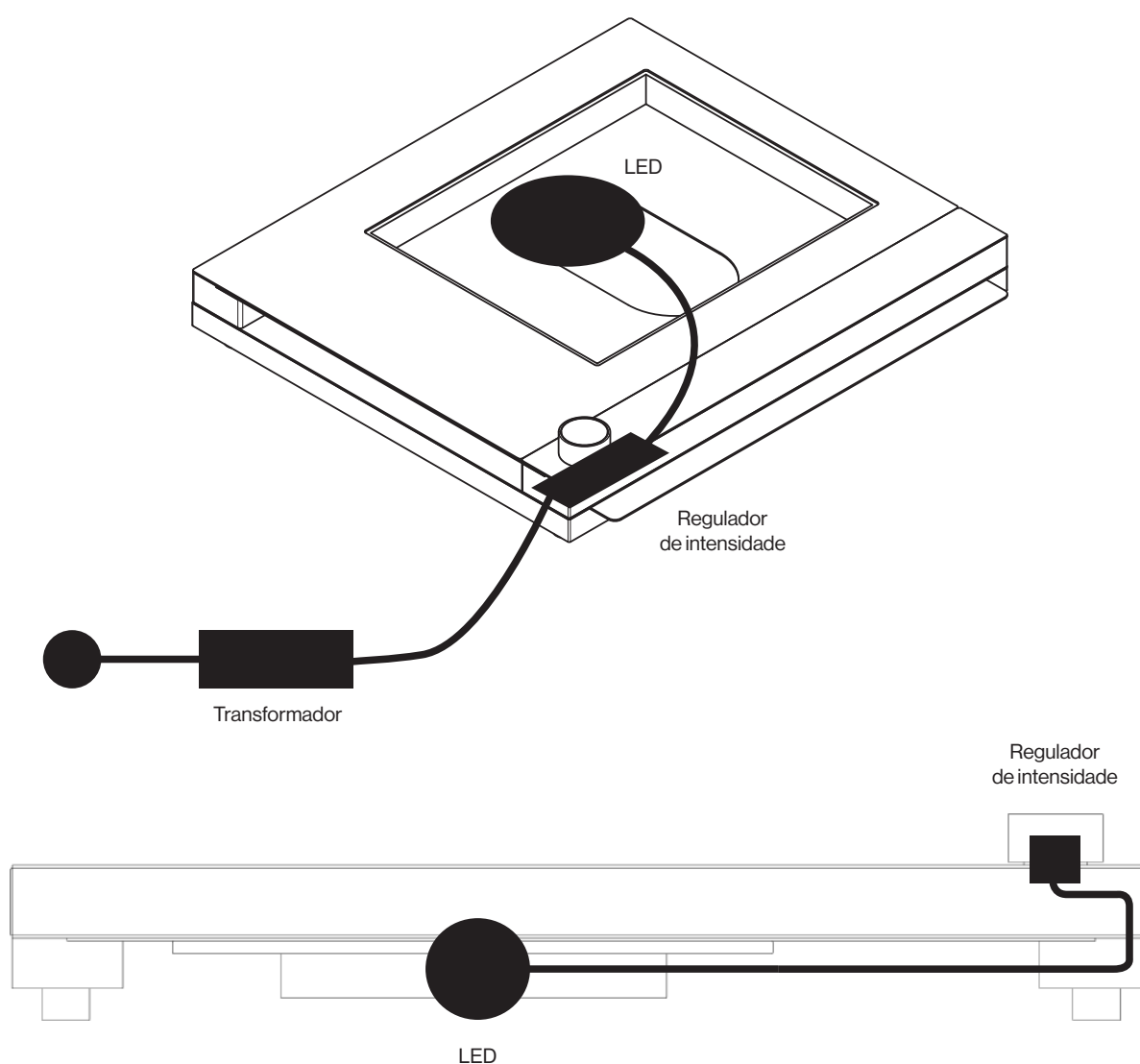


Figura 216 - Esquema da ligação elétrica. Imagem da autoria da investigadora.

A ligação elétrica foi projetada para ser discreta e de fácil manutenção, com o ponto de entrada do cabo situado de forma a minimizar a interferência visual na área de observação da platina. Internamente, o percurso do cabo foi organizado para reduzir cruzamentos e manter uma estética limpa, reforçando o caráter técnico-científico do objeto.

A idealização do botão para o regulador de intensidade luminosa foi um momento em que a dimensão funcional se entrelaçou com a preocupação estética e conceptual do projeto. Inspirado por essa lógica de design, o botão foi idealizado de modo a respeitar a estética da platina, privilegiando linhas contidas e uma presença mínima. O objetivo principal foi alcançar uma espécie de invisibilidade formal: um elemento técnico que cumprisse a sua função de regulação, mas sem competir visualmente com o protagonismo da peça, que reside nas amostras de vidro e no efeito da luz.

A sua integração buscou a harmonia entre funcionalidade e silêncio visual, fazendo com que o botão fosse entendido como uma extensão natural da estrutura. Desta forma, o regulador não apenas responde a uma necessidade prática, mas também reforça a coerência narrativa e estética da peça, alinhando-se ao princípio de que no design cada detalhe deve servir a experiência global, sem distrair ou fragmentar a atenção do observador.

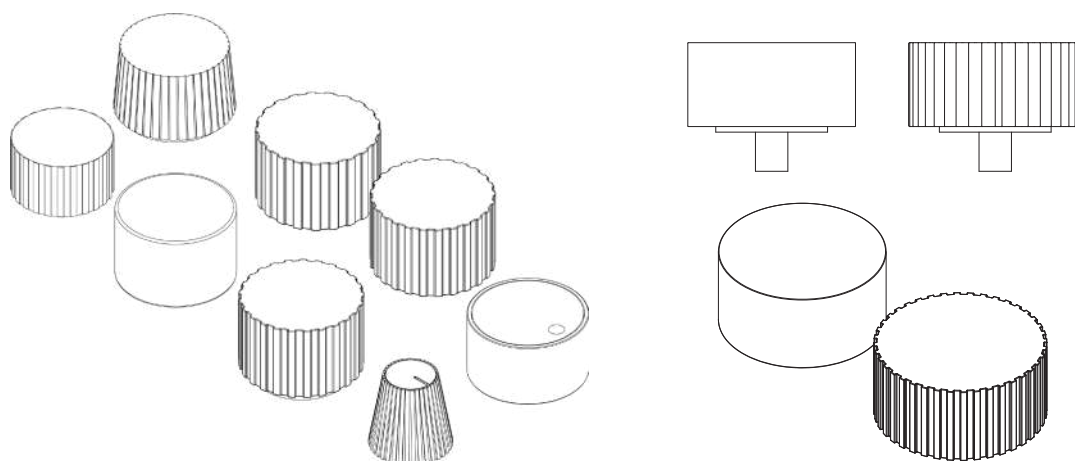


Figura 217 - Estudo formal de botões.
Imagem da autoria da investigadora.



Figura 218- Protótipos de botões desenvolvidos para o regulador de intensidade luminosa, produzidos através de impressão 3D. As peças exploram diferentes variações formais e ergonômicas, permitindo testar soluções discretas e coerentes com a estética da platina. Imagens da autoria da investigadora.

Na fase de desenvolvimento técnico da peça, surgiu a necessidade de conceber uma caixa para o transformador, cuja principal função seria garantir a sua proteção e organização, sem comprometer a estética do conjunto. A solução foi pensada com o objetivo de alcançar a invisibilidade formal, de modo a não interferir com a clareza visual e a leveza conceptual do objeto. Paralelamente, foi também idealizado um suporte amovível para o LED, de modo a permitir a sua manutenção, substituição ou reajuste sempre que necessário. A escolha por um suporte amovível assegura flexibilidade no uso e prolonga a durabilidade da peça, ao mesmo tempo que possibilita adaptações futuras em termos de intensidade ou tipo de iluminação.

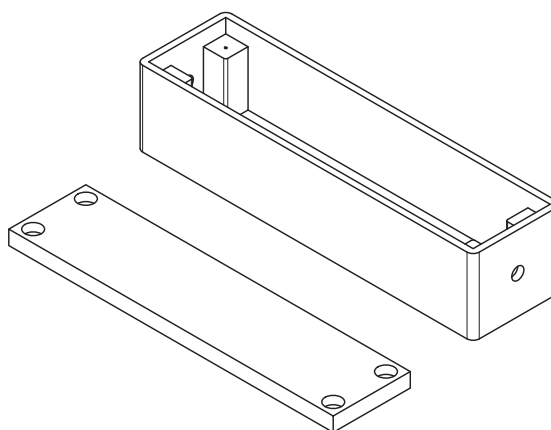


Figura 219 - Modelo da caixa do transformador, concebida para integrar-se de forma discreta na estrutura, garantindo a organização técnica dos componentes elétricos e reforçando o princípio de invisibilidade formal do projeto. Imagem da autoria da investigadora.

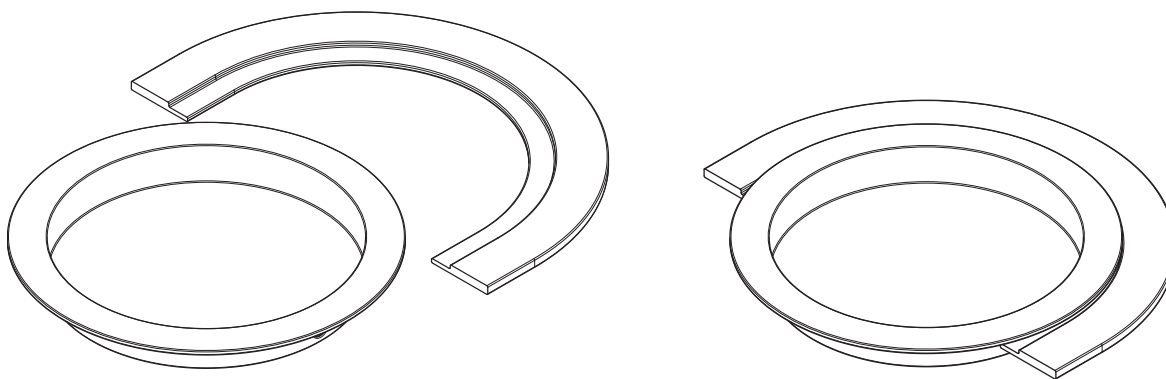


Figura 220 - Modelo do suporte amovível do LED, projetado para permitir a sua substituição e manutenção de forma prática. Imagem da autoria da investigadora.



Figura 221 - Protótipos dos componentes. Fotografias da autoria da investigadora.

A integração do sistema de iluminação na platina da mesa foi concebida de forma a aliar funcionalidade, durabilidade e coerência estética com o conceito global do projeto.

O processo iniciou-se pela escolha do tipo de cabo elétrico, elemento que, apesar de funcional, contribui para a linguagem visual e tátil do objeto. Optou-se por um cabo revestido em tecido, cuja textura oferece não apenas maior resistência ao desgaste mecânico, mas também uma qualidade visual. A cor selecionada, o preto, foi determinada pela necessidade de integração cromática com a estrutura da platina.

A passagem dos cabos foi resolvida através de componentes metálicos de acabamento, escolhidos tanto pela robustez como pela precisão do encaixe. Estes elementos asseguram a proteção mecânica do cabo nas zonas de fricção e movimento, evitando danos ao isolamento e garantindo a segurança elétrica. O diâmetro e o formato destas peças foram dimensionados para permitir a passagem do cabo sem compressão excessiva, preservando a integridade do revestimento têxtil.

Este cuidado no desenho e seleção dos componentes associados à iluminação não só assegura o desempenho funcional e a segurança do sistema, como reforça a coerência narrativa do projeto, onde cada detalhe contribui para a valorização da experiência de observação e para a identidade do objeto enquanto peça de design experimental.



Figura 222 - Registo fotográfico realizado na Casa Cofil, no Porto, durante a pesquisa de componentes elétricos. A imagem mostra a diversidade de fios disponíveis e outros elementos técnicos expostos em vitrines, que serviram de referência para a definição da cablagem e dos detalhes construtivos da platina. Imagens da autoria da investigadora.



Figura 223 - Cerra-cabos de borracha transparente selecionado para organizar e guiar os fios elétricos, assegurando um acabamento limpo e a integração discreta destes componentes na estrutura da platina. Escolheu-se cabos acetinados na cor preta para a composição elétrica da platina, combinando funcionalidade e estética através de uma textura suave e uma presença visual discreta, em consonância com o objetivo de invisibilidade formal do projeto. Imagens da autoria da investigadora.



Figura 224
Casa Cofil, Porto.
Fotografia da autoria da investigadora.

(4.7)

Lâminas

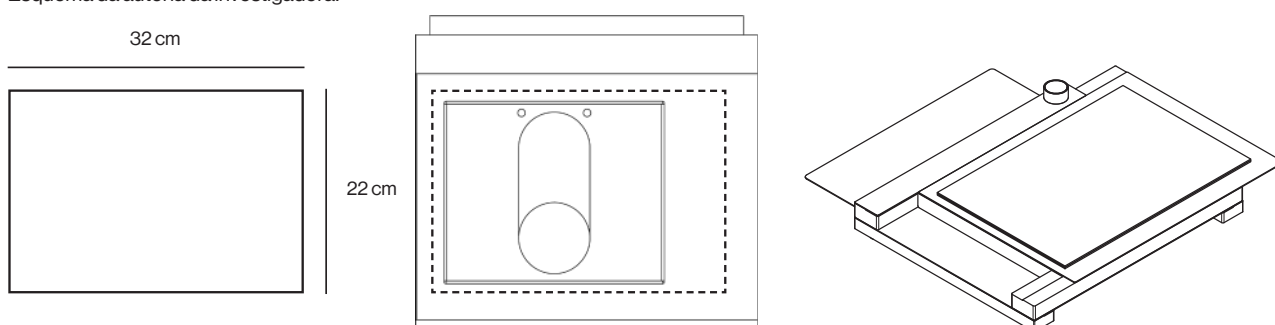
Tendo em conta a pesquisa de objetos relacionados com este tema e as suas semelhanças formais, as lâminas de microscópio e os vidros utilizados nas lanternas mágicas partilham uma natureza material e simbólica que os aproxima, apesar dos seus contextos de uso distintos. Ambos são suportes translúcidos de vidro que servem como superfícies de inscrição visual. No caso do microscópio, para observação de amostras biológicas à escala microscópica, no da lanterna mágica, para a projeção de imagens ampliadas à escala macroscópica. Em ambos os casos, trata-se de dispositivos mediadores entre o olho e o invisível: um torna visível o infinitamente pequeno, o outro, o imaginário ampliado. A luz desempenha um papel fundamental nos dois sistemas, atravessando o vidro para ativar a imagem ou revelar detalhes ocultos, promovendo uma experiência visual que exige contemplação e interpretação. Além disso, tanto as lâminas quanto os vidros da lanterna mágica envolvem um gesto de seleção, enquadramento e apresentação do mundo, seja ele real ou ficcional, operando como janelas fixas sobre fragmentos do visível. A proximidade entre estes dois objetos sugere um território comum entre ciência e imaginação, onde o vidro atua como membrana entre o observador e o desconhecido.

No seguimento da proposta, foram concebidos artefactos expositivos constituídos por duas placas de vidro plano transparente. As placas foram montadas em paralelo, criando um espaço interno destinado à inserção das amostras resultantes dos ensaios com materiais. Esta configuração permitiu acondicionar os fragmentos de forma simples, garantindo a sua preservação, facilidade de manuseamento e transporte. A escolha do vidro de 2 mm deveu-se à sua leveza, resistência suficiente para o uso expositivo e, sobretudo, à sua transparência, que possibilita a passagem e difusão da luz sem distorções. Entre as duas placas, as amostras mantiveram-se visíveis na totalidade, permitindo observar variações de textura, espessura e porosidade. Do ponto de vista técnico, estes artefactos funcionaram como ferramentas de análise qualitativa. A incidência da luz natural ou artificial através do conjunto realçou propriedades óticas fundamentais, como translucidez, opacidade e densidade dos materiais. Tal interação entre vidro, luz e matéria não só viabilizou uma observação direta e comparativa entre diferentes amostras, como também proporcionou registos fotográficos consistentes para documentação e avaliação.

Figura 225

Dimensões das placas de vidro.

Esquema da autoria da investigadora.



Durante o desenvolvimento destes artefactos, foi necessário definir o sistema de fixação das duas placas de vidro. Inicialmente, após uma pesquisa exploratória, considerou-se a utilização de uma moldura metálica, uma vez que esta garantiria estabilidade estrutural e proteção do conjunto. No entanto, rapidamente se verificou que a solução conferia ao objeto um aspeto bruto e pesado, contrariando a intenção de leveza e transparência associada à observação dos materiais à luz.

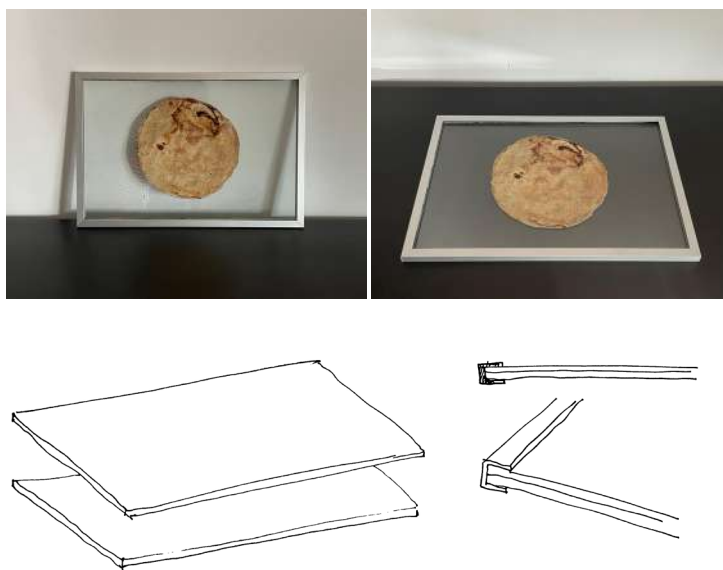


Figura 226
Prototipagem da moldura.
Fotografia da autoria da investigadora.

Com o objetivo de encontrar alternativas mais discretas e adequadas, foram realizadas visitas a lojas de ferragens, onde foi possível analisar e recolher diferentes tipologias de peças de fixação. Esta fase revelou-se fundamental para explorar soluções práticas e esteticamente coerentes com a natureza experimental do projeto.



Figura 227
Peças de fixação.
Fotografia da autoria da investigadora.

A opção final recaiu sobre o uso de cavilhas em formato “R”, que se mostraram particularmente eficazes. Estas peças permitiram uma fixação firme e estável das duas placas de vidro, ao mesmo tempo que introduziram um caráter mínimo e transparente ao artefacto, sem interferir na leitura dos materiais dispostos no seu interior. Desta forma, a solução conciliou funcionalidade, leveza e clareza visual, reforçando o papel do objeto enquanto suporte expositivo e potenciador da interação entre material e luz.

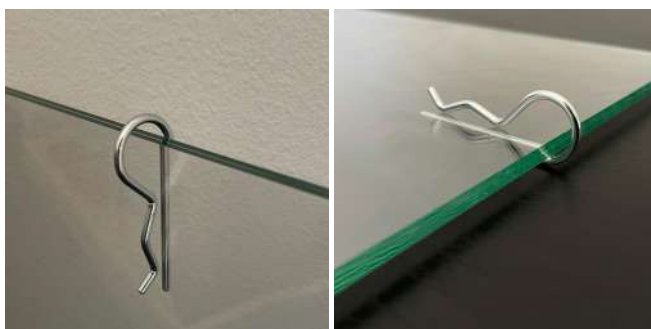


Figura 228
Exemplificação da fixação dos vidros com as cavilhas.
Fotografia da autoria da investigadora.

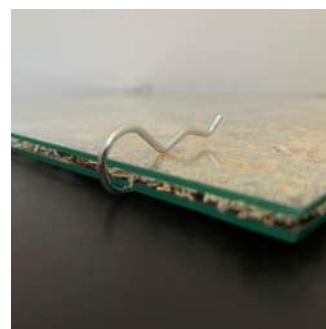


Figura 229
Exemplificação da fixação dos vidros com as cavilhas. Fotografia da autoria da investigadora.

O processo de montagem dos artefactos exigiu um método cuidadoso, uma vez que se tratavam de elementos frágeis. A primeira etapa consistiu na limpeza dos vidros e na disposição dos materiais entre as duas placas de vidro, de modo a garantir que estes ficassem corretamente posicionados. Após a colocação dos materiais, procedeu-se à fixação com cavilhas. A aplicação destas peças exigiu pressão controlada, de forma a segurar os vidros com firmeza sem exercer tensão excessiva que pudesse provocar fissuras ou quebras. As cavilhas foram inseridas de forma equidistante, garantindo estabilidade estrutural e, ao mesmo tempo, mantendo a leveza e transparência desejadas para o objeto. A escolha dos materiais para integrar os objetos de vidro que compõem o projeto foi orientada pelo percurso do plano experimental. Ao longo das diferentes fases, foram produzidas e testadas diversas amostras, resultando em variações significativas de textura, densidade e grau de colonização pelo micélio.

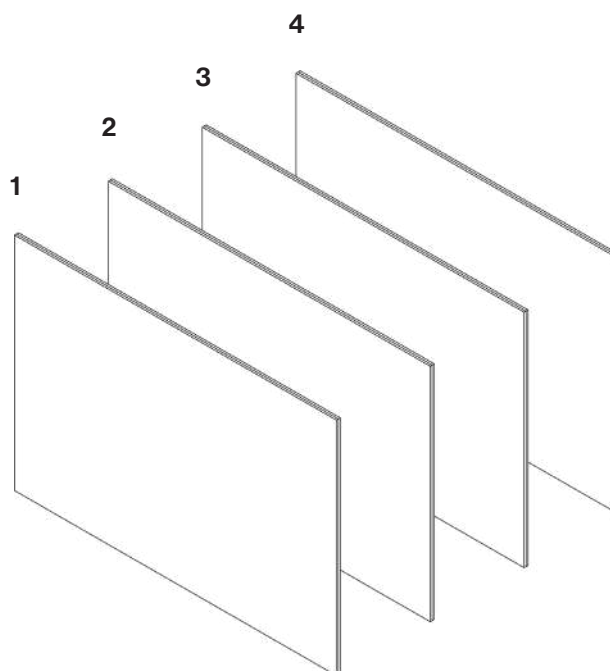


Figura 230
Escolha dos materiais.
Fotografia da autoria da investigadora.

Entre as várias fases, a fase 4 destacou-se como um ponto de maturação, de onde foram escolhidas duas amostras de papel, pela sua relevância em demonstrar de forma clara a diferença no crescimento do micélio: uma mais homogênea e consistente, outra marcada por irregularidades. Ainda desta fase, selecionou-se a amostra em linho, considerada a mais satisfatória em termos de performance, pela sua robustez e pela forma como se integrou no processo biológico.

Da fase 3, foi escolhida uma amostra composta por resíduos têxteis, representativa da dimensão experimental do projeto e da exploração de matérias residuais como recurso criativo e sustentável.

Por fim, incluiu-se um material de origem industrial, cuja principal qualidade se revelou na sua translucidez quando exposto à luz, reforçando a componente expositiva e sensorial do projeto.

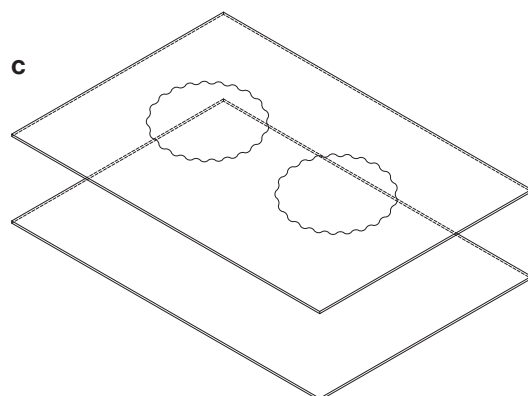
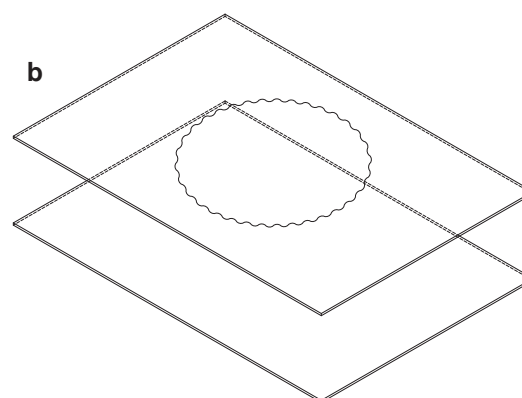
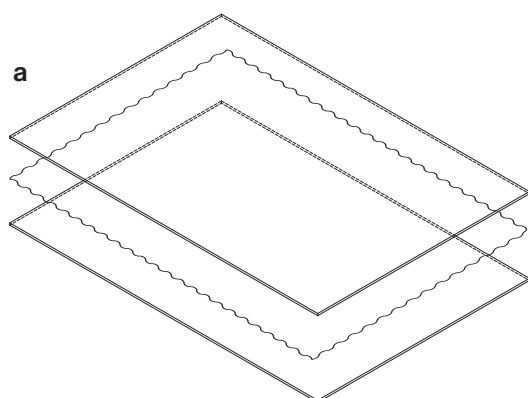


1 - Material industrial - Couro de micélio

2 - Fase 4 - Linho

3 - Fase 4 - Papel

4 - Fase 3 - Resíduos têxteis



A disposição das amostras nos objetos de vidro foi pensada de forma a articular coerência conceptual com valorização estética.

As amostras da fase 4 foram moldadas em forma circular, evocando diretamente as lâminas de microscópio e reforçando a inspiração científica que atravessa todo o projeto. Já as restantes amostras, provenientes da fase 3, com resíduos têxteis, e a amostra de linho e de origem industrial, foram concebidas com a dimensão total do vidro, permitindo explorar ao máximo a materialidade e a expressividade visual que emergem da sua superfície.

Figura 231

Constituição dos artefactos de vidro.
Imagens da autoria da investigadora.

a - Amostra de resíduos têxteis e material industrial.

b - Amostra de linho (fase 4).

c - Amostra de papel (fase 4).



(Figura 232 - Peças de vidro. Fotografia da autoria da investigadora.)



(Figura 233 - Detalhe das amostras de papel expostas à luz. Fotografia da autoria da investigadora.)



(Figura 234 - Amostra exposta à luz. Fotografia da autoria da investigadora.)

(4.8)

Suporte

A criação das lâminas implicou a necessidade de um suporte específico que garantisse a sua estabilidade e contribuísse para a sua leitura estética e conceptual. Neste sentido, foi conduzida uma pesquisa de referências formais e funcionais que contemplou não apenas os suportes para lâminas de microscópio usados em contexto laboratorial, mas também dispositivos históricos de apresentação de imagem, como os suportes para slides de lanterna mágica, e ainda estruturas mais técnicas, como as armações de lentes de oftalmologia.

Estas inspirações foram fundamentais para criar um suporte que não se limitasse à função estrutural, mas que estabelecesse relações simbólicas e visuais entre diferentes campos, o rigor científico do laboratório, o caráter narrativo e visual da projeção de imagens e a precisão técnica da ótica. A adaptação destes elementos para uma escala aumentada resultou numa peça expositiva que articula função e conceito, sustentando as lâminas de forma segura e coerente com a narrativa do projeto, enquanto evoca múltiplas camadas de significado ligadas à observação, à ampliação e à interpretação visual.



Figura 235

Suporte para lâminas de microscópio.

Fonte: <https://gemeoluis.com/especiarias-chas-e-amendoas/>

O projeto “Especiarias, Chás e Amêndoas”, dos designers portugueses Luis e Rui Mendonça, parte de uma apropriação do universo laboratorial para reinterpretar o ato quotidiano de consumir e experimentar sabores. Ao conceber um suporte inspirado nos porta-tubos de ensaio utilizados em laboratório, o designer cria uma ponte entre ciência e gastronomia, transformando a degustação em experiência estética e sensorial. Os tubos de ensaio, normalmente associados à experimentação científica, são aqui ressignificados como recipientes para armazenar e expor chás e especiarias. Essa escolha sublinha a ideia de que cada infusão ou tempero é também um processo experimental, em que pequenas combinações originam novos resultados de sabor, aroma e textura. A peça, ao mesmo tempo simples e poética, propõe uma narrativa que valoriza o ritual e a curiosidade do utilizador, convidando-o a observar, escolher e manipular os ingredientes como se estivesse num laboratório do gosto. Assim, o projeto ultrapassa a mera função utilitária e assume-se como dispositivo conceptual, onde design, ciência e cultura alimentar se encontram.

A solução surgiu a partir da inspiração nos suportes utilizados na fase de análise, que se caracterizavam pela simplicidade e pela capacidade de valorizar o material em estudo. Assim, o suporte foi pensado como um elemento discreto, que não competisse visualmente com os artefactos em vidro, mas antes os enquadrasse de forma subtil. Procurou-se transmitir elegância e leveza, funcionando como uma extensão natural da narrativa do projeto. A estrutura garante estabilidade e segurança às placas de vidro, ao mesmo tempo que mantém o foco na relação entre luz, transparência e materialidade presente nos objetos.

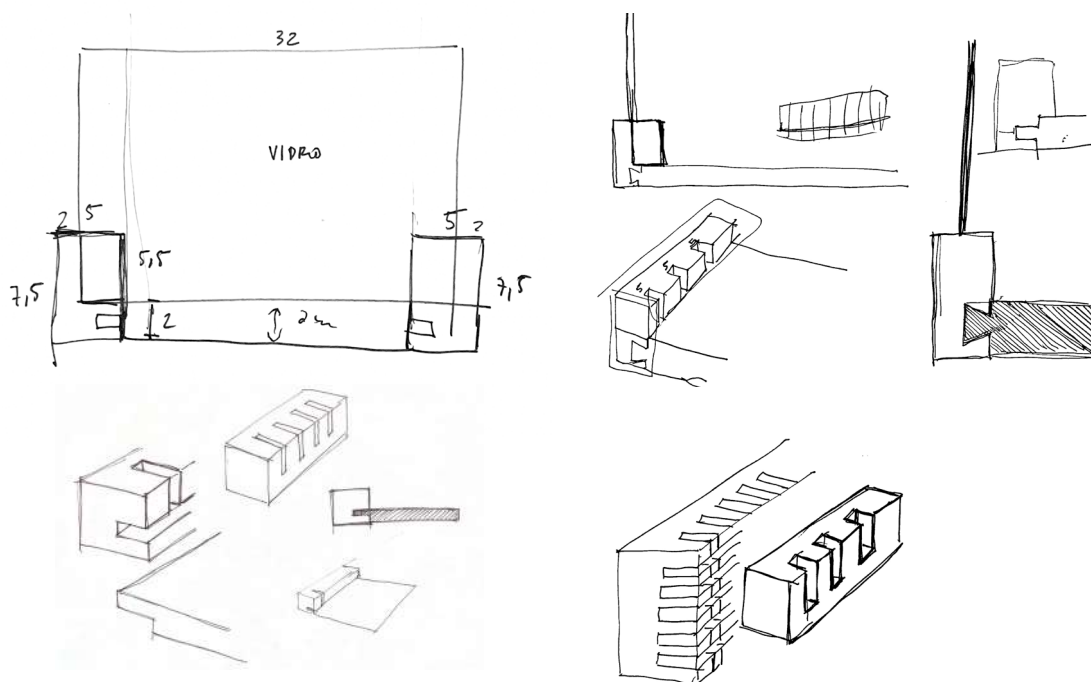


Figura 236

Estudo formal do suporte.

Imagens da autoria da investigadora.



Figura 237

Versões iniciais do suporte.

Imagens da autoria da investigadora.

Para testar a escala, a proporção e a estabilidade do suporte, foi realizada uma maquetização em MDF. Este processo permitiu simular a volumetria e as principais linhas estruturais antes da construção final do suporte. As peças foram desenhadas e cortadas de forma a permitir um encaixe simples, sem necessidade de manipulações posteriores. A maquete possibilitou observar a interação dos artefactos em vidro com a estrutura, avaliando tanto a resistência ao peso como a inclinação e a estabilidade geral. Além disso, o protótipo em MDF ajudou a testar diferentes soluções de fixação e a perceber como o suporte poderia valorizar a transparência e leveza dos objetos, sem comprometer a segurança. Este ensaio físico constituiu uma etapa essencial no desenvolvimento do projeto, funcionando como um instrumento de experimentação e validação, antes da definição do suporte final.

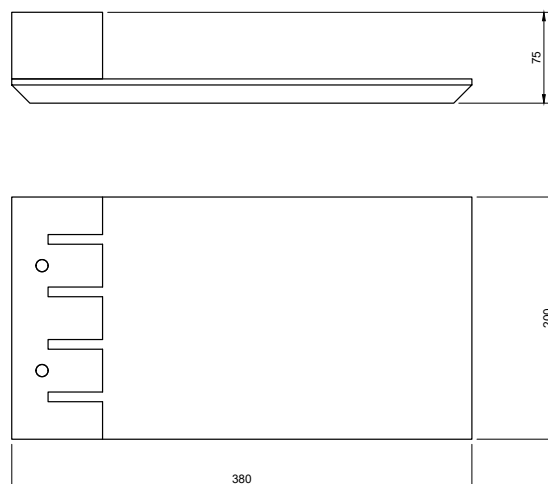
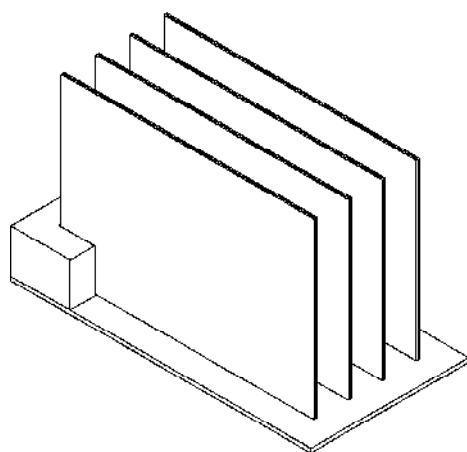


Figura 238
Espaço de trabalho na carpintaria.
Fotografias da autoria da investigadora.



Figura 239
Primeira maquete.
Fotografias da autoria da investigadora.

Figura 240
Construção do protótipo da última versão.
Fotografia da autoria da investigadora.



A escolha da madeira de mogno para o suporte dos vidros foi orientada por critérios simultaneamente estéticos, funcionais e simbólicos. Do ponto de vista técnico, o mogno apresenta elevada estabilidade dimensional e resistência, qualidades que garantem a durabilidade e a segurança estrutural necessárias.

No plano estético, o mogno destaca-se pelo tom quente e pela textura homogênea, conferindo ao objeto uma presença sofisticada e atemporal que contrasta com a leveza translúcida do vidro. Esta combinação entre a opacidade nobre da madeira e a transparência dos vidros reforça a dualidade central do projeto: matéria densa versus matéria etérea, oculto versus revelado. Para além disso, a escolha do mogno, uma madeira tradicionalmente associada a mobiliário e objetos de valor, introduz uma camada simbólica de cuidado e preciosidade, que dignifica as amostras expostas e reforça o caráter de peça de estudo e contemplação.

Figura 241
Axonometria e medidas gerais do suporte.
Imagem da autoria da investigadora.



Figura 242
Render da última versão do suporte.
Imagem da autoria da investigadora.

Figura 243
Investigadora em ambiente de oficina, durante o processo de aperfeiçoamento do suporte de madeira. Fotografia da autoria da investigadora.





(Figura 244 - Vista lateral do suporte. Fotografia da autoria da investigadora.)



(Figura 245 - Vista frontal do suporte. Fotografia da autoria da investigadora.)



(Figura 246 - Vista superior da platina. Fotografia da autoria da investigadora.)



(Figura 247 - Detalhe da platina. Fotografia da autoria da investigadora.)



(Figura 248 - Iluminação da platina. Fotografia da autoria da investigadora.)



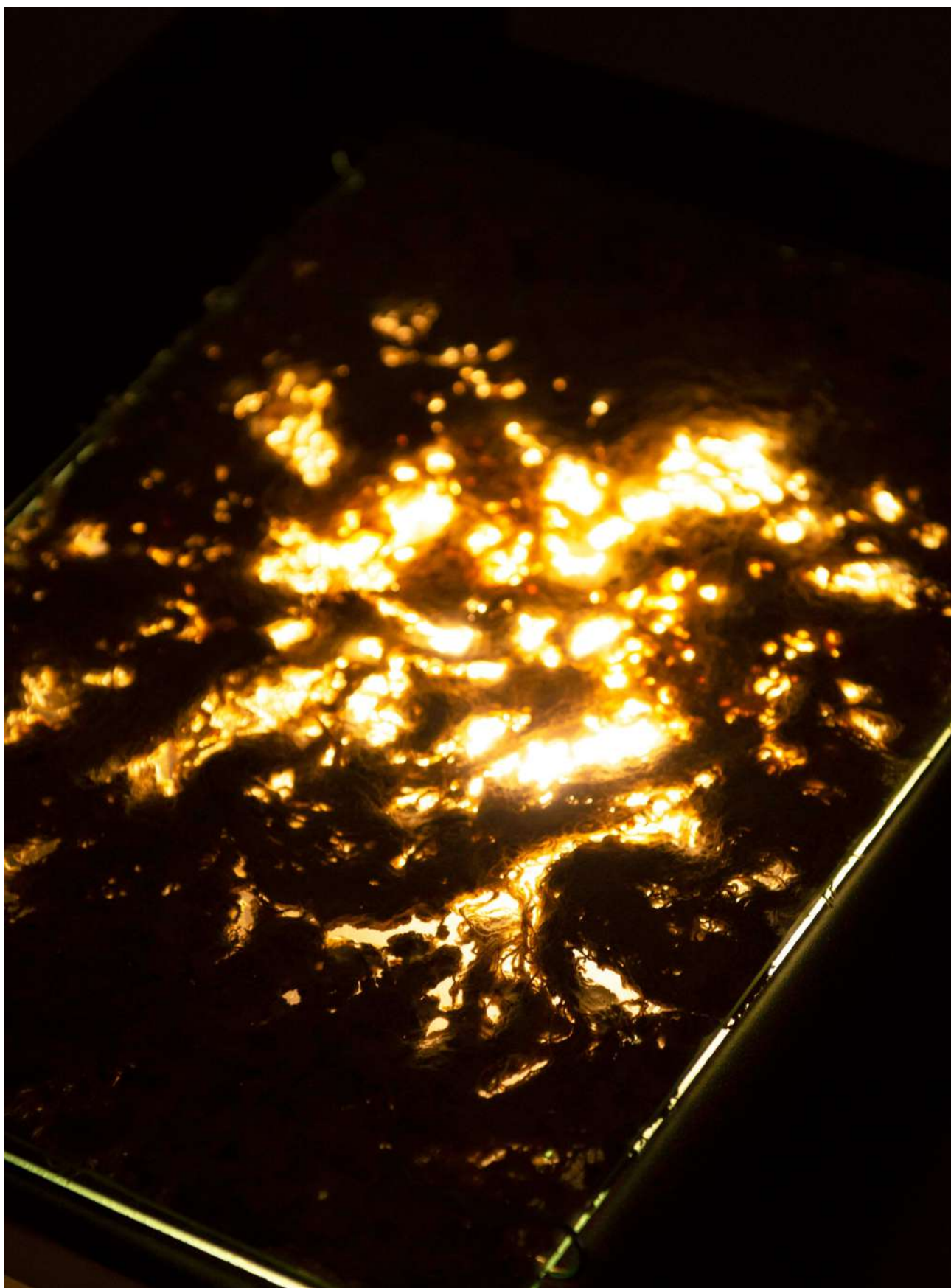
(Figura 249 - Impacto da luz sobre os materiais. Fotografia da autoria da investigadora.)



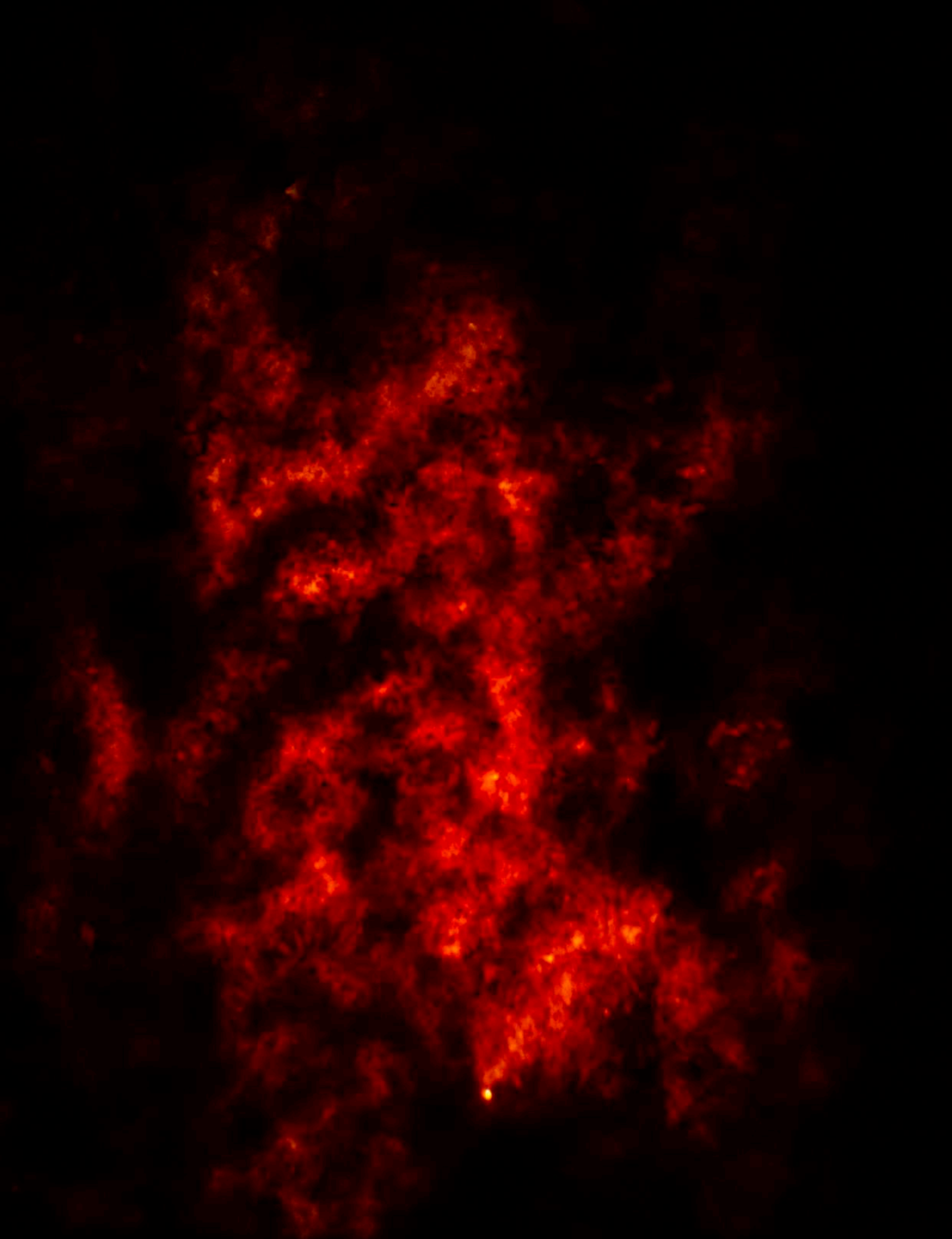
(Figura 250 - Detalhe de um material exposto à luz. Fotografia da autoria da investigadora.)



(Figura 251 - Vista superior dos materiais sobrepostos na platina. Fotografia da autoria da investigadora.)



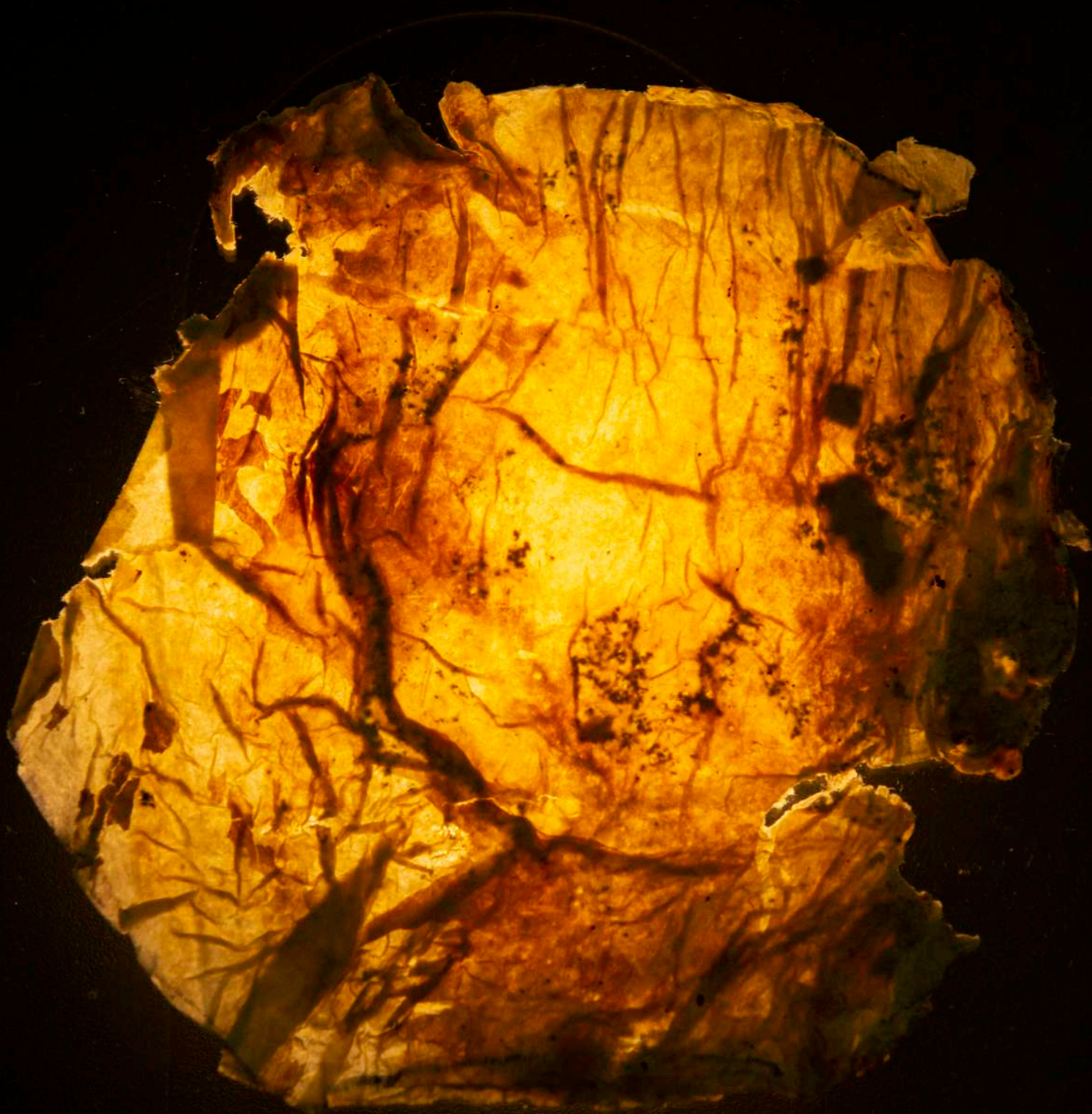
(Figura 252 - Detalhe me alto contraste de um material exposto à luz. Fotografia da autoria da investigadora.)



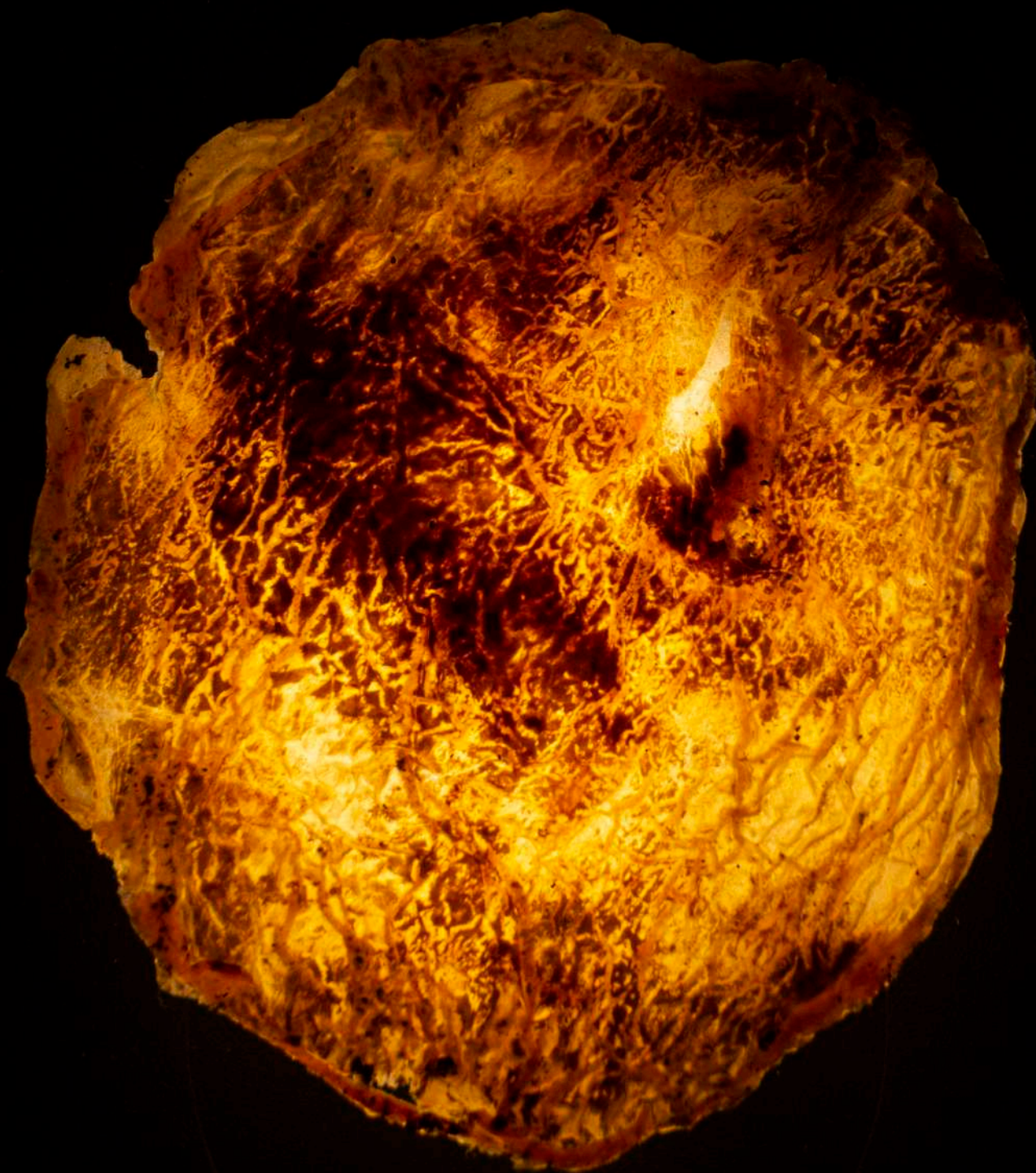
(Figura 253 - Material industrial exposto à luz . Fotografia da autoria da investigadora.)



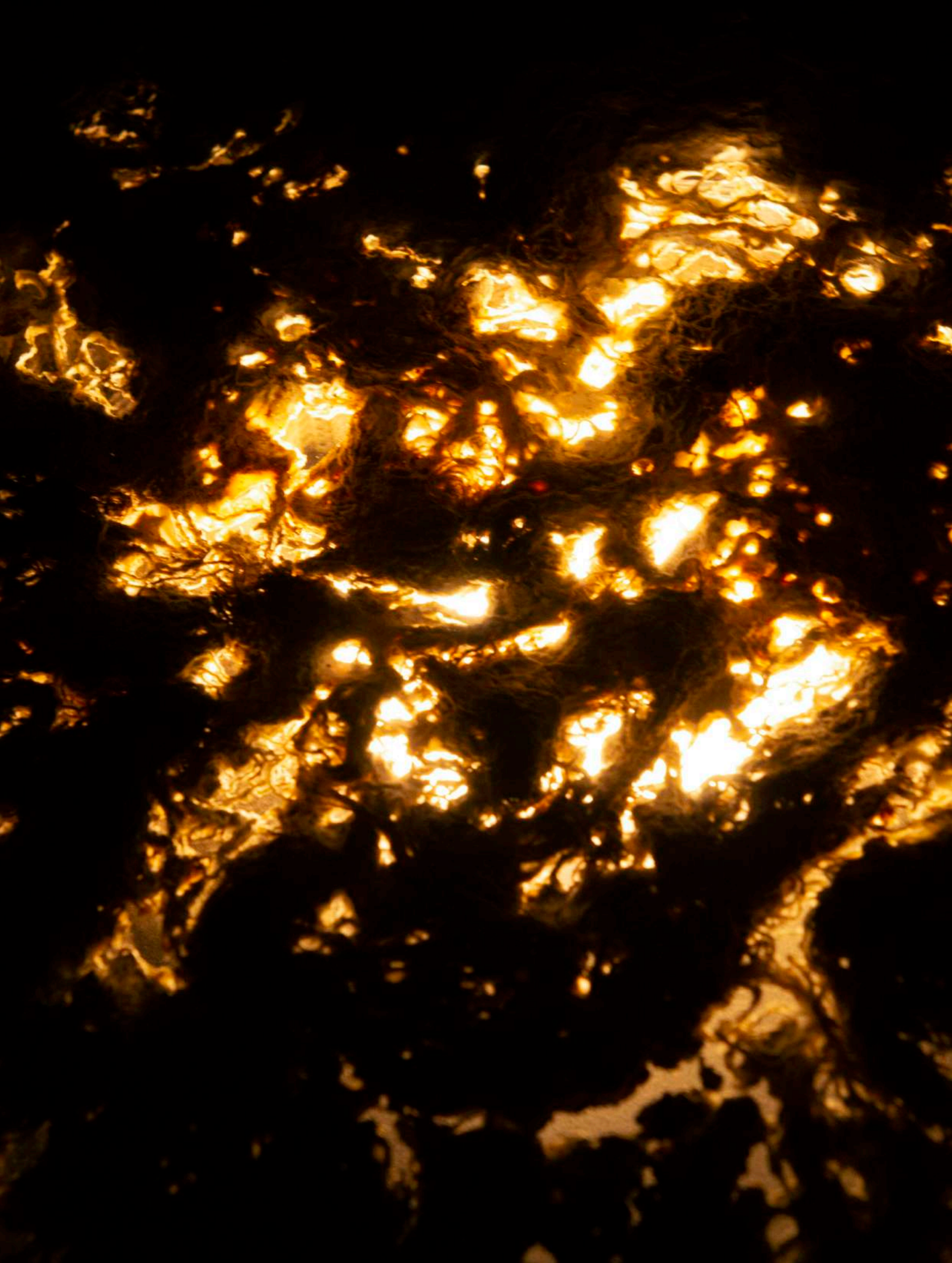
(Figura 254 - Material Linho exposto à luz. Fotografia da autoria da investigadora.)



(Figura 255 - Material Papel 1 exposto à luz. Fotografia da autoria da investigadora.)



(Figura 256 - Material Papel 2 exposto à luz. Fotografia da autoria da investigadora.)

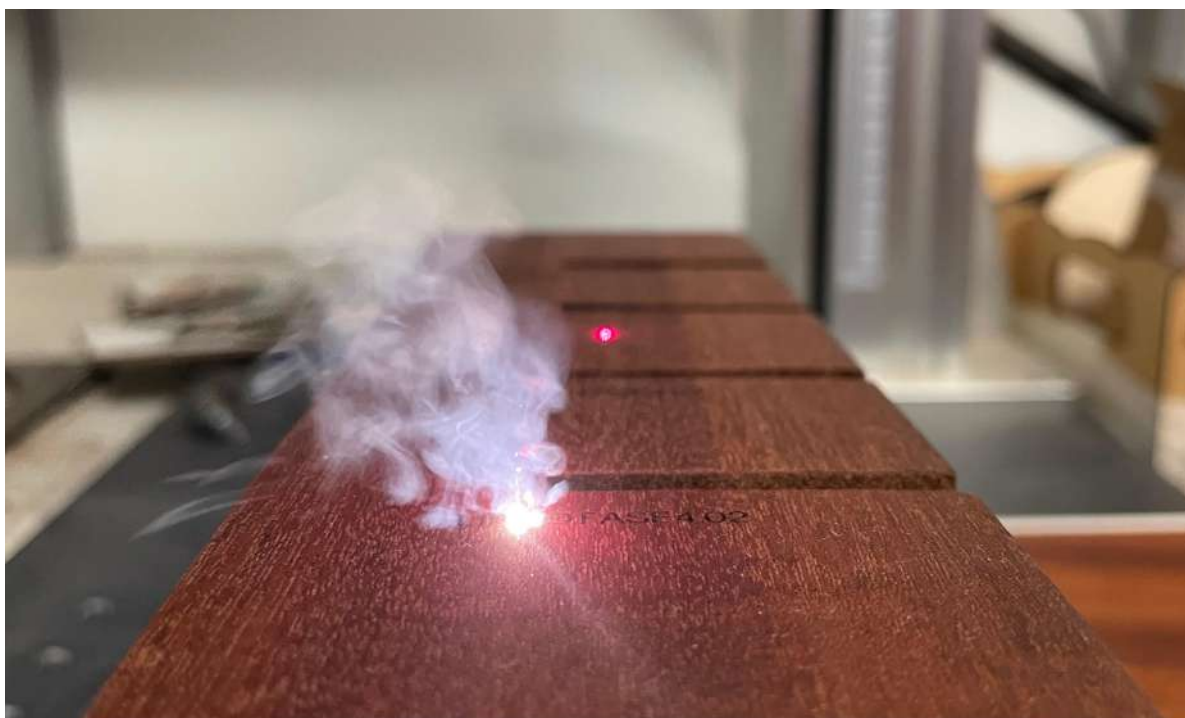


(Figura 257 - Material Fase 3 exposto à luz. Fotografia da autoria da investigadora.)

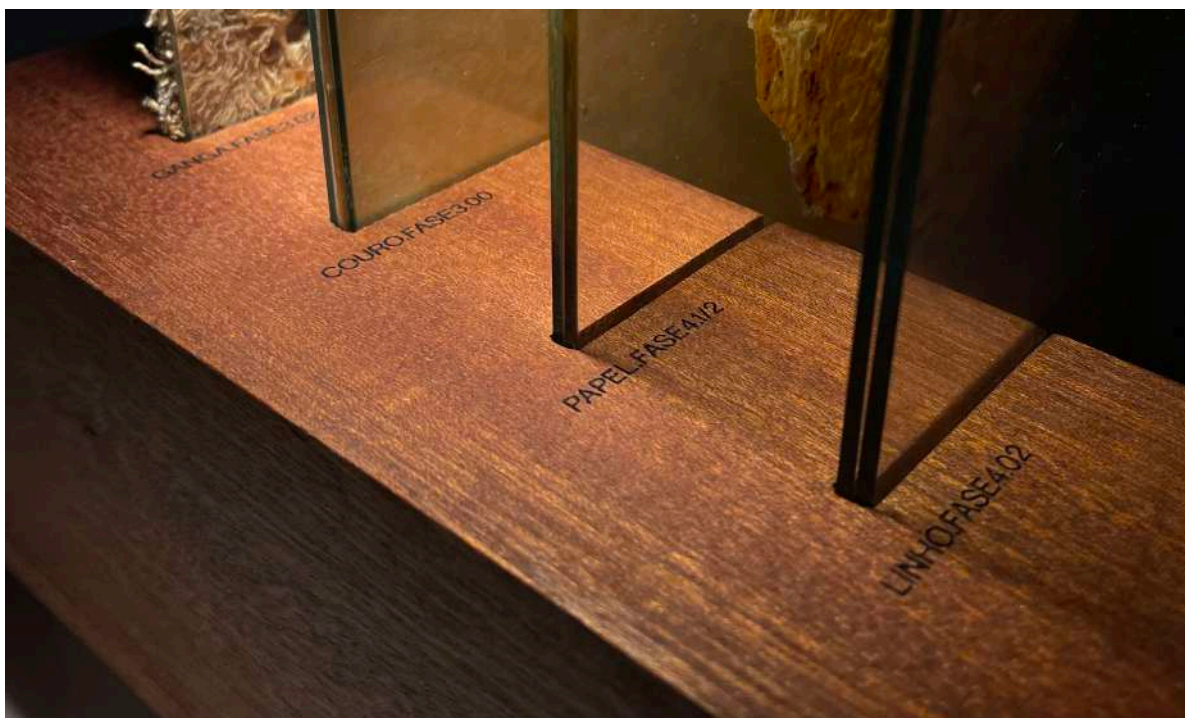


(Figura 258 - Material Papel 2 sobreposto na platina. Fotografia da autoria da investigadora.)

Suporte - Gravações



(Figura 259 - Legendas gravadas diretamente no suporte através de tecnologia laser.
Fotografia da autoria da investigadora.)



(Figura 260 - Pormenor das legendas, gravadas de acordo com a orientação dos objetos expostos.
Fotografia da autoria da investigadora.)



(Figura 261 - Pormenor das legendas. Fotografia da autoria da investigadora.)



(capítulo cinco_*conclusão*)

(5.1)

Conclusão

O presente projeto de tese teve como propósito central explorar o micélio enquanto material emergente no campo do design experimental, revelando não apenas as suas propriedades físicas e estéticas, mas sobretudo o seu potencial enquanto catalisador de novos modos de pensar e praticar o design. Ao longo do percurso investigativo, o laboratório assumiu-se como espaço de experimentação e aprendizagem, onde sucessos e falhas constituíram matéria de reflexão e prática, dando corpo a uma investigação que valoriza tanto o resultado quanto o processo. A pesquisa permitiu observar como o micélio, com a sua natureza orgânica, imprevisível e mutável, convoca uma relação distinta entre designer e material. Longe de ser apenas uma alternativa sustentável à matéria convencional, o micélio exige uma postura de diálogo, escuta e negociação. Essa relação revelou-se fértil para questionar os limites da produção, a noção de controlo no design e a forma como os processos naturais podem enriquecer a prática projetual. Assim, a investigação inscreve-se não só no debate da sustentabilidade, mas também no de uma ecologia mais ampla, onde o design se aproxima da biologia para construir futuros mais integrados e conscientes.

Um dos contributos centrais deste trabalho foi a valorização pedagógica do percurso experimental. Ao reconhecer que cada tentativa, mesmo as que não resultaram em materiais funcionais, possui valor didático e estético, a investigação questiona a lógica produtivista que tende a privilegiar apenas os resultados finais. A integração desses fragmentos imperfeitos na narrativa do projeto não só documenta o processo, mas também celebra o erro como agente de aprendizagem e inovação. Este entendimento amplia o papel do design enquanto prática reflexiva e educativa, abrindo espaço para uma pedagogia do processo. A culminância deste percurso materializou-se na criação da mesa de luz, concebida como dispositivo expositivo e investigativo. Inspirada nos instrumentos de observação laboratorial, a peça possibilita a análise das texturas, falhas e variações dos materiais cultivados, transformando a luz em mediadora de conhecimento. Mais do que um simples objeto de design, a mesa opera como plataforma pedagógica e sensorial, capaz de aproximar diferentes públicos da experiência material e revelar a poética do micélio em estados transitórios e imperfeitos.

Com este trabalho, procurou-se contribuir para a consolidação de uma abordagem do design que não se limita à criação de objetos finais, mas que valoriza o percurso experimental, a dimensão educativa e o diálogo com organismos vivos. Ao colocar o micélio no centro do processo, este projeto demonstrou que materiais semi-desenvolvidos podem ser agentes ativos de reflexão crítica e de transformação cultural.

(5.2)

Limitações

Apesar dos contributos alcançados, este projeto apresentou algumas limitações que importa reconhecer. Em primeiro lugar, a própria natureza do micélio como organismo vivo implicou um elevado grau de imprevisibilidade nos resultados. Variações nas condições ambientais, como temperatura, humidade ou contaminações externas, dificultaram a padronização do material, limitando a consistência entre as amostras produzidas. Outra limitação prendeu-se com o tempo disponível para o cultivo e desenvolvimento dos materiais. O processo de crescimento do micélio é relativamente lento e, por vezes, incompatível com o calendário académico, o que reduziu o número de ciclos experimentais possíveis e restringiu a amplitude das variações testadas.

(5.3)

Perspetivas Futuras

Num futuro próximo, o projeto poderá evoluir através de alterações no suporte em madeira, com o objetivo de lhe conferir maior equilíbrio formal e estrutural, assegurando assim uma base mais estável e harmoniosa para a apresentação das peças de vidro. Esta melhoria permitirá reforçar a coerência estética do conjunto, ao mesmo tempo que garante maior segurança na manipulação e exposição das amostras. Paralelamente, prevê-se a introdução de um sistema de identificação em código para cada amostra escolhida. Esta estratégia permitirá catalogar e organizar de forma mais rigorosa o percurso experimental, estabelecendo uma ligação direta entre cada amostra, as suas condições de produção e os resultados obtidos. O suporte em madeira assumirá, neste novo desenvolvimento, uma dupla função: não apenas estrutural e expositiva, mas também informativa, servindo como base para a aplicação dos códigos. Desta forma, o dispositivo reforçará a sua dimensão pedagógica e documental, transformando-se num repositório organizado da investigação, onde matéria, forma e informação se articulam numa narrativa unificada.

Em continuidade deste projeto, a investigação pretende expandir-se tanto ao nível conceptual como material, aprofundando a experimentação com o micélio enquanto matéria viva e versátil. Futuramente, será relevante explorar novas formas de crescimento, incluindo a produção de estruturas rígidas, capazes de ampliar as possibilidades funcionais e formais do material. Paralelamente, a experimentação com diferentes combinações de substratos abrirá caminho para compreender melhor a influência das matérias-primas no comportamento, textura e resistência das amostras, permitindo identificar soluções mais sustentáveis e eficientes. Esta expansão da investigação não visa apenas a obtenção de resultados mais consistentes em termos de desempenho técnico, mas também a valorização do processo exploratório como motor de inovação. Ao materializar novos componentes e testar diferentes cenários de produção, o projeto poderá contribuir para uma compreensão mais abrangente das potencialidades do micélio, reforçando o seu papel como agente de transformação no design experimental e sustentável.

(Bibliografia)

Alemu, D., Tafesse, M., & Mondal, A. (12 de março de 2022). Mycelium-Based Composite: The Future Sustainable Biomaterial. *Hindawi*.

Almpani Lekka, D., Pfeiffer, S., Schmidts, C., & Seo, S. (2021). A review on architecture with fungal biomaterials: the desired and the feasible. *Fungal Biology and Biotechnology*.

Amobonye, A., Lalung, J., Wasthi K., M., & Pallai, S. (23 de setembro de 2023). Fungal mycelium as leather alternative: A sustainable biogenic material for the fashion industry. *Sustainable Materials and Technologies*.

António, H. S. (s.d.). *Vitrina 1, Imagiologia de Diagnóstico e Intervenção*. Obtido de Hospital Santo António: <https://hospitalsantoantonio360.pt/>

António Ouro e Natureza. (2018, agosto 10). *Como fazer micélio/spawn, semente de cogumelos alimentícios todos os passos* [Vídeo]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=EZVonmcynzw>

Artis-Micropia. (s.d.). *What is Artis-Micropia?* Obtido de Artis-Micropia: <https://www.artis.nl/en/artis-micropia/what-is-artis-micropia>

Azzarello, N. (30 de janeiro de 2014). *KNOL casts luminous insect city in illusions of a small world*. Obtido de DesignBoom: <https://www.designboom.com/art/knol-casts-luminous-insect-city-in-illusions-of-a-small-world-01-30-2014/>

Baldrian, P., & Valášková, V. (27 de março de 2008). Degradation of cellulose by basidiomycetous fungi. *FEMS Microbiol*.

Barros, A. (s.d.). *Alumínios Barros*. Obtido de Alumínios Barros: <https://www.aluminiosbarros.pt/>

Bio, G. (s.d.). *Sustainable Packaging: Redefining the Future with Mushroom® Packaging*. Obtido de GrownBio: <https://www.grown.bio/sustainable-packaging/>

Biolab. (s.d.). *Biolab*. Obtido de Sobre o Biolab: <https://www.up.pt/biolab/sobre-o-biolab/>

Camere, S., & Karana, E. (2017). Growing materials for product design.

Chapman, J. (2015). *Emotionally Durable Design*. TAYLOR & FRANCIS LTD.

Clemente, V., Reis, M., Ezingmüller, C., Tschimmel, K., & Pombo, F. (dezembro de 2023). Design Thinking Meets Academic Research: Science Communication for Design Communities Using Analogies and Illustrations. *ResearchGate*.

Concrete, C. (31 de outubro de 2018). *Producing mycelium insulation*. Obtido de Critical Concrete: <https://criticalconcrete.com/producing-mycelium-insulation/>

Concrete, C. (31 de janeiro de 2019). *Mycelium Cardboard Insulation*. Obtido de Critical Concrete: <https://criticalconcrete.com/mycelium-cardboard-insulation/>

Concrete, C. (s.d.). *About*. Obtido de Critical Concrete: <https://criticalconcrete.com/about/>

Corpuscoli, O. (s.d.). *About*. Obtido de Oficina Corpuscoli: <https://www.corpuscoli.com/about/>

Cox, S. (s.d.). *MYCELIUM + TIMBER: Exploring biofacture in a new collection of grown furniture*. Obtido de Sebastian Cox: <https://www.sebastiancox.co.uk/news/mycelium-timber-exploring-biofacture-in-a-new-collection-of-grown-furniture>

Dawood, S. (19 de setembro de 2017). *Design Frontiers at Somerset house: our top picks*. Obtido de Design Week: <https://www.designweek.co.uk/issues/18-24-september-2017/design-frontiers-at-somerset-house-our-top-picks/>

Duo, K. (s.d.). *MYCELIUM MASK & MATERIAL STUDY*. Obtido de Kuo Duo: <https://kuo-duo.com/MYCELIUM-MASK-MATERIAL>

Ecovative. (s.d.). *Mycelium*. Obtido de Ecovative: <https://shop.ecovative.com/pages/mycelium-101>

Edvard, J. (s.d.). *Myx Stool 2015*. Obtido de Jonas Edvard: <https://www.jonasedvard.com/myx/project-two-dzr7a>

Edvard, J. (s.d.). *MYX tile 2017*. Obtido de Jonas Edvard: <https://www.jonasedvard.com/myx/myxtile>

Fearnley-Whittingstall, A. (18 de dezembro de 2024). *The History and Future of Biodesign*. Obtido de The Oxford Scientist: <https://oxsci.org/the-history-and-future-of-biodesign/>

Flanagan, R. (s.d.). *Jonas Edvard's Myx Lamp, A Luminaire Grown From Mushrooms And Waste*. Obtido de Ignant: <https://www.ignant.com/2018/10/22/jonas-edwards-myx-lamp-a-luminaire-grown-from-mushrooms-and-waste/>

Foundation, S. I. (s.d.). *Mylea: Low Impact Leather*. Obtido de Solar Impulse Foundation: <https://solarimpulse.com/solutions-explorer/mylea-low-impact-leather>

Frearson, A. (17 de Maio de 2022). *Studio MOM creates eco-friendly cycle helmet from mycelium and hemp*. Obtido de Dezeen: <https://www.dezeen.com/2022/05/17/mycelium-cycle-helmet-myhelmet-studiomom/>

Hac, C. (28 de novembro de 2017). *The Artist in a Lab Coat: Mark Dion at the ICA/ Boston*. Obtido de Big Red and Shiny: <https://bigredandshiny.org/37471/the-artist-in-a-lab-coat-mark-dion-at-the-icaboston/>

I3s. (s.d.). *Júlio Borlido Santos*. Obtido de I3s: <https://www.i3s.up.pt/personal-info.php?id=1301&idg=83>

Ikiz, S. U. (23 de setembro de 2023). *3D printed objects from living organisms by The Blast Studio*. Obtido de Parametric architecture: <https://parametric-architecture.com/3d-printed-objects-from-living-organisms-by-the-blast-studio/>

Islam, M., Tudryn, G., Bucinell, R., Schadler, L., & Picu, R. (12 de Outubro de 2017). Morphology and mechanics of fungal mycelium. *Scientific Reports*.

Karana, E., Blauwhoff, D., Hultink, E., & Camere, S. (31 de agosto de 2018). When the Material Grows: A Case Study on Designing (with) Mycelium-based Materials. *International Journal of Design*.

Kefale, G. Y., Kebede, Z. T., & Birlie, A. A. (13 de novembro de 2023). A Systematic Review on Potential Bio Leather Substitute for. *Hindawi Journal of Engineering*.

Langella, C. (2021). Design and science: a pathway for material design. Em C. Langella, *Materials Experiences 2: Expanding Territories of Materials and Design* (pp. 259-277). Elsevier.

MacArthur, E. (s.d.). *Circular economy introduction*. Obtido de Ellen MacArthur Foundation: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>

Makers, T. a. (s.d.). *Jonas Edvard*. Obtido de Thinkers and Makers: <https://www.thinkersandmakers.fi/jonas-edvard>

Malabadi, R. B., Kolkar, K. P., Chalannavar, R. K., & Baijnath, a. H. (4 de janeiro de 2025). Plant-based leather production: An update. *World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences*.

Manzini, E., & Vezzoli, C. (2002). *Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis*.

Manzini, E., & Vezzoli, C. (2008). *Design for Environmental Sustainability*. Zanichelli editore SpA.

Marchmont House. (2023, abril 19). *Against The Grain - Documentary Film About Furniture Maker Sebastian Cox* [Video]. Youtube. https://www.youtube.com/watch?v=Rwk-toeRL_A

Melendez, F. (6 de novembro de 2023). *bioMATTERS crafts tiling system by 3D printing mycelium, algae, and organic waste*. Obtido de DesignBoom: <https://www.designboom.com/design/biomatters-sustainable-tiling-system-3d-printing-mycelium-algae-myco-alga-11-06-2023/>

Meyer, M., Dietrich, S., Schulz, H., & Mondschein, A. (13 de Fevereiro de 2021). Comparison of the Technical Performance of Leather, Artificial. *Coatings*.

Moss, R. (12 de novembro de 2020). *The Micrarium: a stunning display of thousands of microscopic animals*. Obtido de Museum Crush: <https://museumcrush.org/the-micrarium-a-stunning-display-of-thousands-of-microscopic-animals/>

Munari, B. (1981). *Das coisas nascem coisas*. Edições 70, Lda.

MycoWorks. (abril de 2022). *An Advanced Materials Platform*. Obtido de MycoWorks: <https://www.mycoworks.com/fine-mycelium-an-advanced-materials-platform>

Myers, W. (2018). *Bio Design*. thames & hudson ltd.

Pires, Bruno. (2017). *Desenvolvimento de Biomaterial para Isolamento Térmico a partir de Resíduo Agroflorestal e Micélio de Fungo* [Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra]. <https://estudogeral.uc.pt/handle/10316/82842>

Sander, V., Nolwenn, M., & Céline, M. (setembro de 2019). Exploring How Boundary Objects Can Support Multidisciplinary Design and Science Collaboration. *DESIGN REVOLUTIONS*.

Schön, D. (1983). *The Reflective Practitioner*. Basic Books, Inc.

Sheldrake, M. (2020). *Entangled Life, How Fungi Make Our Worlds, Change Our Minds and Shape Our Futures*. Penguin Random House.

Silva, L. F., Marques, A. T., & Alves, J. L. (2023). *Materiais de Construção*. Engebook.

Silva, S. (28 de abril de 2013). *Sonja Bäuml, growing a second skin*. Obtido de Nihilsentimentalgia: <https://nihilsentimentalgia.com/2013/04/28/%E2%94%90-sonja-bauml-growing-a-second-skin-%E2%94%94/>

Stahel, W. R. (2019). *Circular Economy*. Taylor & Francis Books.

Studio, B. (s.d.). *About Us*. Obtido de Blast Studio: <https://blast-studio.com/pages/contact>

Sudbery, P. E. (2008). Regulation of polarised growth in fungi. *The British Mycological Society*.

Thakur, G. M. (Março de 2022). SPAWN PREPARATION TECHNIQUES IN MUSHROOM CULTIVATION. *RESEARCH INSIGHTS OF LIFE SCIENCE STUDENTS*.

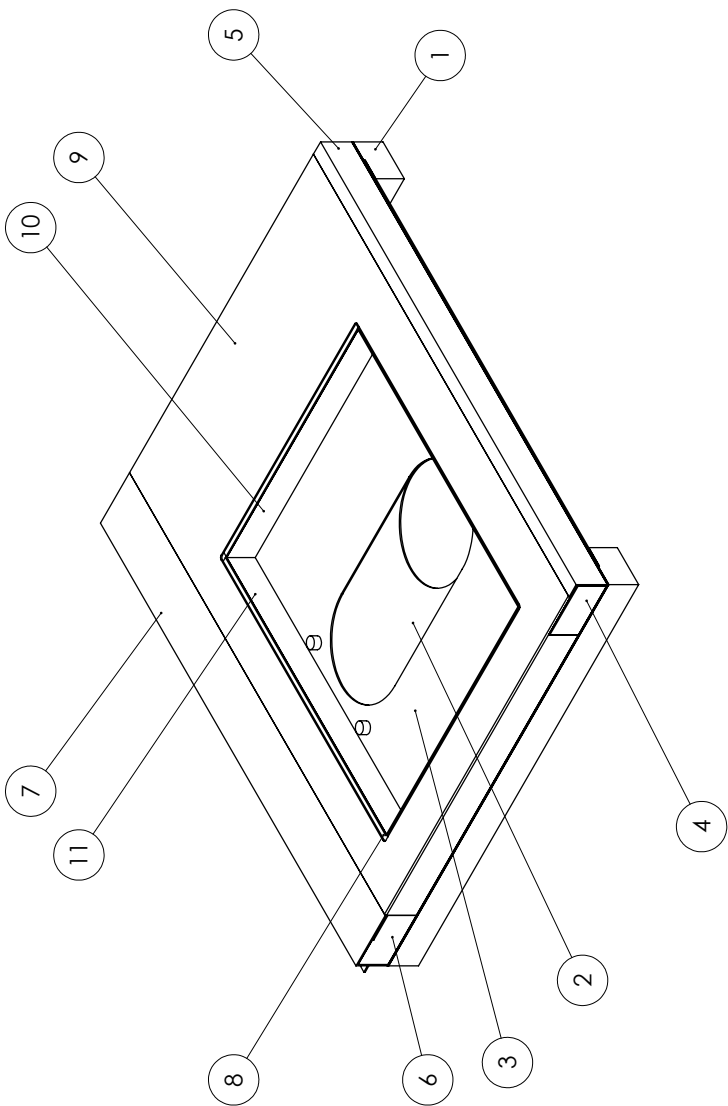
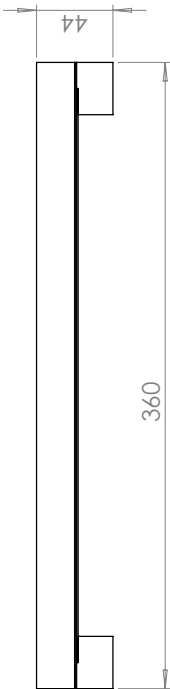
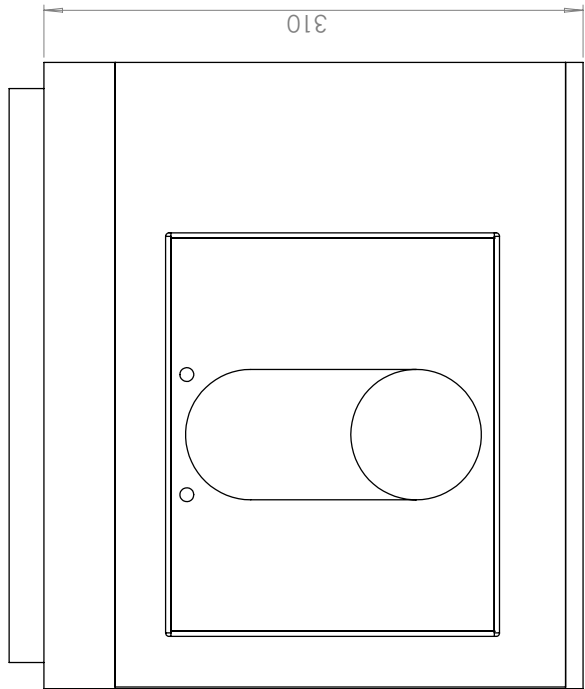
Tezycka, Malina. (2022). *MYCONNECTION the endeavour of bonds with nature mycelium material study* [Dissertação de Mestrado, Chalmers University of Technology]. <https://odr.chalmers.se/items/5b991ccd-3d34-4faf-ae12-256d-0912dda5>

Tonti, L. (2023). Plant or plastic? How to decode vegan leather alternatives. *The Guardian*.

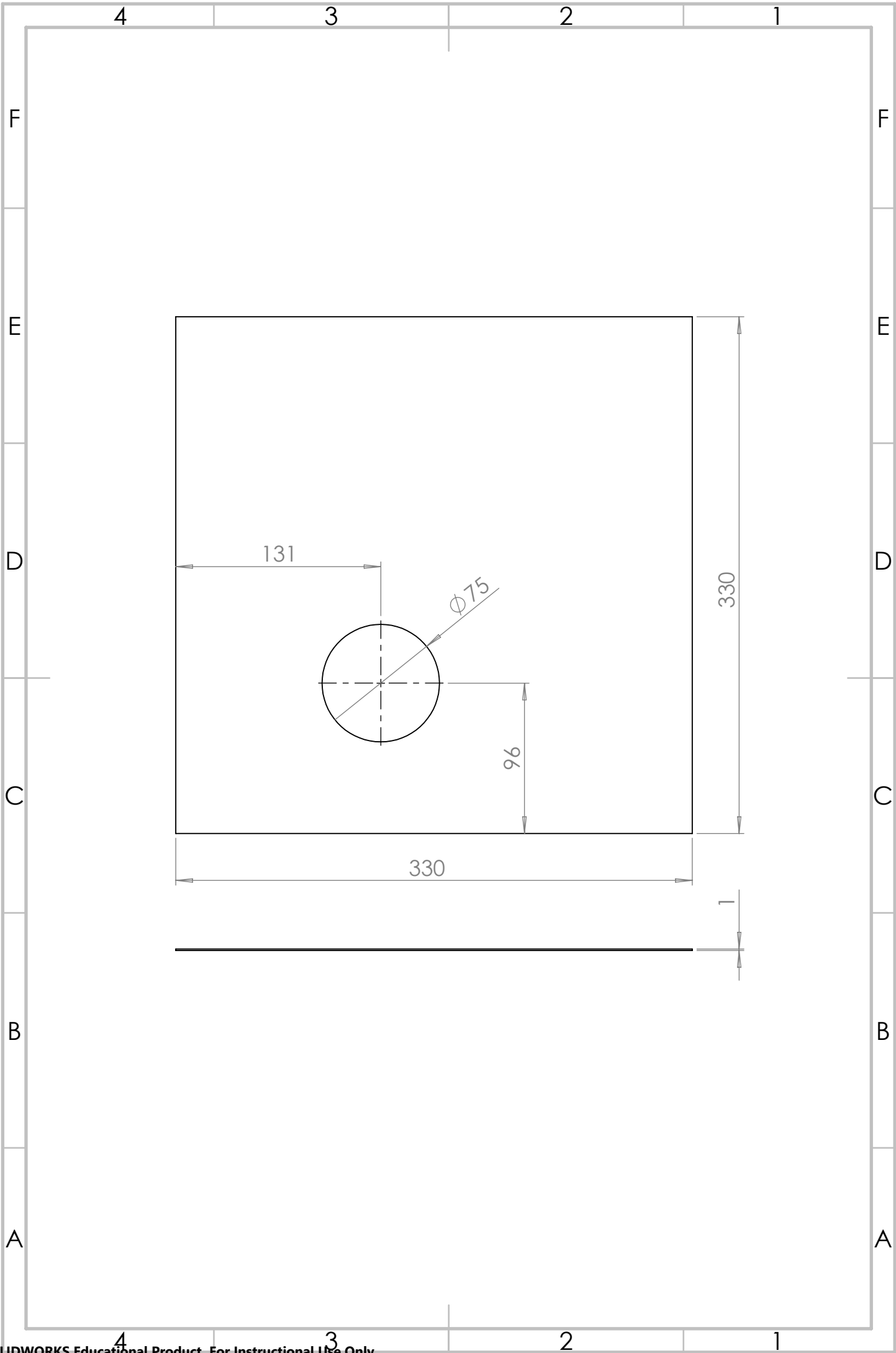
Williams, E., Cenian, K., Golsteijn, L., Morris, B., & L. Scullin, M. (20 de dezembro de 2022). Life cycle assessment of MycoWorks' Reishi™: the first low-carbon and biodegradable alternative leather. *Environmental Sciences Europe*.

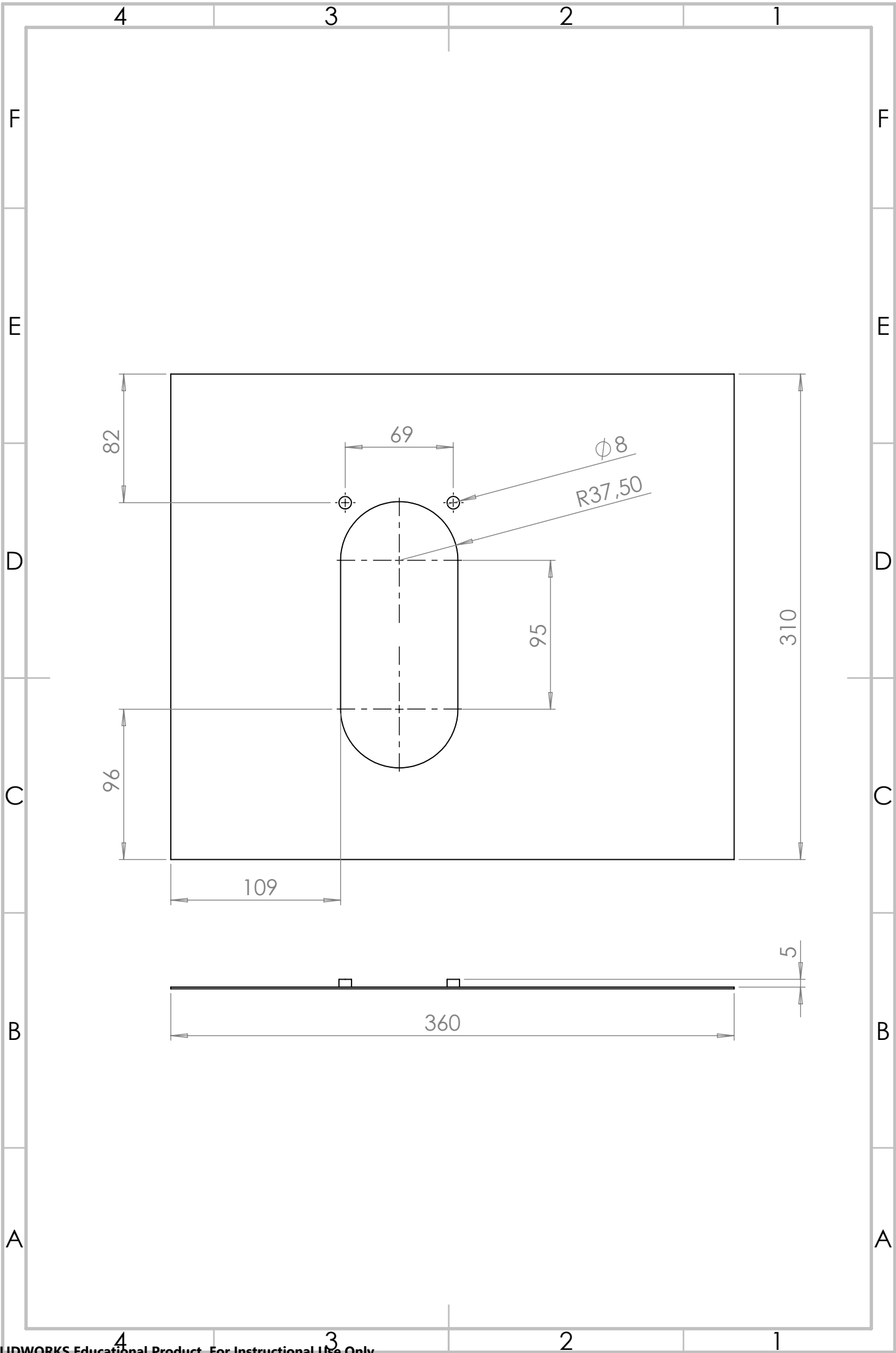
World, M. (s.d.). *Mechanical Stage Microscope Function*. Obtido de Microscope World : <https://www.microscopeworld.com/p-4815-mechanical-stage-microscope-function.aspx>

(anexos)

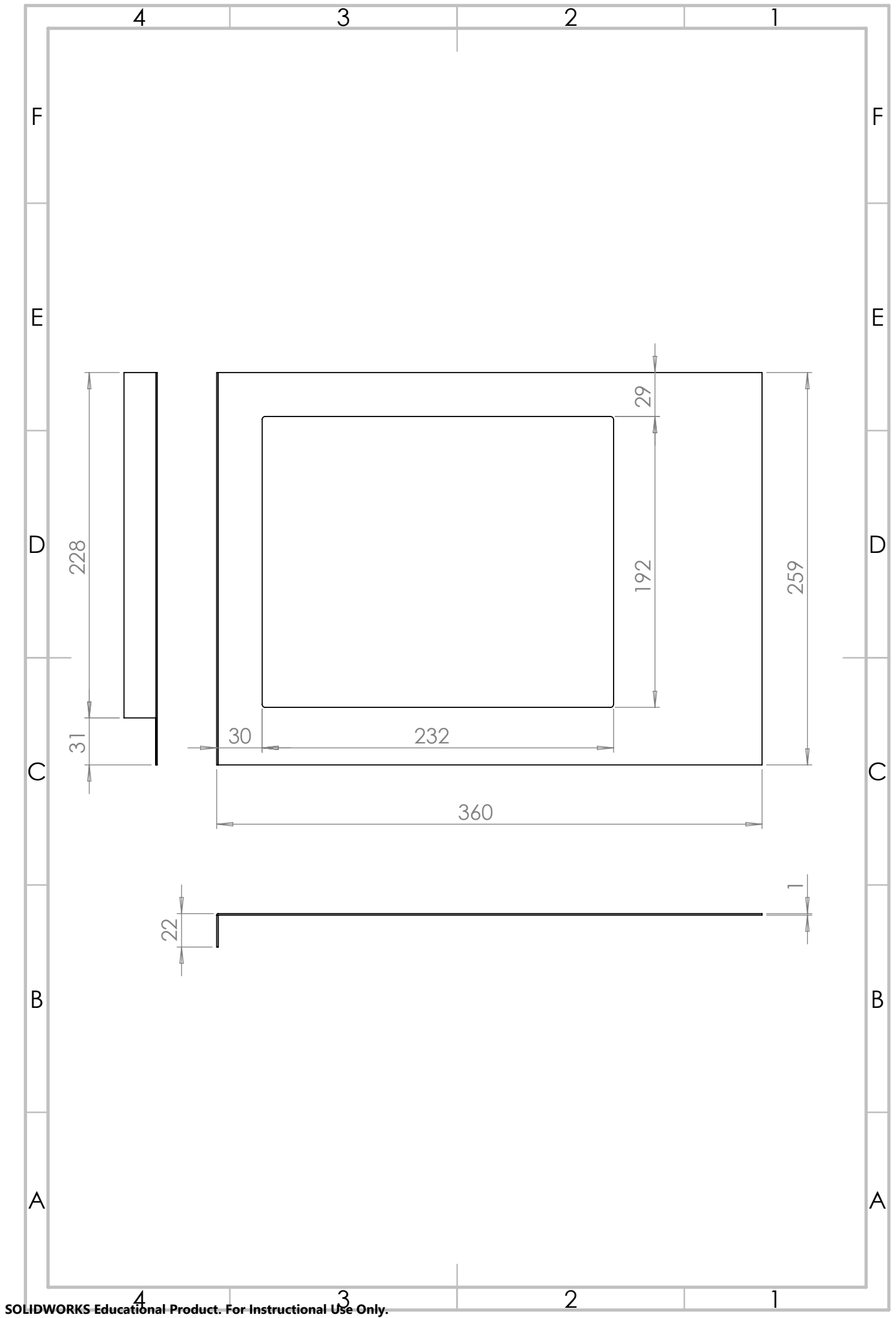


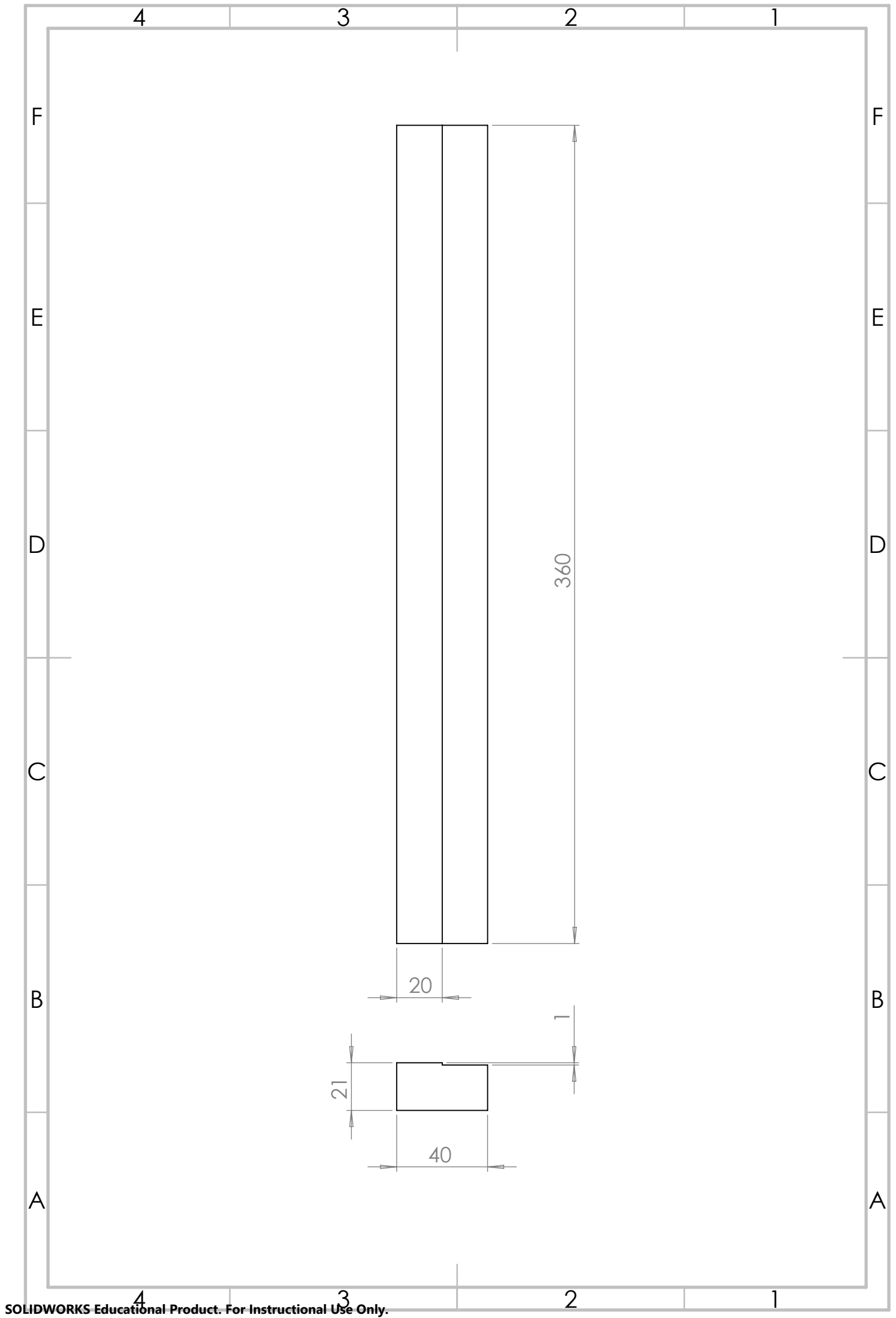
ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	Tubo 3		2
2	Placa 1		1
3	Placa 2		1
4	Tubo 2		1
5	Tapa/Tubo 2		1
6	Tubo 1		1
7	Tapa/Tubo 1		1
8	Placa 3		1
9	Placa 4		1
10	Perfil2_Placa3		2
11	Perfil1_Placa3		2

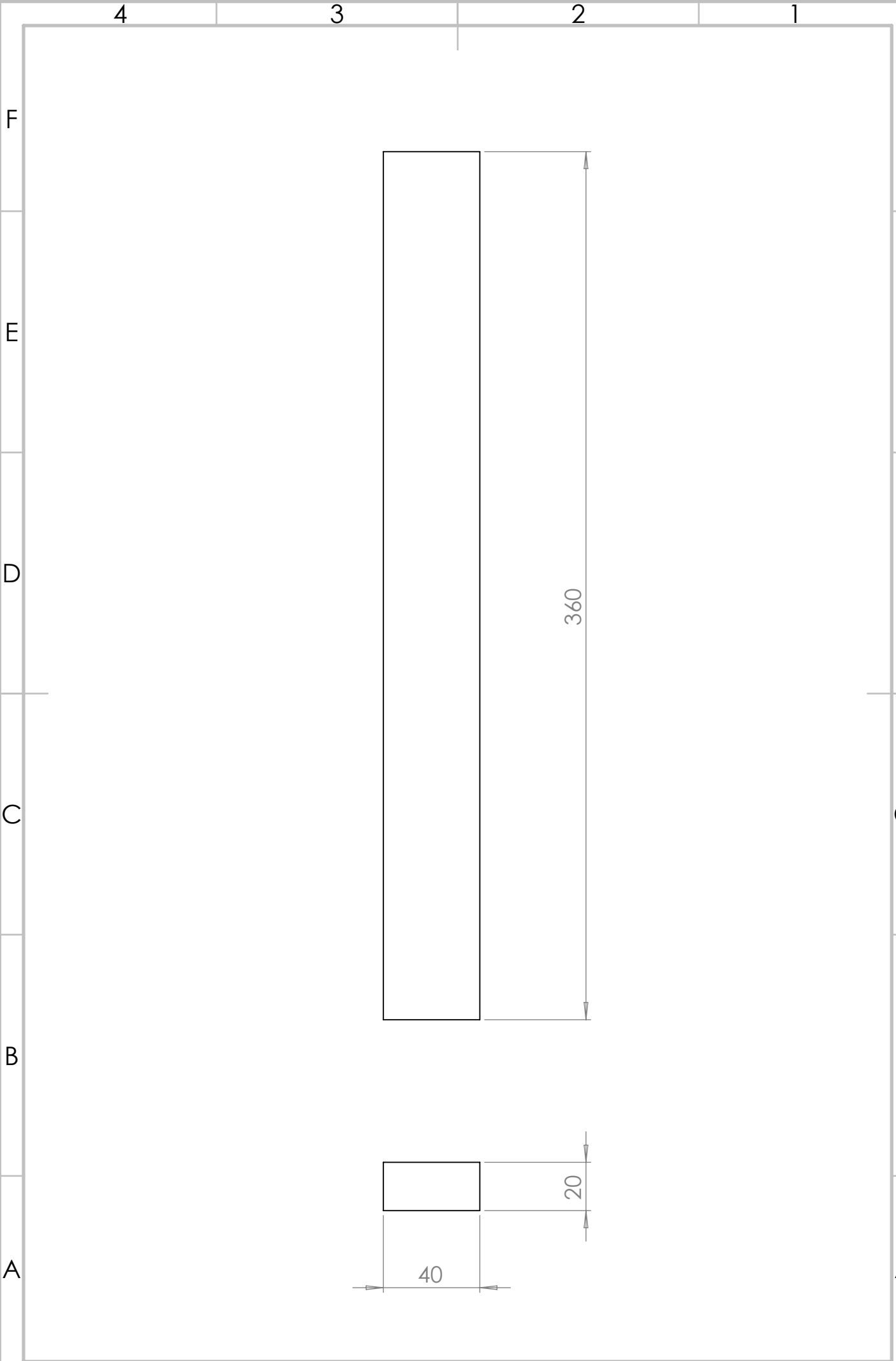


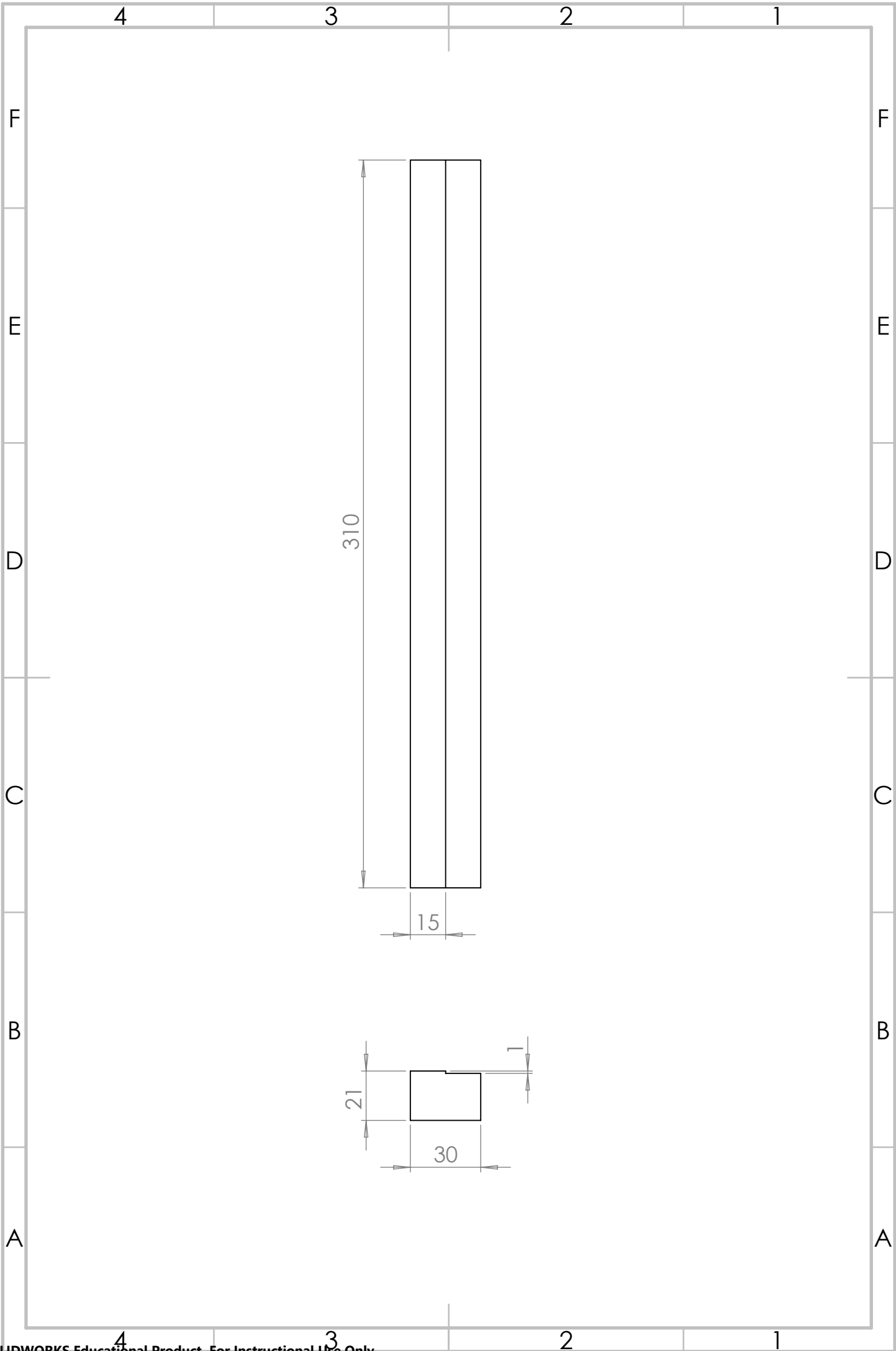


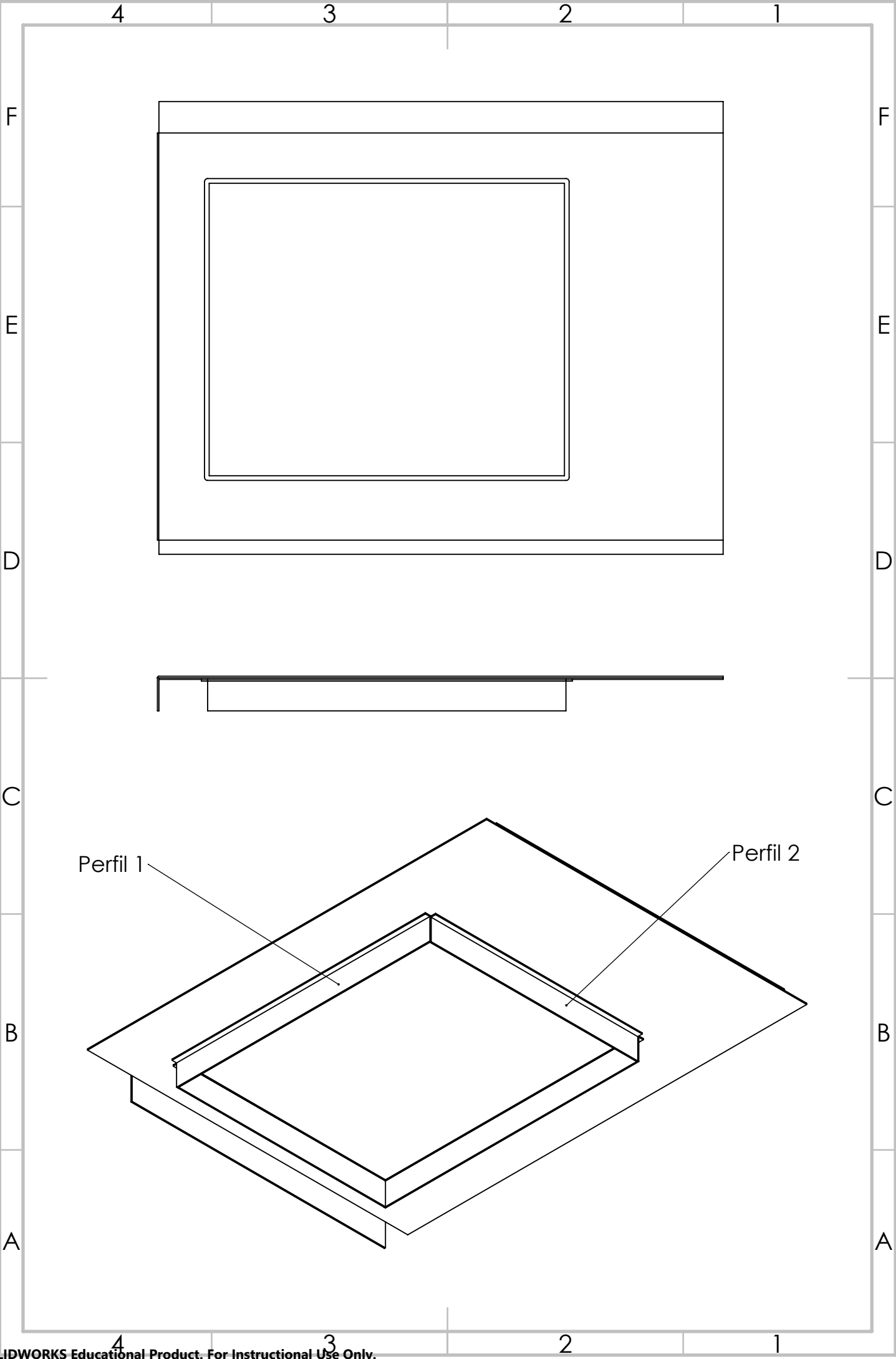


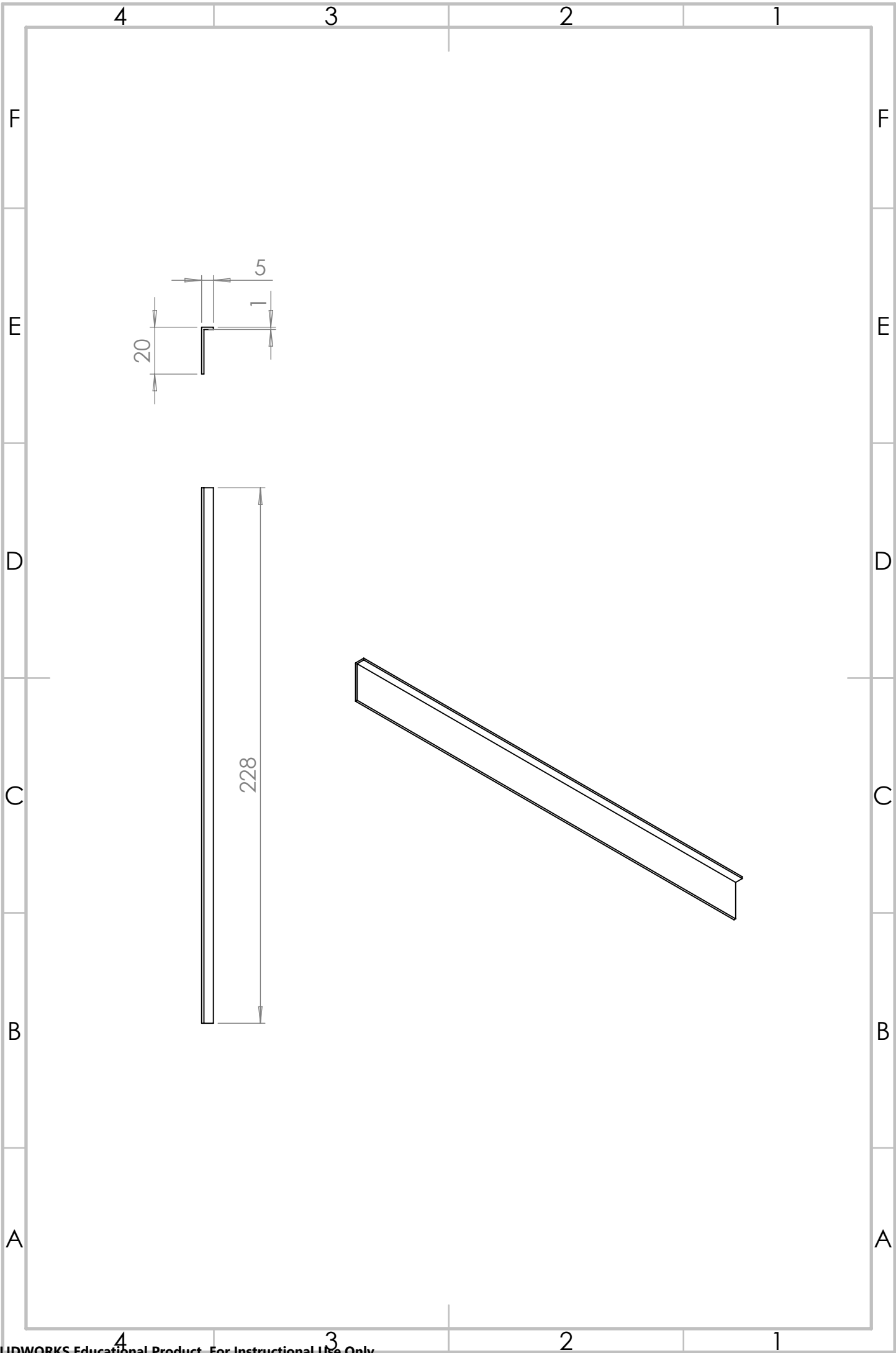


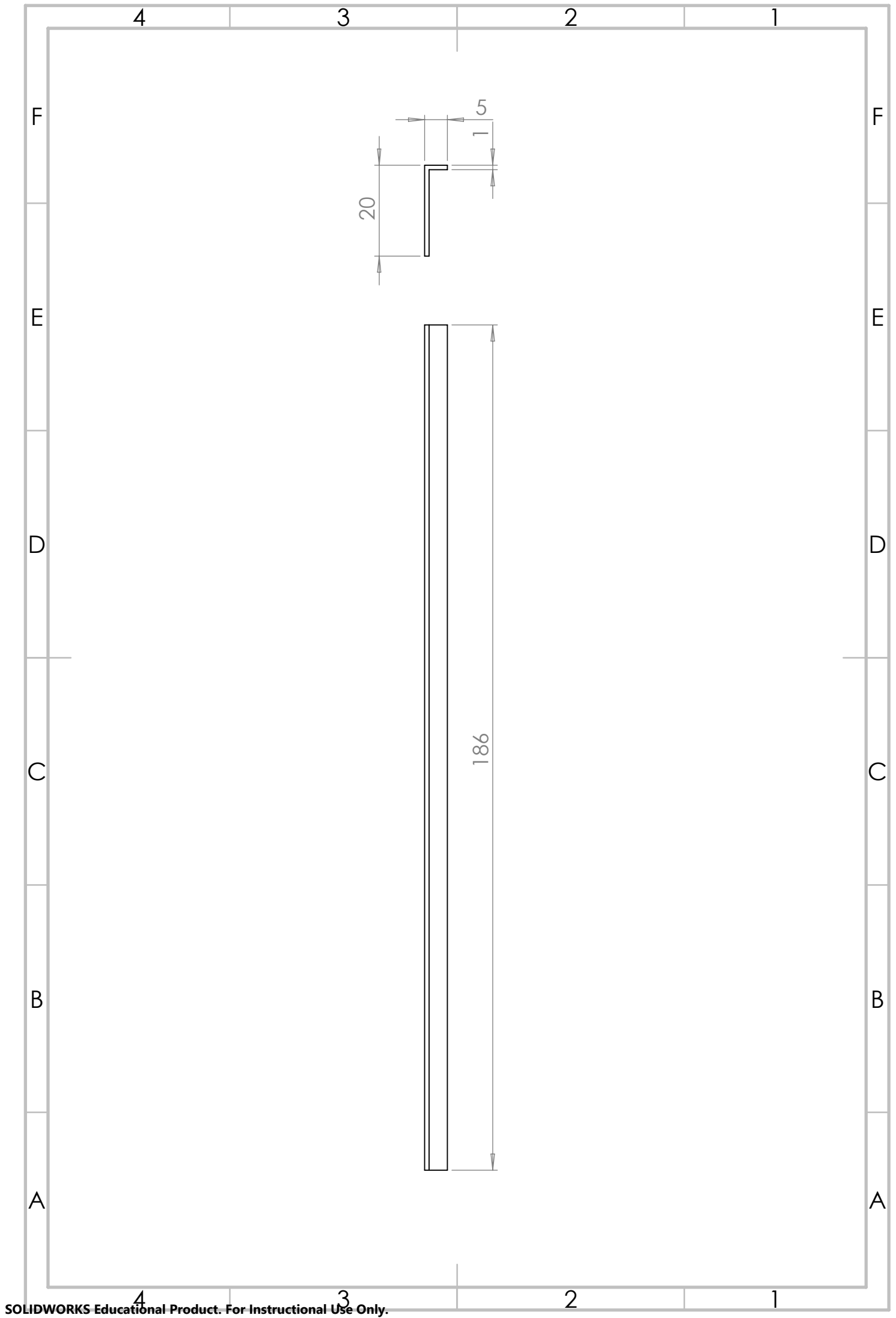


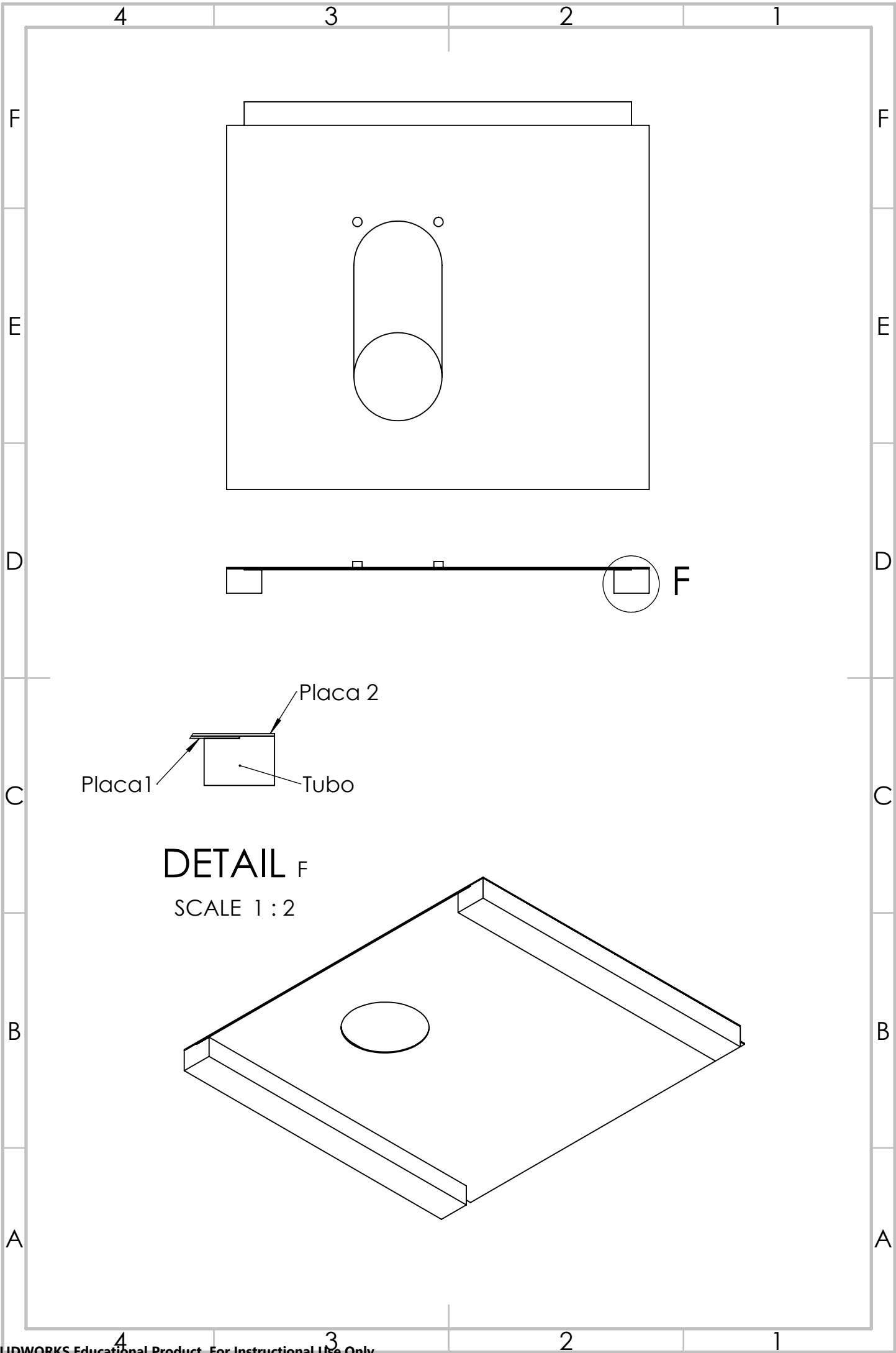


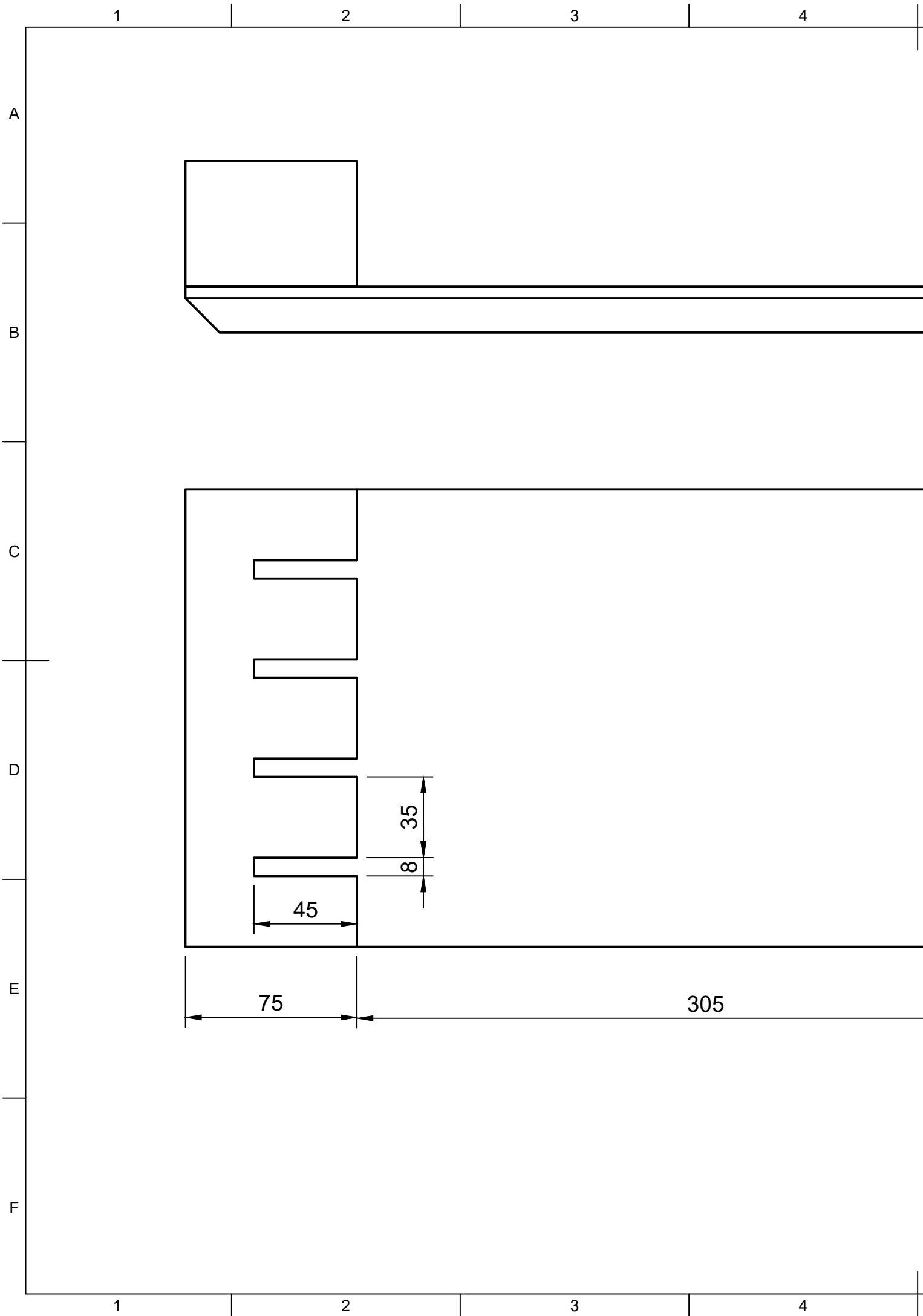


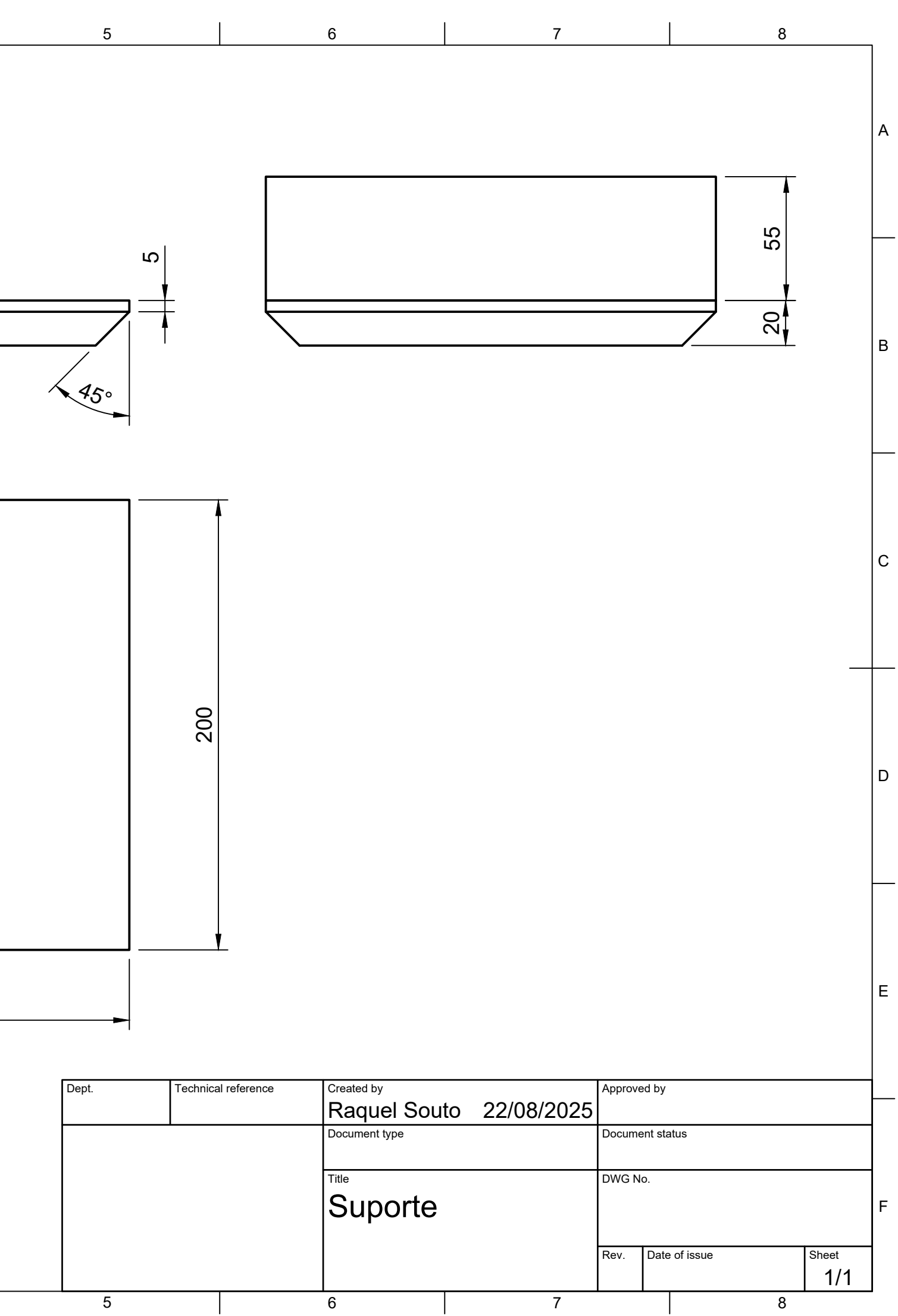












Dept.	Technical reference	Created by Raquel Souto 22/08/2025	Approved by
		Document type	Document status
		Title Suporte	DWG No.
		Rev.	Date of issue
		Sheet 1/1	

