U.PORTO

2021/2022
MESTRADO EM DESIGN INDUSTRIAL E DE PRODUTO

IMPRESSÃO 4D

Desenvolvimento de compósitos para permitir rápida construção de casas para refugiados.

Eduardo Viana Dias

M
2022



FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO
FACULDADE DE BELAS ARTES
UNIVERSIDADE DO PORTO

IMPRESSÃO 4D

Desenvolvimento de compósitos para permitir rápida construção de casas para refugiados.

Eduardo Viana Dias

Tese de Mestrado | Mestrado em Design Industrial e de Produto | Setembro 2022

AUTOR: **EDUARDO VIANA DIAS**
ORIENTADORES: **PROFESSOR FERNANDO JORGE LINO ALVES E PROFESSOR ANTONIO TORRES MARQUES**

DISSERTAÇÃO DE CARIZ TEORICO-PRATICO, PARA OBTENÇÃO DO **GRAU DE MESTRE EM DESIGN INDUSTRIAL E DE PRODUTO**

FACULDADE DE BELAS ARTES, FBAUP
FACULDADE DE ENGENHARIA, FEUP
UNIVERSIDADE DO PORTO

PORTO, SETEMBRO 2022

U.PORTO

MESTRADO EM DESIGN INDUSTRIAL E DE PRODUTO
UNIVERSIDADE DO PORTO

O JÚRI

PRESIDENTE

Doutor Rui Mendonça

PROFESSOR AUXILIAR DA FACULDADE DE BELAS ARTES DA UNIVERSIDADE DO PORTO

ORIENTADOR

Doutor Jorge Lino

PROFESSOR ASSOCIADO DA FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

ARGUENTE

Doutor Luís Mota

PROFESSOR ADJUNTO DO INSTITUTO POLITÉCNICO DE VIANA DO CASTELO

14

07 NOVEMBRO 2022

MESTRE Eduardo Viana Dias
MDIP/**136**

Agradecimentos

Na realização da presente dissertação, contei com o apoio direto e indireto de múltiplas pessoas, à qual estou profundamente grato.

Correndo o risco de injustamente não mencionar algum dos contributos quero deixar expresso os meus agradecimentos:

- Ao orientador desta dissertação o Doutor Professor Jorge Lino e ao coorientador Doutor Professor António Torres Marques, pela orientação prestada, pelo o incentivo e disponibilidade que demonstraram. Aqui exprimo a minha gratidão.
- A todos os amigos e que de uma forma direta ou indireta, contribuíram e auxiliaram na elaboração do presente estudo, pela paciência, atenção e força que prestaram em momentos menos fáceis. Desde já os meus agradecimentos.
- Não poderia deixar de agradecer à minha família por todo o apoio económico, pela força e pelo carinho que sempre me prestaram ao longo de toda a minha vida académica, bem como, à elaboração da presente tese a qual sem o seu apoio teria sido impossível.
- À minha namorada por caminhar ao meu lado, pela sua paciência, compreensão e ajuda prestada durante a elaboração da presente dissertação, especialmente por apresentar sempre um sorriso, quando sacrificava os dias, as noites, os fins de semana e os feriados em prol da realização deste estudo. E claro pelas suas fotografias, que muito agradeço.

Enfim, quero demonstrar o meu agradecimento, a todos aqueles que, de um modo ou de outro, tornaram possível a realização da presente dissertação. A todos o meu sincero e profundo Muito Obrigado.

Resumo

Ao longo dos anos o número de desalojados devido a desastres naturais ou conflitos sociais tem aumentado. Em resposta a este problema houve a necessidade de criar alojamento temporário para abrigar as vítimas destas catástrofes.

Atualmente, estes abrigos são fornecidos, na sua maioria, em lona com estruturas improvisadas pelos locais. Para resolver estas dificuldades são apresentadas tecnologias inovadoras como a impressão 4D, onde é possível desenvolver estruturas em impressão 3D utilizando materiais com memória de forma com uma reação a estímulos ambientais. Com isto, as estruturas podem ser automontáveis, multifuncionais ou até mesmo autorreparáveis.

Deste modo, este projeto estuda a aplicação de abrigos produzidos em impressão 4D para serem utilizados em situações de emergência, já que se prevê que estes abrigos facilitarão e acelerarão o processo de contenção das várias vítimas em espaços de difícil acesso, diminuindo os danos causados.

No desenvolvimento, elaborou-se um conceito ligado ao comportamento do material SMP (Shape Memory Polymer), reagindo a um elemento externo, o qual, no entanto, teve como restrição o seu custo elevado, pois só o uso do material SMP é demasiado dispendioso. Para a redução do custo foi necessário utilizar um método de impressão 3D multimaterial e outras tecnologias, para ser viável a concretização do projeto.

Conclui-se que a utilização de diferentes materiais e processos de fabrico torna-se possível a materialização do conceito. No entanto, o custo do abrigo reduz ligeiramente não mostrando uma grande diferença em relação aos abrigos projetados. Como recomendação para futuros projetos, sugere-se ter uma perspetiva não só do preço do material como também o custo da sua produção.

Palavras Chaves: Fabrico Aditivo, Impressão 3D e 4D, Design Social, Habitação Temporária, Memória de Forma, Design Industrial.

Abstract

Over the years, the number of people displaced due to natural disasters or social conflicts has increased. In response to this problem, there was a need to create temporary accommodation to shelter the victims of these disasters.

Currently, these shelters are provided mostly in canvas, with structures improvised by the locals. To solve these difficulties, innovative technologies such as 4D printing are presented, where it is possible to develop structures in 3D printing using materials with shape memory with a reaction to environmental stimuli. With this, structures can be self-assembling, multi-functional or even self-repairing.

Thus, this project studies the application of shelters produced in "4D" printing to be used in emergency situations. It is expected that these shelters will facilitate and accelerate the process of containing the various victims in spaces of difficult access, reducing the damage caused.

In the development, a concept was elaborated related to the behavior of the SMP material reacting to an external element. However, this concept was restricted by its high cost, since only the use of the SMP (Shape Memory Polymer), material is too expensive. To reduce the cost, it was necessary to use a multimaterial 3D printing method and other technologies, to make the project feasible.

It is concluded that the use of different materials and manufacturing processes makes the materialization of the concept possible. However, the cost of the shelter reduces slightly, not showing a big difference in relation to the designed shelters. As a recommendation for future projects, it is suggested to have a perspective not only on the price of the material but also on the cost of its production.

Keywords: Additive Manufacturing, 3D and 4D Printing, Social Design, Temporary Housing, Shape Memory, Industrial Design.

índice

I - Introdução.....1

1. Introdução.....2
2. Objetivo 2
3. Enquandramento do tema.....3
4. Estrutura da tese 5
5. Constragimentos.....6

II - Investigação e enquadramento teórico.....9

1. Ambiente de intervenção.....10
    - 1.1 Condições.....10
    - 1.2 Público alvo.....11
    - 1.3 Abrigo.....13
    - 1.4 Requisitos de abrigo e assentamentos de emergência.....16
    - 1.5 Estruturas atuais construidas.....18
2. Materiais.....19
    - 2.1 O uso de materiais em abrigos de emergência.....19
    - 2.2 Lona.....19
        - 2.2.1 Lona plástica especiais.....20
        - 2.2.2 Lona plástica reforçada de cobertura estática.....20
        - 2.2.3 Lona camionista.....21
        - 2.2.4 Toldo para garagem.....21
        - 2.2.5 Lona plástica dupla face.....21
        - 2.2.6 Lona colorida.....22
            - 2.2.6.1 Lona plástica amarela.....22
            - 2.2.6.2 Lona plástica azul.....22
            - 2.2.6.3 Lona plástica verde.....22
        - 2.2.7 Tamanho da lona.....22
3. Fabrico Aditivo.....23
4. Impressão 3D.....26
    - 4.1 Impressão 3D em grande escala.....28
5. Impressão 4D.....35
    - 5.1 Estado de arte.....37
    - 5.2 Materiais utilizados.....43

III - Desenvolvimento de produto.....51

1. Projeto.....52
2. Conceito.....54
3. Desenvolvimento da forma.....54
4. Trabalho de laboratório.....57
    - 4.1 Teste 1.....58
    - 4.2 Teste 2.....59
    - 4.2 Teste 3.....69
    - 4.4 Teste 4 62
5. Desenhos e Detalhes.....63
    - 5.1 Medidas gerais e relação com escala humana.....63
    - 5.2 Detalhes.....64
6. Material.....67
    - 6.1 Lona.....67
    - 6.2 ABS.....67
    - 6.3 SMP.....67
7. Soluções Construtivas.....68
8. Processo de Fabrico 69
9.Processo de Trasporte.....72
10. Custo Financeiro.....74
11. Protótipo.....75

IV - Conclusão.....81

Conclusão.....82
Referências Bibliográficas.....84
Anexo A: desenho técnico abrigo fechado.....II
Anexo B: desenho técnico abrigo aberto.....III
Anexo C: desenho técnico lona.....IV
Anexo D: desenho técnico pilar superior direito.....V
Anexo E: desenho técnico pilar superior esquerdo.....VI
Anexo F: desenho técnico pilar inferior.....VII
Anexo G: desenho técnico dobradiça superior.....VIII
Anexo H: desenho técnico dobradiça inferior.....IX
Anexo I: desenho técnico peça de fixação 1.....X
Anexo J: desenho técnico peça de fixação 2.....XI
Anexo L: ficha ténica do ABS.....XII
Anexo M: ficha ténica do SMP.....XIII
Anexo N: ficha ténica do “lona”.....XIV

Índice de Figuras

Figura 1.Novos desalojados devido a conflitos e desastres, entre 2008 a 2021 (adaptado a partir de IDMC 2022).....3

Figura 2. Condições no campo de Moira, no Inverno (Ruela Ribeiro, 2019).....11

Figura 3. Migrantes e refugiados na ilha grega de Lesbos. Fotografia de Amanda Nero / OIM – Organização Internacional para a Migração (Europeus & Palma, 2021).....12

Figura 4. Abrigo de emergência de papel para ACNUR, Arquitetos Shigeru Ban (Ban, 2014). 15

Figura 5. IOM Standard Seaking-off Kit (SOK) (Organização Internacional para a Migração, 2017)..... 17

Figura 6. Nur Hossen faz melhorias no abrigo de sua família no campo de refugiados de Kutupalong, em Bangladesh, ACNUR/Andrew McConnell (Matthew Saltmarsh, 2018)..... 18

Figura 7. “Lona” para cobertura de telhado (Primavera, 2022).....20

Figura 8. Cobertura para garagem em toldo (Decorfacil, 2021).....21

Figura 9. “Lona” dupla face (Silva, 2019b).....22

Figura 10. Cronograma evolutivo da tecnologia de Impressão 3D (Santos, 2016).....23

Figura 11. Impressão 3D para ortodontia (Systems, 2022).....24

Figura 12. Processo de modelação aberta, modelação fechada e modelação por polímero fundido (Compositeslab, 2016)..... 24

Figura 13. Aplicação do processo de fabrico *lay-up* (Sercel, 2017).....25

Figura 14. Processo FDM (Kun, 2016).....26

Figura 15. Impressora 3D *D-shape* e a estrutura impressa utilizando este processo (Lee et al., 2018).....29

Figura 16. Construção de prédios automatizada usando a tecnologia CC (Rodrigues, 202 2)..... 30

Figura 17. Modelo Impresso através do processo de *Concrete Printing* (Gosselin et al., 20 16)..... 30

Figura 18. Estrutura impressa com o processo WAAM (WAAM3D, 2020).....31

Figura 19. Restauração de um componente industrial com DED (Listek, 2019).....31

Figura 20. Processo de construção de grandes estruturas utilizando minibuilders (IAAC, 20 15)..... 32

Figura 21. Projeto On Site Robotics (IAAC, 2017)..... 32

Figura 22. Pavilhão VULCAN (Xu, 2016).....33

Figura 23. Plantas de cada andar habitat (SpaceFactory, 2019b).....34

Figura 24. Impressão 3D de um barco de 7 metros de altura (GOTEC, 2021).....34

Figura 25. Cubo sem as superfícies superior e inferior de 390mm por 390mm (Crespo, 201 9)..... 35

Figura 26. Comportamento da memória de forma de polímeros passando por testes

cíclicos termomecânicos (Choong et al., 2017).....36

Figura 27. Diferenças entre a impressão 3D e a impressão 4D (Momeni et al., 2017).....37

Figura 28. Transformação de fio 1D em cubo de wireframe 3D por autodobramento após exposição à água (Tibbits, 2014).....37

Figura 29. : Esquemas de uma dobradiça PAC e as etapas de programação termomecânica (Ge et al., 2014).....38

Figura 30. Caixa e pirâmide ativas de origami (Ge et al., 2014).....39

Figura 31. Estruturas dobráveis 3D que representam uma caixa de correio (Mao et al., 201 5)..... 40

Figura 32. Desenvolvimento das fibras SMP em vigas flexíveis com diferentes arranjos (Bodaghi et al., 2016).....41

Figura 33. Hierarquia do projeto com um atuador de unidade única a uma tesselação de módulos tetraédricos (Chen et al., 2017).....41

Figura 34. Estruturas reconfiguráveis mostrando a capacidade de ativação e suporte de carga (Chen & Shea, 2018).....42

Figura 35: Abrigo em escala 1:40, testado dentro do processo de deformação e recuperação (Henriques, 2019).....43

Figura 36. Categorias na impressão 4D que mostra os métodos, estímulos, materiais e aplicações (Kuang et al., 2019).....48

Figura 37. Esboços de ideias relativas a formas geométricas, como também, esboços relativos a ferragens de fixação e sistema de dobragem.....55

Figura 38. Experiências realizadas em folhas de papel para entender a dinâmica do movimento..... 55

Figura 39. Experiências da planificação do abrigo ao utilizar papel e impressão 3D de uma só camada, de um esboço digital.....56

Figura 40. Esquema mostra a sequência de esboços e experiências tridimensionais que conduziram ao desenvolvimento da forma.....56

Figura 41. Impressora a imprimir uma malha hexagonal sobre tecido e o resultado final....58

Figura 42. Impressão 3D de possíveis estruturas em PLA sobre tecido de algodão.....59

Figura 43. Estruturas impressas em PLA que sofreram uma transformação térmica através de água quente simulando um abrigo.....60

Figura 44. Pedaços quadrangulares de lona azul com cortes retangulares para facilitar a união entre os dois materiais.....60

Figura 45. Molde impresso em PLA para facilitar o corte de várias lonas com um bisturi.....61

Figura 46. Impressão 3D da primeira estrutura entre a lona.....61

Figura 47. Impressão 3D da primeira maquete do abrigo Bulma planificado.....62

Figura 48. Consequências apresentadas na impressão 3D do abrigo Bulma.....62

Figura 49. Modelação digital das estruturas com a novas modificações.....62

Figura 50. Conjunto de fotografias que relatam o processo de transformação.....63

Figura 51. Simulação fotográfica da transformação do abrigo, até á sua forma final.....63

Figura 52. Desenhos técnicos do abrigo Bulma com medidas gerais (altura e comprimento) em milímetros.....64

Figura 53. Sistema fecho-éclair, para fazer abertura para o interior do abrigo e oferecer luz natural.....64

Figura 54. Planta do interior do abrigo onde mostra uma possível posição das camas.....65

Figura 55. Ferragens de fixação ao solo.....65

Figura 56. Sequência de fotografias de diversas composições utilizando as maquetes feitas em laboratório.....66

Figura 57. Desenho da lona dobrada ao meio mostrando a simetria.....69

Figura 58. Máquina de corte a lazer Helios Plus (Matic, 2022).....70

Figura 59: Sequencia de detalhes onde é mostrado a união da estrutura ABS com as dobradiças PAC, como também, pormenoriza a abertura onde a "lona" será sobreposta....71

Figura 60: Renderização da estrutura aberta e fechada com material ABS.....71

Figura 61. Sequência das várias posições da dobragem da lona, do começo ao fim, para ser transportada..... 72

Figura 62. Protótipo digital Bulma.....75

Figura 63. Protótipo digital Bulma planificado no chão (aberto).....75

Figura 64. Render do abrigo Bulma, numa simulação de um caso real.....76

Figura 65. Render do abrigo Bulma, numa simulação de um ambiente de campo de refugiados..... 76

Figura 66. Render do interior do abrigo ao entrar.....77

Figura 67. Render do interior do abrigo visto de cima.....77

Figura 68. Render dos abrigos, numa simulação com pessoas.....78

Figura 69. Render de abrigos num ambiente, simulando um caso real.....78

Índice de Tabelas

Tabela 1. Aplicações atuais e potenciais da Impressão 3D (elaborado pelo autor).....27

Tabela 2. Materiais Inteligentes e as suas capacidades e os seus estímulos, adaptado por (Li et al., 2016).....45

Tabela 3. Plano Experimental do desenvolvimento do produto.....53

Tabela 4. Descrição e quantidade de cada componente do abrigo para fim de calcular o seu peso..... 73

Tabela 5. Custo financeiro do abrigo Bulma.....74

Nomenclaturas

% - Percentagem

€ - Euro

± - Representa tanto uma adição quanto subtração

° - Grau

3D - Três Dimensões

4D - Quatro Dimensões

ABS - Acrilonitrila Butadieno Estireno

ADAM - Fabrico Aditivo Digital Autónomo

ASTM - Sociedade Americana para Padrões de Testes e Materiais

BSI - Instituto Britânico de Padrões

CAD - Desenho Assistido por Computador

CC - Construção por Contorno

CHF - Franco Suíço

CICV - Comité Internacional da Cruz Vermelha

DED - Deposição de Energia Direta

DLP - Projeção de Luz Digital

FA - Fabrico Aditivo

FC - Construção de Forma Livre

FDM - Modelação com Deposição Fundida

FGF - Impressora 3D por Fusão de Granulados

FRP - Reforço Estrutural com Compósitos em Fibra

IAAC – Instituto de Arquitetura Avançada da Catalunha

IDMC - Centro de Monitoramento de Deslocamentos Internos

IDP - Pessoas Deslocadas Internas

IFRC - Federação Internacional da Cruz Vermelha

ISO - Organização Internacional de Padrões

Kg - Quilograma

LCD - Laboratório de Design Criativo

m - Metros

m2 - Metro quadrado

MIT - Instituto de Tecnologia de Massachusetts

mm - Milímetros

NASA - Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço

NFI - Item não alimentar

OIM - Organização Internacional para Migração

PA - Poliamida

PAC - Printed Active Composites

PE - Polietileno

PEAD - Polietileno de Alta Densidade

PEBD - Polietileno de Baixa Densidade

PEEK - Poli(éter-éter-cetona)

PEI - Polieterimida

PETG - Polietileno Tereftalato Glicol

PLA - Poli Ácido Lático

PP - Polipropileno

PVC - Policloreto de Vinilo

SLA- Estereolitografia

SLS - Sinterização Seletiva a Laser

SME - Pequenas e Médias Empresas

SMP - Polímeros com Memória de Forma

STL - Linguagem Triângulo Padrão

TPU - Poliuretano Termoplástico

UNHRC - Conselho de Direitos Humanos das Nações Unidas

UV - Ultravioleta

VMT - Von Mises Truss

WAAM - Fabricação Aditiva de Fios e Arcos


www.worldphoto.org



I. Introdução

1. Introdução

A presente dissertação concentra-se numa investigação que possa atingir uma solução alternativa para abrigos de emergência de fácil e rápida montagem após situações adversas, o que pode contribuir para solucionar problemas atuais com as estruturas já oferecidas por organizações humanitárias, como a utilização do bambu e lona.

O objetivo desta pesquisa prende-se com a utilização de processos de fabrico aditivo (FA) e impressão 4D, de forma a desenvolver uma solução otimizada através destes processos inovadores e tecnológicos.

2. Objetivo

O principal objetivo da investigação é atender ás necessidades principais de um abrigo de emergência, através da incorporação de soluções tecnologicamente inovadoras, para desenvolver uma abordagem prática e de baixo custo com uma melhor eficácia, ao substituir as atuais estruturas de bambu e lona, sem deixar de considerar também a sustentabilidade e o possível reaproveitamento do abrigo.

Para a construção de um abrigo, é necessário que haja uma estrutura que suporte e se crie uma área de proteção. Desta forma, a dissertação vai centrar-se na criação de uma estrutura cujo material tenha características semelhantes às do bambu, nomeadamente no que se refere à sua resistência, flexibilidade, baixo custo, considerando ainda a sua leveza, reutilização, fácil manuseamento, transporte e processo de fabrico, assim como a durabilidade e adaptabilidade. Assim, para desenvolver um material que respeite os requisitos necessários, serão analisados diversos materiais e técnicas.

A disponibilização do abrigo é feita pelas entidades que atuam em situações de emergência e, para isso, a estrutura irá fazer parte de um kit de emergência, juntamente com outros utensílios que ajudarão numa situação de crise.

Sucintamente, os objetivos desta dissertação são:

a. Pesquisar os atuais abrigos fornecidos pelas organizações internacionais e qual o conceito de abrigo;

b. Verificar quais os requisitos para a construção de um abrigo de emergência, respeitando as suas necessidades básicas;

c. Introduzir a impressão 4D para a construção da estrutura com um material de propriedades inovadoras;

d. Analisar o custo e o seu processo de fabrico, bem como o transporte.

e. Desenvolver um abrigo que abrigue 3 a 4 pessoas com base em investigação laboratorial,

f. Prototipar o projeto para realizar testes à estrutura com o material utilizado na impressão 4D e validar o processo.

3. Enquadramento do tema

O número de pessoas desalojadas (Internal Displacement People [IDP]), relacionado com casos de conflito social e político, como desastres naturais, tem vindo aumentar, permanecendo acima dos 40 milhões de refugiados a cada ano, no mundo inteiro.

Em 2019, o número de IDP aumentou para 25 milhões desalojados por desastres naturais e 9 milhões por conflitos e violência em relação ao ano anterior, grande parte dos desalojados surgem no continente africano e asiático, com principal destaque para a Síria e Républica Democrática do Congo, países que apresentam os maiores números. Considerando tudo isto, foram, até 2020, contabilizados 71,9 milhões de desalojados globalmente, o que tem vindo a aumentar gradualmente ano após ano (IDMC, 2022).

Conclui-se assim que o número de desalojados continua a aumentar, o que se deve bastante a desastres naturais como inundações, terramotos, secas, tsunamis, furacões, tornados, erupções, assim como a situações de extrema pobreza. Estas pessoas vivem numa situação de emergência, e em transição de abrigo ou necessidade de o encontrar (figura 1).

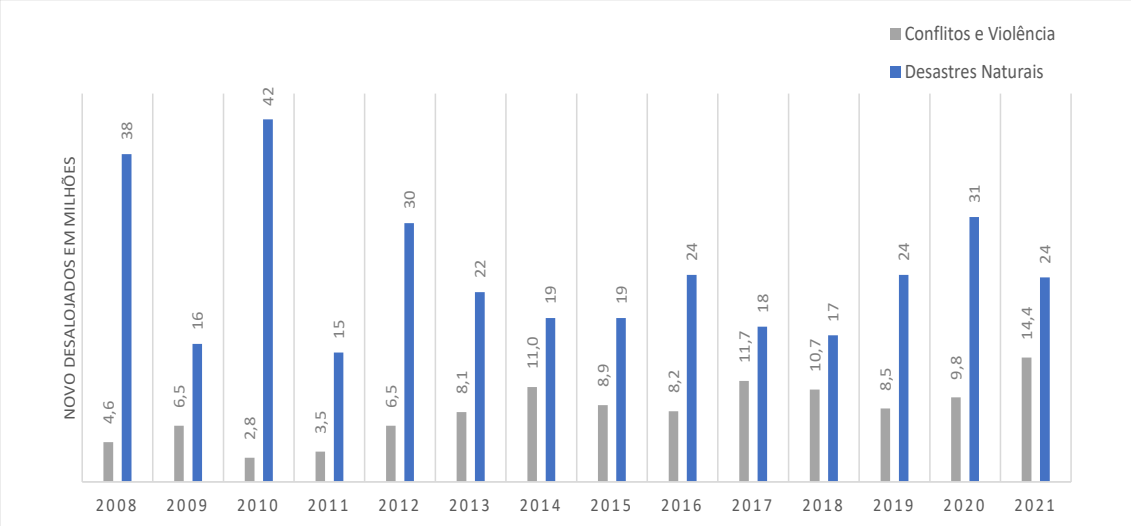


Figura 1.Novos desalojados devido a conflitos e desastres, entre 2008 a 2021 (adaptado a partir de IDMC 2022).

Desta forma, a necessidade de fornecer abrigo e apoio a estes casos de emergência é clara, pelo que encontrar uma melhor solução para os desalojados é crucial, através da criação um abrigo que ofereça os primeiros cuidados para que, mais tarde, possam reconstruir uma habitação de longa duração.

O abrigo apresenta-se assim como o elemento-chave para a sobrevivência e reabilitação após um desastre ou conflito, devido à essência de criar um local habitável e onde as pessoas se possam instalar temporariamente.

Considerando os números e as ocorrências, após desastres e/ou conflitos, existe uma resposta instantânea do governo e de organizações internacionais. A Organização Internacional para a Migração (OIM) fornece o primeiro abrigo de emergência através de um kit apropriado para as construções. No entanto, as estruturas de

construção disponibilizadas, com lona, não estão incluídas no kit de emergência, pelo que, por norma, os desalojados internos usam materiais locais, como postes de madeira ou bambu, para a construção.

Ao analisar este tema várias questões surgiram, como as pessoas deslocadas serão capazes de construir seu próprio abrigo após um conflito? Quanto tempo demorará para construir de uma estrutura? Quais são os materiais utilizados para construir as estruturas em diferentes zonas do planeta? É possível desenvolver uma estrutura de montagem fácil e rápida usando tecnologias alternativas? O processo de impressão 4D pode ser uma solução para a desenvolvimento de um abrigo de emergência?

Esta pesquisa é conduzida por algumas destas questões abordadas, sendo que se objetiva encontrar soluções para a estrutura e lona do primeiro abrigo de emergência. O tema abordado é pesquisado e estudado por cientistas, engenheiros, designers e arquitetos de todo o mundo, visto que a grande maioria defende que um abrigo apropriado pode ajudar a salvar milhares de vidas, pelo que o recurso ao uso de técnicas de construções ajustadas, materiais inovadores e tecnologias podem determinar a sobrevivência e bem-estar (Anders, 2007).

Esta dissertação tem, portanto, como objetivo preencher o vazio entre a organização humanitária, as soluções e as mais recentes tecnologias inovadoras, fornecendo uma solução contextualizada que é rápida e fácil de construir, sendo uma alternativa à atual prevista para o primeiro abrigo de emergência.

O pensador económico, estatístico e economista britânico Schumacher teoriza no seu livro Small is Beautiful Economics as if people Mattered (Schumacher, 2012), sobre a tecnologia e a influência desta no mundo atual. Num momento em que os recursos são cada vez mais limitados, o capitalismo leva a que a tecnologia se transforme uma ferramenta sem ética e moral perante a Natureza e os mais desfavorecidos, através do Homem. No entanto, os campos da tecnologia e ciência devem servir para auxiliar e reforçar um caminho de paz e abundância, pelo que, para isso, não devem ser utilizados com a intenção de comportamentos irracionais e prejudiciais.

Na Indústria, o objectivo-chave deve prender-se com a evolução tecnológica de pequena escala, não associada à violência. Este conceito demonstra que a tecnologia deve ser submetida para um local e para as necessidades de cada indivíduo, focando-se na qualidade de vida da população, principalmente naquela com mais dificuldades económica ou, nas palavras do autor anteriormente mencionado, *"The message to the rich is that they must be intelligent enough from time to time to help the poor, because this is the way by which they will become richer still."* (Schumacher, 2012, p. 11).

Perante o enquadramento do tema e a já mencionada situação em que os refugiados vivem (sem esquecer a tendência para o aumento constante de indivíduos desalojados), a necessidade de criar uma solução tecnologicamente inovadora torna-se cada vez mais presente. Assim, o conceito de impressão 4D faz todo o sentido para a criação de uma solução adaptável e caracterizada por ser de fácil transporte, de baixo custo de produção e de rápida construção.

4. Estrutura da tese

A dissertação está estruturada em quatro capítulos: o primeiro capítulo corresponde à introdução, à exposição do principal objetivo e ao enquadramento do tema; no capítulo II é apresentado o estado da arte do tema e a sua contextualização; o capítulo III expõe a experiência desenvolvida e os processos de trabalho relacionados com o projeto; o último capítulo apresenta as principais conclusões e as recomendações resultantes da pesquisa e trabalho desenvolvido.

Capítulo I

O primeiro capítulo é composto essencialmente pela introdução, onde se define o objetivo e a onde são apresentadas as linhas condutoras para a investigação e para a elaboração do projeto.

Capítulo II

No segundo capítulo, intitulado "Investigação e enquadramento teórico", é apresentada uma análise e contextualização dos temas a abordar, em relação ao ambiente de intervenção, ao comportamento dos materiais e ao fabrico aditivo, onde está inserido a impressão 3D e 4D.

Cada tema é acompanhado com o estado de arte, considerado um elemento essencial para a investigação e compreensão do desempenho dos produtos por parte do utilizador, em diferentes quadros culturais, sociais e económicos, tendo em conta as necessidades atuais e a responde às adversidades.

Capítulo III

A análise efetuada no capítulo II determina o percurso e tema do terceiro capítulo. Nesta fase, definiu-se o conceito, que consequentemente dá origem à experimentação e desenvolvimento do projeto, sendo apresentadas as etapas e testes que se realizaram até à determinação da solução final.

Capítulo IV

No último capítulo são apresentados os resultados, que dão origem às conclusões finais e as considerações estabelecidas ao longo da investigação.

5. Constrangimentos

As organizações envolvidas na criação e no fornecimento de kits de emergência exigem o cumprimento de regras e condições restritas impostas sobre a construção dos primeiros abrigos de emergência. Existe uma dificuldade para mudar ou impor novos conceitos, pelo que existe uma responsabilidade acrescida em criar uma solução inovadora e desenvolver um produto excecional, especialmente quando consideramos que as soluções desenvolvidas pelas organizações humanitárias responsáveis são extremamente testadas antes da sua validação. No entanto, os regulamentos foram e serão considerados podendo ser adaptados à solução desenvolvida, em quaisquer circunstâncias.

A grande limitação verifica-se na dificuldade de implementação de uma solução para casos e cenários reais, o que é uma consequência dos requisitos impostos. Para além disto, a utilização da tecnologia, nomeadamente da impressão 4D, prevê a utilização de materiais com efeito de memória de forma (SME), o que pode ser empregue em outros materiais e processos de fabrico. Ainda há que somar o elevado custo de produção, justificado pela recém-adquirida tecnologia e material.

Há ainda que relevar outra possível limitação, relacionada com a utilização de impressoras 3D, uma vez que a calibração e dimensão influenciam diretamente os resultados (em aspetos como a dimensão e o acabamento).


Open
the Borders
help
us
Grasshoppers
www.resumofotografico.com



II - Investigação e Enquadramento Teórico

1. Ambiente de intervenção

Antes de qualquer outro passo, é importante compreender o ambiente de intervenção onde se idealiza que o abrigo temporário será inserido, assim como quais são as condições atuais dos acampamentos existentes e quais aquelas a que o abrigo estará exposto futuramente. O público-alvo da presente dissertação é determinado através do cruzamento de informação entre quem serão os utilizadores do projeto que se cria e as implicações sociais, culturais e físicas, com o conceito de refugiado. Para além disto, não se pode deixar de considerar, como ponto-chave desta pesquisa, a noção dos requisitos a respeitar e aquilo que um abrigo representa para o habitante, sobretudo em casos de extrema necessidade.

1.1 Condições

Num cenário de instabilidade ambiental, há que considerar que, na construção de abrigos, os materiais de isolamento devem ser adequados e adaptáveis perante as alterações climáticas. Anders (2007) evidencia a importância de considerar o bem-estar das pessoas que habitam nestes espaços, pelo que é necessário verificar o grau de isolamento térmico, a resistência a ventos, assim como considerar as atividades que os habitantes realizam ao longo do dia e qual o modo de armazenamento dos alimentos. Ainda de acordo com o autor, a população deve ser bem instruída e direcionada em relação a como adaptar o abrigo perante as mudanças climáticas.

De acordo com Martins et al.(2012), atualmente, é possível perceber que, de certo modo, a natureza assume uma postura hostil como resposta ao abuso consequente da ganância humana que perdurou durante séculos, sob a forma de alterações climáticas que, consequentemente, originam catástrofes ambientais cada vez mais recorrentes. Assim, é possível constatar, que a maior crise que se enfrenta na atualidade, não surge a partir do setor económico, mas antes de uma crise global ambiental, que contribui negativamente para a esperança de um futuro sustentável para a humanidade.

A utilização de abrigos que foram projetados sem ter em consideração as mudanças ambientais acarreta consequências, as quais são percetíveis, por exemplo, em diversos eventos relatados por Ruela Ribeiro (2019), como na ilha grega de Lesbos, em que quase cinco mil pessoas vivem com muito pouco espaço e sem acesso a cuidados de saúde. Neste caso, no período de Inverno, a situação complica-se, pois a maioria das pessoas estão distribuídas em tendas de campismos ou abrigos improvisados, os quais são muito frágeis e estão expostos a frio e chuva, em condições de incerteza e perigo constante (figura 2).



Figura 2. Condições no campo de Moira, no Inverno (Ruela Ribeiro, 2019).

Nas palavras de Martins et al. (2012), "nesse sentido, a situação contemporânea é paradoxal, já que, num mundo mais interconectado que nunca, onde os fluxos financeiros e de comércio se liberalizam, a mobilidade dos indivíduos enfrenta fortes barreiras que a restringem"(p. 2).

A disposição e o local apresentam-se como aspetos relevantes, pelo que é importante selecionar uma área apropriada para um acampamento de desabrigados. Para tal, o lugar deve oferecer drenagem adequada, espaço abundante e suprimento de água, pelo que deve ser adequado a todas as estações do ano e isolado de insetos e de outras pragas (Anders, 2007).

Desta forma, a localização para a construção de um acampamento deve ser estabelecida seguindo os planos de prevenção de desastres, já que a escolha desta é essencial, pois irá afetar decisões em relação à disponibilidade e fornecimento dos serviços. O projeto deve estar planeado para unir pequenos agregados familiares em torno de serviços públicos, como os sanitários, distribuição de bens alimentares, saúde pública e assuntos burocráticos. Na administração do acampamento, as tarefas, como a manutenção, a limpeza e a higiene, devem ser delegadas aos próprios refugiados, ao invés de designadas a mão de obra assalariada. Isto não permitiria contribuir para o reaproveitamento de recursos e para o melhoramento das condições dos abrigos, como também criaria bem-estar social/comunitário. O acampamento pode ser ampliado, no entanto, para que a qualidade dos serviços se mantenha, o número de alojamentos que deve estar relacionando com o número das unidades que prestam e com os serviços de administração, receção e distribuição dos residentes no acampamento, serviços de armazenamento, locais de distribuição de mantimentos e áreas recreativas (Anders, 2007).

1.2 Público alvo

Existe uma série de motivos que podem levar a que as comunidades saiam dos seus países, colocando-as perante os Estados que as acolhem em diferentes posições e, consequentemente, com direitos e deveres específicos. Neste contexto, importa fazer a distinção entre refugiado e migrante.

Aquando da Segunda Guerra Mundial, os conflitos bélicos desencadearam um enorme fluxo de deslocações, dando origem ao conceito de «refugiado». Apesar disso,

este não é um conceito fechado e claro, devido às inúmeras e diversas situações em que as pessoas assim nomeadas podem estar. Assim, o termo é, atualmente, usado para se referir a indivíduos que se refugiam noutros países, após a fuga do seu país de origem devido a questões políticas, raciais, religiosas e/ou sociais. Os países de acolhimento são legalmente obrigados a permitir o acesso e a permanência dos refugiados no seu território, uma vez que os direitos humanos dessas pessoas estão em risco no seu país (Figura 3). Os migrantes encontram-se numa situação distinta, apesar de esse termo também não ter uma definição comum a nível legislativo e internacional (Europeus & Palma, 2021). Genericamente, migrante é definido como uma pessoa que se desloca da sua residência habitual - fora ou dentro do seu país - de modo temporário ou permanente, em busca de melhores condições de vida (emprego, educação, etc.), não deixando porém de serem protegidos pelo governo do seu país (Martins et al., 2012).



Figura 3. Migrantes e refugiados na ilha grega de Lesbos. Fotografia de Amanda Nero / OIM – Organização Internacional para a Migração (Europeus & Palma, 2021).

Ainda que sejam dois conceitos distintos, ambos os casos necessitam de atenção política e de medidas efetivas, uma vez que, tanto o número de refugiados como o de migrantes, têm subido ao longo dos últimos anos. Assim, os países que acolhem estes grupos necessitam de adotar uma postura ativa e de cooperação internacional, ao construir políticas de migração que não se estabeleçam somente em panoramas de emergência, mas que funcionem com um regime de antecipação, isto é, onde se prevejam diversas situações e soluções (Europeus & Palma, 2021).

Um dos principais focos de trabalho, no que toca ao acolhimento de refugiados/migrantes, está relacionado com o espaço onde estes ficarão alojados temporariamente nos países que os recebem. Estes acampamentos/assentamentos

funcionam como ponto de partida para a reinserção destes grupos, uma vez que servem como o local temporário de residência e, consequentemente, é aqui que irão tentar estabelecer laços e relações com os espaços e grupos que os rodeiam. Desta forma, estes locais devem garantir um nível de vida digno, devendo funcionar de modo a promover a igualdade e não a marginalização de grupos (Ruela Ribeiro, 2019).

Em segundo plano, surge a importância de planeamento organizacional dos acampamentos, de acordo com as necessidades dos grupos, de forma a evitar situações de marginalização e de modo a promover a convivência social. Num local de partilha e comunidade como são estes acampamentos é necessário que se proporcionem condições para a construção de relações interpessoais saudáveis, com base na partilha e respeito pelos espaços e pelos pares. No entanto, recentemente, as soluções de organização têm-se baseado, maioritariamente, numa disposição militar em que os padrões sociais e hábitos dos habitantes são preteridos em detrimento da eficácia e conveniência organizacional.

As organizações militares procuram a uniformidade e conformidade. Esta preocupação pela ordem é simplesmente esperar muito da população civil atingida por um desastre. O período imediatamente após um desastre é um período que as pessoas precisam de se unir e desenvolver responsabilidades coletivas. Uma hierarquia militar (organização rígida) pode inibir este processo social orgânico (Ruela Ribeiro, 2019).

Posto isto, é expectável que, nestes espaços, surjam grupos com comportamento desviantes, que comprometam a integridade da comunidade e mesmo dos locais de acolhimento. Assim, a coesão social é um elemento essencial para o bom funcionamento destes espaços, bem como para a preservação dos acampamentos, de modo a regular o comportamento dos grupos e a evitar situações de desorganização e até de enfermidades transmitidas através do mau uso e/ou funcionamento dos espaços comuns (Ruela Ribeiro, 2019).

1.3 Abrigo

Neste contexto, importa definir «abrigo» e «assentamento», que, apesar de, dois conceitos distintos, devem, segundo a sphere (2021), estar sempre relacionados. Neste sentido, «abrigo» define-se como o espaço para habitar, que assegura as necessidades básicas e diárias dos indivíduos, enquanto que «assentamento» se define como o espaço que os indivíduos ocupam enquanto comunidade. Assim, como já foi mencionado, estes espaços devem promover um ambiente seguro e saudável para as comunidades, estimulando a boa relação entre os indivíduos que os ocupam, pelo que se deve também procurar garantir a dignidade, privacidade e acesso aos serviços básicos de saneamento, de modo a evitar o aparecimento ou propagação de enfermidades. Cada situação deve ser analisada especificamente, ao considerar o contexto do qual as comunidades refugiadas são provenientes (desastre, conflito, etc.), assim como outros fatores, tais como o clima e as condições sociais. Os abrigos e assentamentos são os espaços que asseguram as necessidades básicas e atividades diárias das comunidades, pelo que devem ser acessíveis a todos, garantindo meios, segurança e privacidade.

Num cenário de emergência humanitária, a existência de abrigo para a sobrevivência da população lesada é fulcral. Segundo Babister (Legal, 2002), esta urgência deve-se a uma multiplicidade de fatores, como a defesa de ameaças exteriores, naturais ou humanas, a conservação da integridade física e psicológica do indivíduo e a orientação e identidade do mesmo. Para que o abrigo permita o resguardo destas entidades, o mesmo deve ser concebido de forma a possibilitar a proteção face a uma série de circunstâncias externas, específicas à região onde será construído. Os materiais utilizados nestas construções diferem consoante o local, pelo que, em ambientes quentes, por exemplo, deve-se ter em conta a transmissão de doenças, a devida proteção do calor e a cobertura da luz solar, enquanto, em ambientes frios, a prioridade a considerar é a criação de fontes de calor e escolher materiais com isolamento térmico.

A conservação da integridade resolve-se na forma como as pessoas envolvidas se relacionam, pelo que, desta forma, é necessária a criação de um espaço privado onde estas se sintam seguras.

Assim, numa situação de emergência, a existência de um meio que permita a reflexão e consequente identificação das movimentações futuras é essencial, para que o abrigo se torne num espaço a que se possa chamar de lar, tendo em mente a cultura em que este se insere.

O abrigo deve, portanto, oferecer uma série de necessidades base que devem ser identificadas de antemão, nomeadamente considerando fatores como o abastecimento do espaço, a idade dos seus elementos, os recursos necessários, a alimentação ou a própria produção de energia- Há que destacar que, muitas vezes, a existência destes abrigos de emergência representa a preservação da vida do indivíduo, pelo que deve assistir com necessidades imediatas. Assim, as decisões relativas ao tipo e edificação dos mesmos fica à responsabilidade das entidades de apoio humanitário, sendo que são os indivíduos em situação de emergência que se organizam para a posterior inclusão no processo de montagem do abrigo, que necessita de ser de rápida e fácil execução, sem qualquer manutenção futura, considerando ainda que as peças usadas devem ter a possibilidade de ser recicladas para uso contínuo noutras obras (Santos, 2013).

Neste contexto, considerando o estudo e trabalho de designers e agências humanitárias dedicadas à criação e manutenção de abrigos de emergência portáteis, verifica-se a existência de dois ideais díspares: um modelo de ação no qual o abrigo é arranjado com objetos à disposição na área, de baixo custo e com possibilidade de serem reciclados, onde a ajuda é prestada de forma a que não sejam criadas dependências exteriores àquele espaço, e a vontade do indivíduo não se altere da vontade inicial de voltar a sua casa. A segunda posição sobre o tema remete para um modo de criação no qual a participação é mais ativa e programada, inclusive, por vezes, a longo termo, o que fomenta a dependência da ação das equipas de apoio. Estes projetos, em grande parte dos casos, apresentam um custo excessivo, com recurso a tecnologias avançadas e inviáveis para as situações de emergência vividas pelas populações em necessidade.

Com base nas diferentes perceções daquilo que é o abrigo de emergência humanitária, estes podem ser identificados e agrupados em dois conjuntos:

- Construções in loco: estruturas de baixo custo, montadas com materiais à disposição na área, que consigam ser posteriormente reciclados.

- Distribuição de Kits: precisam de ser obras de pequena dimensão e de rápida montagem, provisórias e pertinente à cultura em que se inserem. Nestes "refúgios", apesar da sua eficiência, as lonas não representam uma resolução completa das problemáticas que estas intempéries evidenciam, pelo que há, então, que existir um alicerce de sustentação para servir enquanto estrutura das lonas. Desta forma, são utilizados instrumentos provenientes do local ou utensílios oferecidos pelas organizações de auxílio para a sua construção, como, por exemplo, a madeira e o bambu (Organização Internacional para a Migração, 2017).

Os kits de abrigo que as entidades de assistência distribuem, disponibilizam somente corda e folhas de plástico para a ajuda na construção do abrigo, para além dos materiais e suportes à disposição. Todavia, estes sistemas não promovem uma qualidade de vida mínima para as condições com que um refugiado se depara numa circunstância de emergência. No uso de lonas de plástico sobre uma estrutura, é tido em conta o clima em que se insere, sendo que em temperaturas baixas, são usados materiais isolantes e impermeáveis, e nos ambientes quentes atende-se a proteção do sol e do ar quente, como é representado da figura 4.



Figura 4. Abrigo de emergência de papel para ACNUR, Arquitetos Shigeru Ban (Ban, 2014).

Relativamente ao saneamento, este é feito através de latrinas, de forma a que exista um risco mínimo de contágio de doenças. Os cenários de emergência são criados com folhas de plástico e os suportes com colunas de madeira e pregos, de forma a erguer um suporte simples ou um conjunto maior, constituído por blocos de latrinas, para controlar a escassez de recursos, o que requer também uma organização da população envolvida por idade e sexo. Assim, estas variam consoante as especificações de cada grupo, pelo que podem ser criadas latrinas de trincheira, com suporte para as pessoas se baixarem. Idealmente, estes espaços devem ser latrinas individuais ou familiares (IFRC, 2007).

1.4 Requisitos de abrigo e assentamentos de emergência

Existem diversas organizações que visam a construção e organização de abrigos de emergência espalhadas pelo globo, tais como a OIM, ou a Associação SPHERE. Esta última foi criada em 1997, por organizações humanitárias não governamentais, em conjunto com o a Cruz Vermelha, tendo como objetivo a melhoria da qualidade e rapidez de resposta a situações de desastre ou conflito. Sendo uma das principais organizações a trabalhar nesta área, a SPHERE criou um manual onde são descritos os princípios básicos para assegurar a resposta às necessidades básicas de refugiados (SPHERE, 2021).

Geralmente, a solução encontrada por estas organizações para providenciar estes abrigos passa pela utilização de tendas feitas de lona, devido às características de impermeabilidade e durabilidade deste material, bem como pela facilidade de construção. Estes abrigos pertencem ao grupo dos NFIs - Non-food Item - distribuídos pela OIM em operações de resposta humanitária, agrupados em kits desenvolvidos e ajustados de acordo com as necessidades específicas de cada país, após vários estudos e experiências de campo. Estes kits são constituídos por itens básicos - materiais e ferramentas - para construir um abrigo, sendo distribuídos em fardos, de modo a economizar volume, e entregues em unidades às famílias.

Relativamente aos materiais: a lona distribuída pelas organizações deve ter o tamanho padrão entre 4m x 5m e 4m x 6m, sendo este último o ideal, com faixas de reforço. A construção da estrutura do abrigo depende geralmente dos materiais, tecnologias e recursos disponíveis de cada local, visto que, como o kit de emergência não inclui estrutura, depende também de materiais locais ou recursos posteriormente fornecidos pelas organizações, como madeira ou bambu.

Os requisitos atuais para folhas de plástico são testados e estabelecidos de acordo com padrões da ISO (International Standards Organization), da BSI (British Standards Institute), da ASTM (American Society for Testing and Materials Standards) ou da Associação de International Fabrics (CPAI-84, para retardar chamas).

A fixação das folhas de plástico a uma estrutura, recorre a corda como o material mais comumente usado, tendo normalmente 5 mm a 14 mm de diâmetro. As fibras da corda podem ser fabricadas com diversos tipos de materiais, como poliamida (PA), polietileno (PE) e fibras naturais. O PA é um exemplo de material com maior resistência e de custo elevado, sendo que as fibras naturais e o polietileno (PE) são materiais mais baratos que possuem uma redução considerável nas propriedades mecânicas, ainda que as fibras naturais possuam a vantagem de ter alta resistência aos UV (figura 5).



Figura 5. IOM Standard Seaking-off Kit (SOK) (Organização Internacional para a Migração, 2017).

Considerando as especificações dos materiais para a construção dos abrigos, exigem-se os seguintes padrões básicos (ACNUR, 1967):

- 3,5m² de espaço habitacional por pessoa e 2m de altura no ponto mais alto;
- Adaptabilidade tendo em conta condições climáticas, culturais e recursos disponíveis nos locais;
- Durabilidade e sustentabilidade dos materiais;
- Abrigos individuais para cada família de modo a garantir a privacidade e segurança;
- Subdivisão do abrigo, se necessário, de modo a respeitar a privacidade entre familiares;
- Precaução de problemas ambientais;
- Fornecimento do mínimo de materiais necessários, de modo a evitar o desperdício;
- Entre outros.

Além do mais, aquando da utilização de estruturas de lonas de plásticos, importa também analisar e considerar os seguintes princípios de conservação e prevenção:

- A carga deve ser dividida igualmente pela área;
- A fixação das partes deve ser feita através de bandas de reforço ou cordas;
- A fixação ao solo deve fazer-se através de lâminas enterradas em valas;

- As lonas devem estar apertadas e inclinadas para evitar desequilíbrios;

- Deve ser evitado o contacto com objetos de materiais cortantes ou que causem fricção;

- Deve ser evitada a proximidade a superfícies que emanem calor (metais, refletores, etc.);

- As estruturas devem permanecer distantes entre si, promovendo a privacidade e prevenindo a propagação de incêndios;

- Devem ser utilizados materiais e processos sustentáveis.

1.5 Estruturas atuais construídas

Os abrigos básicos são concebidos com o equipamento constituinte dos kits de emergência, tais como a corda e a lona, oferecem proteção e um espaço minimamente seguro, com recurso a materiais específicos da região (figura 6). Contudo, se não estiverem materiais de qualidade à disposição, são usadas materiais e métodos de construção alternativo, tendo em consideração os efeitos que podem ter na cultura e no ambiente e ainda o impacto na economia local. Assim, os equipamentos e estratégias colocadas na criação do abrigo devem permitir a alteração e ajuste do espaço, caso seja necessário.



Figura 6. Nur Hossen faz melhorias no abrigo de sua família no campo de refugiados de Kutupalong, em Bangladesh, ACNUR/Andrew McConnell (Matthew Saltmarsh, 2018).

Os abrigos de lona devem ser utilizados de forma a permitir um refúgio rápido, visto integrarem uma estrutura de suporte de fácil manuseamento. No entanto, são mais complexos e mais dispendiosos, sendo estes escolhidos em circunstâncias como a escassez de equipamento local, falta de suportes utilizáveis ou a falta de conhecimentos de construção.

As soluções de abrigo dependem principalmente das tecnologias locais e materiais de construção, assim como das aptidões técnicas disponíveis. Desta forma, as organizações humanitárias reconhecem a necessidade de novas ideias e conceitos

para simplificar a sua construção, a qual deve ser possível por moradores sem mais assistência.

Assim, nas próximas secções, serão analisadas tecnologias e materiais inovadores, como a impressão 3D e 4D, , com o fim de desenvolver uma solução simples e económica, com recurso a polímeros com memória de forma (SMP) e fornecer uma área de pelo menos $10m^2$.

2. Materiais

2.1 O uso de materiais em abrigos de emergência

Os materiais e ferramentas usados para a construção ou arranjo de abrigos podem diferir consoante as necessidades impostas pela emergência em questão. Assim, podem ser utilizados materiais de fácil acesso, como as lonas de plástico e as folhas de aço ondulado. Hoje em dia, o uso de materiais à disposição no local é mais vulgar, devido ao baixo custo e ao fornecimento quase imediato, sendo que, se estes forem usados excessivamente, podem possibilitar uma subida nos preços e repercussões no meio ambiente.

A adaptação do abrigo a variações súbitas à situação de emergência em que se insere é essencial para que as pessoas que procuram auxílio se sintam seguras e distantes da situação anteriormente experienciada. Se a solução passa pelo uso de bambu ou madeira para a elevação do suporte da construção, são tidos em conta fatores como a organização prévia do projeto, a seleção de materiais atendendo ao limite que as questões ambientais impõem, a sustentabilidade da obra e a projeção e edificação de um abrigo com segurança. Na escolha destes equipamentos, atenta-se às suas propriedades, sendo examinado o peso, durabilidade, versatilidade e sustentabilidade. Visto que estas ferramentas são de origem natural, a identificação do seu tipo, é essencial, de maneira a responder às necessidades específicas de cada construção, pelo que a utilização eficaz dos materiais é de extrema relevância, de forma a não colocar em causa a durabilidade e proteção do abrigo. Assim, o apoio às entidades locais e às pessoas lesadas mostra-se igualmente fundamental, quer através de auxílio técnico, como de uma possível posição de assistência por parte das instituições, na incapacidade destas trabalharem sozinhas.

2.2 “Lona”

Na eventualidade da aplicação de uma lona por medida ser necessária, há que compreender a sua relevância. Este é um material que é cortado e trabalhado com as dimensões pretendidas, sendo recomendado enquanto resguardo, coberto ou refúgio em espaços interiores ou exteriores. Desta forma, existem lonas com variadas características, cada uma com a sua utilidade específica, sendo que se podem identificar como lona plástica preta, branca, amarela, azul ou verde, lonas plásticas reforçadas de cobertura estática, lonas plásticas de dupla face, lonas de camionista, lonas para toldo de garagem e as lonas agrícolas (Silva, 2019).

A “lona” plástica preta, por exemplo, é utilizada na construção civil, na conservação de produtos e em inúmeras atividades de produção agrícola. É uma ferramenta de baixo custo e é produzida com polietileno de baixa densidade, podendo proteger do clima e impermeabilizar o solo, o que torna este produto mais versátil. Este tipo de “lona” pode então ser então categorizada, consoante as espessuras, de três formas: a “lona” plástica leve, intermediária e pesada.

- A primeira é produzida com polietileno de baixa densidade (PEBD), que é um material de baixa consistência, principalmente utilizado para revestir e resguardar do pó. A “lona” tem cerca de 0,05 mm de espessura.

- A “lona” intermediária é também constituída por PEBD, mas com uma maior densidade, aconselhada para impedir a passagem de líquidos, permitindo assim que a área em questão se mantenha seca. Geralmente. estas lonas têm entre 0,10 mm a 0,15 mm de espessura.

- Por fim, a “lona” mais pesada, produzida com o mesmo material, permite que exista uma maior firmeza na construção, concedendo maior resistência e defesa em situações de mau tempo. A “lona” plástica pesada tem 0,15 mm a 0,20 mm de espessura.

2.2.1 “Lonas” plásticas especiais

A “lona” plástica especial é também produzida com polietileno de baixa densidade, apesar de também poder ser constituída por polietileno de alta densidade (PEAD), cujas principais caracterísitcas se prendem com a sua resistência e a sua robustez, que com o acrescento de produtos com a defesa a raios UV, o quetorna o material muito mais resistente à luz do sol. Estas peças têm cerca de 0,15 mm a 0,50 mm de espessura (Silva, 2019).

2.2.2 “Lona” plástica reforçada de cobertura estática

Este tipo de “lona” é criado com polietileno de alta densidade, PVC ou PP, sendo utilizada para revestimentos, toldos e telhados com uma espessura entre 0,10 mm a 0,50 mm (figura 7) (Silva, 2019a).



Figura 7. “Lona” para cobertura de telhado (Primavera, 2022).

2.2.3 “Lona” de camionista

Este é um dos tipos de lonas utilizado mais frequentemente, pois serve para cobrir a parte traseira dos camiões, sendo formadas por PVC ou algodão, apresentando assim várias espessuras, tornando o material mais resistente e duradouro (Silva, 2019).

2.2.4 “Lona” para garagem

As “lonas” para a garagem permitem o abrigo dos raios UV em caso de sol e da chuva, sendo maioritariamente utilizado em empresas, supermercados e habitações, sendo que, este último, é usado essencialmente em garagens e carros (figura 8) (Silva, 2019).



Figura 8. Cobertura para garagem em “lona” (Decorfacil, 2021).

2.2.5 “Lona” plástica dupla face

A “lona” plástica dupla face apresenta, como o nome indica, duas faces, uma preta e uma branca, como se pode verificar na figura 9, a qual é usada para a mudança de direção dos raios solares, o que permite a dissipação do calor. Este material é também de baixo custo e é utilizada para forrar tanques com água, ajudando a atenuar o calor no interior (Silva, 2019).



Figura 9. “Lona” dupla face (Silva, 2019b).

2.2.6 “Lonas” coloridas

2.2.6.1 “Lona” plástica amarela

A “lona” plástica amarela permite a entrada de mais luz nos espaços e é usada em espaços comerciais. Esta cor transmite sensações de felicidade, esperança, originalidade e tranquilidade (Silva, 2019).

2.2.6.2 “Lona” plástica azul

A “lona” plástica azul é produzida com polietileno de baixa densidade, é de elevada qualidade, sendo que transmite sensações de equilíbrio, serenidade e bem-estar em espaços como hospitais, estúdios e salas de escritórios (Silva, 2019).

2.2.6.3 “Lona” plástica verde

A cor deste tipo de “lona” simboliza a clareza, estabilidade, esperança, fertilidade e especialmente o meio ambiente. Estas lonas verdes podem então ser empregues em inúmeros situações (Silva, 2019).

2.2.7 Tamanho da “lona”

De forma a que a cobertura de um espaço ou objeto seja feita de forma segura, deve ser feita a medição da extensão do material, pelo que é necessário saber o espaço

onde esta vai ser utilizada. Desta forma, é importante saber que existem diferenças no corte da lona, dependendo da finalidade do projeto. Para o revestimento de telhados em habitações, por exemplo, deve ser feito um corte de tamanho certo de maneira a que forme uma capa justa e firme. Já no caso de proteção de equipamentos de construção é essencial que o tamanho de corte não seja exato no tamanho das peças que estão a ser cobertas, mas um pouco maior, de forma a que exista uma melhor proteção destes. O mesmo acontece para forrar o contrapiso, onde é necessário, no mínimo, duas vezes o tamanho da zona, de forma a que sejam criadas duas camadas.

3. Fabrico aditivo

O fabrico aditivo reúne diferentes tecnologias que, a partir de um modelo desenhado digitalmente na terceira dimensão gerada por um computador e através de um software que faça leitura de ficheiros STL, permite fabricar modelos físicos com diversos materiais, como em cerâmica, polímero, metal e compósito. Com esta tecnologia a fabricação destas peças tem de utilizar o princípio de sobreposição de camadas (Bose et al., 2018).

Este processo teve origem no final dos anos 60, quando surgiram as primeiras tecnologias. Onde o primeiro processo de fabrico aditivo foi a foto-polimerização, de seguida, com o propósito de criar mapas topográficos tridimensionais foi criado o processo de sinterização a laser de pó metálico. Entre os anos 80 e 90, registou-se um elevado crescimento de publicações académicas e patentes em relação ao fabrico aditivo, sendo que, no início dos anos 90, na universidade do MIT (Instituto de Tecnologia de Massachusetts), surge a LBM (Fusão por Feixe de Laser), visto que, na mesma época, houve uma enorme comercialização de impressoras com a tecnologia de estereolitografia (SLA). De seguida, em 1988, Scott Cump, fundador da empresa Stratasys, cria a deposição de material fundido (FDM), sendo que o seu crescimento, entre outros, pode ser observado na figura 10 (Gao et al., 2015).

Em 2005, devido ao avanço da internet e da vantagem da partilha rápida de conhecimento, quer a nível de hardware, como de *software open-source*, a fácil replicação de impressoras 3D num ambiente caseiro tornou-se possível, ao qual se deu o nome de RepRap (Gao et al., 2015).



Figura 10. Cronograma evolutivo da tecnologia de Impressão 3D (Santos, 2016).

A comunidade de RepRap, assim como de indivíduos interessados em impressão 3D, foi aumentando até ao presente, o que acarretou muita investigação e inovação e, consequentemente, permitiu a abertura de uma nova categoria de mercado que entra em competição com outras tecnologias de fabricação.

Atualmente, o fabrico aditivo é encontrado num elevado leque de aplicações, na área dos transportes, da arte, da arquitetura, educação, desporto, indústria aeroespacial, militar e ainda detém uma grande aplicação na medicina e medicina dentária (figura 11) (Gao et al., 2015).

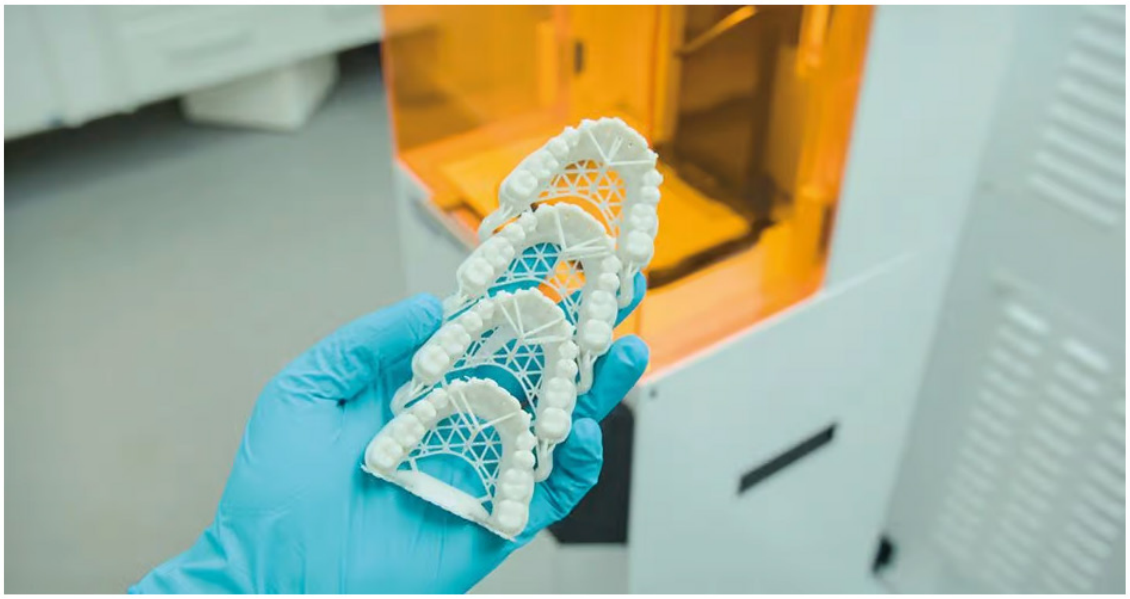


Figura 11. Impressão 3D para ortodontia (Systems, 2022).

De acordo com Compositeslab, os processos de fabricação de compósitos podem ser divididos em três tipos: moldação aberta, moldação fechada e moldação de polímero fundido (figura 12). A moldação aberta resume os processos onde os materiais (resinas e fibras) são colocados num molde, expostos a raios ultravioletas, curam ou endurecem, apresentando vantagens a nível de custos, no sentido em que é uma técnica de baixo custo, eficaz para uma pequena produção ou para prototipagem (Compositeslab, 2016).

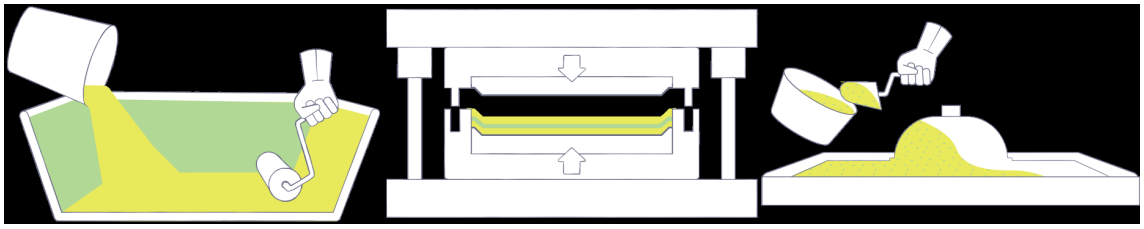


Figura 12. Processo de modelagem aberta, modelagem fechada e modelagem por polímero fundido (Compositeslab, 2016).

Em processos de moldação fechada, os materiais compósitos são curados dentro de um molde com dois lados (numa atmosfera fechada) ou dentro de um saco de vácuo, cujo processo pode ser facilmente automatizado, o que exige equipamentos

especiais e, consequentemente, é mais dispendioso. Os processos de molde fechado são utilizados quando há necessidade de um acabamento dupla-face ou quando o volume de produção é significativo. Por sua vez, o processo de moldagem de polímeros fundidos é um método que pode usar moldagem aberta ou fechada, dependendo da resistência específica. Através deste método, uma mistura de resina e cargas é vazada em um molde onde cura ou endurece, o que produz produtos de qualquer tamanho e forma.

Uma vez que esta investigação aponta na direção do uso de polímeros para o desenvolvimento do produto, é também fundamental introduzir alguns métodos usados para compósitos. Este é um processo automatizado onde o plástico é pressionado a um molde, formando uma forma final.

Esses métodos foram introduzidos tendo por base a ideia de que a utilização de materiais compósitos fabricados a partir destes mesmos processos, poderia beneficiar o desenvolvimento do produto, com o objetivo de melhorar as propriedades do material em termos de resistência específica, rigidez e dureza.

Com o objetivo de reduzir os custos na prototipagem e no desenvolvimento de produtos de peças compositas, surgiram novos processos aditivos de fabrico. Apesar de alguns processos de fabricação de compósitos, tais como prensagem a quente e *lay-up* manual (figura 13), poderem ser considerados fabrico aditivo (FA), a evolução da mesma ocorreu com a introdução de tecnologias de impressão 3D.



Figura 13. Aplicação do processo de fabrico *lay-up* (Sercel, 2017).

Neste sentido, o fabrico aditivo, também conhecido como impressão 3D, é um método de grande interesse nesta dissertação, visto ser um método que permite a rápida produção de estruturas tridimensionais diretamente de um modelo CAD, sendo portanto um processo que também pode ser adaptado à tecnologia de impressão 4D, através da utilização de materiais *smart*, conforme referido anteriormente.

De acordo com Tofail et al. (2018), o sucesso do FA depende de quão bem as funções do produto manufaturado correspondem ao seu uso designado no mercado. Além disso, os desenvolvimentos mais recentes na fabricação aditiva demonstram a capacidade de fabricar produtos complexos e inovadores, aproveitando os benefícios da impressão 3D.

As tecnologias de impressão 3D avançaram exponencialmente, sendo especialmente

utilizadas para a prototipagem rápida, o que influencia os compósitos da indústria, inclusive considerando que algumas destas têm mostrado potencial na produção de peças com compósitos, especificamente as tecnologias a base da extrusão.

No que toca aos processos de FA, o FDM é um dos mais amplamente utilizados, pertencente à categoria de extrusão de material, em que os objetos são construídos pela deposição de material fundido, através de um caminho programado, uma camada de cada vez até atingir a forma designada (figura 14) (Kun, 2016).

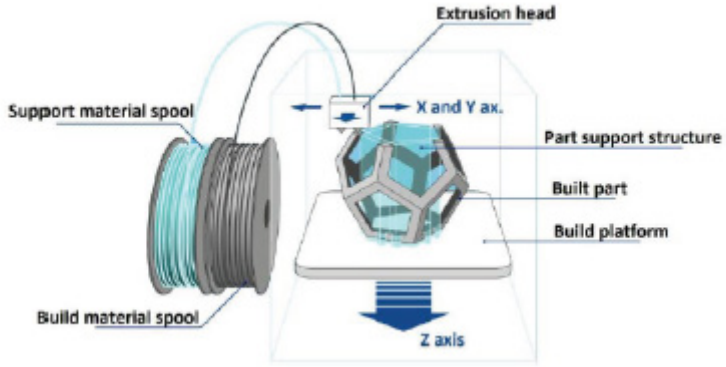


Figura 14. Processo FDM (Kun, 2016).

Considerando a ampla variedade de materiais disponíveis, a utilização da FDM é considerada uma vantagem, desde os termoplásticos mais comuns, como por exemplo, ABS e PLA, PA, TPU e PETG, até aos termoplásticos de alto desempenho (como PEEK e PEI), o que, consequentemente, aumenta assim o seu desempenho e custo. Estes materiais comuns utilizados no processo FDM fornecem a base para sistemas compósitos de alto desempenho, permitindo uma maior liberdade de design em comparação aos métodos tradicionais de fabricação. Os processos de fabrico aditivo foram analisados, com o objetivo de compreender melhor os métodos de fabrico e, assim, dependendo do tipo de peça, selecionar os mais lucrativos para uso no desenvolvimento do produtos. Assim, o FDM foi o escolhido por ser o processo disponível para testar os materiais selecionados e também aquele que apresenta resultados mais económicos.

4. Impressão 3D

A Impressão 3D foi inicialmente apresentada como prototipagem rápida, sendo que o seu conceito evoluiu até aos dias de hoje, sendo agora conhecida como fabrico aditivo, um processo distinto da fabricação tradicional devido à adição de material, camada por camada, em vez de remoção.

A impressão 3D tem vindo a evoluir devido ao grande desenvolvimento de novos polímeros a serem aplicados em tecnologias, como a SLA (Estereolitografia), a FDM (Modelação com Deposição Fundida) e a SLS (Sinterização Seletiva a Laser), as quais ainda permanecem num lugar de destaque para polímeros (Wohlers & Gornet, 2014).

Atualmente, o investimento neste processo continua a aumentar, pelo que as indústrias se estão a perceber do potencial desta tecnologia, o que também se deve ao facto de que vários concorrentes apresentam novas soluções neste sentido, o que influencia fortemente a redução significativa dos custos (Santos, 2016). Podemos verificar na tabela 1, onde esta tecnologia é aplicada em diferentes setores industriais.

Tabela 1. Aplicações atuais e potenciais da Impressão 3D (elaborado pelo autor).

Indústria	Aplicações	Futuro
Aeroespacial	Prototipagem. Baixa produção de objetos funcionais.	Fabricação de asas, motores e veículos aéreos não tripulados.
Alimentar	Produtos alimentares de formas complexas.	Personalização em massa de receitas. Produção de alimentos e receitas no espaço.
Automóvel	Prototipagem. Prototipagem rápida. Desenvolvimento de ferramentas personalizadas. Produção de peças funcionais.	Rápida fabricação de peças de automóvel sobresselentes.
Militar	Prototipagem. Produção de peças funcionais.	Produção de sensores biométricos, de uniformes e de exosqueletos
Saúde	Prototipagem. Impressão de próteses. Implantes médicos. Aparelhos auditivos. Implantes dentários. Produtos farmacêuticos.	Produção de tecidos e órgãos funcionais para transplante.
Eletrónica	Prototipagem. Produção de peças funcionais.	Produção de objetos com circuitos eletrónicos já embutidos.
Design	Molde para protótipos. Prototipagem. Produção de peças funcionais. Produção de pequenos volumes de produtos para comércio.	Produção de peças personalizadas em maior massa. Impressão de peças funcionais em grande escala.

Como o próprio nome indica, o processo FDM é baseado na adição de material até que a forma seja alcançada. No entanto, existem ainda algumas restrições na elaboração do modelo para impressão 3D (Hubs, 2022):

- tolerância dimensional: ± 0,5% (limite inferior ± 0,5 mm);

- apoio: inclinação com menos de 45° requerem suportes de apoio;

- furos: diâmetro mínimo recomendado de 0,5 mm a 2 mm.

A contração do material e as tolerâncias mínimas também devem ser tidas em consideração, bem como as propriedades mecânicas de cada material após o seu fabrico (HUBS, 2022).

Neste sentido, o processo de FA ocorre após a conceção de um modelo CAD (arquivo sólido), que é, posteriormente, convertido para um arquivo standard triangle language (STL), através de um software CAD 3D. Assim, os arquivos STL representam o objeto através da sua superfície, feito com um conjunto de triângulos. Após a sua obtenção, o arquivo é carregado num software "slicer", com o objetivo de obter um modelo fatiado, representado por G-CODE, o qual contém todo o processo de impressão, como a velocidade da impressão, espessura da camada, deposição do enchimento, temperatura e estruturas de suporte. Para imprimir um componente, basta apenas fazer o carregamento do G-CODE numa impressora 3D.

4.1 Impressão 3D em grande escala

A impressão 3D veio abrir um leque de vantagens, que se estende desde a liberdade de formas até à rápida prototipagem. Com isto, esta tecnologia tem vindo a conquistar diversos campos de pesquisa nestes últimos anos, através das suas aplicações na área da educação, automóvel, aeroespacial, industria médica e na engenharia civil.

Na indústria da construção civil, por exemplo, a impressão 3D em grande escala tem evoluído e abrangido novos conceitos na construção de um espaço, sendo que esta evolução ocorre não apenas a nível mecânico, mas também ao nível de exploração de novos materiais, como, por exemplo, os compósitos (Stratasys, 2017).

Na maioria, a impressão 3D em grande escala revela não ser mais do que uma ampliação e aplicação de tecnologias já existentes, resultando a partir de um novo conceito na indústria da construção – Freeform Construction (FC), o qual consiste em processos que englobam o fabrico de componentes de construção em grande escala, visto que demonstram uma maior funcionalidade e capacidade em relação aos processos tradicionais utilizados na construção civil. Quando este processo de fabrico é aplicado, há que considerar o custo do material, a velocidade do processo de FC, que pode não ser mais rápido que os processos tradicionais, e que uma melhor performance de impressão pode ser atingida em correlação com a melhor exploração da geometria do modelo digital para a tecnologia de impressão 3D escolhida (Buswell et al., 2007).

Atualmente, existem 5 processos aditivos em grande escala que permanecem em desenvolvimento, como *contour crafting, d-shape, concrete printing, wire and arc additive manufacturing e direct energy deposition*. Todos estes processos tecnológicos têm as suas especificidades de funcionamento e suportam tipos de materiais diferentes (Gosselin et al., 2016).

D-Shape é um processo aditivo que utiliza um jato de ligante, onde cada camada de material é depositada numa área já anteriormente programada com uma espessura definida e compactada e, através de um braço robótico, o material aglomerante é depositado sob a forma de jato na zona prevista a ser endurecida. O material que envolve a estrutura e não endurece, tem como objetivo criar suporte à impressão. Após a conclusão do modelo, este é separado dos suportes, que se transformam em pó, visto não terem sido aglutinados. Este processo já permitiu criar estruturas com mais de 1,5 metros de altura. A figura 15 apresenta um modelo impresso pelo processo de D-Shape (Lim et al., 2012).



Figura 15. Impressora 3D D-shape e a estrutura impressa utilizando este processo (Lee et al., 2018).

Contour Crafting (CC) apresenta-se como uma das primeiras tecnologias utilizadas em campo para a construção automatizada, usando o processo de fabrico camada por camada. Esta tecnologia encontra-se em constante evolução, o que reduz significativamente os custos, sendo que isto deve-se, principalmente, à rapidez de construção, poupando também custos de mão de obra. Esta pode ser aplicada a vários tipos de construções de edifícios, como casas ou edifícios comerciais, tendo ainda mostrado potencial para ser explorado em Marte (mostrado na figura 23, na página 34) (Khoshnevis, 2004).

O CC é capaz de produzir estruturas maiores que um metro de altura, utilizando uma pasta à base de cimento que é extrudida numa plataforma polida para iniciar a camada interna e externa de uma parede que é, de seguida, preenchida com o material. Esta tecnologia integra duas fases de processo. A primeira, já mencionada, e a segunda, que envolve um manipulador que molda o material enquanto o mesmo vai sendo extrudido. A combinação destas duas fases e as características dos materiais permitem o depósito de grandes quantidades de material, o que pode manter um acabamento superficial bastante liso (Buswell et al., 2007). A figura 16 apresenta um modelo impresso pelo processo de *Contour Crafting*.



Figura 16. Construção de prédios automatizada usando a tecnologia CC (Rodrigues, 2022).

Concrete Printing é um processo baseado, também, na extrusão de cimento. Esta tecnologia utiliza material de suporte durante a impressão, de maneira a sustentar o modelo em produção. A figura 17 apresenta um modelo impresso através deste processo (Gosselin et al., 2016).

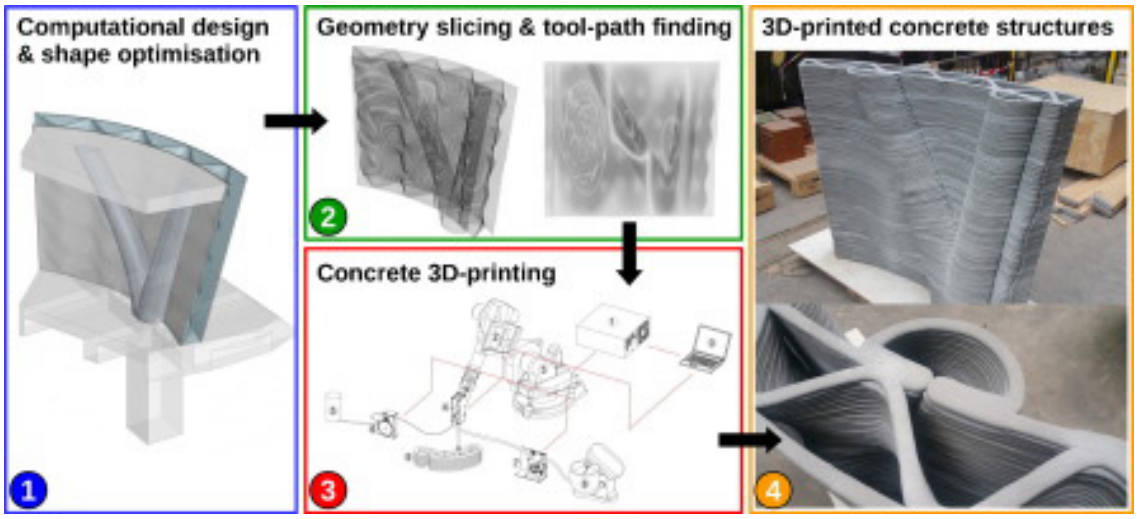


Figura 17. Modelo Impresso através do processo de Concrete Printing (Gosselin et al., 2016).

O processo de ***Wire and Arc Additive Manufacturing*** (WAAM) baseia-se no princípio da soldadura,onde é utilizado o arco elétrico e um sistema de alimentação de fio metálico para a construção de modelos 3D de grande dimensão, a partir de materiais metálicos. Este tipo de tecnologia despertou um grande interesse na indústria aeroespacial para a fabricação de grande componentes, considerando que permite construir modelos geometricamente complexos, a partir de qualquer metal que possa ser soldado (figura 18) (Artaza et al., 2017).

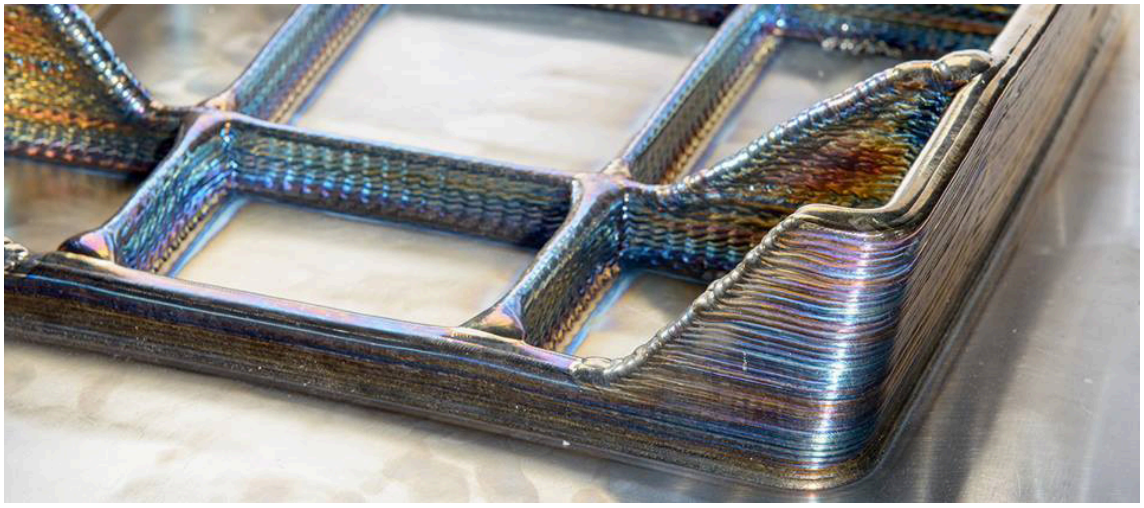


Figura 18. Estrutura impressa com o processo WAAM (WAAM3D, 2020).

Direct Energy Deposition (DED) consiste numa tecnologia que produz modelos de grande escala, que conta já com a produção de peças com mais do que 1 metro de comprimento e, em algum casos, até mesmo com mais do que 5 metros, utilizando o metal como matéria prima. O processo consiste na deposição de pó metálico, que é fundido por um laser, ou um feixe de eletrões, através de uma ponteira por onde é expelido o material, que, por sua vez, fica instalada num braço de 5 eixos, que produz a peça numa plataforma. Esta tecnologia tem tido diversas aplicações, quer na reparação de componentes metálicos que se encontrem danificados, quer na produção de revestimentos metálicos (figura 19) (University, 2022).



Figura 19. Restauração de um componente industrial com DED (Listek, 2019).

Com a evolução destes cinco processos tecnológicos dentro da indústria da construção, diversas empresas e instituições investiram para desenvolver tecnologias com o objetivo de superar as limitações arquitetónicas e construtivas. Pesquisadores no Institute for Advanced Architecture of Catalonia (IAAC) realizaram novos desenvolvimentos com a fabricação robótica associada a fabricação aditiva, agregando uma maior mais valia desta técnica à construção. Como exemplo, foram desenvolvidos os minibuilders (figura 20) e um projeto de robótica (figura 21), onde ambos utilizaram processos baseados na extrusão, porém com diferenças nos materiais e métodos de robótica.

O projeto minibuilders foi desenvolvido de forma a ser adaptativo, ao fabricar diversas estruturas, independentemente da sua forma final. Sem limitações, estes pequenos e leves robôs são móveis e podem imprimir estruturas de grande porte, através da deposição de camadas de cimento, sendo que uma família de robôs coordenados para desenvolverem as tarefas atribuídas para cada fase de construção, desde o pavimento, paredes, tetos e reforços, torna a construção muito mais rápida (IAAC, 2015).

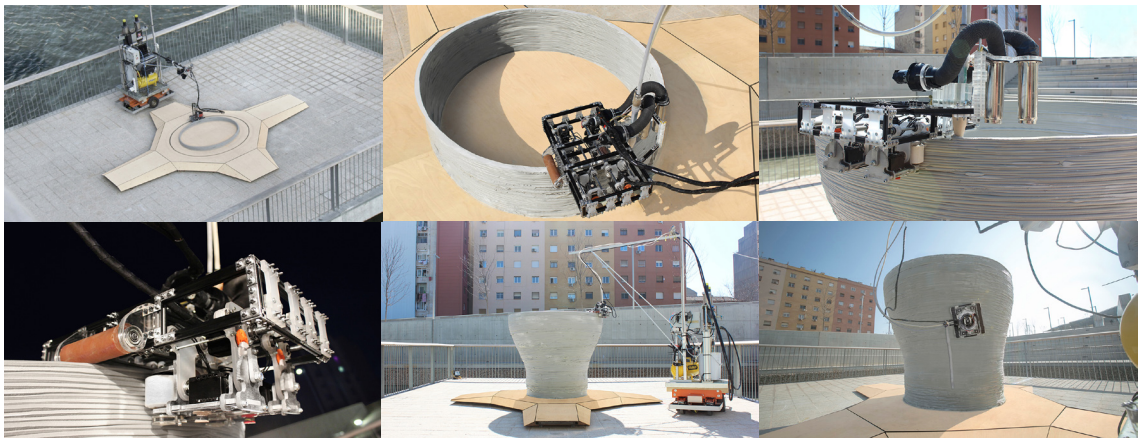


Figura 20. Processo de construção de grandes estruturas utilizando minibuilders (IAAC, 2015).

O projeto de robótica *On Site Robotics* foi desenvolvido para demonstrar os potenciais da AM e robótica na construção, ao combinar a tecnologia e materiais naturais para construir edifícios de baixo custo. Este sistema inclui um robô que tem um cabo ligado a um controlador CNC, capaz de automatizar o movimento da extrusora 3D com precisão. Através do recurso a cabos, operados por guinchos servo-controlados de fácil montagem, manutenção e reconfiguração, a impressão pode acontecer em diversos espaços de trabalho e até mesmo diretamente no local das obras. No sistema, está também integrada uma extrusora que liberta um material de extrusão natural, biodegradável, reciclável e à base de argila local. Tudo isto está combinado com um projeto personalizado e integrado num software CAD, que permite traduzir formas complexas de um projeto 3D (IAAC, 2017).



Figura 21. Projeto On Site Robotics (IAAC, 2017).

Estes dois projetos pretenderam revolucionar a indústria da construção e de arquitetura, oferecendo possibilidades inovadoras de padronização no local, reduzindo assim os custos na produção e permitindo a produção em massa de construções personalizadas.

O projeto VULCAN é um dos projetos onde é aplicada a impressão em grande escala (figura 22), sendo uma das maiores estruturas impressas em 3D. Criado pelo Laboratório de Design Criativo (LCD) em Pequim, o pavilhão em forma de triângulo equilátero com 8,08 m por 2,88 m de altura, pode ser dividido em três módulos idênticos, tornando-o flexível em termos de montagem, sendo que a forma do pavilhão se assemelha a uma nuvem de cogumelo formado durante uma erupção vulcânica, daí o seu nome (Xu, 2016).

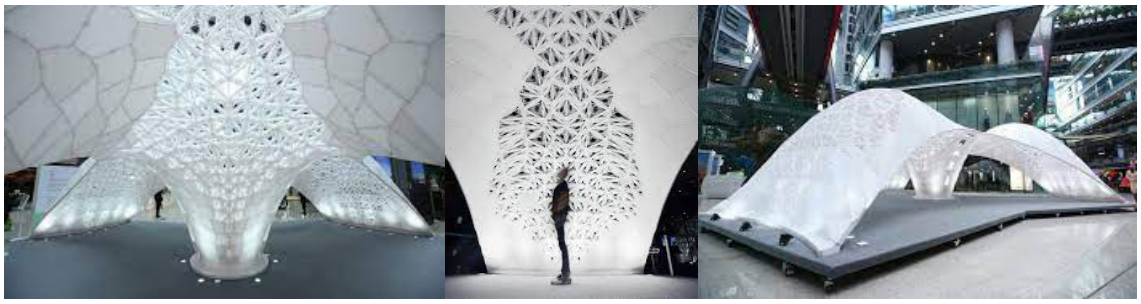


Figura 22. Pavilhão VULCAN (Xu, 2016).

O conceito do VULCAN levou três meses a desenvolver, desde a simulação do seu design ao gerar o código para a impressão. De seguida, 20 grandes impressoras que foram conectadas entre elas para imprimir 1086 unidades em 30 dias, que foram, posteriormente, montadas no local por 15 pessoas em 12 dias (Xu, 2016). Assim, o VULCAN foi uma grande conquista na construção de impressão 3D em grande escala.

A impressão 3D pode também ser aplicada num ambiente mais adverso, onde a sua finalidade é imprimir estruturas em grande escala fora do Planeta Terra. MARSHA, o nome do projeto desenvolvido pela Al SpaceFactory, consiste em imprimir um habitat para Marte em 30 horas numa situação de crise sem ajuda humana e foi projetado para abrigar quatro astronautas, sendo que a sua construção respeita as técnicas estruturais e construtivas, bem como os demais requisitos impostos pela NASA (SpaceFactory, 2019a).

Para a produção do *habitat*, a Space Factory criou o seu próprio material, composto por basalto biopolimérico, baseado nos materiais de Marte e no biopolímero (PLA), processado a partir do amido como milho, cana-de-açúcar e beterraba, por exemplo. Este material para além de reciclável, é biodegradável, tendo-se mostrado superior ao cimento, passando os testes de impacto, resistência e durabilidade. O primeiro protótipo foi construído com aproximadamente 5 metros de altura, sendo que, para tal, foi utilizado um braço robótico, o que comprova a possibilidade de desenvolvimento de estruturas em atmosferas hostis ao ser humano, mas também a capacidade de imprimir, em grande escala, com recurso a um material de base polimérica (figura 23) (SpaceFactory, 2019b).

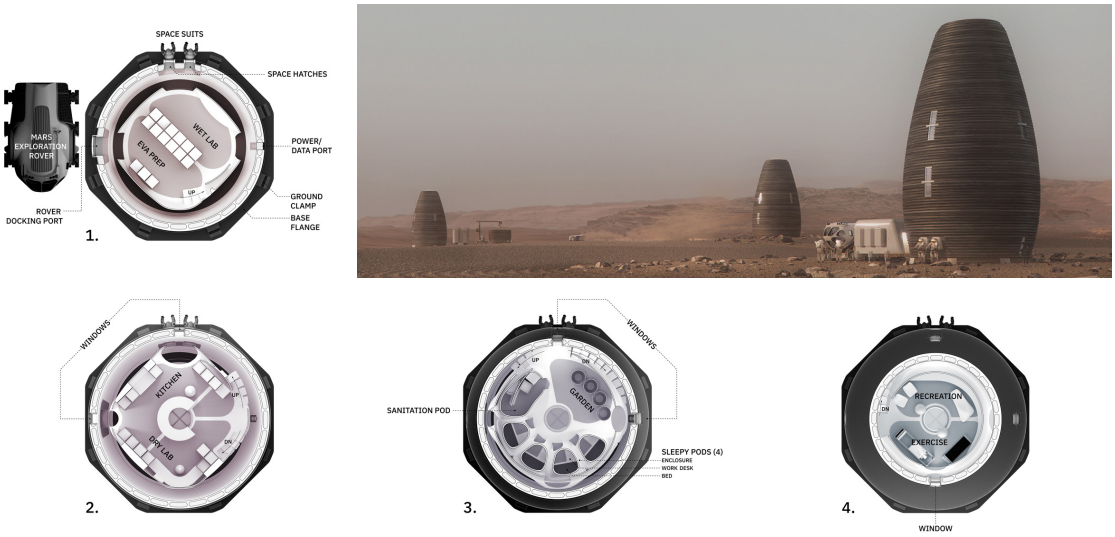


Figura 23. Plantas de cada andar do *habitat* (SpaceFactory, 2019b).

Fora do ambiente da construção de um *habitat* , existiram também impressões 3D em grande escala que são relevantes para esta pesquisa, como um projeto realizado pela Universidade de Maine, nos Estados Unidos, que procedeu à impressão 3D de um barco de 7 metros numa impressora de polímeros com mais de 21 metros de comprimento, (figura 24). Para desenvolver este projeto, o professor Habib Dagher trabalhou com construtores de navios, de forma a perceber como projetar um barco utilizando esta tecnologia e respeitar os requisitos necessários para que o resultado final fosse bem-sucedido. Com isto, nasceu mais uma oportunidade de mercado, onde a impressora 3D pode ser usada para fabricar moldes e, assim, os construtores de barcos podem usá-la para fabricar iates e outras embarcações, acelerando o tempo de construção (GOTEC, 2021).



Figura 24. Impressão 3D de um barco de 7 metros de altura (GOTEC, 2021).

Por fim, Crespo (2019) apresentou um projeto de impressão 3D em grande escala com recurso a ABS, um material conhecido na impressão FDM em pequena escala, já utilizado para diversos projetos. Neste trabalho, é apresentado uma impressão por FDM em grande escala com ABS (acrilonitrilo butadieno estireno), através da utilização de uma mão robótica munida de um sistema de extrusão e uma plataforma de aquecimento para o efeito. Para a realização dos testes para analisar o comportamento do material sobre uma impressão em grande escala, Crespo (2019)

modelou uma geometria simples com um tamanho considerável, pelo que optou pela extrusão de um cubo sem as superfícies superior e inferior, cujo tamanho é de 390x390x390 mm^3 (figura 25). De forma a testar a influência da ventilação, foram testados dois cubos, um impresso com ventilação e outro sem ventilação. A partir da observação dos resultados, foi possível concluir que a impressão sem ventilação é a melhor opção para a extrusão de ABS. A escolha do material neste projeto é importante, visto que o ABS apresenta características como alta fluidez, grande resistência ao impacto e ao calor, alta qualidade superficial e brilho, assim como rigidez (Crespo, 2019).

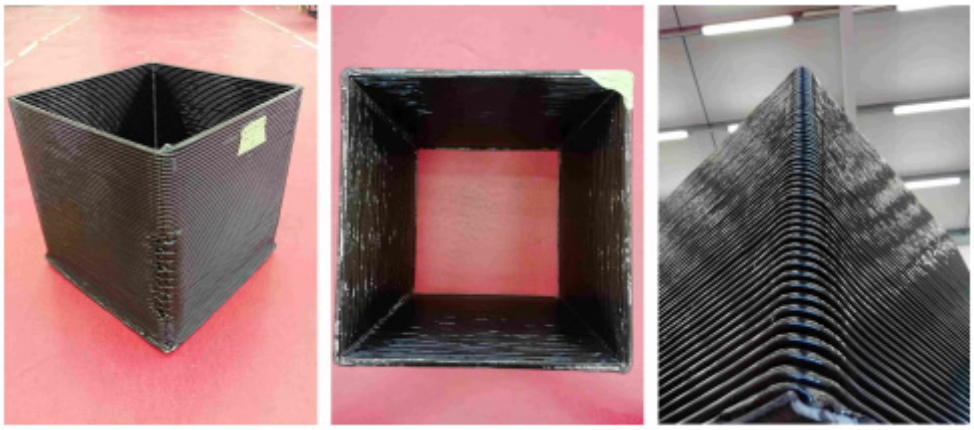


Figura 25. Cubo sem as superfícies superior e inferior de 390mm por 390mm (Crespo, 2019).

Estes projetos são, portanto, representativos do potencial da tecnologia da impressão 3D e sua grande escala de aplicação na indústria da construção, o que possibilita viabilizar soluções para abrigos de emergência num futuro próximo.

5. Impressão 4D

O conceito de impressão 4D é uma nova vertente da impressão 3D, que recorre à utilização de materiais com memória de forma, combinados com outros. Ao longo do tempo, estes podem-se transformar ou alterar de forma. Com isto, há inúmeras vantagens de trabalhar com impressão 4D na vertente na construção, podendo ser utilizada de diversas formas inteligentes, já que as impressões deixam de ser simples peças estáticas sem vida e as estruturas podem ser de automontagem com a capacidade de se adaptar ao meio ambiente (Choong et al., 2017).

A transformação no material sucede-se com recurso a estímulos como o calor, o pH, a utilização de água quente, assim como a luz e temperatura. Os polímeros com memória de forma requerem um processo de programação termomecânico, para transformar uma forma permanente numa forma temporária e vice-versa. Esta forma temporária é conseguida quando o material é aquecido acima da temperatura de transição e deformação. A forma temporária é definida quando a temperatura de transição é superior á temperatura do material. A forma permanente é memorizada pelo material e pode ser recuperada quando este é aquecido e a temperatura supera a temperatura de transformação (Figura 26) (Choong et al., 2017).

Na figura 26 é apresentado um gráfico que apresenta as fases de transformação do material com memória de forma em diferentes ciclos. Inicialmente, é apresentado o primeiro ciclo, com a linha vermelha, que demonstra o seu comportamento nas quatro fases de transformação. O primeiro ciclo, representado a vermelho, mostra que o material quando chega a uma temperatura de 65 graus Celsius é possível submetê-lo a *stress* para chegar a uma tensão superior a 10%, que a seguir passa para a fase 2 em que o material arrefece e endurece mantendo a tenacidade nos 12%, passando para terceira fase *unloading* onde deixa de ser aplicado *stress*, mas os níveis de tenacidade se mantém, quando a temperatura do material começa a aumentar de novo até aos 65 graus Celsius o material entra na quarta fase de recuperação onde os níveis de *stress* e tensão voltam aos valores iniciais. A linha preta representa o décimo ciclo e a linha azul o vigésimo ciclo do processo de transformação que o material sofreu, mostrando que as diferenças não são muito grandes em relação ao primeiro ciclo, dando mais viabilidade ao material.

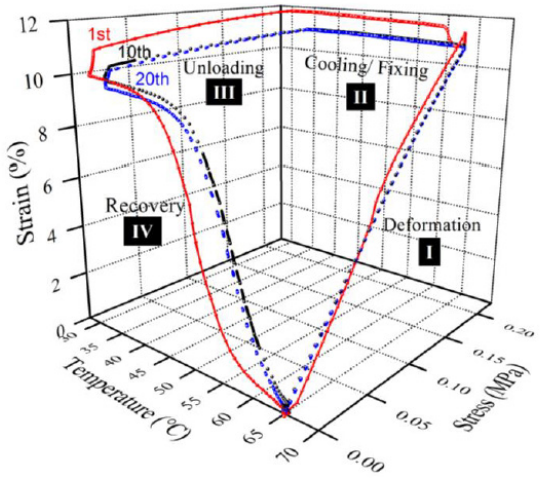


Figura 26. Comportamento da memória de forma de polímeros passando por testes cíclicos termomecânicos (Choong et al., 2017).

A tecnologia de impressão 4D pode ser apropriada para desenvolver e projetar um mecanismo que torne a montagem do primeiro abrigo de emergência automática, através do desenvolvimento de estruturas que se podem montar como uma reação a um estímulo, seja água, o calor ou a luz, sendo esta uma possibilidade que surgiu a partir do uso de materiais inteligentes, programados para que suas propriedades possam mudar e adaptar quando exposto a um estímulo e ambiente.

Esta tecnologia permite que as estruturas estáticas 3D se possam tornar estruturas dinâmicas com diversas formas, propriedades ou funcionalidades, alcançando a automontagem, multifuncionalidade e autorreparo. O processo é quase o mesmo que a impressão 3D, no entanto, as estruturas que antes eram estáticas após a impressão em 3D, podem agora assumir propriedades e formas diferentes após a impressão, devido ao uso de materiais inteligentes, sendo esta a principal diferença entre os dois processos, conforme ilustrado na figura 27 (Momeni et al., 2017).

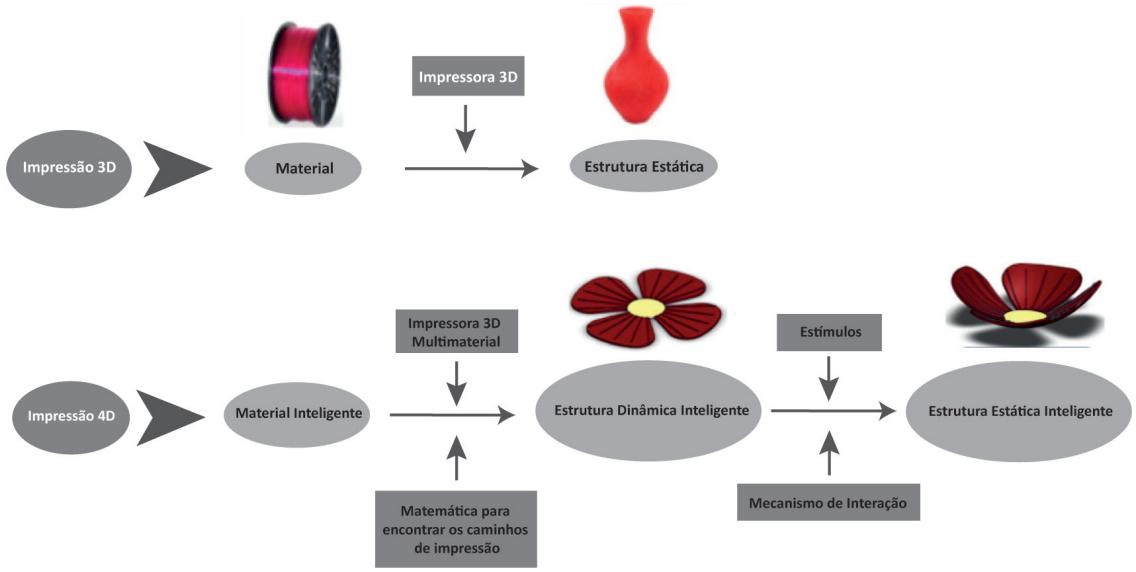


Figura 27. Diferenças entre a impressão 3D e a impressão 4D.

As potencialidades benéficas desta tecnologia prendem-se com a simplificação do processo de design e fabrico, já que a impressão 4D reduz o volume, facilitando, portanto, o armazenamento, transporte e montagem, benefícios estes possíveis com a contribuição de materiais compósitos, que permitiriam a melhoria da resistência específica, rigidez específica e tenacidade das estruturas, vantagens que se aplicam ao objetivo final desta dissertação, com principal destaque para o atributo de automontagem.

5.1 Estado da arte

Depois de entender o conceito desta nova tecnologia e como funciona, foi necessário realizar o estado de arte de impressão 4D e entender como surgiu e quais os projetos envolvidos. Nos últimos anos, com a evolução da impressão 3D, a sua ampla aplicação tornou a ter outro propósito, quando um grupo de investigadores no MIT criou estruturas impressas em 3D que alteravam as suas formas como reação a um estímulo externo (figura 28). Esta pesquisa, introduzida por Tibbits (2014), levou à origem do conceito de impressão 4D, estimulando outros projetos.

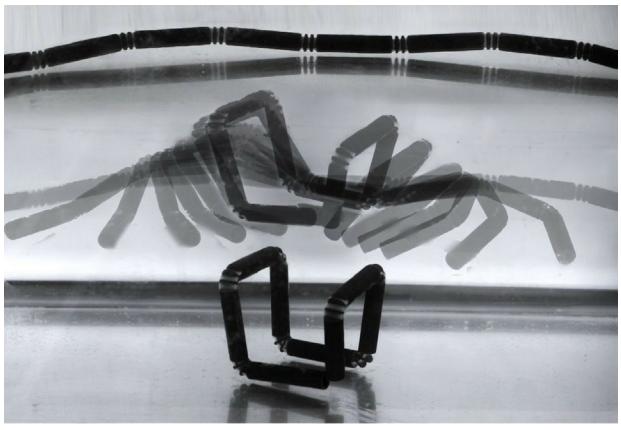


Figura 28. Transformação de fio 1D em cubo de wireframe 3D por autodobragem após exposição à água (Tibbits, 2014).

Um dos fatores que diferenciam a impressão 4D da impressão 3D é a utilização de materiais inteligentes no desenvolvimento de estruturas. Contudo, nem todos os materiais permitem que as estruturas sejam duradouras, principalmente para suportar cargas ao ponto de resolver o problema das estruturas de abrigo de emergência. Considerando os requisitos, autores como Chen et al. (2017), Bodaghi et al. (2016), Mao et al. (2015) e Ge et al. (2014) introduziram grandes desenvolvimentos em estruturas com polímeros de memória de forma, que poderiam resolver alguns problemas construtivos.

No mesmo ano em que os já mencionados pesquisadores do MIT desenvolveram as suas estruturas com memória de forma, outro grupo de investigadores desenvolveu o projeto Active Origami por impressão 4D (Ge et al., 2014), ao desenvolver o conceito de impressão 4D para o design e fabrico de origami ativo, onde uma folha se dobra automaticamente com um componente 3D complexo. Foram impressos compostos ativos com polímero com memória de forma aplicados em fibras impressas com precisão em matriz elastomérica, para a sua utilização como dobradiças ativas inteligentes que permitem padrões de dobragem de origami. O estudo desenvolveu um modelo teórico que fornece orientação na seleção de parâmetros do projeto, como dimensões da barra, comprimento da dobradiça e deformações com a temperatura programada. Ao usar este modelo, projetaram e fabricaram componentes ativos em origami que são montados a partir da dobragem das folhas de polímero.

Quando programado com o protocolo termomecânico apropriado, as dobradiças PAC (Printed Active Composites) dobrarão a folha no desejada forma automaticamente, alcançando um origami por impressão 4D. Para isso, as dobradiças PAC foram criadas, as quais se caracterizam com painéis que podem ser usados como abas de extremidade para aplicar cargas mecânicas. As dobradiças consistem em duas camadas: uma camada com apenas uma matriz do material e uma camada com o polímero com memória de forma, com um tamanho e espaçamento das fibras (figura 29). A arquitetura composta caracteriza-se pelas espessuras e volume (determinada a partir do tamanho e espaçamento) (Ge et al., 2014).

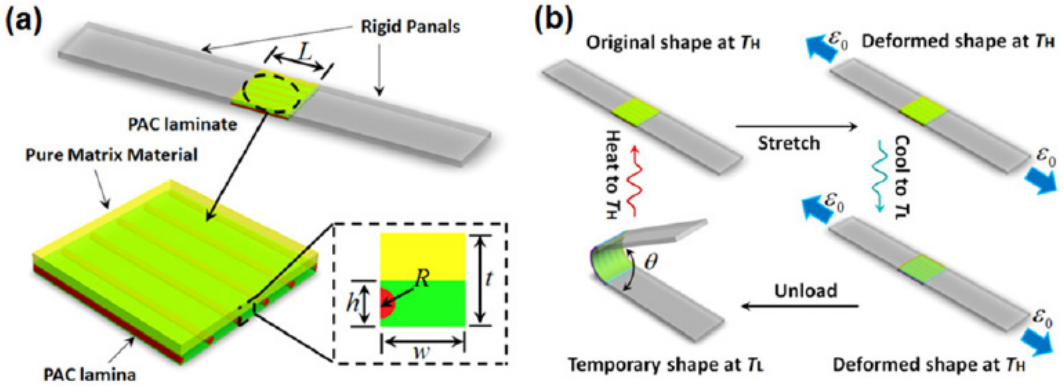


Figura 29. : Esquemas de uma dobradiça PAC e as etapas de programação termomecânica (Ge et al., 2014).

Para as experiências, foi projetada uma caixa que consiste em seis lados conectados por dobradiças PAC, que são impressas de forma plana (desdobrada), conforme mostrado na figura 30. As dobradiças foram projetadas escolhendo parâmetros que resultam na dobragem com um ângulo de 90°. Na figura 30, encontra-se também uma estrutura semelhante, uma pirâmide 3D de cinco lados. Aqui, a impressão plana originou uma forma de estrela que consiste numa base quadrada com quatro lados triangulares, que são depois dobrados em pirâmides 3D com ângulos de 60°. Através destas duas experiências, a equipa de pesquisadores concluiu as suas intenções com sucesso (Ge et al., 2014).

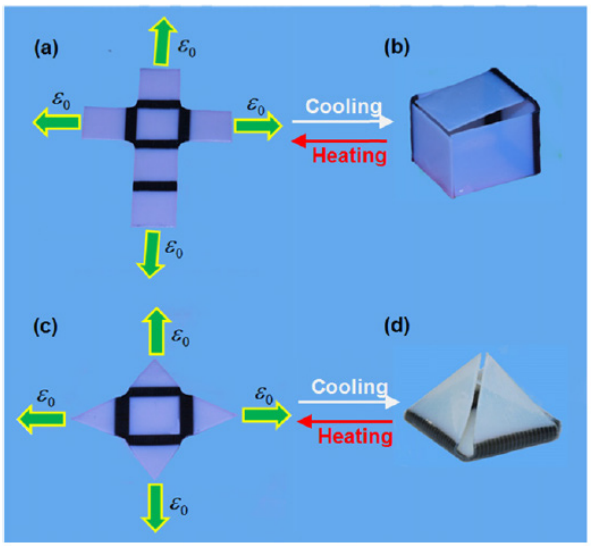


Figura 30. Caixa e pirâmide ativas de origami (Ge et al., 2014).

No ano seguinte, outro grupo de pesquisadores exploraram o efeito de memória de forma de termoplásticos para o desenvolvimento de estruturas autodobráveis, onde a forma final pode ser obtida através das mudanças de temperatura (Mao et al. 2015). Neste estudo, desenvolveram uma nova abordagem que resulta no fabrico mais fácil de estruturas autodobráveis por impressão 3D, integradas com multimateriais, onde as dobradiças feitas de polímeros de memória de forma digital, com diferentes propriedades termomecânicas em locais espacialmente selecionados, facilitam a autodobragem por aquecimento uniforme a estrutura após uma programação termomecânica.

No desenvolvimento analisaram que, quando acoplado ao índice de colisão, é uma ferramenta eficaz para um projeto de estruturas autodobráveis, ainda que existam algumas limitações, como, em primeiro lugar, os efeitos de memória de forma no material impresso em 3D só podem ter atuação unidirecional, ou seja, se uma segunda atuação for desejável, deve-se realizar uma segunda programação. Em segundo lugar, o tempo de dobragem é demorado, mas pode ser melhorado ao usar uma temperatura de recuperação mais alta. No entanto, há um limite de quão rápido um polímero com memória de forma se pode se recuperar. Por fim, os materiais impressos tendem a quebrar facilmente, tornando as estruturas 3D pouco confiáveis atualmente (Mao et al., 2015).

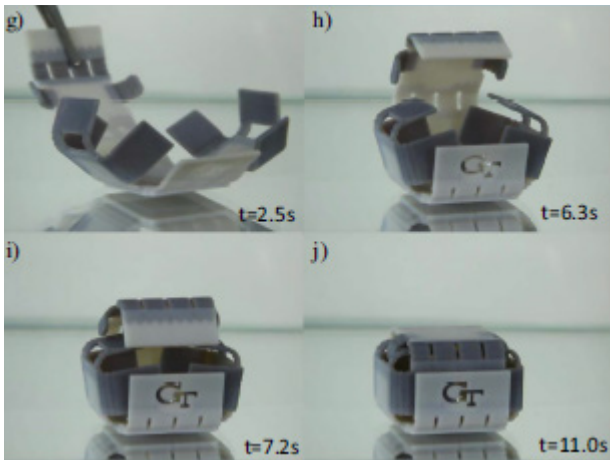


Figura 31. Estruturas dobráveis 3D que representam uma caixa de correio (Mao et al., 2015).

Inspirado numa caixa de correio, Mao et al. (2015) projetaram uma caixa dobrável 3D com mecanismo de travamento interno, conforme mostrado na figura 31. São utilizados três tipos de dobradiças: a dobradiça A é usada nos lábios menores, para permitir a dobragem rápida desses lábios; a dobradiça B é usada no local indicado pela linha verde, para permitir velocidades intermedias de dobragem, de modo a que algum mecanismo de autossuporte e autotravamento possa ser formado; a dobradiça C tem a velocidade de dobragem mais lenta e é usada para formar a estrutura final. Para não existir um ponto de quebra nas dobradiças, é colocado um perfil de degrau periódico ao longo do contorno da superfície da dobradiça e para reforçar a proteção, as interfaces entre as dobradiças são embutidas nas faces estruturais e reforçadas com uma interface triangular, para maximizar a resistência axial. As dobradiças mais longas são equipadas com ranhuras cortadas ao longo do comprimento dos contornos irregulares, para isolar os pontos de fratura de modo que a montagem não seja comprometida caso a mesma ocorra (Mao et al., 2015).

Na contribuição para a pesquisa no desenvolvimento de estruturas adaptativas com capacidade de autoimplantação, Bodaghi et al. (2016) surgiram com a associação da tecnologia de impressão 4D para desenvolver um atuador com fibras de memória de forma polimérica (SMP) impressas, criando uma estrutura flexível que muda de forma quando exposta a diferentes temperaturas O objetivo da pesquisa foi criar estruturas que se adaptam, com a capacidade de expandir e encolher através da tecnologia de impressão 4D. Para surtr efeito, uma unidade atuadora é projetada e impressa diretamente em fibras de polímeros com memória de forma (SMP), em vigas flexíveis com diferentes arranjos (figura 32) (Bodaghi et al., 2016).

A viabilidade desta fibras que adquiram o recurso de autoexpansão e autoencolhimento é demonstrada experimentalmente (figura 32). No desenvolvimento do modelo, o material-estrutural é então aplicado para projetar e imprimir digitalmente treliças adaptativas, em formas planares e tubulares, introduzindo o polimero com memória de forma em intervalos calculados, para que se expandam e recuperem a sua forma original automaticamente. (Bodaghi et al., 2016)

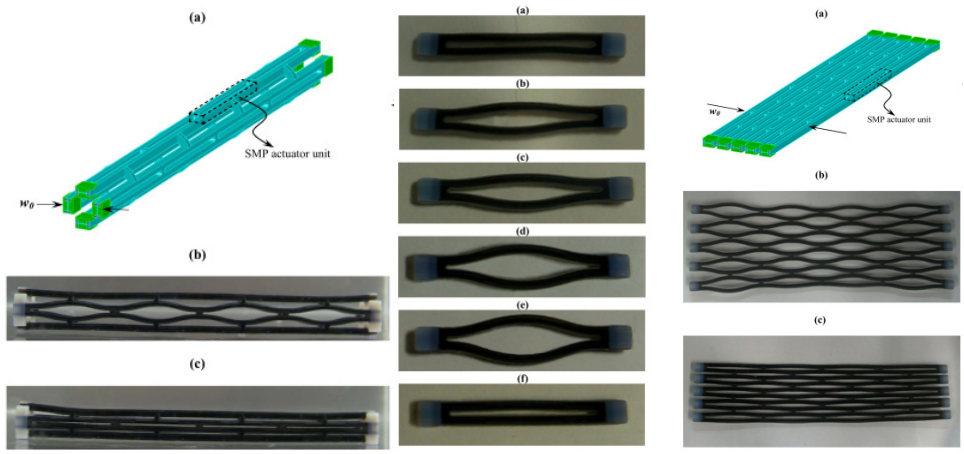


Figura 32. Desenvolvimento das fibras SMP em vigas flexíveis com diferentes arranjos (Bodaghi et al., 2016).

Estas experiências tiveram como objetivo a determinação das propriedades do material impresso e avaliar o desempenho das estruturas. Durante o processo , foi demonstrado que a a impressão 4D introduziu uma forte anisotropia nas estruturas impressas, mostrando a viabilidade das estruturas autoexpansíveis/encolhidas reagindo a diferentes niveis de temperatura (Bodaghi et al., 2016).

Recorrendo à mesma tecnologia utilizada por Mao et al., Chen et al. (2017) desenvolveu, com o objetivo de superar os desafios estabelecidos, nomeadamente a capacidade de carga, uma característica significativa em diversas áreas da engenharia, como a construção. Estas estruturas foram projetadas com uma relação hierárquica, onde o atuador biestável proposto serve como bloco de construção básico. Os pesquisadores destinam-se então a alcançar estruturas implantáveis através do desenvolvimento do atuador projetado para maximizar o comprimento de curso, com uma expansão que se aumenta quando conectado em série (Chen et al., 2017).

O atuador biestável é utilizado como um conector padrão para o projeto de estruturas hierárquicas complexas. O atuador tem dois estados, retraído ou estendido, sendo que a montagem de vários atuadores gera um estrutura multiestável, com cada atuador da estrutura final independente, resultando assim em geometrias variáveis. Com isto, é possível criar a geometria desejada, ao considerar a ativação de cada atuador, alcançando diferentes comprimentos simplesmente com a variação do ângulo de treliça (figura 33) (Chen et al., 2017).



Figura 33. Hierarquia do projeto com um atuador de unidade única com um padrão de módulos tetraédricos (Chen et al., 2017).

Para imprimir estas estruturas, começou-se com uma forma bidimensional, com o mínimo de material, conseguindo um desenho hierárquico com a montagem de módulos de 50 por 50 mm2. A estrutura é ativada por atuador, de baixo para cima, até que a altura máxima seja alcançada. Os módulos singulares podem ser combinados, resultando em estruturas de diversos conjuntos de módulos, sendo que, quanto maior se torna a estrutura, isto significa uma maior cúpula, que apresenta, consequentemente, uma maior rigidez (Chen et al., 2017).

Na continuação deste projeto para estruturas capazes sustentar carga, implantáveis com geometrias previsíveis e configuráveis, que foram já demonstradas na pesquisa anterior, Chen e Shea (2018) consideraram os conceitos, anteriormente estudados, e aproveitaram os avanços no campo de polímeros com memória de forma, na biestabilidade e na impressão 3D multimaterial. Com isto, apresentaram um atuador programável impresso em 3D, que permite a autonomia e a reconfiguração da forma das estruturas ativadas, com aplicação de uma mudança de temperatura circundante. Ao utilizar um polímero com memória de forma como fonte de energia controlável por temperatura e um mecanismo biestável como atuador linear e amplificador de força, as estruturas atingem uma ativação geométrica precisa e uma capacidade de carga quantificável, como se pode ver na figura 34; os módulos montados criam estruturas hierárquicas simétricas, com recurso a atuadores programáveis. Estas estruturas podem tornar-se ainda autocontidas e reconfiguráveis, ativadas por estímulos ambientais, também capazes de suportar cargas (Chen & Shea, 2018).

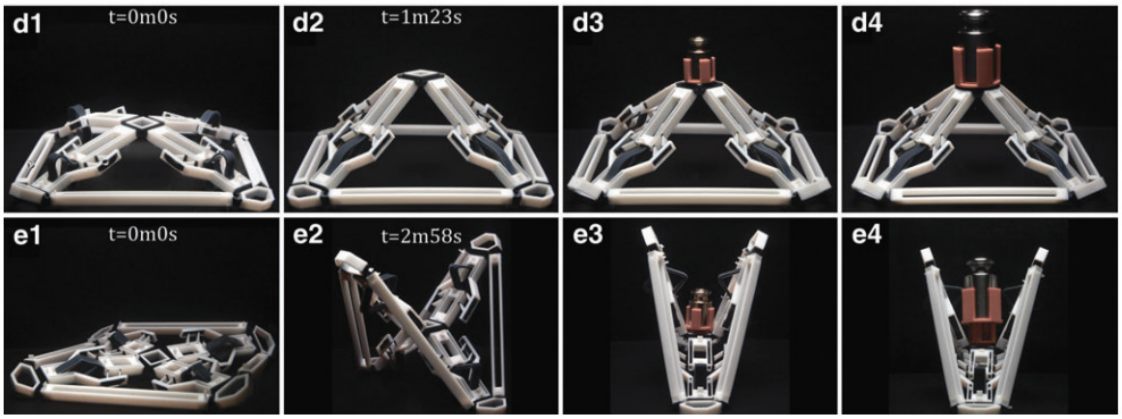


Figura 34. Estruturas reconfiguráveis mostrando a capacidade de ativação e suporte de carga (Chen & Shea, 2018).

No mesmo âmbito da construção de abrigos temporários utilizando a impressão 4D, Luísa Alice Costa Henriques desenvolve na sua dissertação um conceito de um abrigo impresso em 3D numa impressora FDM com filamento de polímero com memória de forma. O abrigo apresentado na figura 35, foi impresso com o material SMP devido à sua propriedade SME, como também, oferece outras características benéficas, como leveza, baixo custo e fácil processamento. Para aplicar a transformação no abrigo o estímulo utilizado foi água quente a 55 graus Celsius, numa maqueta a uma escala 1:40, com 100 mm de diâmetro. A seguir, foi dobrado numa forma temporária, assumindo dimensões de 65x55x20 mm3, após arrefecer, o abrigo foi aquecido novamente restaurando a sua forma original (Henriques, 2019).



Figura 35: Abrigo em escala 1:40, testado dentro do processo de deformação e recuperação (Henriques, 2019).

5.2 Materiais utilizados

Atualmente, na construção de abrigos, as "lonas" de plástico não apresentam uma solução construtiva completa, pois existe a necessidade de uma estrutura para a suportar, pelo que uma estrutura impressa 4D poderia ser uma solução a incluir no Kit de emergência, proporcionando, não só uma montagem rápida e fácil, como uma solução economicamente mais favorável, pois a cobertura poderia continuar a ser a "lona".

Para esse conceito, é necessário ver como a evolução da tecnologia de impressão 4D e dos materiais inteligentes mostrou suas potencialidades ao longo dos anos e, devido à possibilidade de imprimir quase todos os materiais, os conceitos de estruturas 4D para estruturas autónomas implantáveis com propriedades mecânicas consideráveis podem ser alcançados com materiais inteligentes.

Como se trata de uma tecnologia recente, não existe uma grande variedade de materiais disponíveis, como os utilizados para a impressão standard 3D. No entanto, já existe alguma variedade para ser analisada:

a) SMP (polímeros de memória de forma): Polímeros que permanecem rígidos à temperatura ambiente e que oferecem propriedades especiais quando atingem o ponto de transição vítrea. Um exemplo é o TPU SMP, um filamento 4D com uma composição baseada no TPU (poliuretano termoplástico), que

permite modificar a forma das peças impressas em 3D no pós-processamento, permitindo-lhes adquirir outra forma e mantê-la ao longo do tempo. Este processo de modificação com filamento SMP TPU consiste em colocar a peça impressa em 3D num recipiente com água quente até atingir a transformação.

b) LCE (elastómeros de cristal líquido): Um material que contém cristais líquidos que reagem ao calor, controlando a sua orientação, a forma desejada pode ser programada com o efeito da temperatura, quando o material arrefecer transformar-se-á de acordo com o código ditado (Filment2print, 2022).

c) Hidrogel: Este material baseia-se em cadeias de polímeros que consistem principalmente em água, é um material muito utilizado em processos de fotopolimerização, com um principal foco no setor médico devido à sua biocompatibilidade.

Alguns processos de impressão 4D podem utilizar vários materiais em conjunto, principalmente compósitos que utilizam madeira ou carbono, que são adicionados ao SMP ou hidrogel. Isto resulta em multimateriais com áreas rígidas e móveis (Filment2print, 2022).

A seleção do material é um processo crucial na impressão 4D, sendo fundamental analisar a sua transformação e capacidade de impressão, como resposta a um estímulo. Materiais inteligentes têm sido amplamente promovidos como uma tecnologia inovadora, que irá melhorar novos produtos que irão adquirir capacidades únicas. Em 2013, o Conselho da Agenda Global sobre Tecnologias Emergentes do Fórum Económico Mundial, mostrou que materiais autorreparáveis são uma das dez tendências tecnológicas mais promissoras, que podem ajudar a proporcionar um crescimento sustentável nas próximas décadas. Muitos materiais inteligentes e produtos comercialmente disponíveis, assim como as tecnologias, continuam a ser objeto de pesquisas académicas e, para ajudar a identificar e entender melhor estes novos materiais, segue-se a tabela 2 que clarifica as suas propriedades, objetivos e os seus estímulos (Li et al., 2016).

Tabela 2. Materiais Inteligentes, suas capacidades e os seus estímulos, (adaptado a partir de Li et al., 2016).

Materiais Inteligentes		Características
Materiais com memória de forma	Termo responsivo	Unidirecional, quando um material está à temperatura ambiente, ele pode ser dobrado ou esticado e manterá essas formas. Quando aquecido acima da temperatura de transição muda para o seu estado original e quando o material arrefecer novamente, ele permanecerá na sua forma original, até deformar novamente.
		Bidirecional, o efeito do material com memória de duas formas diferentes: uma em baixa temperatura e outra em alta temperatura. A razão pela qual o material se comporta de maneira tão diferente está na repetição dos movimentos, isto requer que uma memória de forma pode "aprender" a se comportar de uma determinada maneira.
	Termicamente induzido	Induzido por luz, ao introduzir ácido cinâmico fotossensível numa rede polimérica que vai servir como um interruptor molecular. Com esta abordagem, a forma temporária é aplicada quando exposta a uma quantidade elevada de UV. A recuperação da forma é desencadeada pela exposição de UV inferior ao que foi utilizada para a forma temporária.
		Sensível à água, com um composto de celulose SMP e poliuretano termoplástico, a transformação surge quando exposta à água, a presença de moléculas de água enfraquece as ligações de hidrogénio da celulose, este efeito permite a deformação do compósito polimérico na forma temporária. A forma fixa é estabelecida na secagem, para a recuperação, é utilizado água para desencadear a recuperação espontânea da forma.

Polímero Eletroativo	IPMC	O IPMC (Ionic polymer-metal composites) é um material compósito, que é gerado no processo de preparação do elétrodo. Sob o efeito da voltagem externa, os íões e as moléculas de água dentro do material unem-se para o lado do elétrodo, o que causa o desequilíbrio da distribuição de massa e carga, a deformação é gerada no nível macro.
	Bucky gel	Bucky Gel é semelhante ao IPMC. Bucky Gel contém três camadas: o material do meio é uma camada eletrolítica que consiste em polímero e líquido iónico, ambos os lados do material são materiais de elétrodos que consistem em nanotubos de carbono, polímeros e líquido iônico, quando a tensão é aplicada em ambos os lados dos elétrodos, o catião e o anião do líquido iónico move-se.
	DE	DE (Dielectric elastomers) é um material de membrana elástica dielétrica revestida com elétrodo flexível. Quando a tensão é aplicada, a superfície superior e inferior dos materiais DE acumulam cargas positivas e negativas. As cargas são atraídas, de modo que a força estática é produzida. Assim, na direção da espessura, o material é comprimido e sua espessura diminui, o que leva à expansão da área.

Materiais com automontagem, com auto-acionamento e com autodeteção	Automontagem, é um material de forma intercambiável estabelecendo sucessivas camadas de materiais responsivos a estímulos ou multimateriais com propriedades diferentes. Depois de construído, o objeto reage a estímulos do ambiente natural ou por intervenção humana, resultando numa mudança de estado físico ou químico ao longo do tempo. Isso significa que o resultado final da impressão 4D não se limita a automontagens, mas também a outros estados de mudança.
	Auto-acionamento, envolve o uso de materiais que criam uma tensão significativa ou deslocamento em resposta de um estímulo externo. Elementos piezoelétricos, elementos magnetostritivos, e fluidos eletroreológicos são exemplos de materiais experimentais que apresentam esta propriedade. Pode ser utilizado para componentes e estruturas que possam gerar grandes deslocamentos quando submetidos a estímulos elétricos, térmicos ou mecânicos.
	Autodeteção, sustenta várias funcionalidades inteligentes e envolve a transmissão de recursos de deteção a materiais que não possuem inerentemente essa propriedade, como cimento, plásticos, têxteis, papel, metais e compósitos, podem ser usados para implementar autodiagnósticos, autocura ou outros tipos de comportamento inteligente. Isso pode ser alcançado através da incorporação de materiais de deteção em outros materiais que podem ser usados para revestir uma estrutura ou componente.

A manipulação de materiais inteligentes aplicados no processo de impressão 4D permite ilimitadas possibilidades de soluções construtivas em diversos campos e serviços. Além disso, o desenvolvimento desta tecnologia pode superar problemas construtivos e resolver necessidades estruturais num abrigo temporário.

De acordo com Kuang et al., (2019), os métodos de impressão 4D demonstrados até agora usam principalmente polímeros, assim como no processo de impressão 3D, e um dos métodos mais amplamente usados é a extrusão, devido à oferta de materiais que podem ser impressos. Os métodos mais usados para investigação são FDM e SLA, pois têm a capacidade de economizar material e tempo, onde o objeto pode ser desenvolvido com processos AM para diversas aplicações funcionais. O material em diferentes sistemas pode ser impresso e, posteriormente, pode responder a um estímulo predeterminado para alcançar a aplicação pretendida. As categorias, estímulos e elementos de impressão 4D são mostrados na figura 36.

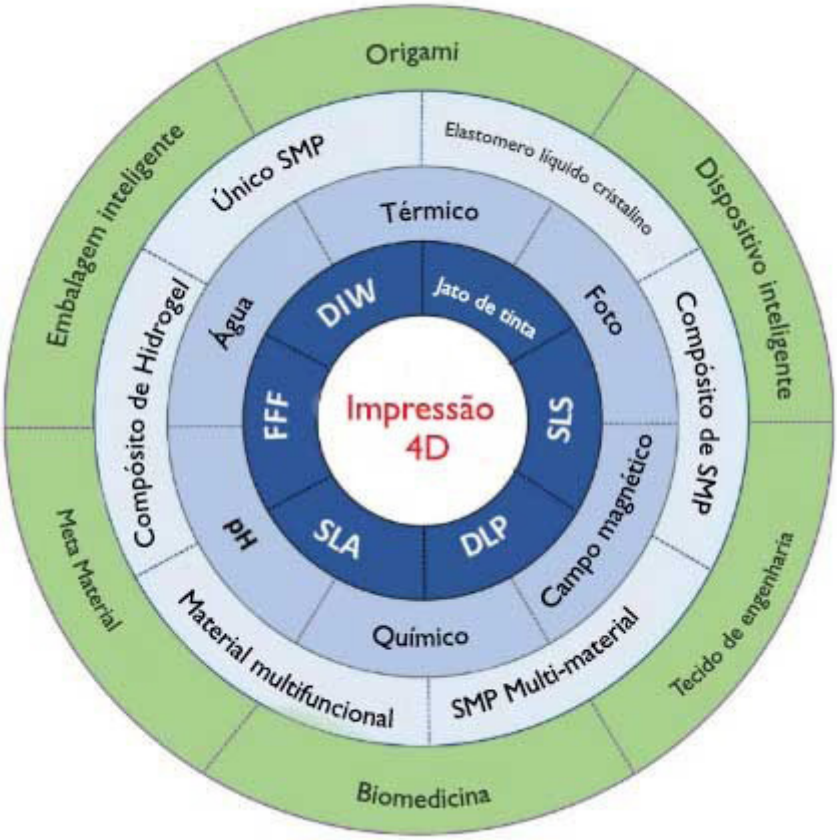


Figura 36. Categorias na impressão 4D que mostra os métodos, estímulos, materiais e aplicações, (adaptado a partir de Kuang et al., 2019).

O processo de impressão 4D difere do processo de impressão 3D, sendo que a principal diferença está no material que necessita memória de forma. O desenvolvimento do produto tem as mesmas vantagens, a começar na redução de tempo e no custo, devido à possibilidade de mudar a sua forma e, com isto, possibilita a impressão de objetos maiores que as impressoras, com o desdobramento para formas maiores, reduzindo o volume de produção e transporte e, consequentemente, reduzindo custos. No fabrico convencional, quanto mais complexo é um produto, mais caro

este se torna a fabricar. No entanto, no fabrico aditivo, seja na impressão 3D ou 4D, uma forma complexa não requer custo ou tempo adicional. Assim, a fabricação de produtos personalizados seria uma importante vantagem para o fabrico aditivo, procedendo de uma transição de produção em massa para uma produção personalizada, onde os produtos são personalizados para os utilizadores sem custo adicional. Em contraste, no fabrico aditivo, o lucro não é influenciado pelo número de unidades fabricadas, permitindo assim atingir rentabilidade mesmo na produção em pequenas quantidades, representando um grande benefício para os processos de fabrico 3D e 4D, o que adiciona à potencialidade na reutilização, sendo benéfica para aumentar o ciclo de vida do produto.



www.archdaily.com



III - Desenvolvimento do Produto

1. Projeto

Ao adquirir informações para a investigação de abrigos temporários, foram abordados quais os materiais a utilizar, em que condições se encontram e o comportamento de quem os habita.

Cada tema investigado teve influência no desenvolvimento do projeto, tanto na elaboração do conceito, como também o desenvolvimento da forma, respeitando as normas aplicadas pela OIM (Organização Internacional para as Migrações).

Ao aplicar uma nova tecnologia, como a impressão 4D, sobre uma estrutura de grande dimensão, para abrigar e proteger um número de pessoas desalojadas, o projeto torna-se complexo, ao relacionar o design de produto e o industrial com consciência social.

No livro, Design for Real World: Human Ecology and Social Change, Vitor Papanek (1972) menciona que, com a aceleração da produção em massa, o design tornou-se responsável por todos os nossos meios de comunicação, transporte, bens de consumo, móveis, embalagens, equipamentos médicos, ferramentas, utensílios e muito mais. No entanto, as necessidades básicas devem ser inclusivas a todos, pelo que diferentes aspetos devem ser repensados para incluir não só pessoas com alguma deficiência — que inclusive pode ser algo temporário —, mas também idosos e estrangeiros (que não dominam um idioma fluentemente, por exemplo). O impacto que isso gera nestes utilizadores é um sentimento de maior orgulho e autoconfiança. O autor utiliza o design de moda como exemplo, visto que a maioria é projetada para pessoas que têm dezassete anos, o que implica que crianças se vejam como adolescentes. Pouca ou nenhuma roupa é projetada para os idosos, obesos, pessoas incomumente baixas ou muito altas, o que mostra que a menor mudança no design pode ter um longo alcance (Papanek, 1972).

O design é basicamente essencial para todas as atividades humanas. Qualquer tentativa de separar o design, para torná-lo uma coisa por si só, funciona contra o inerente valor do mesmo como uma matriz básica da vida. Uma equipa de design está estruturada para aplicar diversas disciplinas para problemas que precisam ser resolvidos. Portanto, a tarefa é pesquisar as nossas verdadeiras necessidades e remodelar ambientes, ferramentas e a forma sobre a qual pensamos sobre eles (Papanek, 1972).

No capítulo Design for Survival, o autor indica que o primeiro imperativo é sempre a sobrevivência e, só depois disso, há que nos preocupar em explorar quem somos. Só quando as perguntas da nossa sobrevivência e da nossa identidade se encontram claras é que se começam a estabelecer metas, tais como: a autorrealização, singularidade, consciência, empatia, amor, êxtase, alegria e paixão (Papanek, 1972).

Um dos fatores que se tem em consideração é o custo que irá ter, pois o facto de se aplicar uma nova tecnologia torna a sua produção de custo elevado e, por essa razão, escolhe-se, logo de início, um uso não excessivo desta tecnologia, sendo, de uma forma controlada, para aplicar em zonas onde o uso da impressão 4D tenha mais impacto. Como consequência, obriga à utilização outros materiais, de baixo preço, aliando métodos de produção diferentes, que juntos constroem um abrigo temporário que se monta por si só.

Para o desenvolvimento do projeto foi necessário criar um plano experimental, como se pode ver na tabela 3, onde estão descritas as fases pelas quais o projeto vai passar e os seus objetivos, assim como a utilização do material no desenvolvimento prático.

Tabela 3. Plano Experimental do desenvolvimento do produto.

Plano experimental		
Realização de etapas necessárias para conceção e desenvolvimento de um projeto de abrigos para refugiados a partir da técnica de impressão 4D.		
Fases	Objetivos	Materiais
Fase 1 – conceito	Definição de conceito, inspirações e materiais a serem utilizados.	
Fase 2 – desenvovlimento da forma	Pesquisa e estudos de possíveis formas para o objeto.	Esboços à mão, maquetes com papel e simulação 3D em SOLIDWORKS®
Fase 3 – trabalho de laboratório	Desenvolvimento de 4 testes de impressão 3D (FDM) com PLA (Poliácido lático) para aplicações em tecido e lona. Perceber como a forma idealizada comporta-se em contacto com as superfícies de aplicação.	Impressora Ender 3 PLA Malha de algodão Lona polimérica (PVC)

2. Conceito

O conceito para a proposta de trabalho surgiu a partir da participação da personagem Bulma Briefs na série mangá Dragon Ball, criada por Akira Toriyama (Fandom, 2022).

Apresentando evidentes caraterísticas intelectuais e científicas, Bulma é uma personagem que inspirou a ideia principal para o projeto, já que, no decorrer da série, desenvolveu vários abrigos que se transformavam instantaneamente para qualquer circunstância ou efeito, característica esta que se manifestou significativamente interessante para desenvolver um produto final para a temática em análise.

Neste sentido, pensou-se qual seria a forma mais eficaz para lhe atribuir uma realidade concreta e acessível à problemática da dissertação.

É com base nesta simbiose entre "entendimento da forma" e imaginário que se estruturou uma solução de equipamento que se pretende auxiliar os refugiados.

Bulma surge assim como um abrigo fiável, prático e versátil que pretende oferecer, a todos aqueles que devido a circunstâncias indesejadas e por força maior se vêm sem a mesma, uma habitação própria.

Nesse sentido, e executada à luz da potencialidade de materiais como ABS, material com memória de forma e lona, projetou-se uma estrutura modular e geométrica.

A avaliação destas ferramentas, forma e material permitiu selecionar o elemento central sob o qual se ergue o abrigo, um hexágono. Através da forma hexagonal, o abrigo alarga as suas possibilidades tornando-se um equipamento acessível tanto no seu entendimento estético como funcional.

O equipamento Bulma foi pensado de forma a ser 100% compreendido, sem suscitar dúvidas da sua forma e funcionalidade. É através desta linguagem inteiramente universal que se prevê uma melhor adaptação dos indivíduos ao espaço deste abrigo.

Para além destas características, Bulma é um equipamento projetado para ser utilizado por uma família (4 pessoas), mas, ainda assim, não esquece a importância da individualidade de cada um. Assim sendo, no seu interior, através dos resultados da dobragem da lona, foi possível desenhar espaços e divisórias triangulares que acrescentam uma importante condição de habitação, a privacidade.

A configuração da tenda é uma exposição estética e moderna de design inclusivo que serve um propósito totalmente humanitário. De extrema simplicidade, a qual é imprescindível, combina vários processos de design e impressão 3D, que a tornam um equipamento relevante para o seu campo de atuação.

3. Desenvolvimento da forma

Definido o conceito, diversos esboços começaram a ser desenvolvidos sobre como poderia vir a ser a forma do abrigo, e como isso iria implicar o alojamento de uma família, assim como a transformação de um abrigo sem o auxílio de mão humana. Durante a pesquisa do estado da arte, encontraram-se soluções utilizando materiais com memória de forma em origamis, onde se vê a transformação de um

cubo planificado a transformar-se num cubo na sua terceira dimensão.

Em países como Japão, China, Espanha, Itália e Alemanha surgiu a arte do origami, que consiste na manipulação de uma folha de papel para a transformar numa forma tridimensional complexa. Desde 1940, esta forma de arte tem vindo a atrair um interesse significativo nas comunidades de arte e matemática. Atualmente, o origami é explorado para fornecer soluções tecnológicas para problemas de empacotar objetos de grande dimensão em pequenos volumes para o armazenamento ou transporte, sendo assim uma técnica utilizada em diversas áreas, como na engenharia e no design (Ge et al., 2014). Para este projeto, é utilizado o origami ativo, onde um objeto se dobra ou desdobra automaticamente, beneficiando o projeto, pois pode reduzir o investimento em infraestrutura para automações dobráveis, como é comprovado no artigo Origami ativo por impressão 4D (Ge et al., 2014).

Ao utilizar esta pesquisa como ponto de partida, esboçaram-se várias formas geométricas na segunda dimensão, assim como vários prismas planificados, como se pode ver na figura 37.

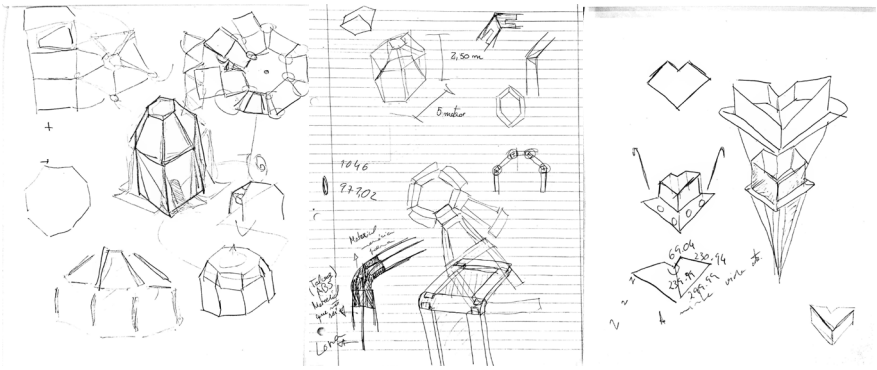


Figura 37. Esboços de ideias relativas a formas geométricas, como também, esboços relativos a ferragens de fixação e sistema de dobragem.

A forma pentagonal é uma figura geométrica que se assemelha mais a uma casa em 2D, já que, quando é pedido a uma criança para desenhar uma casa, esta é retratada, na sua maioria, como um pentágono. A partir desta inspiração, procurou-se encontrar figuras geométricas hexagonais e octogonais para formar um abrigo, pois o número de arestas fornece diversas composições ao ser inserido num ambiente, como também para posicionar uma família no seu interior.

Por outra razão, as figuras geométricas formam prismas, por exemplo, ao posicionar quadrados de uma forma correta obtém-se um cubo planificado e, com isto, pode-se alargar a ideia, ao posicionar um hexágono com trapézios e retângulos à sua volta criando, um prisma de base e topo hexagonal (figura 38).

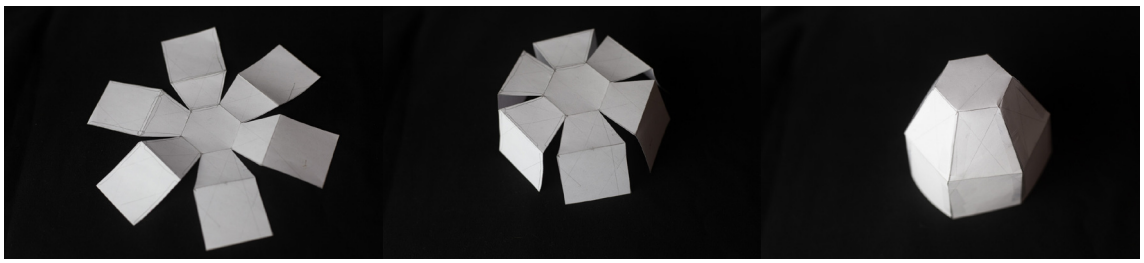


Figura 38. Experiências realizadas em folhas de papel para entender a dinâmica do movimento.

Ao desenvolver esta ideia no papel, a qual está representada nas figuras acima, encontrou-se um problema, pois, entre os trapézios e os retângulos existem aberturas que, na prática, iriam resultar em fugas de água e ar, consoante as condições atmosféricas, tornando o abrigo inabitável. Por essa razão, foram colocadas formas triangulares nas aberturas, já que, ao se transformar, o abrigo irá dobrar estas zonas para o seu interior como se tratasse de uma peça de origami (figura 39).

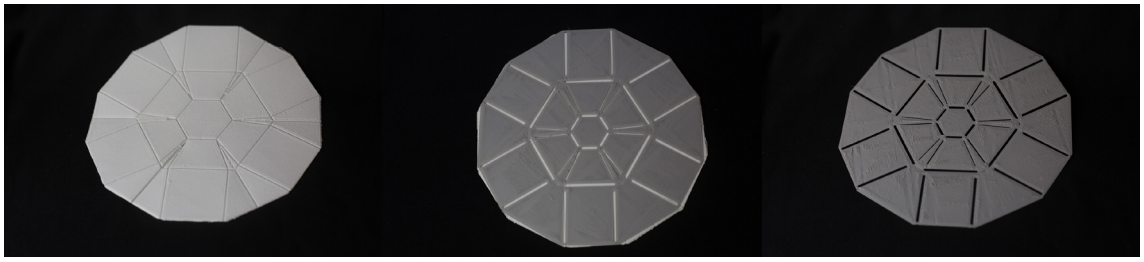


Figura 39. Experiências da planificação do abrigo ao utilizar papel e impressão 3D de uma só camada, de um esboço digital.

Ao analisar este estudo da forma, conclui-se que o abrigo planificado forma um dodecágono, no qual estão inseridos e demarcados outros polígonos no interior, através das suas arestas. Com isto, consegue-se nomear onde o material irá ser inserido. A lona tem a forma de um octógono e as arestas dos trapézios, retângulos e do hexágono formam a estrutura do abrigo, sendo que se utilizam o ABS e o material com memória de forma. Toda esta estrutura é impressa em 3D sobre a lona, gerando uma impressão 3D multimaterial (figura 40).

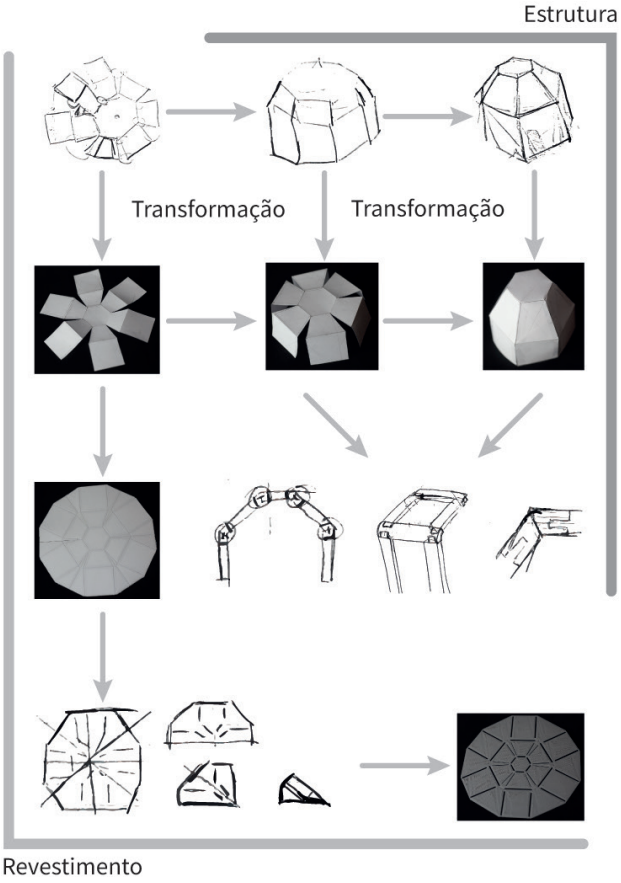


Figura 40. Esquema mostra a sequência de esboços e experiências tridimensionais que conduziram ao desenvolvimento da forma.

4.Trabalho de laboratório

Após o estudo da forma do abrigo e concluindo onde seriam aplicados os materiais, iniciaram-se vários testes laboratoriais para entender e desenvolver o produto de forma mais concreta e pormenorizada. Desde início, sabe-se que se trata de um produto que irá ser fabricado utilizando a impressão 3D multimaterial, pois une três materiais em simultâneo na sua produção: a lona, que irá abranger todo o abrigo em maior percentagem; de seguida o ABS, que cria a estrutura do abrigo mantendo-o erguido; e o material com memória de forma que será o material essencial para tornar o abrigo automontável.

Os testes tiveram como princípio uma técnica já utilizada, que é a impressão 3D sobre tecido, muito utilizada pela comunidade de impressão 3D doméstica, como os cosplayers, que fabricam as suas próprias fantasias utilizando impressoras 3D domésticas, para personificar personagens fictícias. A técnica consiste na combinação de diferentes tecidos com a impressão 3D, ou a construção de uma malha em pequenos fragmentos articulados, o que possibilita a criação de novos têxteis e juntar o tecido com desenhos impressos em 3D. Testes com malha, renda, nylon e algodão já foram realizados, sendo que algumas experiências tiveram sucesso. Com uma impressora 3D e filamentos TPU ou PLA, podem-se criar texturas e construir uma superfície têxtil. Para isso, existem técnicas diferentes utilizadas, dependendo do tecido, como, por exemplo, perfurar a superfície do tecido com corte a laser e colocá-lo entre as camadas de filamento impresso para unir, ou tecidos revestidos com polímero em que o filamento aquece o revestimento e adere. Essas técnicas têm grande potencial para fazer peças multifuncionais e práticas (Divaholic, 2019).

Para a realização dos testes, utilizou-se uma impressora 3D, Creality Ender 3S, e o material escolhido foi poliácido láctico (PLA), devido às inúmeras vantagens que esse material oferece ao projeto. Este polímero é mais fácil de imprimir, proporciona uma boa qualidade visual e uma boa rigidez, porém é frágil, pelo que é um dos materiais mais baratos para impressão FDM, sendo também um material de fácil manuseamento, com um comportamento mais vantajoso a temperaturas externas, sendo um material que não necessita de temperaturas muito elevadas para ser trabalhado e apresenta uma boa aderência às superfícies. No entanto, para um ambiente imprevisível e austero, no qual se encontram os abrigos de emergência, apresenta ser um material mais impróprio, pois tem características que não permitem uma boa resistência física (Farah et al., 2016). Assim, o material para a estruturas deverá ser outro, unindo um polímero com memória de forma com um polímero de alta resistência como o ABS, por exemplo. Apesar disso e devido ao fácil manuseamento e custo do material, o PLA será utilizado para a realização dos testes e das maquetes, para representar o ABS.

O PLA teve um crescimento no mercado da impressão 3D que desencadeou o surgimento de novos materiais para este tipo de impressão, principalmente polímeros e compósitos. Mas a escolha do tipo certo de material para imprimir depende geralmente do objeto a ser impresso, em função das propriedades mecânicas pretendidas e qualidade visual. O PLA é o mais pesquisado e um dos primeiros poliésteres biodegradáveis na história da humanidade, tendo diversas aplicações, desde a medicina à indústria, com um grande potencial para substituir os polímeros convencionais de base petroquímica (Farah et al., 2016).

Comparado com outros polímeros, o PLA mostra ser mais vantajoso, sendo a solução mais correta ecologicamente, biocompatível e com uma melhor processabilidade do que outros biopolímeros, exigindo também menos energia para produzir, em comparação com os derivados do petróleo. Tais vantagens afetam diretamente o seu custo, tornando-o um polímero de baixo custo. No entanto, existem algumas limitações nas suas aplicações, como uma baixa tenacidade, taxa de degradação lenta e hidrofobicidade. No entanto, é um material moldável em água quente o que é uma vantagem para representar um polímero com memória de forma e expressa a intenção e o objetivo que os verdadeiros materiais têm sobre o abrigo.

4.1 Teste 1

Inicialmente, moldou-se uma malha hexagonal (figura 41), com um espaçamento entre cada polígono de 3 mm e a altura de cada hexágono é de 5 mm, assemelhando-se a uma colmeia de abelhas. Depois de modelado, colocou-se este padrão num programa que faz o fatiamento da peça, sendo que, neste caso, o software utilizado foi o CURA 4.8. Depois, escolheu-se a altura de cada camada, assim como a temperatura utilizada para o filamento e para a base, resultando numa melhor aderência do material à superfície oferecendo uma melhor qualidade.

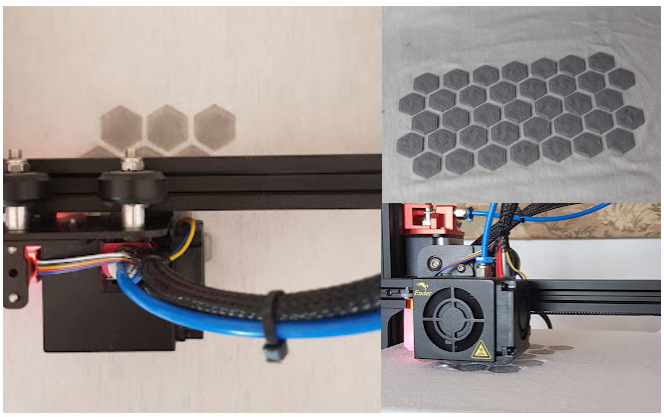


Figura 41. Impressora a imprimir uma malha hexagonal sobre tecido e o resultado final.

A altura da camada escolhida é de 0,2 mm, pois é referente á espessura do tecido, e a temperatura utilizada para o filamento é de 195°C e 60°C para a base. De seguida, colocou-se a peça a ser impressa e esperou-se até chegar aos 50% de impressão, para pausar a impressora e colocar o tecido sobre os hexágonos de 5mm comprimento, prendendo-o com molas, para que não haja o risco de a extrusora levantar o tecido e danificar o teste. Foi necessário realizar este teste para perceber se o PLA fundia com o tecido.

Com o primeiro teste realizado, percebeu-se o comportamento da impressora 3D ao trabalhar com PLA e com o tecido de algodão, que está representada na figura 40, mostrando que é possível a combinação de diferentes materiais dependendo da forma, pois, para tal, tem de existir uma área considerável para o polímero aderir ao tecido. Reparou-se também que, em futuros testes, será necessário pausar a impressão e acrescentar 0,1 mm às coordenadas do eixo do Z para compensar a espessura do tecido e, assim, evita-se que o filamento não dê um mau acabamento à última camada.

4.2 Teste 2

Depois de realizado o primeiro teste, onde se concluiu que a combinação entre os dois materiais é possível utilizando uma área considerável de PLA para que se una com o tecido, no segundo teste experimentou-se modelar as arestas de hexágonos e retângulos mais estreitos, representando uma possível estrutura, para saber se a união entre estes dois materiais diferentes iria resultar numa união igualmente consistente (figura 42).

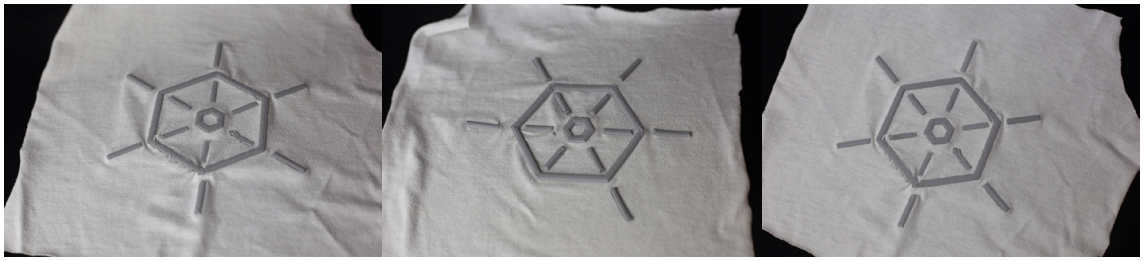


Figura 42. Impressão 3D de possíveis estruturas em PLA sobre tecido de algodão.

Para este teste, foram utilizadas as mesmas especificações que o anterior, a nível de temperatura, altura da camada e método de impressão. Por se tratar de tecido, um material com características maleáveis, e, considerando como o tecido de algodão tem uma malha compacta, a união entre estes dois materiais é dificultada, resultando na falta de união entre as duas partes em certos locais (figura 41). Como consequência, conclui-se que, ao utilizar a lona, é necessário fazer abertura nas zonas onde o polímero será inserido para que as duas partes se unifiquem e fiquem presas à lona, criando assim o efeito pretendido.

Nos testes seguintes, apostou-se em deixar de utilizar tecido de algodão, pois não se trata do material escolhido para o abrigo. A sua utilização foi para testar uma ideia/conceito para auxiliar no uso da lona. Com testes feitos sobre o tecido, a ideia em utilizar na lona já estava alinhavada.

4.3 Teste 3

Antes de avançar para a utilização da lona, foi necessário desenvolver uma estrutura que, aplicada na lona, se transforma num abrigo. Consoante o que foi desenvolvido no estudo da forma, desenhou-se e modelou-se toda a estrutura num software 3D, SOLIDWORKS®. A modelação reflete-se na extrusão das arestas dos polígonos, mencionados no desenvolvimento da forma. De seguida, imprimiu-se, com PLA, a uma temperatura de 195°C, o esqueleto do abrigo com uma espessura de 4 mm. Posteriormente, colocou-se a peça em água quente, a cerca de 80°C, e modelou-se a estrutura manualmente, para entender qual seria o resultado (figura 43).



Figura 43. Estruturas impressas em PLA que sofreram uma transformação térmica através de água quente simulando um abrigo.

Após perceber que a estrutura em PLA sobre água quente sofre uma transformação, manipulada por terceiros, criando o efeito pretendido, começou-se a pensar como seria o desenho da lona.

Para unir a estrutura à lona, foi preciso fazer cortes internos na lona, para que, ao ser impresso, o polímero consiga unir-se à lona sem criar orifícios no abrigo, para não causar constrangimentos tanto na transformação como na utilização, e fazer uma marcação para entender onde iria ser aplicada a força para dobrar a lona, como se se tratasse de uma folha que se transformaria num 'origami' (figura 44).

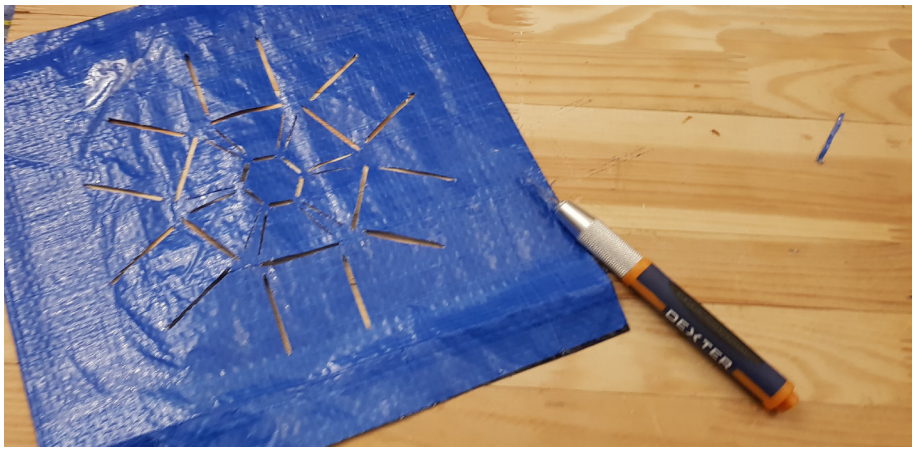


Figura 44. Pedaço quadrangular de lona azul com cortes retangulares para facilitar a união entre os dois materiais.

Para o auxílio no corte da lona, foi necessário fazer um molde que ajudasse a fazer cortes precisos para que, na impressão, a estrutura não ficasse desalinhada com as perfurações da lona. Para fazer o corte na lona, foi necessário a medida da base da impressora, de seguida colocar a lona no centro e, com um bisturi, realizar o corte com precisão (figura 45).

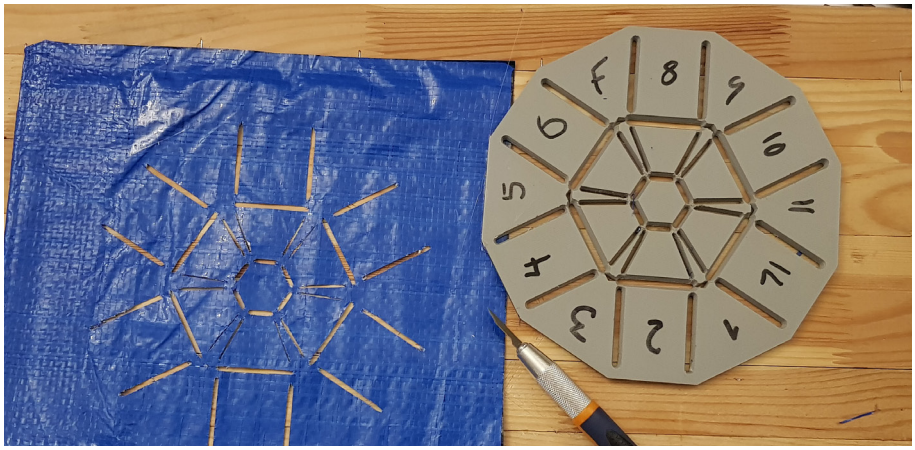


Figura 45. Molde impresso em PLA para facilitar o corte de várias lonas com um bisturi.

Após a lona já ter os cortes feitos e com tudo marcado, iniciou-se a impressão 3D que resultaria na união destes dois materiais. Para isso, colocou-se a estrutura a ser impressa à temperatura de 195°C, com a base de impressão a 60 °C e com uma altura de camada de 0,2 mm. Assim que a impressão chegou aos 50%, pausou-se e colocou-se a lona com as perfurações alinhadas com a estrutura já semimpressa e fixou-se a lona à base, com recurso a molas de pressão, sendo que importa salientar que a estrutura era impressa com uma percentagem de enchimento de 80% para existir uma união de ambas as partes (figura 46).

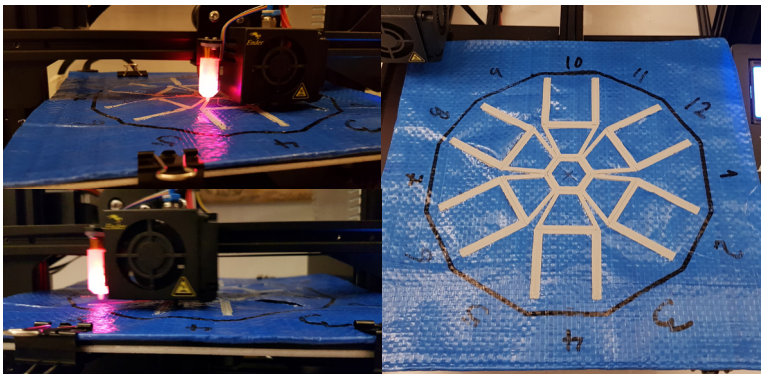


Figura 46. Impressão 3D da primeira estrutura entre a lona.

Finalizada a impressão, cortou-se o excesso de lona, formando um octógono (figura 46). Posteriormente, colocou-se a peça impressa submersa em água quente (50° a 60° C), para que o PLA passasse de um estado rígido para o estado maleável, para proceder a manipulação da peça e transformá-la no abrigo projetado (figura 47).



Figura 47. Impressão 3D da primeira maquete do abrigo Bulma planificado.

Após finalizar o teste, fez-se uma análise para perceber onde houve falhas e porquê. A principal falha que ocorreu foi a formação de várias fendas entre a estrutura polimérica e as ranhuras, isto porque a lona não aderia de forma uniforme à estrutura semimpressa e, com isso, o extrusor, ao passar para libertar o filamento, levantava a lona deixava espaços abertos. Outro defeito foi a pouca resistência da estrutura, pois tinha uma espessura fina, que tornava o abrigo instável (figura 48).

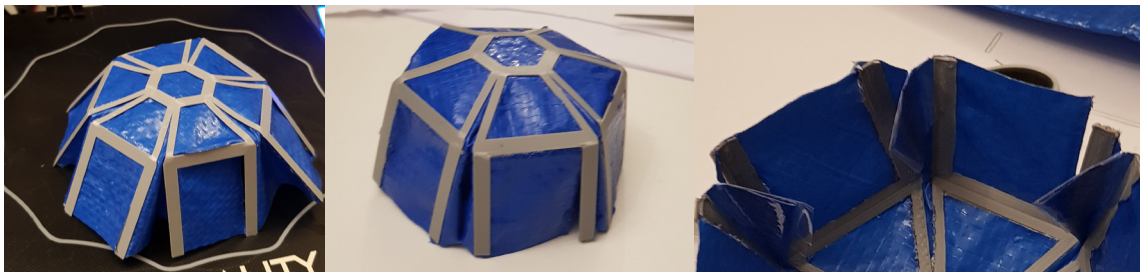


Figura 48. Consequências apresentadas na impressão 3D do abrigo Bulma.

4.4 Teste 4

Após a análise do terceiro teste, realizou-se o quarto teste para corrigir as falhas anteriores. Para isso, alterou-se o desenho da estrutura aumentando a largura e a espessura onde a estrutura se mantinha imóvel. Nas zonas onde o objetivo é a transformação do material, colocou-se uma espessura mais fina, de forma a ser mais fácil transformar o abrigo, para dar mais robustez ao abrigo e para que as ranhuras feitas na lona tenham uma área mais vantajosa para serem posicionadas, como se pode ver na figura 49. Para uma melhor aderência da lona com a estrutura polimérica, a solução encontrada foi adicionar spray cola para que adesão da mesma, tanto na estrutura, como na base de impressão desse um melhor resultado.

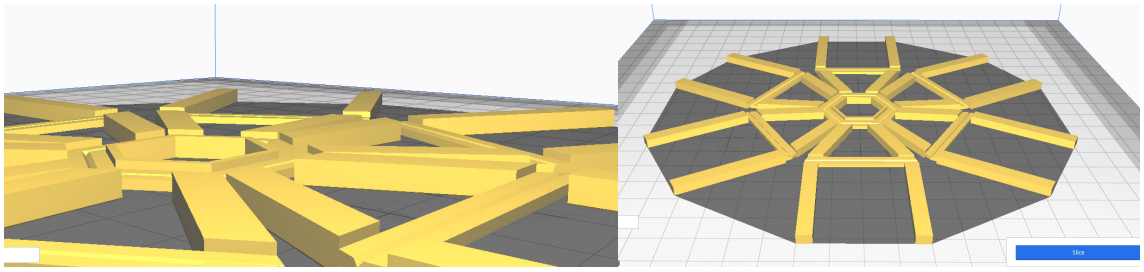


Figura 49. Modelação digital das estruturas com a novas modificações.

De seguida, realizou-se o mesmo processo de transformação do terceiro teste, sobre água quente a uma temperatura de 50° a 60° C e moldou-se a estrutura de PLA, aplicando mais força nas zonas finas para dar forma ao abrigo (figura 50 e 51).



Figura 50. Conjunto de fotografias que relatam o processo de transformação.

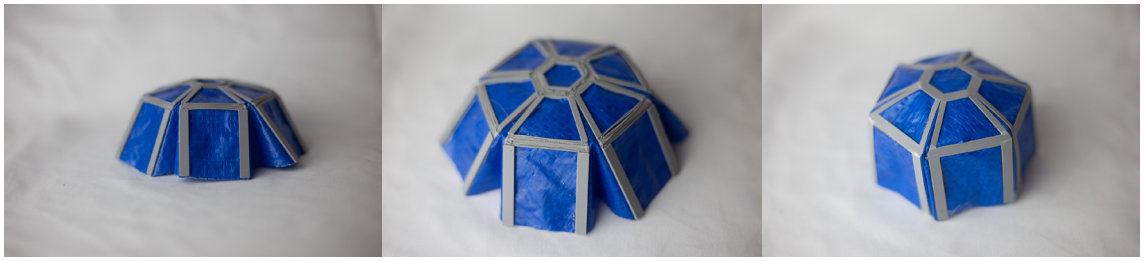


Figura 51. Simulação fotográfica da transformação do abrigo, até á sua forma final.

5. Desenho e detalhes

Ao compreender o desenvolvimento da forma do abrigo e realizados os testes necessários para o seu desenvolvimento, definiu-se como será a sua projeção final. Para isso, todos os detalhes do abrigo foram modelados em escala real, respeitando certos aspetos formais.

Como já mencionado, o abrigo tem de ter as dimensões certas para abrigar um número vantajoso, para receber uma família, que neste caso é de 4 pessoas. Ao pegar nesta condicionante e nas restrições aplicadas pela OIM, desenvolveram-se desenhos técnicos para entender a sua dimensão, assim como pormenores que influenciam a sua usabilidade e a sua dinâmica.

5.1 Medidas gerais e relação com escala humana

As dimensões gerais do abrigo Bulma tiveram como base as medidas impostas pela OIM. O abrigo de emergência deve ser desenvolvido a fim de atender os seguintes requisitos: garantir no mínimo 3,5 m2 de área habitacional por pessoa e pelo menos 2 m de altura. Neste caso, o material que irá abranger grande parte do abrigo será a lona e, com isso, as restrições impostas pela OIM é garantir o uso de tamanho padrão de 4 m por 6 m. Por fim, para facilitar o transporte local, nacional ou internacional, o abrigo empacotado deve-se ajustar às dimensões das paletes de distribuição (120 x 110 cm2).

Considerando estes requisitos, o desenvolvimento do produto apresentado também se baseia em abrigos básicos de emergência humanitária, utilizando a relação entre área e altura como tamanhos padrão para o conceito desenvolvido. Todas as dimensões do abrigo foram definidas em relação à altura máxima, como também, à sua largura (figura 52), nos anexos A ao H serão encontrados desenhos tecnicos com medidas mais detalhadas.

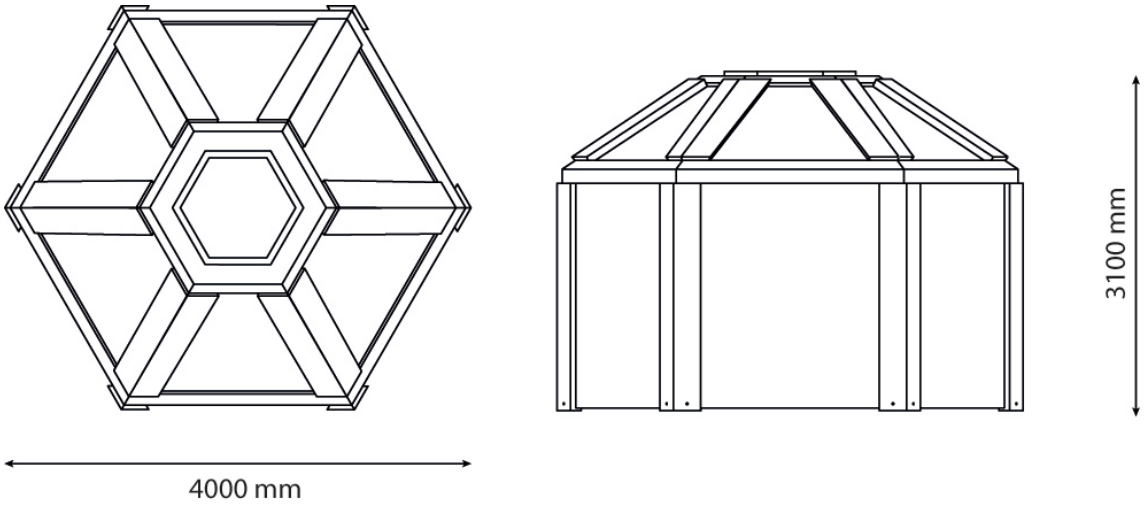


Figura 52. Desenhos vetorizados do abrigo Bulma com medidas gerais (altura e comprimento) em milímetros.

5.2 Detalhes

O abrigo Bulma teve em consideração certos aspetos para facilitar a sua usabilidade e oferecer um certo conforto aos utilizadores. Para alcançar isso é explicado cada detalhe.

Para necessidade de circulação para o interior e exterior do abrigo, como também, para existir circulação de ar e luz natural que, consequentemente, também irá fornecer ao utilizador uma vista para o exterior, colocou-se fecho-éclair em todas as fases retangulares. Este tem dois cursores, tanto na zona superior como inferior, para oferecer uma multifuncionalidade de criar uma porta como também uma janela, ao gosto do utilizador, como se pode ver exemplificado na figura 53.



Figura 53. Sistema fecho-éclair, para fazer abertura para o interior do abrigo e oferecer luz natural.

Mesmo sendo um abrigo para uma família (ou para 4 pessoas independentemente da sua relação social), é importante respeitar a individualidade. Isto é, tornar um espaço comum em diversos espaços individuais. Para tal, utilizou-se a dobra da lona, que acontece no interior, que não pode ser retirada para não criar infiltrações, sendo que se aproveitou tal condição para criar divisórias, entre cada cama (figura 54).

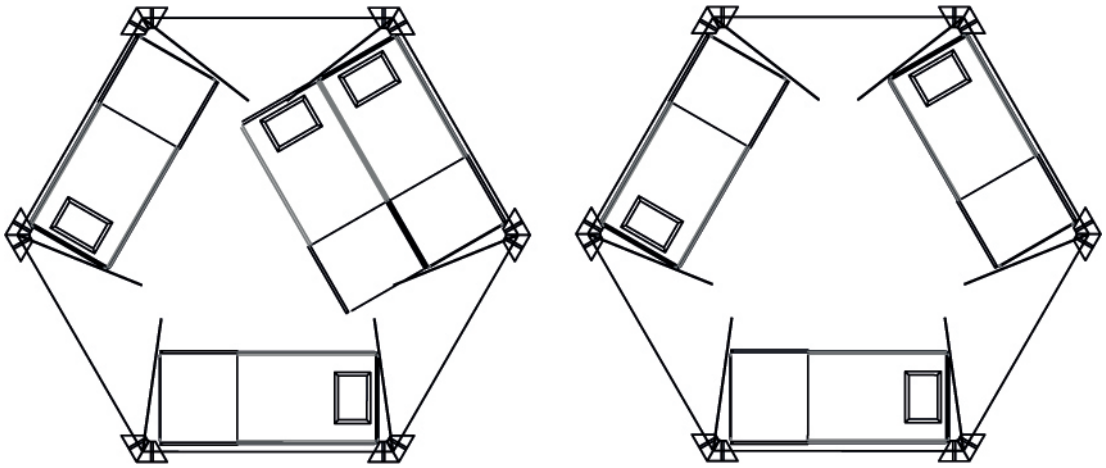


Figura 54. Planta do interior do abrigo onde mostra uma possível posição das camas.

Para oferecer uma maior segurança e estabilidade ao abrigo, desenharam-se acessórios de fixação, como se pode ver na figura 55, para unir as colunas que sustentam a estrutura, e fixar ao chão para que condições atmosféricas não danifiquem e tornarem um abrigo mais seguro e estável. Nesta figura são mostradas duas ferragens de fixação do abrigo ao solo, onde a primeira é de superfície plana, para solos de alta densidade, onde se podem colocar parafusos compridos. A segunda ferragem é indicada para solos mais areosos, pois a sua longa forma cónica permite uma melhor adesão, sendo também utilizado para fixar cercas de jardim, por exemplo. Nos anexos I e J está apresentado os desenhos técnicos de cada ferragem, com a dimenões utilizadas.

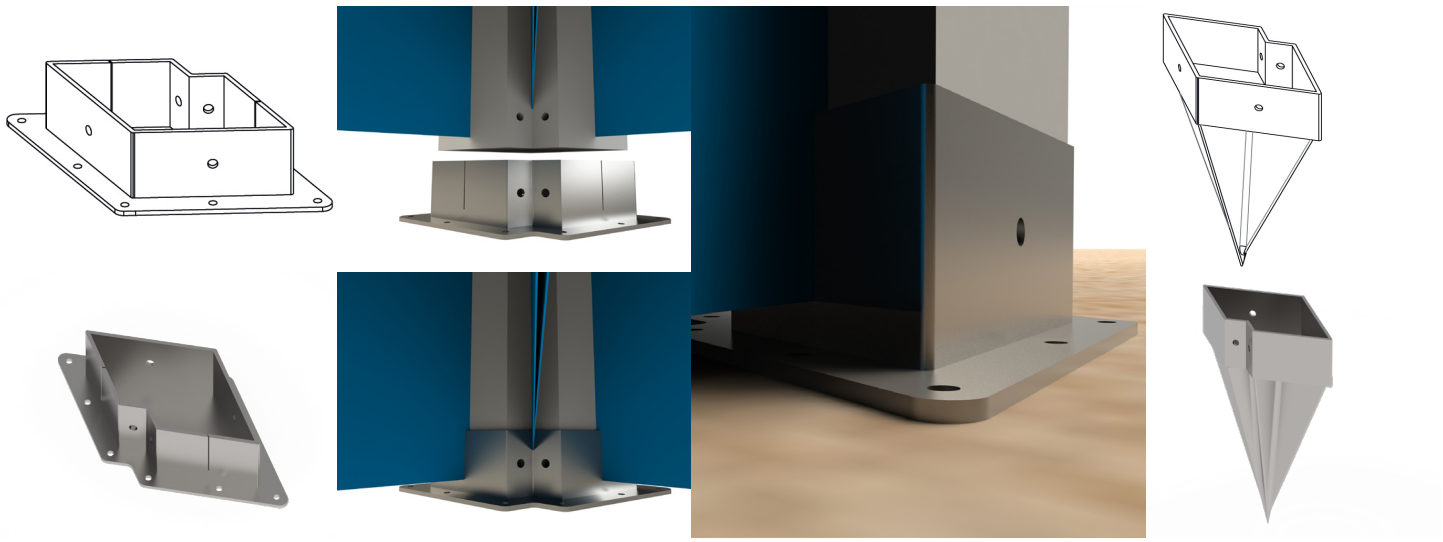


Figura 55. Ferragens de fixação ao solo.

Por se tratar de um abrigo em que a sua forma respeita um prisma hexagonal, aproveitou-se essa condição como uma vantagem, para tornar o produto modelar e criar várias composições e servir para diversas utilidades. Caso seja uma família mais numerosa, acrescenta-se mais um abrigo ao seu lado e, abrindo as laterais, a partir dos fecho-éclair, junta-se e cria-se um único abrigo, que consegue abrigar mais de 4 pessoas, ou até mesmo a junção entre vários e criar áreas com diferentes propósitos, como a criação de centro de saúde, de refeição ou até mesmo zonas lúdicas, dependo das necessidades de cada circunstância (figura 56)



Figura 56. Sequência de fotografias de diversas composições utilizando as maquetes feitas em laboratório.

6. Material

O material selecionado para cada componente no presente projeto considerou a pesquisa realizada de materiais já utilizados em abrigos já existentes, tendo esse estudo sido abordado previamente no capítulo II e, com isso, fazer uma seleção respeitando critérios de custo, resistência física e de que forma influencia a sua produção.

6.1 "Lona"

A "lona" plástica é projetada para cobrir todo o abrigo oferecendo proteção a diversas condições, como atmosféricas e de privacidade, ocupando 85% de todo o projeto. É o material ideal para a cobertura de ambientes externos ou internos. A lona está estruturada com fibras entrelaçadas com polietileno de baixa densidade (PEBD) extremamente resistente, assim como é apresentado na ficha técnica fornecida pela paperplast, no anexo N.

É muito utilizada na cobertura de telhados, piscinas, obras ou qualquer outra estrutura, pois contém proteção anti UV e proteção térmica de alta qualidade e durabilidade (Silva, 2019a). Uma das vantagens de utilizar a lona é o facto de ser um material de baixo custo, que se encontra em diversas qualidades, existindo uma vasta gama no mercado, sendo um material utilizado pelas organizações de apoio ao refugiado.

6.2 ABS

Para a construção da estrutura, que sustenta todo o abrigo, constatou-se que o ABS, Acrilonitrilo butadieno estireno, será a melhor opção, pois utilizando a impressão 3D como o método de fabrico utilizado, o ABS apresentou, segundo a pesquisa realizada e como se pode ver na ficha técnica no anexo L, apresenta características como a sua alta fluidez, uma grande resistência ao impacto e calor, alta qualidade superficial e também a sua rigidez. É um material já muito utilizado na impressão 3D convencional e em estudo já realizados adapta-se também a impressão em grande escala (Crespo, 2019).

6.3 SMP

O polímero com memória de forma será utilizado na união das estruturas superiores com as inferiores, para criar um efeito de dobradiça que contorcerá toda a estrutura e transforma num abrigo. Para tal, utilizam-se materiais ativos, uma escolha para o design de origami ativo, polímeros ativados por um reagente térmico e ligas com memória de forma, como já utilizado num estudo realizado por Ge et al., no artigo que escreveram sobre Origami Ativo por Impressão 4D (Ge et al., 2015). A figura abaixo mostra de que forma esta tecnologia será inserida no abrigo.

O material SMP oferece diversas possibilidades no desenvolvimento de soluções flexíveis, em termos de design, bem como propriedades compactas e de montagem. Também provou ser uma vantagem no desenvolvimento de produtos que possam alterar as suas propriedades com o calor. O material oferece outras características benéficas, como leveza, e fácil processamento, como se pode analisar na ficha técina do fornecedor SMP tecnologies, no anexo M. trazendo propriedades vantajosas para o desenvolvimento do conceito apresentado.

7. Solução construtiva

A presente dissertação pretende criar um abrigo que se possa autoconstruir, sem o auxílio de mão de obra humana e, por essa razão, é aplicada a tecnologia da Impressão 4D. Tal conceito foi previamente aplicado por Tibbits (2014), em que um componente é criado por impressão 3D, mas posteriormente se transforma em outra forma ou configuração. Os seus materiais e estruturas funcionam por um efeito higroscópico, onde o material incha de maneira temporal e espacial, dependente quando imerso na água. Com o surgimento deste novo conceito, Ge et al. (2014) mencionam um novo padrão de impressão 4D em criar compósitos ativos impressos, com a nomenclatura de PAC (Printed Active Composites), utilizando a impressão direta de um polímero com memória de forma em fibras numa matriz elastomérica para permitir a mudança de forma programável dos compósitos (Ge et al., 2014).

No abrigo Bulma, esta tecnologia é utilizada nas dobradiças da estrutura do abrigo, o sistema PAC aplicado nestas zonas é capaz de reparar uma forma temporária e recuperar a sua forma permanente em resposta à mudança da temperatura. Os compósitos ativos são imbuídos de inteligência pela programação termo mecânica.

Como referenciado no artigo Active Origami by 4D Printing (Ge et al., 2014), PACs de duas camadas podem servir como dobradiças, conectando-se a painéis rígidos para criar uma caixa de flexível com abertura automática, desempenhando um papel notável na fabricação de estruturas de automontagem 3D. Esta abordagem é baseada numa compreensão rigorosa da mecânica complexa das estruturas das dobradiças. As experiências, descritas no artigo, determinam o ângulo de dobragem de uma dobradiça com parâmetros microestruturais.

Inicialmente, as dobradiças PAC são criadas a partir de projetos auxiliados por computador (CAD), elaborando um arquivo que especifica a arquitetura completa de fibras e matriz. Em seguida, é impresso com uma impressora 3D multimaterial para polímeros. O processo de impressão é de camada por camada depositando gotículas de tinta do polímero na base de impressão, até esta se tornar uma película lisa e depois segue-se a foto polimerização a película com ultravioleta (UV) (Ge et al., 2014).

A estratégia deste estudo é criar dobradiças PAC, que são compósitos com uma matriz elastomérica sobre a zona de temperatura operacional, entre a temperatura ambiente e com cerca de 100 °C, onde as tiras mostraram o efeito de memória de forma (SME). Assim, é projetado que as dobradiças PAC devem ter uma matriz com uma temperatura de transição vítrea abaixo de 25 °C e as fibras mostrando o efeito com memória de forma nas zonas com uma temperatura entre 25°C-70 °C.

Tal conceito é utilizado para criar uma série de componentes que se transformam entre duas configurações, sendo que, com base em experiências à volta do mesmo, como a transformação de caixas planas em caixas 3D, considera-se esta tecnologia a solução mais viável e aplicável neste projeto.

8. Processo de fabrico

O processo de fabrico do abrigo Bulma, passa por 5 estágios diferentes até à sua finalização, o que significa a necessidade da utilização de várias tecnologias, como o corte a laser, o uso de uma máquina de costura e de uma impressora 3D de grande escala, tornando este um processo mais complexo.

Inicialmente, é necessário o uso de uma máquina de corte a laser, o método de fabrico selecionado, para fazer o corte na "lona" plástica, isto porque oferece uma precisão de corte ótima e torna o processo mais rápido e facilitado. O mais interessante, é que o mesmo equipamento pode ser utilizado para outras categorias de corte.

O máximo de cortes que se pode fazer com uma máquina de corte a laser é determinado pelas dimensões do material e pela sua resistência ao calor. Deve-se, antes de tudo, ter um conversor para aspiração com sonda analógica ou digital e um software do mesmo produtor, para que as configurações e as rotinas de corte sejam as mesmas.

O corte é realizado, diferentemente do corte a jato de água, através da absorção, sendo que o ponto de absorção é dado pelo laser. Esta categoria de corte é o mais utilizado porque possibilita a obtenção de um resultado limpo e sem resíduos.

Neste caso, a "lona" utilizada para o abrigo é de uma dimensão elevada tendo a medida máxima de 9 metros. Por essa a razão, a máquina precisa de ser de grande escala, apesar de dificilmente se encontrar uma máquina a 'laser' que tenha a dimensão necessária para 9 metros.

Visto a "lona" ter a forma de um polígono dodecagonal, contém fases simétricas, o que se torna uma vantagem, pois, durante a fabrico, a lona é dobrada em 4 de forma simétrica, transformando-se num pentágono irregular (figura 57).

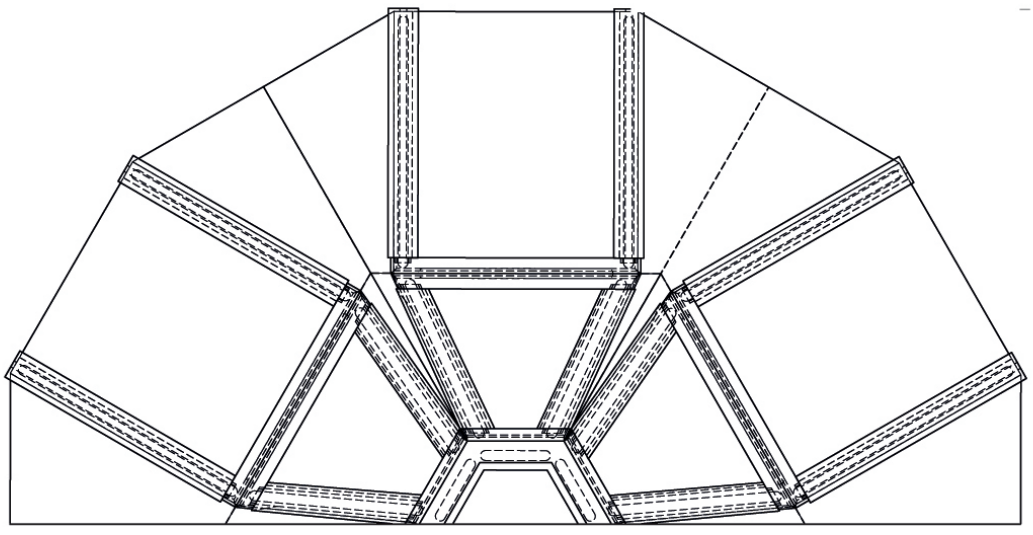


Figura 57. Desenho da lona dobrada ao meio mostrando a simetria.:

Na realização dos cortes, a máquina a laser necessita de uma largura de corte de até 5 metros. Para tal, a máquina pensada para a execução das ranhuras é um semelhante ao Helios Plus. (figura 58)



Figura 58. Máquina de corte a lazer Helios Plus (Matic, 2022).

A HELIOS PLUS foi projetada para economizar tempo e reduzir custos em tecidos para impressão digital, pois permite a utilização ideal de tecidos impressos, graças a um sistema de digitalização especialmente desenvolvido, que digitaliza toda a superfície em poucos segundos antes de iniciar o processo de corte. O sistema de correia transportadora de alta velocidade avança o tecido, mantendo-o plano, elimina rugas na superfície, garantindo um corte preciso. A máquina a laser tem uma potência de até 120 watts, com características vantajosas de corte e selagem, evitando o desgaste, uma largura de corte útil de 3,3 a 5 metros e a potência do laser é ajustável segundo o material (Matic, 2022).

Após a "lona" já com os cortes realizados, procede-se para a colocação do fechos-éclair, para a criação de aberturas para o interior do abrigo, como criar janelas que permitirão a circulação de ar e ter uma visão para o exterior. A costura destes fechos é realizada com máquinas de costuras profissionais que consigam trabalhar em grande velocidade, assim como agulhas suficientemente rígidas para perfurar a "lona" plástica.

Tendo o processo fabrico da "lona" finalizado, passa-se para o processo de impressão 3D da estrutura em grande escala, que combina a união de dois materiais com características diferentes, gerando impressão 3D multimaterial em grande escala.

No mercado atual, as impressoras 3D multimaterial com capacidade de imprimir em grande escala com dois ou mais materiais em simultâneo, utilizando duas extrusoras, existe, por exemplo, a impressora Object1000 Plus, com uma área de impressão de 1000 x 800 x 500 mm^3, que não tem dimensão suficiente para imprimir a estrutura da Bulma. No entanto, existem no mercado várias impressoras de grande escala, com um só extrusor, capazes de imprimir o abrigo. Neste caso, o processo de fabrico com a impressora 3D teria de passar por dois métodos diferentes na colocação do material.

Na teorização deste processo utilizou-se, como referência, a dissertação de Eduardo Crespo, Parametrização do Fabrico Aditivo em Grande Escala por FDM, que utiliza uma impressora FDM em grande escala utilizando o ABS, que consiste numa mão robótica munida de um sistema de extrusão e uma plataforma de aquecimento para o efeito (Crespo, 2019), assim como o projeto realizado pela Universidade de Maine, nos Estados Unidos, que consistiu na impressão 3D de um barco de 7 metros, numa impressora de polímeros com mais de 21 metros (GOTEC, 2021).

Com uma impressora desta dimensão, não existirão muitas restrições na impressão do abrigo ao nível das dimensões. No entanto, o material torna o processo mais

complexo, pois, para as primeiras camadas, será necessário iniciar com um material e, de seguida, passar para outro e obter uma impressão multimaterial.

Na fabricação da estrutura, será necessário começar por extrudir o material com memória de forma, pois serão as dobradiças de estrutura que unirão os pilares da estrutura em ABS e, de seguida, trocar de material para adicionar o ABS. Assim, será realizada a impressão das primeiras camadas, até alcançar metade da espessura da estrutura. De seguida, pega-se na "lona", já com as perfurações e a costura do fechos éclair, e sobrepõem-se na estrutura semi-impressa, ao posicionar as ranhuras com a estrutura, para haver uma união com todos os materiais (figura 59). Ao finalizar, inicia-se novamente a impressão da estrutura, mas invertendo o processo. Neste caso, inicia-se primeiro com o material ABS e finaliza-se com a impressão das dobradiças para haver uma unificação total de todos os materiais.

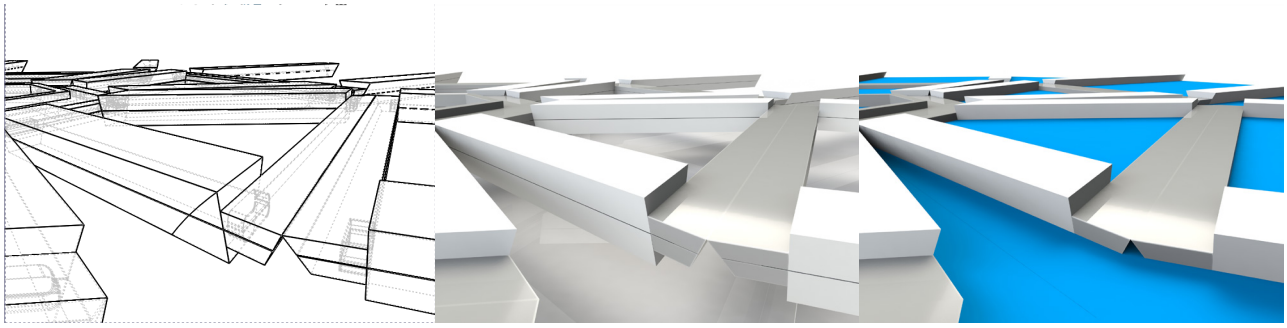


Figura 59: Sequencia de detalhes onde é mostrado a união da estrutura ABS com as dobradiças PAC, como também, pormenoriza a abertura onde a "lona" será sobreposta.

Parte da estrutura que se encontra em ABS, (figura 60), terá de respeitar parâmetros para que, na execução da impressão, se consiga um melhor resultado. Segundo Crespo (2019), o ABS deverá ser impresso com a temperatura de 240 °C. As temperaturas recomendadas da plataforma de aquecimento para os diferentes materiais termoplásticos estão diretamente relacionadas com a temperatura de transição vítrea. Partindo deste princípio, a plataforma de aquecimento deve ser aquecida até à temperatura de transição vítrea do material, de maneira a promover uma boa aderência entre o modelo impresso e a plataforma. O ABS tem uma temperatura de transição vítrea de 105 °C, pois é precisamente nessa ordem de temperaturas que se deve aquecer a plataforma quando se imprime em ABS (Matic, 2022; MatterHackers, 2014; Rahman et al., 2018).



Figura 60: Renderização da estrutura aberta e fechada com material ABS.

A altura da primeira camada deverá ser de uma espessura menor que as seguintes camadas, que deverá representar 80 por cento do diâmetro do furo da extrusora. Isto deve-ao facto da primeira camada, dever ser mais achatada para oferecer uma boa sustentação às camadas posteriores e, sobretudo, garantir um maior contacto e fixação do modelo à plataforma, para prevenir o empeno. A espessura das camadas seguintes deve ser igual ou inferior a 80 por cento do diâmetro do furo da extrusora e não 100 por cento pela mesma razão (Crespo, 2019).

9. Processo de transporte

Para o transporte do abrigo, foi necessário ter atenção os requisitos impostos pelas organizações que se responsabilizam pelo transporte e montagem do mesmo, concedendo auxílio às pessoas desalojadas. Duas restrições impostas é que o kit de abrigo consiga ser colocado sobre uma palete com medidas compreendidas entre 120 cm por 110 cm e o seu peso não poderá exceder os 50 kg (Organização Internacional de Migrações, 2015).

Devido à composição física do abrigo Bulma, que é maioritariamente composto por "lona" plástica, com zonas de união de material elastomérico, apresentando propriedades "elásticas", que suportam grandes deformações antes da sua rutura, isto permite que o abrigo seja manipulado para reduzir o seu tamanho. No entanto, a manipulação tem de ser realizada de modo a respeitar a posição dos pilares em ABS, para que estes não sejam danificadas. Para isso, a manipulação tem de ser realizada consoante é mostrado na figura 61.

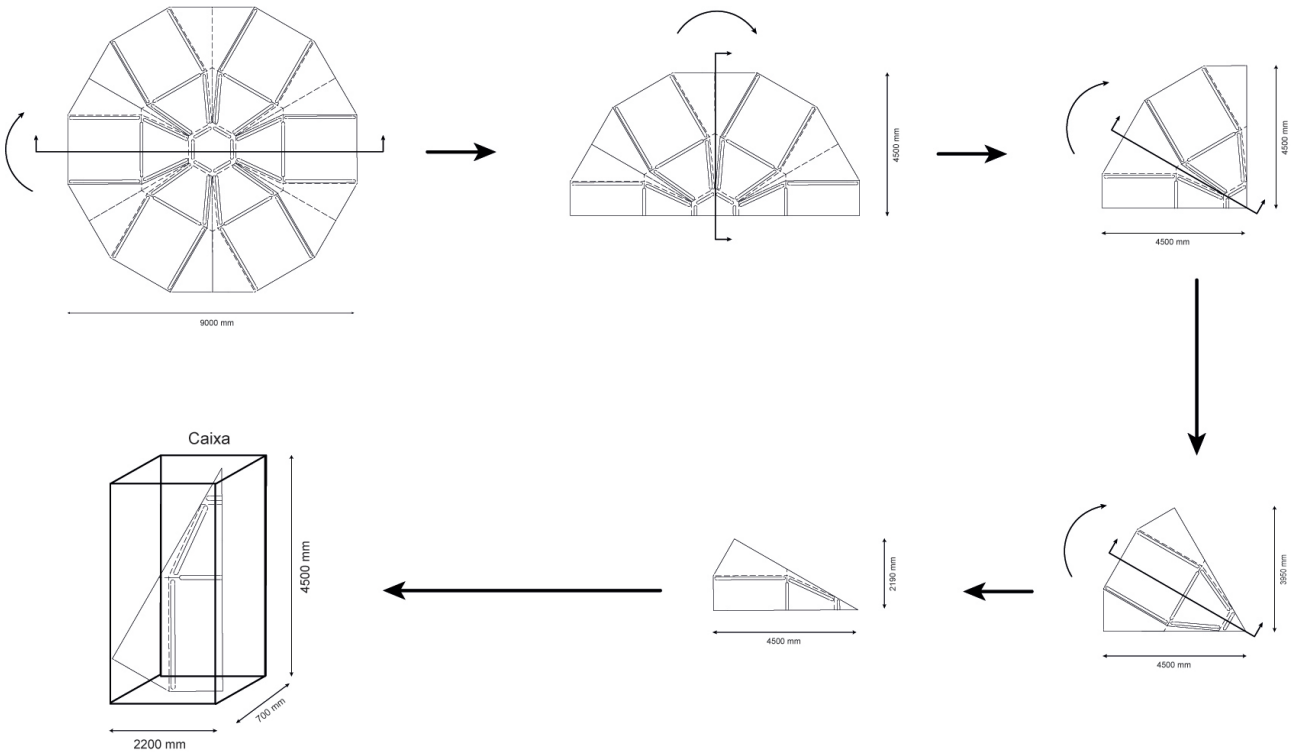
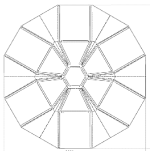
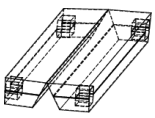


Figura 61. Sequência das várias posições da dobragem da lona, do começo ao fim, para ser transportada.

Após a realização das dobras necessárias, pode-se verificar que o abrigo colocado na palete verticalmente respeita as dimensões necessárias. No entanto, por estar na vertical, irá ter uma altura tão superior que pode criar constrangimento no transporte do mesmo, pois ao nível de transporte terrestre poderá ser de difícil acesso a um veículo que consiga transportar o abrigo embalado, que poderá chegar aos 4,5 metros de altura. Se as condições assim o favorecerem, um camião de 2 eixos tem a capacidade de levar, por volta, de 18 abrigos. Isto porque, em média,uma carroçaria tem 14 metros de comprimento, 2,6 metros largura e 4,5 de altura (Watanabe, 2021).

A segunda restrição para o seu transporte é o seu peso, calculando o volume total do abrigo e analisando as características dos materiais, conclui-se que o abrigo pesará cerca de 54 kg, como se pode ver na tabela 4, onde, para a indicação do peso de cada componente, se utilizou o software CAD, SOLIDWORKS®, consoante as propriedades dos materiais.

Tabela 4. Descrição e quantidade de cada componente do abrigo para fim de calcular o seu peso.

	Descrição	Quantidade	Peso
	Lona	Uma unidade	15kg
	Pilar inferior ABS	Doze unidades	12kg
	Pilar superior ABS	Doze unidades	6kg
	Dobradiças inferior SMP	Seis unidades	14,4kg
	Dobradiça superior SMP	Uma Unidade	6,6kg
Total	-	Trinta e duas unidades	54kg

10. Custo financeiro

O custo financeiro deste projeto não teve em consideração o custo de produção, pois seria o valor muito incerto e difícil de alcançar por se tratar de um projeto que utiliza tecnologias inovadoras e ainda não implementadas no mercado, de uma forma massiva. Para compreender o seu custo, no entanto, é possível encontrar o valor que será gasto no material, calculando o preço do material com o volume do produto, já calculado anteriormente.

Consoante a informação retirada no Plastic Insight, (Insight, 2017), uma página web que regularmente vai a colocar informações atuais sobre o universo dos polímeros, consegue verificar-se quais os países que produzem esta matéria-prima e a que preço é vendido no mercado. O ABS tem uma média de preço de 11000 dólares por tonelada, 9,34 €/kg (Insight, 2017).

No mercado, existem diversas empresas que produzem e vendem lona plástica para diversos usos e com diversos preços. Para o abrigo Bulma, a quantidade necessária para a sua construção é "lona" 10 m x 10 m e, na pesquisa realizada, o preço médio encontrado é de 220 € (Extra, 2021; Kone, 2021; Livre, 2021). No entanto, na compra da lona ao metro, respeitando a área necessária, o preço pode baixar um pouco e, quanto mais a quantidade necessária, mais o preço irá baixar.

Em relação ao material com memória de forma, o seu custo teve como referência o projeto realizado por na dissertação 4D STRUCTURES FOR RAPID CONSTRUCTION OF A SHELTER IN CRISIS SITUATIONS (Henriques, 2019). O seu projeto teve um custo de material de 10 691€, sendo que o abrigo realizado tem um peso estimado de 45,78 kg. O preço foi calculado através da compra, à empresa SMPTechnologies, de um rolo de filamento SMP, com 300g, que teve um custo de 78,01€.

Visto o volume total do abrigo e calculando com os preços aqui referenciados, o custo total do abrigo Bulma é de 5 841,82 € (tabela 5). O preço pode ser sujeito a alterações, pois dependendo do número de produção de abrigos o preço de cada um pode baixar consideravelmente.

Tabela 5. Custo financeiro do abrigo Bulma.

Material	Aplicação	Valor por kg	Quantidade	subtotal
"Lona"	Revestimento	14,67€/kg	15 kg	220€
ABS	Pilares estruturais superiores e inferiores	9,34€/kg	18 kg	168,12€
SMP	Dobradiças superior e inferior	259,70€/kg	21 kg	5453,7€
			Total	5841,82€

11. Protótipo

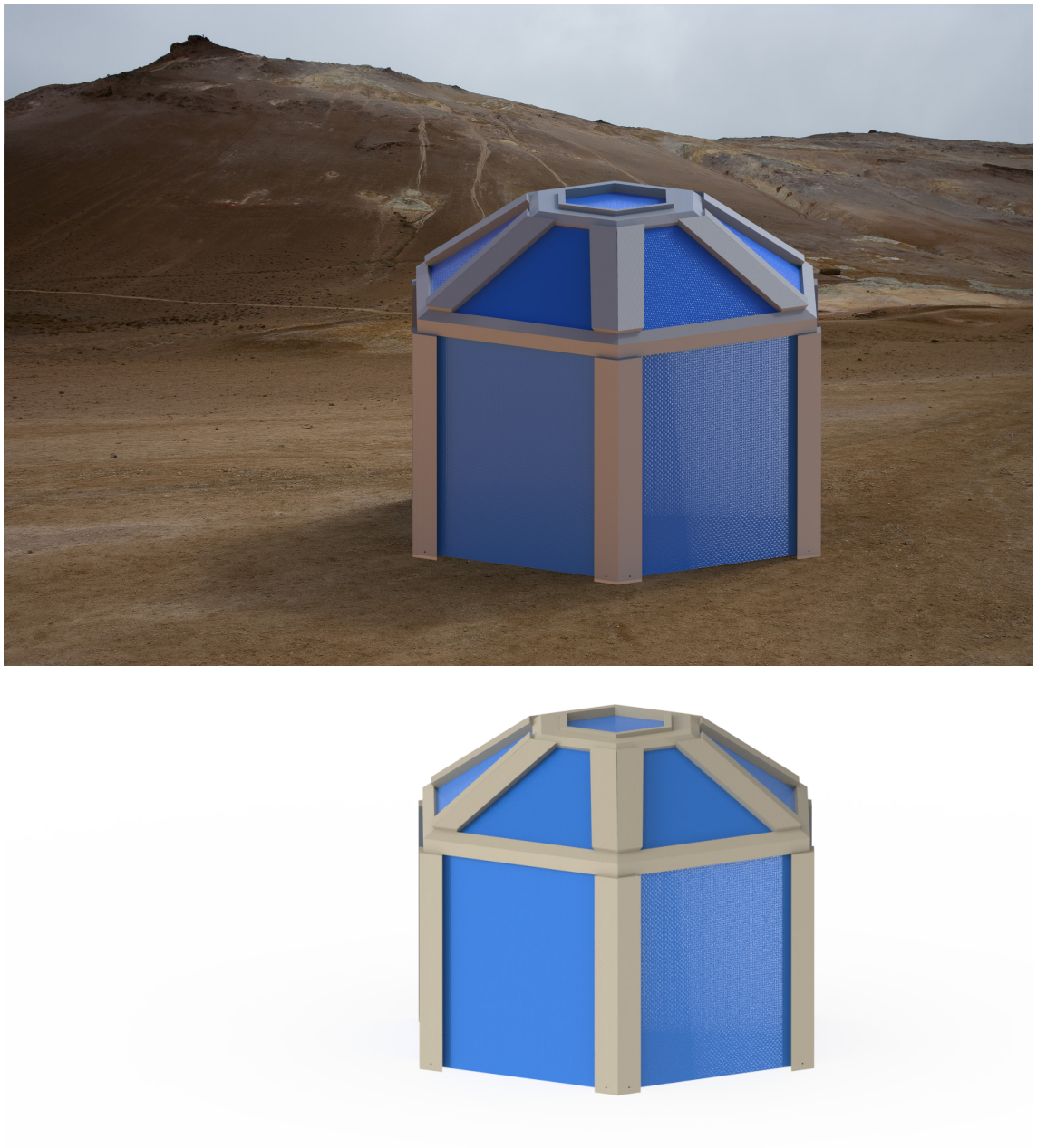


Figura 62. Protótipo digital Bulma.

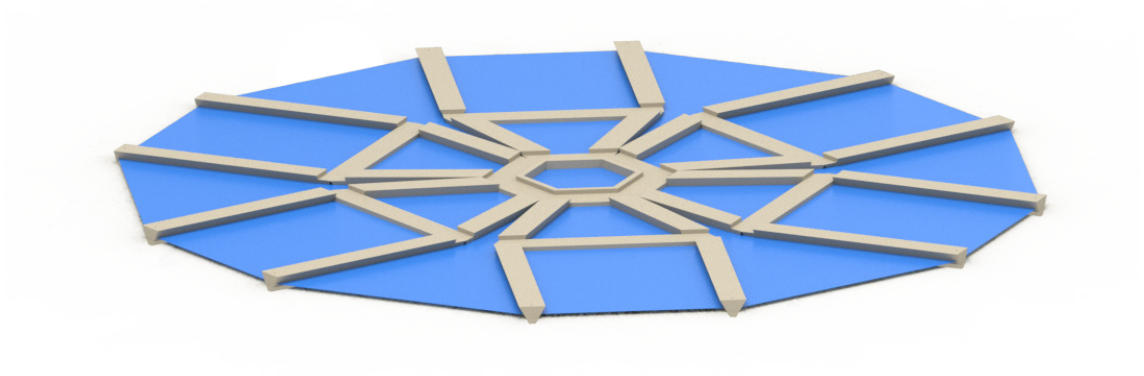


Figura 63. Protótipo digital Bulma planificado no chão (aberto).



Figura 64. Render do abrigo Bulma, numa simulação de um caso real.



Figura 65. Render do abrigo Bulma, numa simulação de um ambiente de campo de refugiados.

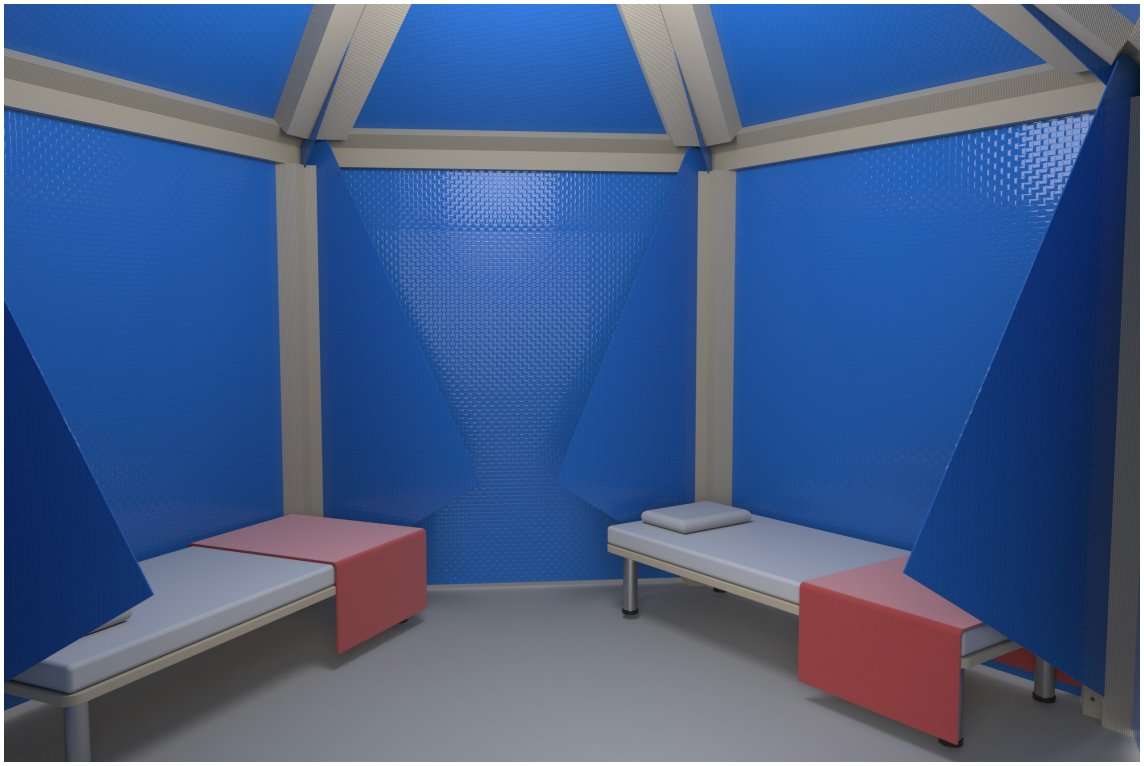


Figura 66. Render do interior do abrigo ao entrar.

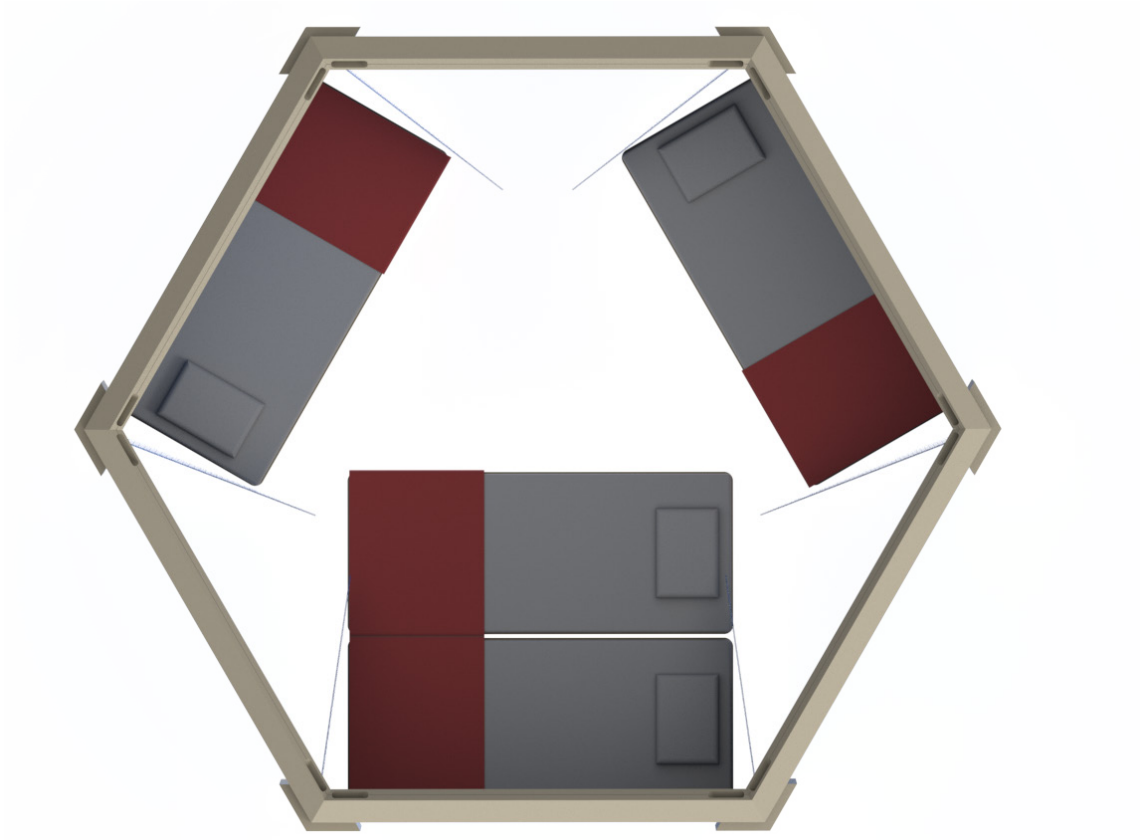


Figura 67. Render do interior do abrigo visto de cima.

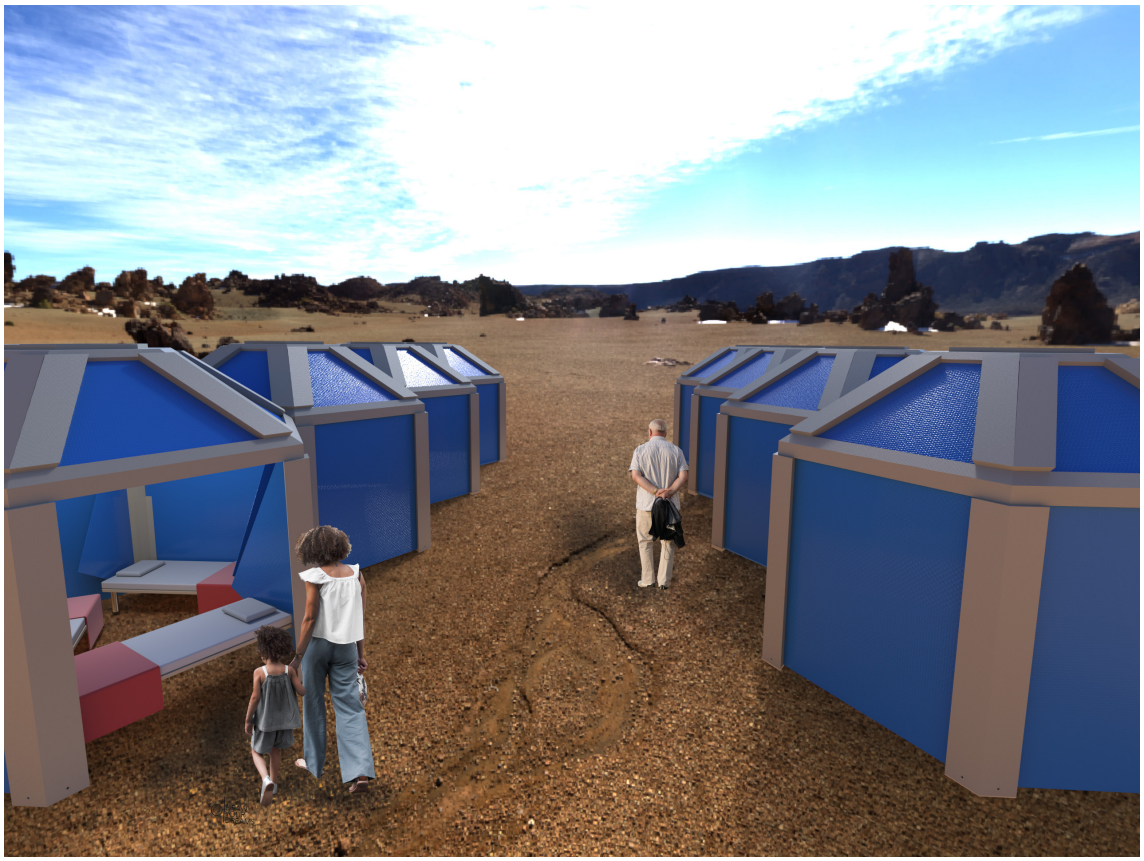
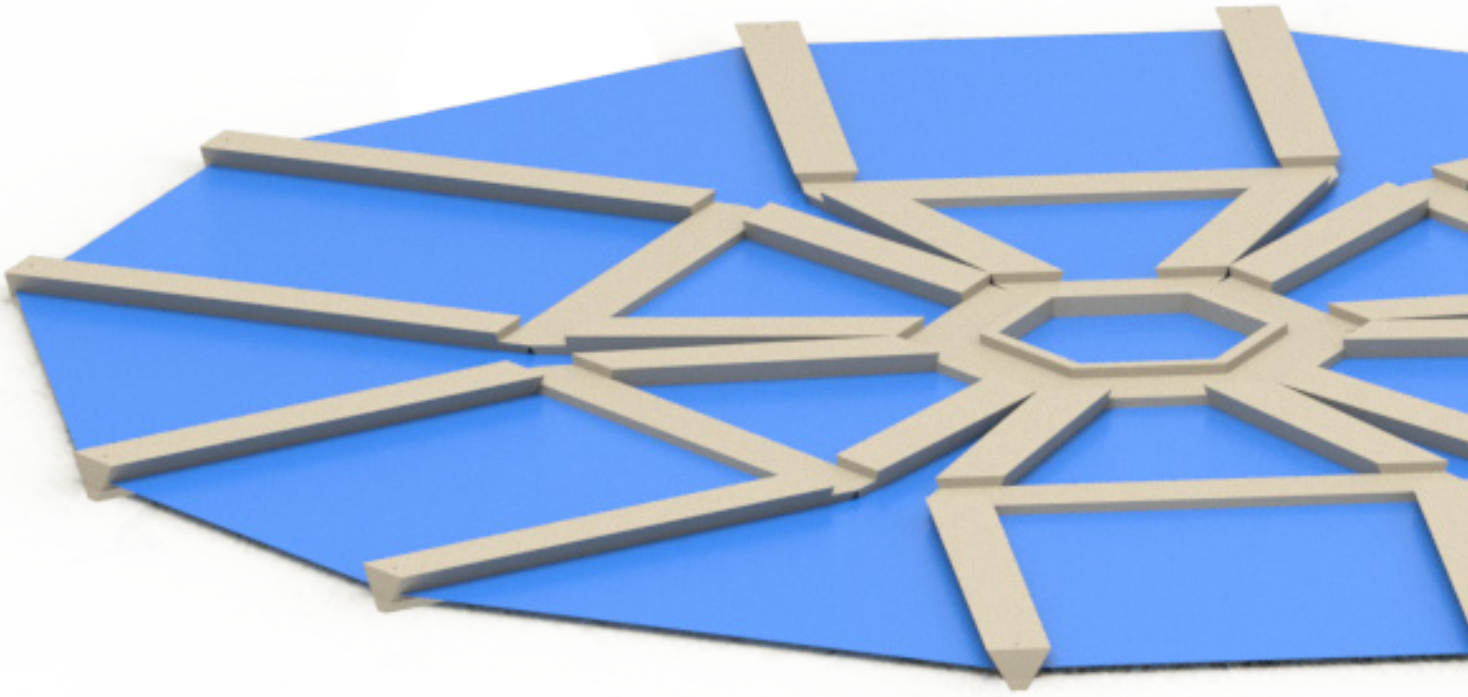
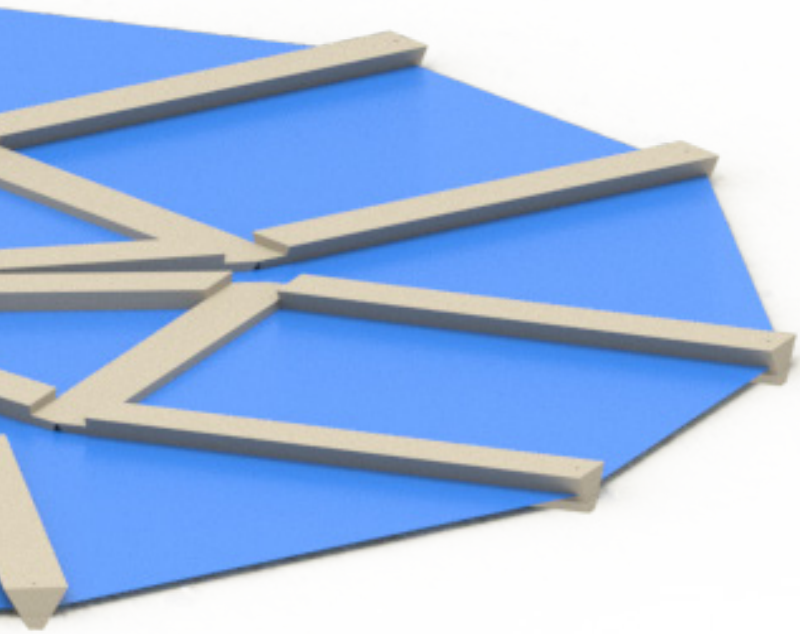


Figura 68. Render dos abrigos, numa simulação com pessoas.



Figura 69. Render de abrigos num ambiente, simulando um caso real.





IV - Conclusão

Conclusão

Devido ao crescimento de situações de crises, desastres naturais ou conflitos sociais, o número de pessoas em situação de deslocamento internos aumentou exponencialmente. Este cenário mostra-nos a falta de preparação dos governantes e da sociedade perante tais catástrofes, que podem pôr fim na história e cultura de um povo, obrigando a um novo recomeço para essas mesmas pessoas. Desta forma, fornecer um local de acolhimento das vítimas é vital para a sobrevivência e fundamental para conseguir novamente ter segurança, dignidade e autossuficiência.

Para atender às vítimas, as organizações humanitárias fornecem abrigos de emergência, que oferecem kits que reúnem uma série de produtos e materiais para que os próprios refugiados, com ou sem assistência, construam o seu próprio abrigo, apesar dos mesmos deixarem a desejar nos quesitos estruturais e térmicos.

A presente dissertação identificou tais problemas e reúne uma pesquisa com o objetivo de desenvolver uma alternativa melhorada para facilitar a construção de abrigos e garantir segurança, durabilidade, sem esquecer também o conforto. No desenvolvimento de um novo conceito aplicaram-se tecnologias inovadoras, como a impressão 3D e 4D, para solucionar o problema da estrutura e torná-la mais adaptável, flexível, de fácil transporte e montagem, independentemente do local, pois só necessitaria de um reagente externo, a água, o calor ou corrente elétrica para os construir.

O material utilizado neste processo de estudo foi o material com memória de forma por ter eficácia comprovada em várias situações por diferentes profissionais. No entanto, o material escolhido apresenta custos elevados na sua fabricação e também na sua aplicação. No processo de pesquisa desta tese encontram-se projetos onde este material só é aplicado em zonas de transformação, ou seja, o material é aplicado numa zona específica onde ocorrerá a alteração física, pelo que se consegue uma redução de custo. O comportamento que este material terá é semelhante à de uma dobradiça.

Promove-se o conceito de impressão 4D para permitir origami ativo como meio de criar componentes 3D. A abordagem aplicada é a impressão de planos 2D com dobradiças PAC, criadas por compósitos com fibras poliméricas, as quais exibem o efeito de memória de forma sobre uma temperatura operacional desejada numa matriz elastomérica. Através de um processo de programação termomecânico adequado, acionam-se as dobradiças, que se dobram num ângulo prescrito e, como resultado, transformam o abrigo em 2D num abrigo 3D.

Para a aplicação deste conceito e criação de um abrigo, foi necessário estudar o processo de impressão multimaterial em grande escala, pois engloba a utilização de diversos materiais, como a "lona", o ABS e SMP. Este tipo de impressão já é comumente utilizado no universo da impressão 3D em pequena escala, apesar de, em grande escala, não existirem estudos para entender como o processo de fabrico e o seu custo funcionaria na prática.

No processo de desenvolvimento do estudo da forma e na concretização dos testes, validou-se a união entre os materiais e a sua construção, assim como a área suficiente para abrigar 4 pessoas, com a possibilidade de criar diversas composições que estendem a área do abrigo, dando a possibilidade de alojar mais pessoas. O facto de ser um abrigo modular dá a multifuncionalidade para desenvolver diferentes tipos de alojamento, como centros de auxílio, tanto a nível da saúde, alimentar e até

mesmo de convívio.

Um dos requisitos mencionados é a importância da sua estabilidade e resistência para que não se danifique com a presença de alguma condição atmosférica. Para isso, desenharam-se 2 peças de fixação do abrigo ao solo. Cada peça foi desenhada para dois tipos de solo, uma para solos com baixa densidade e outra para solos com maior densidade, dando versatilidade para cada situação terrestre e uma maior segurança e estabilidade.

Resumidamente, parte do objetivo desta dissertação foi cumprido, no sentido em que foi desenvolvida uma solução alternativa para um abrigo de emergência, de modo a substituir as estruturas atuais construídas, tendo sido alcançado um produto conceitual que poderá fazer parte do Kit de emergência, fornecendo cobertura e também suporte estrutural. Também foi possível validar alguns dos requisitos impostos, como garantir o mínimo de espaço vital e facilitar o processo de montagem.

No entanto, foram encontrados problemas com o cumprimento de alguns requisitos: o custo calculado é alto, o peso do abrigo é 4 kg a mais do que é indicado nas normas OIM e as suas dimensões dificultam o transporte. Todavia, o custo poderá ser reduzido ao fabricar em larga escala, pois o facto de encomendar mais unidades reduz significativamente o preço. Recalculando as dimensões, o peso irá diminuir e poderá ser usada uma palete para o transporte. No entanto, é importante que estas alterações não influenciem negativamente a possibilidade de abrigar confortavelmente e com segurança um número vantajoso de pessoas.

O objetivo de criar um conceito para um futuro abrigo de emergência que contenha a possibilidade de se automontar, com a possibilidade da utilização da nova tecnologia de impressão 4D, é alcançado. No entanto, o mesmo não se pode dizer sobre o objetivo de reduzir os custos a nível significativo, a ponto de justificar uma produção em escala real. Para tal, esta investigação poderá ser desenvolvida, para trabalhos futuros, seguindo certas recomendações, como analisar e caracterizar as propriedades mecânicas do material, testar os modelos para várias condições climáticas, bem como teste de UV e teste contra fogo, estimar a durabilidade do abrigo, a melhoria das propriedades do material em termos de resistência específica, rigidez e tenacidade que pode ser alcançada, estudar o possível efeito da fluência ou relaxamento no processo de memória de forma e, por fim, desenvolver um protótipo funcional em escala real, para validar o conceito dentro dos requisitos impostos e ser, posteriormente, aceite por organizações humanitárias.

Referências bibliográficas

3D Systems (2022). Impressão 3D para ortodontia. 3D Systems. Consultado em 7 abr. 2022. https://br.3dsystems.com/3d-printing-implantology.

Agência da ONU para Refugiados [ACNUR]. (1967). Manual De Procedimentos e Critérios para a Determinação da Condição de Refugiado. UNICEF.

AMFG [Autonomous Manufacturing] (2020). An Introduction to Wire Arc Additive Manufacturing [2020 Update]. AMFG. https://amfg.ai/2018/05/17/an-introduction-to-wire-arc-additive-manufacturing/

Anders, G. C. (2007). Abrigos temporários de caráter emergencial [Dissertação de Mestrado]. Universidade de São Paulo.

Artaza, T., Alberdi, A., Murua, M., Gorrotxategi, J., Frías, J., Puertas, G., Melchor, M. A., Mugica, D., & Suárez, A. (2017). Design and integration of WAAM technology and in situ monitoring system in a gantry machine. Procedia Manufacturing, 13, 778–785. https://doi.org/10.1016/J.PROMFG.2017.09.184

Babister Legal (2002). Babister Legal is a truly client-driven firm with a strong belief in the power and importance of communication and collaboration. Consultado em 20 mai. 2022. Babister Legal-. https://www.babisterlegal.com.au/

Ban, S. (2014). Paper Emergency Shelter for UNHCR | Architect Magazine. Consultado em 17 agu. 2022. https://www.architectmagazine.com/project-gallery/paper-emergency-shelter-for-unhcr

Bodaghi, M., Damanpack, A. R., & Liao, W. H. (2016). Self-expanding/shrinking structures by 4D printing. Smart Materials and Structures, 25(10), 1–15. https://doi.org/10.1088/0964-1726/25/10/105034

Bose, S., Ke, D., Sahasrabudhe, H., & Bandyopadhyay, A. (2018). Additive manufacturing of biomaterials. Progress in Materials Science, 93, 45–111. https://doi.org/10.1016/J.PMATSCI.2017.08.003

Buswell, R. A., Soar, R. C., Gibb, A. G. F., & Thorpe, A. (2007). Freeform Construction: Mega-scale Rapid Manufacturing for construction. Automation in Construction, 16(2), 224–231. https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2006.05.002

Chen, T., Mueller, J., & Shea, K. (2017). Integrated Design and Simulation of Tunable, Multi-State Structures Fabricated Monolithically with Multi-Material 3D Printing. Scientific Reports, 7(February), 1–8. https://doi.org/10.1038/srep45671

Chen, T., & Shea, K. (2018). An autonomous programmable actuator and shape reconfigurable structures using bistability and shape memory polymers. 3D Printing and Additive Manufacturing, 5(2), 91–101. https://doi.org/10.1089/3dp.2017.0118

Choong, Y. Y. C., Maleksaeedi, S., Eng, H., Wei, J., & Su, P. C. (2017). 4D printing of high performance shape memory polymer using stereolithography. Materials and Design, 126, 219–225. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.04.049

Compositeslab. (2016). Processes. Compositeslab. Consultado em 7 abr. 2022. http://compositeslab.com/composites-manufacturing-processes/

Crespo, E. (2019). Parametrização do Fabrico Aditivo em Grande Escala por FDM [Dissertação de Mestrado]. Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria.

Decorfacil. (2021). 40 Coberturas para Garagens - Modelos e Fotos. Decorfácil. Consultado em 28 jul. 2022. https://www.decorfacil.com/coberturas-para-garagens/

Divaholic. (2019). Universo dos Tecidos Impressos em 3D para a Moda. Divaholic. Consultado em 12 agu. 2022. https://www.3dapplications.com.br/2019/01/30/o-universo-dos-tecidos-impressos-em-3d-para-a-moda/

Santos, S. L. B. (2016). Impressão 3D - Perspetivas de Adoção na Indústria Portuguesa [Dissertação de Mestrado]. Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação da Universidade Nova de Lisboa.

Fandom. (2022). Bulma | Dragon Ball Wiki | Fandom. Consultado em 28 ago. 2021. https://dragonball.fandom.com/wiki/Bulma

Federação Nacional dos Estudos Europeus (2021). Refugiados:um risco ou uma oportunidade para a União Europeia? Comunidade, Cultura e Arte. Consultado em 21 jan. 2021. https://comunidadeculturaearte.com/refugiados-um-risco-ou-uma-oportunidade-para-a-uniao-europeia/

Farah, S., Anderson, D. G., & Langer, R. (2016). Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications — A comprehensive review. Advanced Drug Delivery Reviews, 107, 367–392. https://doi.org/10.1016/j.addr.2016.06.012

Filment2print. (2022). Impressão 4D: O Futuro da Impressão 3D. Filament2print. Consultado em 8 set. 2021. https://filament2print.com/pt/blog/151_impressao-4d.html

Gao, W., Zhang, Y., Ramanujan, D., Ramani, K., Chen, Y., Williams, C. B., Wang, C. C. L., Shin, Y. C., Zhang, S., & Zavattieri, P. D. (2015). The status, challenges, and future of additive manufacturing in engineering. Computer-Aided Design, 69, 65–89. https://doi.org/10.1016/J.CAD.2015.04.001

Ge, Q., Dunn, C. K., Qi, H. J., & Dunn, M. L. (2014). Active origami by 4D printing. Smart Materials and Structures, 23(9). https://doi.org/10.1088/0964-1726/23/9/094007

Ge, Q., Dunn, C. K., Qi, H. J., & Dunn, M. L. (2015). Origami ativo por impressão 4D. Smart Materials and Structures, 23(9), 1-15.

Gosselin, C., Duballet, R., Roux, P., Gaudillière, N., Dirrenberger, J., & Morel, P. (2016). Large-scale 3D printing of ultra-high performance concrete - a new processing route for architects and builders. Materials and Design, 100, 102–109. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2016.03.097

GOTEC. (2021). A maior impressora 3D do mundo faz o maior barco do mundo com

impressão 3D. Consultado em 9 set. 2021. https://gotec.io/pt/inovacao/tecnologia-3d/a-maior-impressora-3d-do-mundo-faz-o-maior-barco-do-mundo-com-impressao-3d

Henriques, L. A. C. (2019). 4D Structures for Rapid Construction of a Shelter in Crisis Situations. July [Dissertação de Mestrado]. Universidade do Porto.

HUBS. (2022). Dimensional accuracy of 3D printed parts. Knowledge base - Hubs. Consultado em 28 jul. 2022. https://www.hubs.com/knowledge-base/dimensional-accuracy-3d-printed-parts/#variables

IAAC [Institute for advanced architecture of Catalonia] (2015). Minibuilders. IAAC-Consultado em 1 ago. 2022. http://robots.iaac.net/#

IAAC. (2017). On Site Robotics - Institute for Advanced Architecture of Catalonia. IAAC. Consultado em 1 ago. 2022. https://iaac.net/project/on-site-robotics/

IDMC [Internal Displacement Monitoring Centre] (2021). Global Report on Internal Displacement 2021:Internal displacemnet in a changing climate. Grid 2021. http://www.internal-displacement.org/global-report/grid2019/

IDMC. (2022). Grid 2022. Internal Displacement Monitoring Centrer

IFRC [International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies (2007). Water, sanitation and hygiene (WASH). IFRC. https://www.ifrc.org/about-ifrc

IOM [International Organisation of Migrations] (2015). IOM Global NFI Catalogue. April, 1–69. Consultado em 28 mai. 2022. http://www.iom.int/files/live/sites/iom/files/What-We-Do/docs/APRIL-2015 -IOM Gobal NFI catalogue.pdf

IOM (2017). SOK - Sealing Off Kit. IOM Shelter.

Khoshnevis, B. (2004). Automated construction by contour crafting—related robotics and information technologies. Automation in Construction, 13(1), 5–19. https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2003.08.012

Kuang, X., Roach, D. J., Wu, J., Hamel, C. M., Ding, Z., Wang, T., Dunn, M. L., & Qi, H. J. (2019). Advances in 4D Printing: Materials and Applications. Advanced Functional Materials, 29(2), 1–23. https://doi.org/10.1002/adfm.201805290

Kun, K. (2016). Reconstruction and Development of a 3D Printer Using FDM Technology. Procedia Engineering, 149, 203–211. https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2016.06.657

Lee, Y.-S., Kim, S., & Hischke, G. (2018). 3D Printing in Concrete Materials and its Applications. International Journal of Civil and Structural Engineering Research, 6(1), 187–195.

Li, X., Shang, J., & Wang, Z. (2016). Assembly Automation Intelligent Materials : A Review of Applications in 4D Printing Article information : To cite this document : About Emerald www.emeraldinsight.com Emerald is a global publisher linking research and practice to the benefit of society . Assembly Autom., 37, 170–185.

Lim, S., Buswell, R. A., Le, T. T., Austin, S. A., Gibb, A. G. F., & Thorpe, T. (2012). Developments in construction-scale additive manufacturing processes. Automation in Construction, 21(1), 262–268. https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2011.06.010

Listek, V. (2019). Restoring Industrial Components with Directed Energy Deposition Saves Time and Costs - 3DPrint.com | The Voice of 3D Printing / Additive Manufacturing. 3Dprint. Consultado em 31 jul. 2022. https://3dprint.com/238130/restoring-industrial-components-with-directed-energy-deposition-saves-time-and-costs/

Loughborough University (2022). Directed Energy Deposition | Additive Manufacturing Research Group. Loughborough University. https://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/directedenergydeposition/

Mao, Y., Yu, K., Isakov, M. S., Wu, J., Dunn, M. L., & Jerry Qi, H. (2015). Sequential Self-Folding Structures by 3D Printed Digital Shape Memory Polymers. Scientific Reports, 5, 1–12. https://doi.org/10.1038/srep13616

Martins, A., Lopes, L., Ab 'saber, A. N., & Saad Hossne, W. (2012). O conceito de Refugiado Ambiental – é uma questão bioética? Revista -Centro Universitário São Camilo, 6(4), 409–415.

Matic (2022). Helios Plus Laser. Matic Machines. Consultado em 8 ago. 2021. https://www.maticmachines.com/pt/produtos/corte-2/helios-plus-laser-4.htm

MatterHackers (2014). How To Succeed When Printing With ABS. MatterHackers. Consultado em 5 set. 2021. https://www.matterhackers.com/articles/how-to-succeed-when-printing-with-abs

Momeni, F., M.Mehdi Hassani.N, S., Liu, X., & Ni, J. (2017). A review of 4D printing. Materials and Design, 122, 42–79. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.02.068

Papanek, V. (1972). Design for Real World: Human Ecology and Social Change. Thames & Hudson.

Plastic Insight (2017). ABS Plastic (ABS): Production, Market, Price and its Properties. Plastic Insight. Consultado em 10 set. 2021 https://www.plasticsinsight.com/resin-intelligence/resin-prices/abs-plastic/

Primavera. (2022). Lona Para Cobertura de Telhado: Como Escolher A Melhor . Primavera Plásticos. Consultado em 28 jul. 2022. https://primaveraplasticos.com.br/lona-para-telhado/

Rahman, H., John, T. D., Sivadasan, M., & Singh, N. K. (2018). Investigation on the Scale Factor applicable to ABS based FDM Additive Manufacturing. Materials Today: Proceedings, 5(1), 1640–1648. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.258

Rodrigues, R. (2022). O que é o Contour Crafting? EngIobra. Consultaado em 31 jul. 2022. https://engiobra.com/o-que-e-o-contour-crafting/

Ruela Ribeiro, J. (2019). Condições no maior campo de refugiados das ilhas

gregas “vão além dos limites da imaginação”.Jornal Público. https://www.publico.pt/2019/01/09/mundo/noticia/condicoes-maior-campo-refugiados-ilhas-gregas-vao-alem-limites-imaginacao-1857166

Saltmarsh, M. (2018). UNHCR - Rohingya refugees race to fix up shelters as monsoon looms. UNHCR. Consultado em 27 jul. 2022. https://www.unhcr.org/news/latest/2018/1/5a6070ad4/rohingya-refugees-race-fix-shelters-monsoon-looms.html

Santos, M. T. T. (2013). Abrigo humanitário [Dissertação de Mestrado]. Faculdade de Arquitectura da Universidade de Disboa.

Schumacher. (2012). Small is Beautiful : A Study of Economics As if People Mattered . by E . F . Schumacher Review by : Susan Strange International Affairs (Royal Institute of International Affairs 1944-), Vol . 50 , No . 1 (Jan ., Published by : Wiley-Blackwell on behalf, 50(1), 104–105.

Sercel. (2017). Spray-up e Hand Lay-up: qual a diferença entre esses dois processos? Sercel. Consultado em 28 jul. 2022. http://www.sercel.com.br/blog/spray-up-e-hand-lay-up-qual-a-diferenca-entre-esses-dois-processos.html

Silva, J. A. (2019a). Lona sob medida: Tudo que você precisa de saber você encontra aqui! Momento Agro. Consultado em 21 ago. 2021. https://www.momentoagrodobrasil.com.br/lona-sob-medida-tudo/

Silva, J. A. (2019b). Saiba tudo sobre Lona Plástica Dupla Face - Um Guia Completo. Momento Agro. Consultado em 28 jul. 2022. https://www.momentoagrodobrasil.com.br/saiba-tudo-sobre-lona-plastica-dupla-face/

SpaceFactory. (2019a). AI SpaceFactory. Consultado em 2 ago. 2022. https://www.aispacefactory.com/

SpaceFactory. (2019b). MARSHA by AI SpaceFactory. Consultado em 2 ago. 2022. https://www.aispacefactory.com/marsha

SPHERE. (2021). Humanitarian standards. SPHERE Standards. https://spherestandards.org/humanitarian-standards/

Stratasys. (2017). Introduction to Additive Manufacturing for Composites -Enabling a new era of design optimization, complexity, and functionality for composite structures. Stratasys. http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:QrsZvGHon-IJ:www.stratasys.com/-/media/files/ebooks/eb_fdm_introtoam_0317a_web.pdf+&cd=2&hl=pt-PT&ct=clnk&gl=pt

Tibbits, S. (2014). 4D printing: Multi-material shape change. Architectural Design, 84(1), 116–121. https://doi.org/10.1002/ad.1710

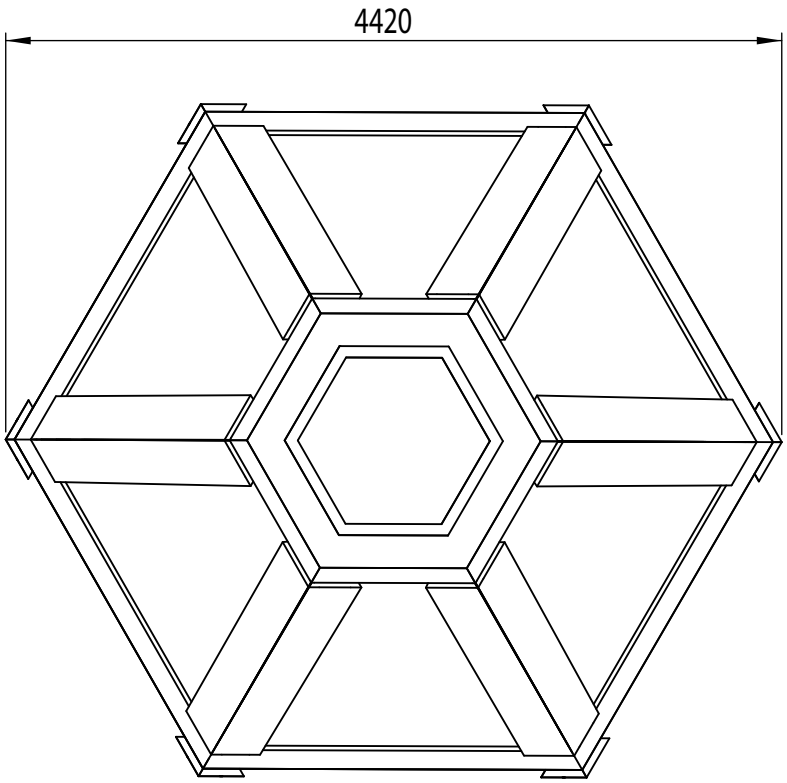
Tofail, S. A. M., Koumoulos. E. P., Bandyopadhyay, A., Bose, S., O'Donoghue, L., & Chariditi, C. (2018). Additive manufacturing: scientific and technological challenges, market uptake and opportunities. Materials today, 21(1), 22-37. https://doi.org/10.1016/j.mattod.2017.07.001

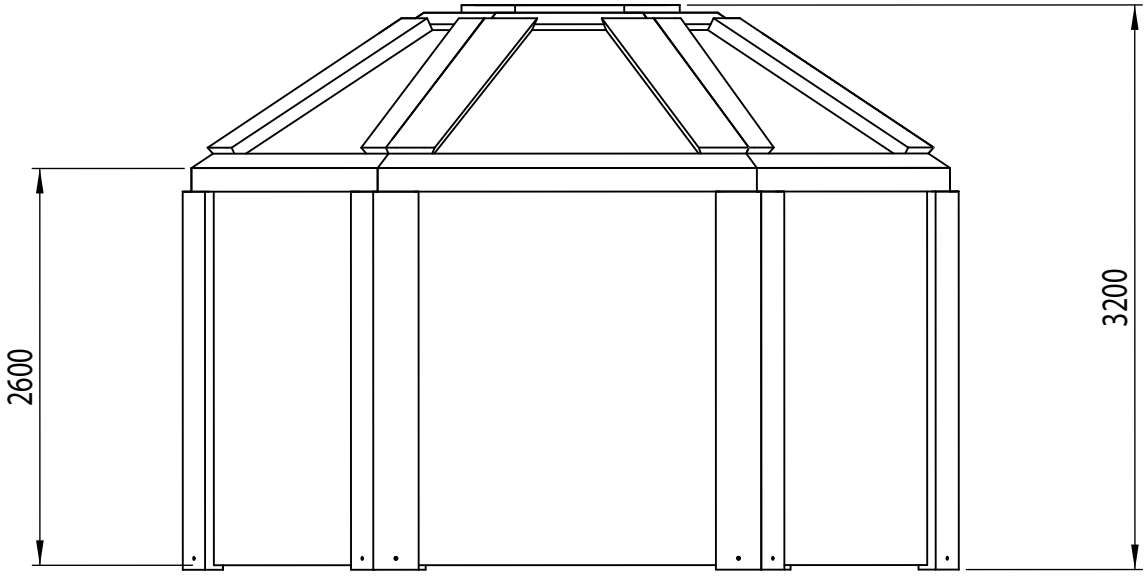
Watanabe, R. (2021). Classes de Veículos. Consultado em 18 ago. 2022http://www.ebanataw.com.br/trafegando/classeveiculo.php

Wohlers, T., & Gornet, T. (2014). History of Additive Manufacturing 2014. Wohlers Report 2014 - 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry, 1–34.

Xu, F. (2016). Closing the Loop in Architectural Design. Architectural Design, 86(5), 84–91.

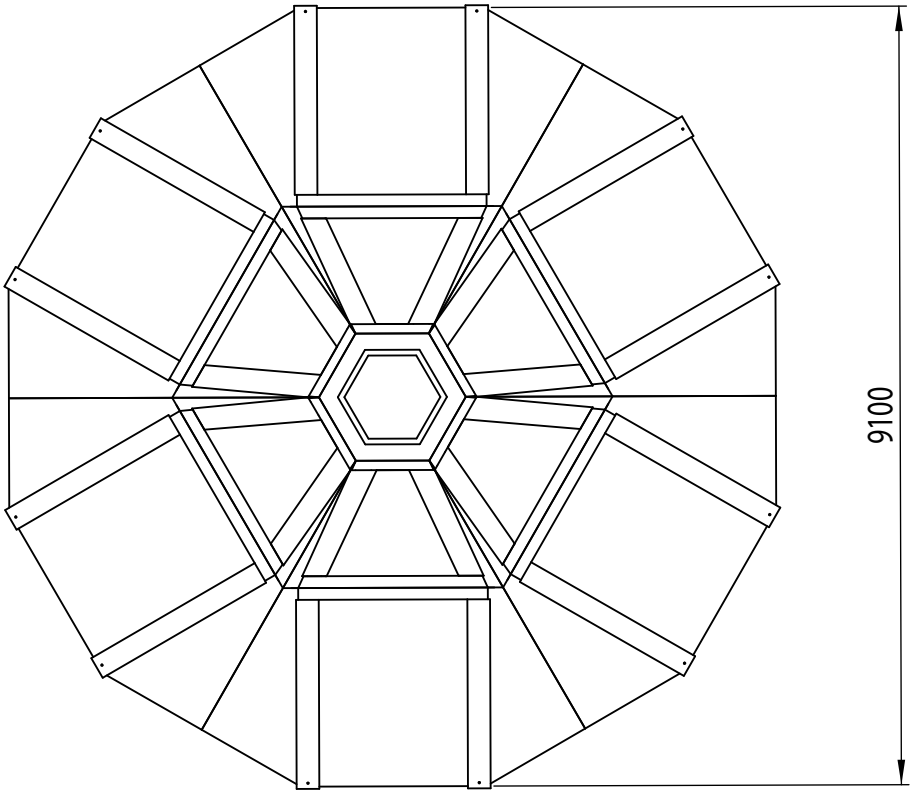
Anexo A: desenho técnico abrigo fechado





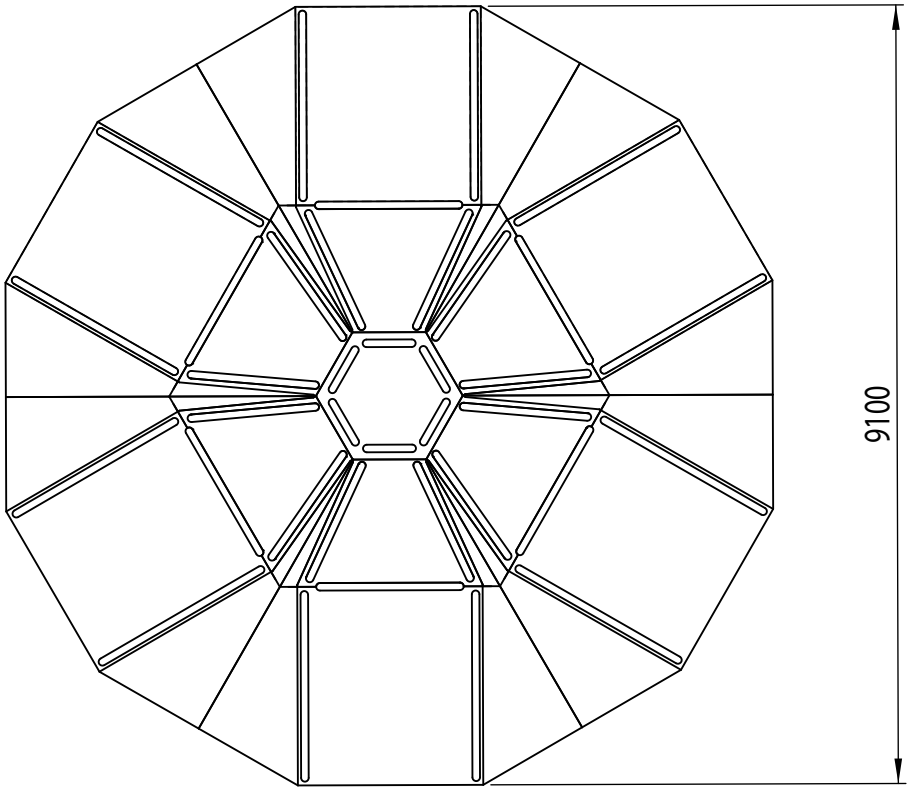
Eduardo Dias	Título:	Instituição:
Data: 15/08/2022	Abrigo "Fechado"	Universidade do Porto
Projeto:		Unidade: mm
Abrigo Bulma		Escala: 1:500

Anexo B: desenho técnico abrigo aberto



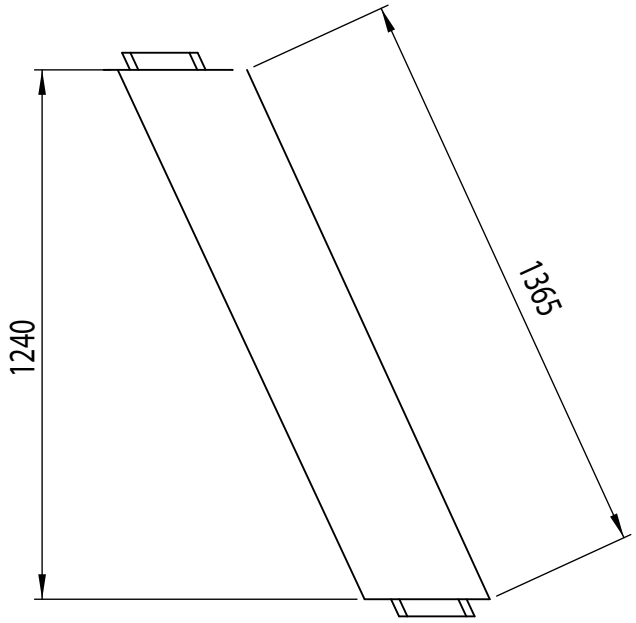
Eduardo Dias	Título:	Instituição:
Data: 15/08/2022	Abrigo "Aberto"	Universidade do Porto
Projeto:		Unidade: mm
Abrigo Bulma		Escala: 1:500

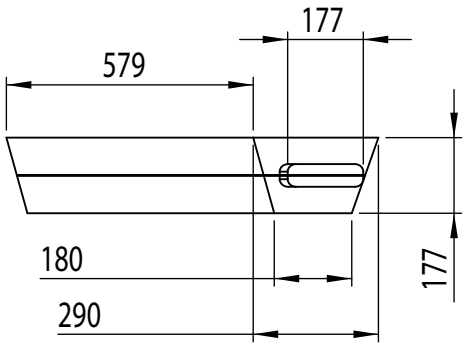
Anexo C: desenho técnico lona



Eduardo Dias	Título:	Instituição:
Data: 15/08/2022	Lona	Universidade do Porto
Projeto:		Unidade: mm
Abrigo Bulma		Escala: 1:500

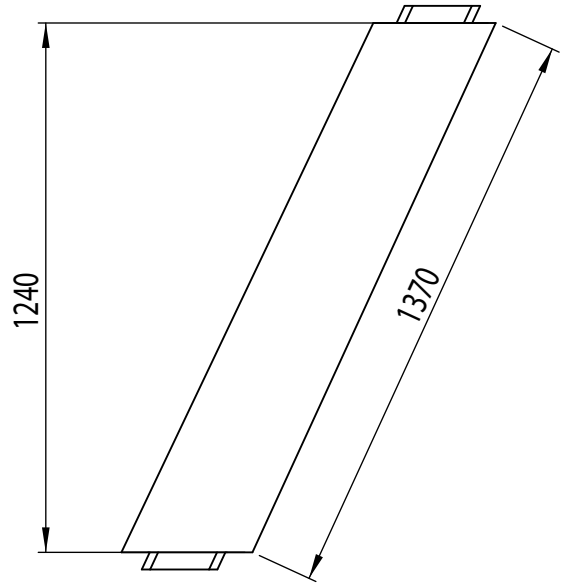
Anexo D: desenho técnico pilar superior direito

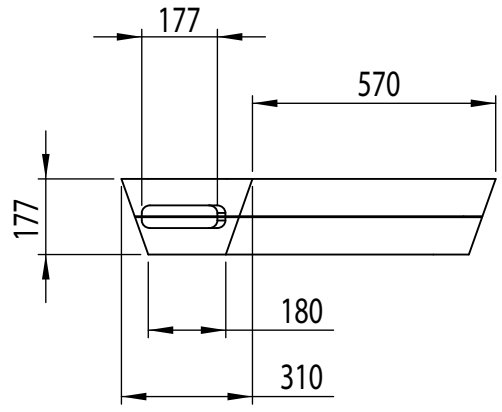




Eduardo Dias	Título: Pilar superior direito	Instituição: Universidade do Porto
Data: 15/08/2022		
Projeto: Abrigo Bulma		Unidade: mm
		Escala: 1:500

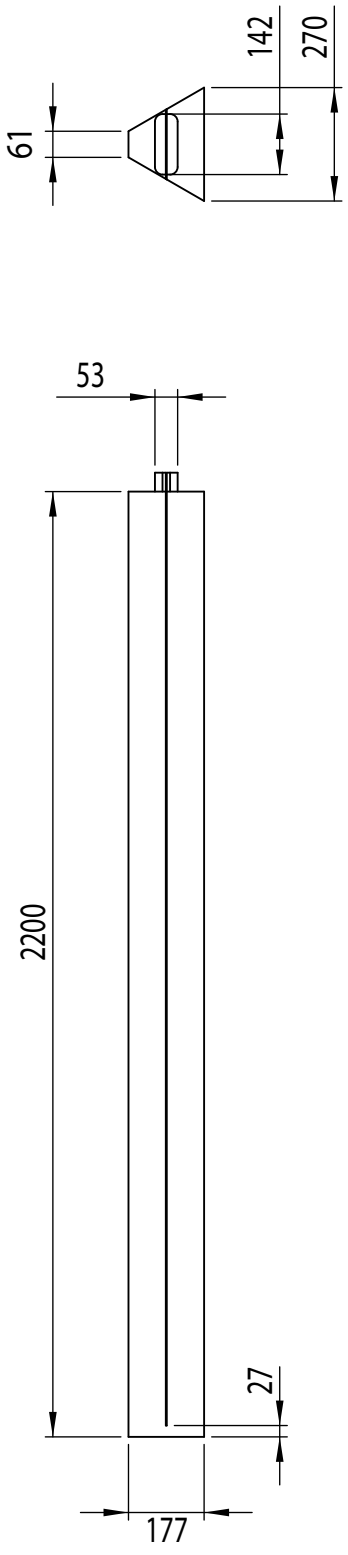
Anexo E: desenho técnico pilar superior esquero





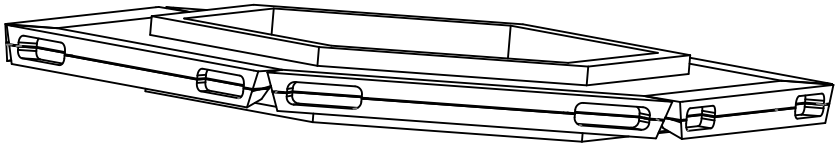
Eduardo Dias	Título: Pilar superior esquerdo	Instituição: Universidade do Porto
Data: 15/08/2022		
Projeto: Abrigo Bulma		Unidade: mm
		Escala: 1:500

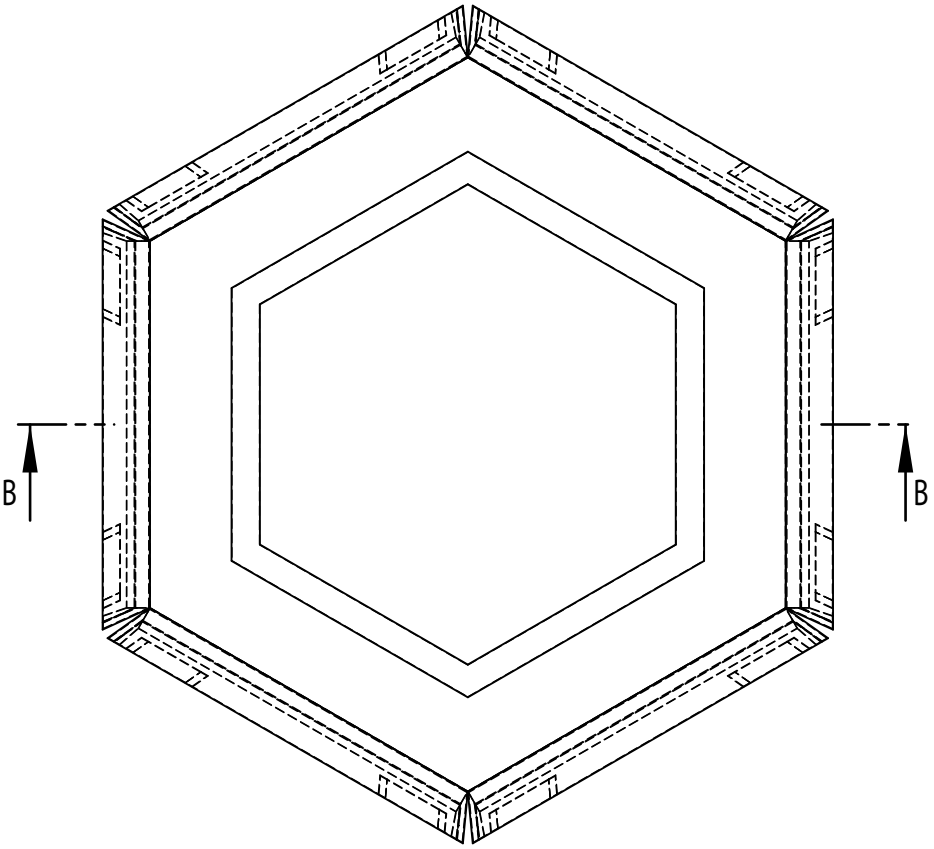
Anexo F: desenho técnico pilar inferior

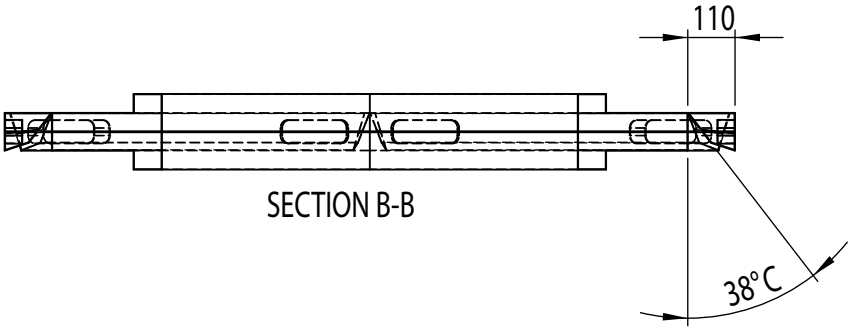


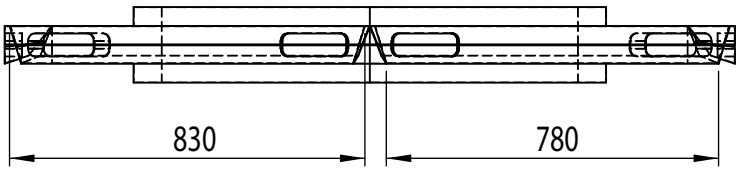
Eduardo Dias	Título: Pilar inferior	Instituição: Universidade do Porto
Data: 15/08/2022		
Projeto: Abrigo Bulma		Unidade: mm
		Escala: 1:500

Anexo G: desenho técnico dobradiça superior



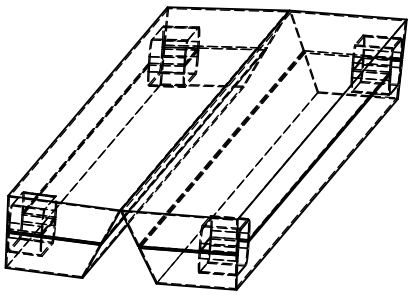


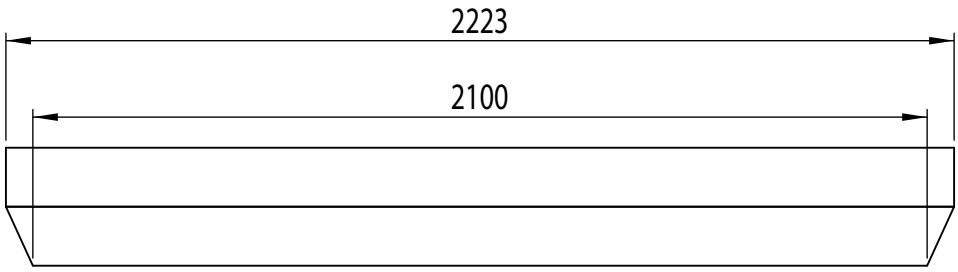


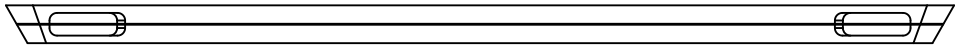


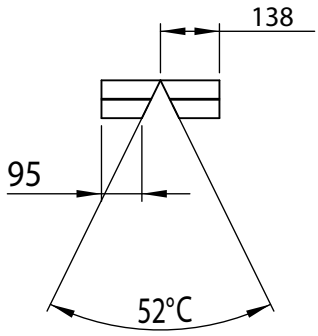
Eduardo Dias	Título: Dobradiça superior	Instituição: Universidade do Porto
Data: 15/08/2022		
Projeto: Abrigo Bulma		Unidade: mm
		Escala: 1:500

Anexo H: desenho técnico dobradiça inferior



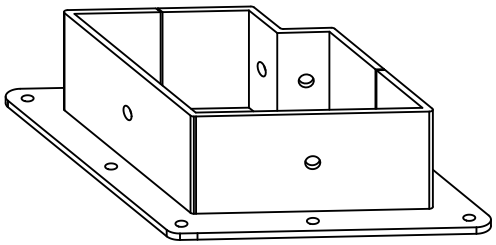


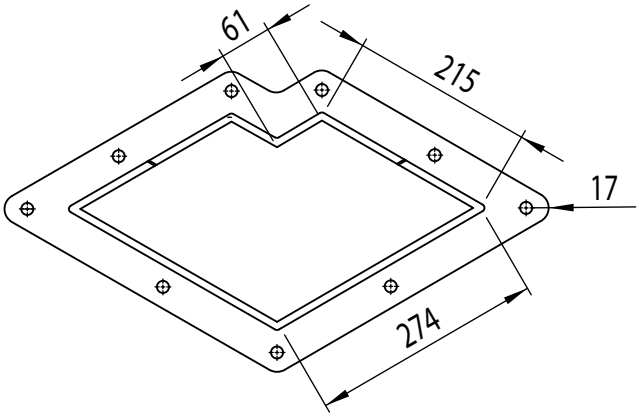


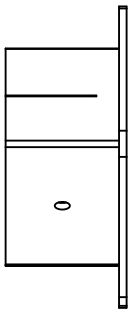


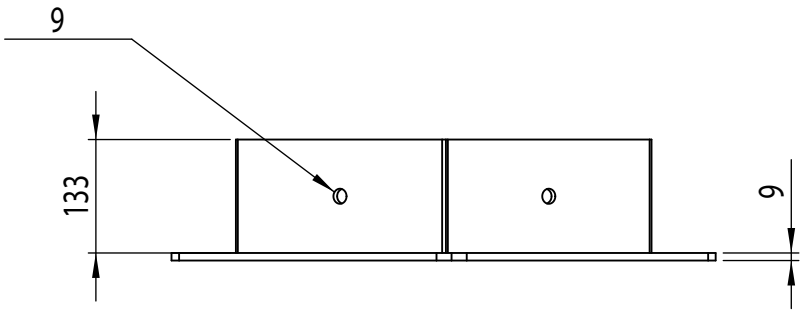
Eduardo Dias	Título: Dobradiça inferior	Instituição: Universidade do Porto
Data: 15/08/2022		
Projeto: Abrigo Bulma		Unidade: mm
		Escala: 1:50

Anexo I: desenho técnico peça de fixação 1





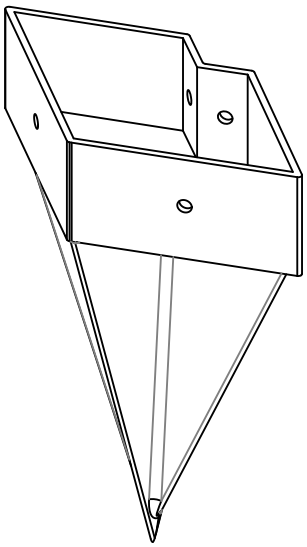


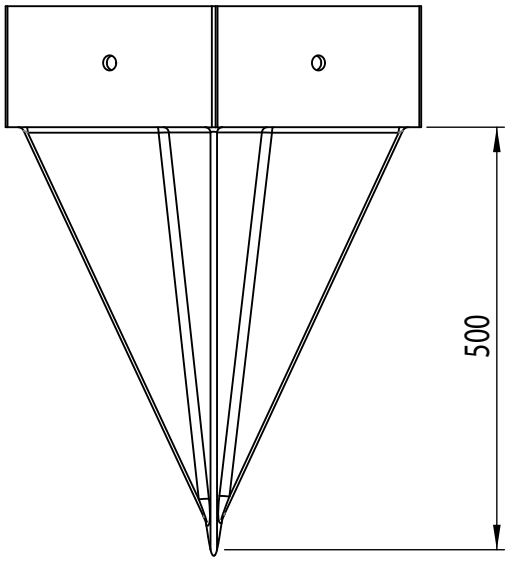


Eduardo Dias	Título: Peça fixação A	Instituição: Universidade do Porto
Data: 15/08/2022		
Projeto: Abrigo Bulma		Unidade: mm
		Escala: 1:500

X

Anexo J: desenho técnico peça fixação 2





Eduardo Dias	Título: Peça fixação B	Instituição: Universidade do Porto
Data: 15/08/2022		
Projeto: Abrigo Bulma		Unidade: mm
		Escala: 1:50

INEOS STYROLUTION

Terluran GP-35

Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)

TECHNICAL DATASHEET

DESCRIPTION

Terluran® GP-35 is high-flow, general purpose injection molding grade with good ductility, intended for moldings with thin walls and/or adverse flow length to wall ratio.

FEATURES

- Excellent colorability
- High flowability
- Good impact resistance
- Good heat distortion resistance
- High quality surface finish and gloss

APPLICATIONS

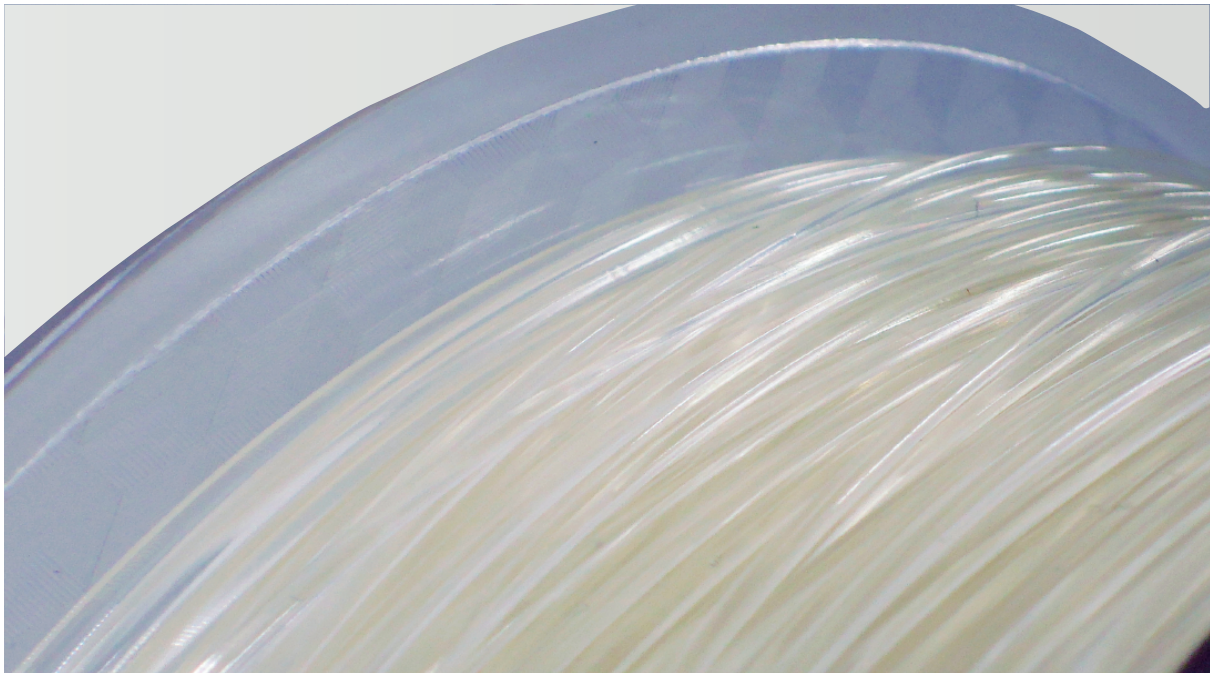
- Injection molding
- Thin wall components for telecommunications
- Household and sanitary appliances
- Toys
- Automotive components

Property, Test Condition	Standard	Unit	Values
Rheological Properties			
Melt Flow Rate, 200 °C/5 kg	ASTM D 1238	g/10 min	3.1
Melt Flow Rate, 220 °C/10 kg	ASTM D 1238	g/10 min	34
Melt Volume Rate 230 °C/3.8 kg	ASTM D 1238	cm³/10 min	11
Mechanical Properties			
Izod Notched Impact Strength, 23°C (73°F)	ASTM D 256	ft-lb/in	4.5
Izod Notched Impact Strength, -18°C (0°F)	ASTM D 256	ft-lb/in	1.6
Izod Notched Impact Strength, -30°C (-22°F)	ASTM D 256	ft-lb/in	1.5
Tensile Stress at Yield, 23° C	ASTM D 638	psi	6520
Tensile Modulus	ASTM D 638	psi x 10³	362
Elongation, Failure	ASTM D 638	%	2.4
Flexural Strength	ASTM D 790	psi	9430
Flexural Modulus	ASTM D 790	psi x 10³	341
Hardness, Rockwell	ASTM D 785	R scale	102
Thermal Properties			
Vicat Softening Temperature, VST/A/50 (10N, 50°C/h)	ISO 306	°F	203
DTUL @ 264 psi - Unannealed	ASTM D 648	°F	167

Contact us:
Phone +1 866 890 6354
infopoint.americas@styrolution.com
www.ineos-styrolution.com

SMP technologies

High quality filament for 3D printer made in Japan
We have developed Shape Memory Polymer filament for 3D printer with all Japanese raw materials.
Please experience Japan quality.
It can be used for FDM method open reel 3D printer.



SMP(Shape Memory Polymer) Filament

Heat after printing and can be customize shape

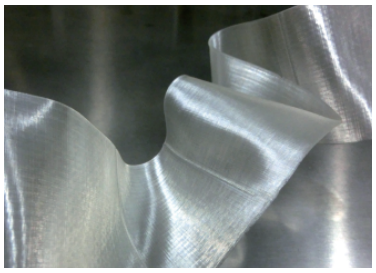
Advantages of SMP Filament:

It is the first time to develop filament of SMP (Shape Memory Polymer) in the world which is paid attention in the field of such as space industry and advanced medical care.
SMP filament soften when it heats after printing and it can be customize shape.
For example, when SMP Filament is used for medical appliance touching the skin, it is possible to customize a printing product and adjust for each person.
There are infinite possibilities of application.

Characteristics of SMP:

1.Temperature Dependency of elastic modules
The elastic modulus changes largely at the temperature below(hard state) and above (soft state) the glass transition temperature (Tg).

2. Shape recovery and fixity
To heat SMP with no external force from a low temperature to a temperature higher than Tg. It eliminates the strain, resulting in recovery of its original shape.
SMP allows the maximum strain can be applied up to 400%.



SMP technologies
joint development
Filament KO-BO
by KYORAKU Co.,Ltd.

SMP Technologies Inc.
http://www.smptechno.com/index_en.html

Anexo N: ficha ténica da “lona”

paperplast

FABRICAMOS LONA IMPERMEÁVEL SOB MEDIDA EM ATÉ 10 DIAS. ENTRE EM CONTATO CONOSCO E SOLICITE UM ORÇAMENTO. LONA PLASTICA REFORÇADA COM GARANTIA DE FÁBRICA. LONAS PLÁSTICAS IMPERMEÁVEIS. Lona de PEAD 100 ou 300 Micra Revestido Azul Branco Prata ou Laranja, impermeável, indicada para cobertura, proteção e vedação.



100% Impermeável
Laminação de polietileno nas duas faces com tratamento UV, conferindo uma vida útil maior da lona, facilitando a limpeza e conservação do produto;
Tecido trançado com fitas de polietileno e tratamento UV, o que lhe confere uma super resistente a tração e a interpéries;
Acabamento vulcanizado das bainhas, com corda de sisal e ilhoses metalicos zincados aplicados a cada metro, auxiliando na fixação e amarração da lonas.

ESPESSURA MINIMA DO TECIDO	300 MICRAS
GRAMATURA	190 g/m²
RESISTENCIA MINIMA A TRAÇÃO – TRAMA	85 Kgf/5cm
RESISTENCIA MINIMO A TRAÇÃO – URDUME	95 Kgf/5cm
REPELENCIA A AGUA	100% REPELENTE
SOLIDEZ DA COR A FRICÇÃO	NAO SE ALTERA
IMPERMEABILIDADE	O tecido não apresentou gotejamento após 24 horas, em coluna d’agua de 150 cm
ENCOLHIMENTO	TRAMA – Inferior a 2,5% URDUME – Inferior a 2,5%
TRATAMENTO ANTI-UV	Garantia de exposição 2 anos

Ideal para ambientes e estruturas que necessitam de cobertura, proteção e perfeita vedação, a Lona Plástica PAPERPLAST é; a melhor opção, seja em ambientes internos ou externos. Sua confecção é feita com fibras entrelaçadas com polietileno, proporcionando um tecido impermeável, altamente resistente e capaz de suportar trações sem danificar sua estrutura, podendo ser utilizado para a cobertura de telhados, caçambas, piscinas, obras ou qualquer outra estrutura. As lonas plásticas dispõem ainda de acabamento UV, oferecendo proteção térmica e evitando que haja grandes alterações de temperatura na área coberta, além de facilitar a limpeza e prolongar a vida útil do produto. Também possui ilhoses metálicos zincados e bainhas com emendas vulcanizadas, que facilitam o manuseio e fixação do produto. Confeccionamos nossas lonas utilizando o sistema de solda eletrônica (vulcanização), e trabalhamos também com bobinas prontas. Temos materiais a partir de 2x2 (dois metros por dois metros) com 300 micras até tamanhos como 10x10 (dez metros por 10 metros) ou superior (fabricamos qualquer tamanho de LONA PARA COBERTURA).

