

Universidades Lusíada

Pinto, Alberto Cruz Reaes, 1932-
Urbano, Marlene Canudo, 1977-
Augusto, Carlos Oliveira

**Investigação no âmbito da construção sustentável
sobre biomateriais e resíduos aplicáveis em
paredes exteriores de edifícios**

<http://hdl.handle.net/11067/8217>
<https://doi.org/10.34628/NCGF-3W10>

Metadados

Data de Publicação

2025

Resumo

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de investigação em construção sustentável e circular, focada em elementos para paredes exteriores de edifícios modulares de pequena e média dimensão em regiões de baixa densidade, com potencial para fixar população jovem. Estudam-se blocos de encaixe de baixo carbono e painéis modulares pré-fabricados que incorporam materiais renováveis e de baixo impacto ambiental, preferencialmente locais, como madeira, palha, cortiça, fibras de cânhamo e coco, bagaço ...

This paper presents ongoing research in sustainable and circular construction, focusing on construction elements for exterior walls of small and medium modular housing in low density regions, helping retain younger populations and support local development. The study explores low carbon interlocking blocks and prefabricated modular panels that use renewable, low impact, preferably local materials such as wood, straw, cork, hemp and coconut fibers, olive pomace, rice husks, pine needles and sheep...

Tipo

bookPart

Editora

Universidade Lusíada Editora

Esta página foi gerada automaticamente em 2026-10-30T05:18:52Z com
informação proveniente do Repositório



ALBERTO REAES PINTO¹

CITAD – Universidade Lusíada, Lisboa

✉ reaespinto@lis.ulusiada.pt | 0000-0002-0907-7595



MARLENE CANUDO URBANO²

CITAD – Universidade Lusíada, Lisboa

✉ marlene.urbano@gmail.com | 0000-0002-9180-1553



CARLOS OLIVEIRA AUGUSTO³

CITAD – Universidade Lusíada, Lisboa

✉ carlosoliveira.7@gmail.com | 0000-0002-0187-256X

INVESTIGAÇÃO NO ÂMBITO DA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL SOBRE BIOMATERIAIS E RESÍDUOS APLICÁVEIS EM PAREDES EXTERIORES DE EDIFÍCIOS

RESEARCH IN THE FIELD OF SUSTAINABLE CONSTRUCTION ON BIOMATERIALS AND WASTE APPLICABLE TO EXTERIOR WALLS OF BUILDINGS

10.34628/NCGF-3W10

Resumo: Este trabalho apresenta o desenvolvimento de investigação em construção sustentável e circular, focada em elementos para paredes exteriores de edifícios modulares de pequena e média dimensão em regiões de baixa densidade, com potencial para fixar população jovem. Estudam-se blocos de encaixe de baixo carbono e painéis modulares pré-fabricados que incorporam materiais renováveis e de baixo impacto ambiental, preferencialmente locais, como madeira, palha, cortiça, fibras de cânhamo e coco, bagaço de azeitona, casca de arroz, caruma de pinheiro ou lã de ovelha. Desenvolvem-se também módulos pré-fabricados baseados em fungos de crescimento rápido, integrando resíduos como substrato. Procuram-se materiais com baixa energia incorporada, boa eficiência energética, desempenho hidrotérmico e acústico e fácil reciclagem e reutilização, enquadrando-se num sistema de produção e consumo circular. Consideram-se ainda a desconstrução e o desmantelamento seletivo no fim de vida dos edifícios, prolongando o uso dos materiais e gerando produtos não extrativos.

Palavras-chave: Habitação | Construção sustentável | Biomateriais | Desconstrução | Construção circular.

Abstract: This paper presents ongoing research in sustainable and circular construction, focusing on construction elements for exterior walls of small and medium modular housing in low density regions, helping retain younger populations and support local development. The study explores low carbon interlocking blocks and prefabricated modular panels that use renewable, low impact, preferably local materials such as wood, straw, cork, hemp and coconut fibers, olive pomace, rice husks, pine needles and sheep's wool. Recent work includes prefabricated modules based on fast growing fungi, using different waste streams as substrate. The goal is to obtain materials with low embodied fossil energy, high energy efficiency, good hygrothermal and acoustic performance, and easy recycling and reuse, within a circular production and consumption system, including selective deconstruction and dismantling at end of life to enable material reuse and non extractive products.

Keywords: Housing | Sustainable construction | Biomaterials | Deconstruction | Circular construction.



Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional.

Original Texto submetido à plataforma de deteção de similaridade e plágio ORIGINAL.

Os textos que constituem esta obra seguem, por decisão dos respetivos autores, a antiga ou a atual grafia.

O conteúdo desta obra é da exclusiva responsabilidade dos seus autores e não vincula a Fundação Minerva | Universidade Lusíada.

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho de investigação diz respeito a uma Habitação Modular Evolutiva no contexto atual, de zonas do interior de Portugal que estão a ser progressivamente desertificadas pelo êxodo das suas populações para outros locais com melhores estilos condições de vida, pela não utilização ou esgotamento dos seus recursos naturais, sem que sejam capazes de criar dinâmicas próprias que possam atrair a sua população. É necessário desenvolver condições que conduzam ao bem-estar das populações, o que passa por mais oportunidades em matéria de habitação e de melhores oportunidades de trabalho. Foca-se, também, a importância das paredes exteriores (pré-fabricadas) de edifícios de habitação, que desempenham uma função muito importante, na proteção do espaço interior utilizado, relativamente à agressão dos agentes exteriores, climáticos e outros. A sua conceção, desenho e tecnologia de construção, entendidos no sentido da qualidade holística, devem ter presentes vetores fundamentais tais como, o conforto higrotérmico e acústico, a saúde dos utilizadores, a poupança de energia e a utilização de energias renováveis, a redução de falhas e dos custos de manutenção, o aumento da qualidade e do ciclo de vida dos edifícios. Ainda, numa ótica de construção sustentável, se devem considerar a reutilização e a reciclagem dos materiais, que constituem essas envolventes, visando a redução da exploração dos recursos naturais e a produção de novos materiais, não extraíveis, no âmbito de uma produção circular.

¹ Professor Catedrático da Faculdade de Arquitetura e Artes (FAA) da Universidade Lusíada (UL). Doutor em Arquitetura pela Universidade de Salford-UK. É Diretor do aTerritório, Arquitetura e Design, da UL. Diretor da FAA da ULL, 2009-2012. Membro do Conselho Geral da Academia de Escolas de Arquitetura e Urbanismo de Língua Portuguesa, 2011-2013. Administrador de empresas e iniciou a atividade empresarial privada em 1964 na empresa de construção civil ICESA, com cargos de Direção e de Administração (1964-1989) e especializou-se em pré-fabricação na Société Fiorio, Limoux, França, 1964-1967. Projetista e responsável pela produção de grande parte dos cerca de 10.000 fogos, construídos em prefabricação pesada, na área da Grande Lisboa, nomeadamente da realização de Santo António dos Cavaleiros. Eleito Presidente do Conselho Regional de Delegados do Sul da Ordem dos Arquitetos, 1999-2001. Eleito Presidente pela Academia Nacional de Belas-Artes em 2023.

² Arquitecta Doutoranda, a frequentar o curso de Doutoramento em Arquitetura, na Faculdade de Arquitetura e Artes da Universidade Lusíada de Lisboa, com o tema "Habitação Modular Pré-fabricada". Bolseira de Investigação no CITAD – Centro de Investigação em Território, Arquitetura e Design (ULL), na área das Tecnologias da Arquitetura, cujos termos mais frequentes na contextualização da produção científica, tecnológica e artístico-cultural são: Habitação, Paredes Exteriores, Tecnologias da Aplicação, Materiais, Construção Sustentável e Pré-fabricação. Em 2021 concluiu o Mestrado

Integrado em Arquitetura pela Faculdade de Arquitetura e Artes da Universidade Lusíada de Lisboa. Concluiu, em 2001, a Licenciatura em Arquitetura de Design pela Faculdade de Arquitetura da Universidade Técnica de Lisboa. Colaborou em diversos projetos de Arquitetura, Arquitetura de Interiores e Design. Formação e experiência profissional na área dos materiais de construção.

³ Bacharel e licenciado em engenharia civil (ISEL), licenciado em gestão de empresas (Atlântico Business School), pós-graduado do Programa Avançado em Empreendedorismo e Gestão da Inovação (PAEGI – Católica Lisbon School of Business & Economics), mestre em Planeamento e Construção Sustentável, PhD em Arquitetura (Universidade Lusíada de Lisboa). Com vasta experiência profissional como quadro de empresas industriais do setor da construção, desenvolveu, também, desde 2007 até ao presente, atividade de Investigador-colaborador no CITAD. Além da atividade de formação e consultoria, exerce paralelamente atividade como docente e palestrante convidado em instituições de ensino superior, bem como em conferências e congressos, nacionais e internacionais, da área da construção sustentável e circular, com enfoque na utilização de materiais renováveis. No âmbito do Global Compact Network Portugal, é embaixador de âmbito nacional da Aliança Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) Portugal para a ODS 9 - Indústria, Inovação e Infraestruturas.

Nesta sequência, refere-se uma investigação que tem vindo a ser desenvolvida no âmbito da Construção Sustentável (e Construção Circular) sobre elementos construtivos, principalmente para as paredes exteriores de edifícios de habitação de pequena e média dimensão em áreas de baixa densidade. Edifícios de habitação que podem desempenhar um papel fundamental de ancoragem, especialmente para uma população mais jovem, contribuindo assim para o desenvolvimento dessas regiões e para a sustentabilidade do local. Os elementos construtivos desenvolvidos nesta investigação foram, inicialmente, blocos de encaixe de baixo carbono e painéis modulares pré-fabricados, incorporando materiais renováveis, biomateriais de baixo impacto ambiental, preferencialmente de origem local. Materiais como a madeira, a palha, a cortiça, ou outros materiais como as fibras de cânhamo e de coco, o bagaço de azeitona, a casca de arroz, a madeira de pinho ou a lã de ovelha. No desenvolvimento deste trabalho, estamos a realizar uma investigação sobre módulos de construção pré-fabricados utilizando, como material de enchimento, compósito de micélio de fungos e resíduos de várias origens com funções de substrato.

São materiais com baixos níveis de energia fóssil incorporada na sua exploração, fabrico e transporte, que têm elevada eficiência energética, bom desempenho em termos de conforto higrotérmico e acústico, e que são facilmente recicláveis e reutilizáveis. Neste sentido, e dado que os recursos materiais naturais do planeta são finitos, esta investigação considera também a desconstrução e o desmantelamento seletivo no final do ciclo de vida de um edifício, o que permite reutilizar e reciclar os materiais que o constituem, prolongando a sua vida útil, integrando-os num processo de construção circular, dão origem a materiais não extrativos.

Neste contexto, consideram-se viáveis soluções que visem uma habitação unifamiliar evolutiva e flexível, em zonas de baixa densidade populacional, mesmo em terrenos familiares, com casas maiores e mais baratas, relativamente próximas dos locais de trabalho ou no mesmo sítio.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. HABITAÇÃO MODULAR EVOLUTIVA [HME]

Esta Habitação Modular Evolutiva, sustentável e polivalente, é também dirigida a uma população de baixos rendimentos em zonas de baixa densidade, com tendência para a desertificação, podendo funcionar como uma âncora de fixação dos seus jovens habitantes.

É também necessário criar melhores condições para a criação de emprego ou/e condições que permitam estabelecer pequenas empresas, na indústria ou mesmo numa agricultura local mais desenvolvida, de pequena escala, bem como encontrar outras atividades inovadoras e criativas, incluindo as relacionadas com a cultura, que possam reter as gerações mais jovens. Para inverter esta situação, a habitação é vista como um fator fundamental de apoio necessário ao desenvolvimento e fixação das

populações no interior do país.

Há já sinais de procura de habitação nas periferias das cidades de média dimensão, nas periferias das zonas rurais ou mesmo nas zonas rurais, onde as pessoas se sentem mais confortáveis, longe das grandes cidades e onde uma rede de contactos acessível lhes permitem trabalhar e viver melhor.

Esta habitação pode crescer ao longo do tempo, segundo as condições económicas e o crescimento das famílias de acordo com os princípios da construção sustentável, permitindo formas inovadoras de construção e até a autoconstrução e autoacabamento. A utilização de energias renováveis, a eficiência energética e os materiais sustentáveis, preferencialmente materiais locais e integráveis numa economia circular, são fundamentais para a sustentabilidade dos edifícios e do contexto local.

Esta unidade habitacional é constituída por dois módulos que podem ser ligados em paralelo ou em forma de L (Ilustração 1):

- O Módulo A, para funções diurnas, de tipologia T0 e o Módulo B, em expansão, inicialmente de tipologia T1, com funções noturnas;
- Módulo B, em crescimento, com uma tipologia inicial de T1 e funções noturnas. A tipologia deste módulo pode crescer a partir de um T1 e evoluir para uma tipologia com mais quartos.

MÓDULOS

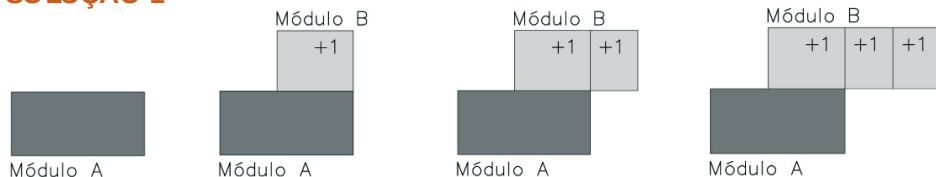


Módulo A



Módulo B

SOLUÇÃO 1



SOLUÇÃO 2

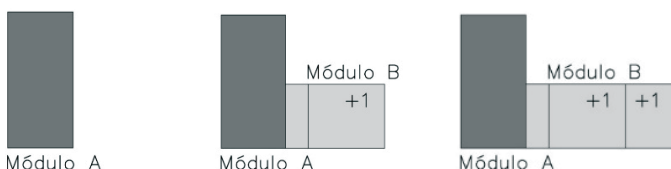


Ilustração 1 – Soluções de crescimento das unidades habitacionais, Reaes Pinto.

A construção desta habitação pode, assim, começar no 1º módulo e aumentar posteriormente, de acordo com as possibilidades económicas e o crescimento de uma determinada família (Ilustração 2).



Ilustração 2 – Algumas tipologias de HME referentes às soluções 1 e 2, Reaes Pinto.

A casa integra painéis fotovoltaicos na cobertura que garantem a sua autossuficiência energética, e a água da chuva pode ser recolhida numa cisterna para usos não potáveis. Está prevista uma pequena instalação de compostagem (Ilustração 3).

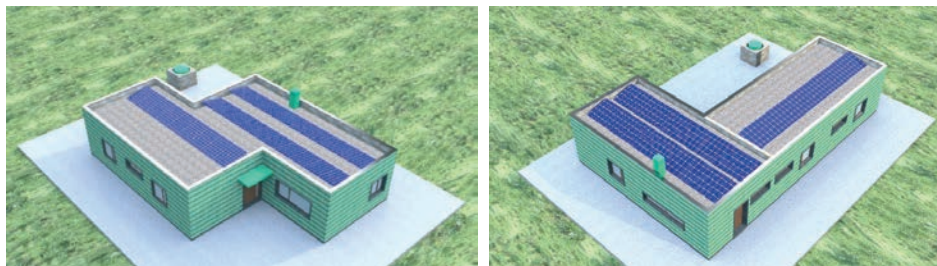


Ilustração 3 –HME com painéis fotovoltaicos na cobertura e captação de águas pluviais para cisterna, Reaes Pinto.

Os materiais utilizados para a construção desta habitação unifamiliar, são renováveis, preferencialmente locais, com baixa energia incorporada, não poluentes em termos de emissões tóxicas ou resíduos, recicláveis e reutilizáveis, com uma característica comum, que é o facto de atuarem como sequestradores de dióxido de carbono, tornando-se aliados na mitigação dos efeitos das alterações climáticas antropogénicas, ao contrário dos produtos convencionais (Reaes Pinto, 2018). Neles se incluem a madeira e seus derivados, a palha e a cortiça, mas também podem ser incluídos a lã de rocha, o cânhamo, as fibras de coco, o linho, materiais maioritariamente de origem vegetal, provenientes de florestas ou de culturas de rotação para fins não alimentares, tendencialmente abundantes e geradores de riqueza local.

2.2. BLOCOS DE ENCAIXE DE BAIXO CARBONO PARA PAREDES EXTERIORES

A conceção e o desenho destes blocos tiveram como objetivo a obtenção de uma elevada produtividade, no que diz respeito à sua dimensão (500 mm de comprimento, 200 mm de altura e 300 mm de largura), também pelo seu peso (leveza dos materiais), pelo seu sistema de travamento (que facilita o alinhamento dos blocos na construção e o reforço da parede exterior), pela economia da argamassa de assentamento (colocada apenas periféricamente em ambas as faces do bloco, anulando a transmissão higrotérmica através da argamassa) e também pela possibilidade de construção das paredes sem utilização de argamassa entre os blocos (que podem ser armados em determinados pontos) (Reaes Pinto, 2018) (Ilustração 4).

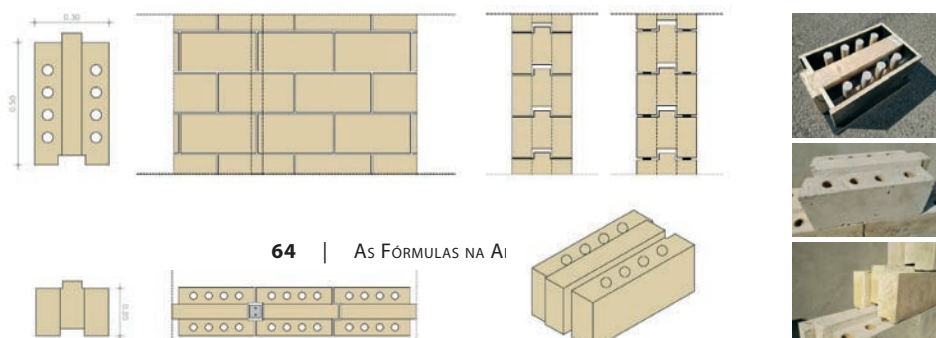


Ilustração 4 – Blocos de encaixe de baixo carbono para paredes exteriores, Reaes Pinto.

Os blocos utilizados na construção das paredes exteriores, são feitos de materiais locais, com um elevado nível de isolamento térmico, como o cânhamo, a cortiça, a fibra de coco, mas também de outros materiais como o bagaço de azeitona, a casca de arroz, e todos têm a cal como aglutinante (Ilustração 5).



Ilustração 5 – Fases de execução dos blocos de encaixe, Reaes Pinto.

Quanto às paredes interiores desta habitação, prevê-se que possam ser executadas numa carpintaria local e são constituídas por uma estrutura de módulos de madeira de pinho, fixados mecanicamente uns aos outros. O preenchimento da estrutura dos módulos é feito com cortiça ou lã de rocha, sendo acabados em ambos os lados, com placas de gesso cartonado (Ilustração 6).



1. Placa de compósito de gesso antifogo e de cortiça ou lã de rocha com uma espessura de 32,5 mm
2. Enchimento de cortiça ou de lã de rocha com espessura de 80 mm
3. Estrutura de madeira
4. Placa de gesso cartonado de 15 mm de espessura

Ilustração 6 – Constituição das paredes interiores, Reaes Pinto.

Os revestimentos das paredes exteriores de parede, de várias tipologias (Ilustração 7), são previamente construídos fora da obra (pré-fabricados) e fixados mecanicamente, a seco, ao suporte rígido, no sentido de uma aplicação com elevada produtividade de assentamento e redução de resíduos em obra.

O objetivo é que sejam reutilizáveis ou recicláveis no final do ciclo de vida do edifício, reduzindo assim os impactos ambientais negativos da sua exploração e fabrico e permitindo a sua inclusão numa economia circular.

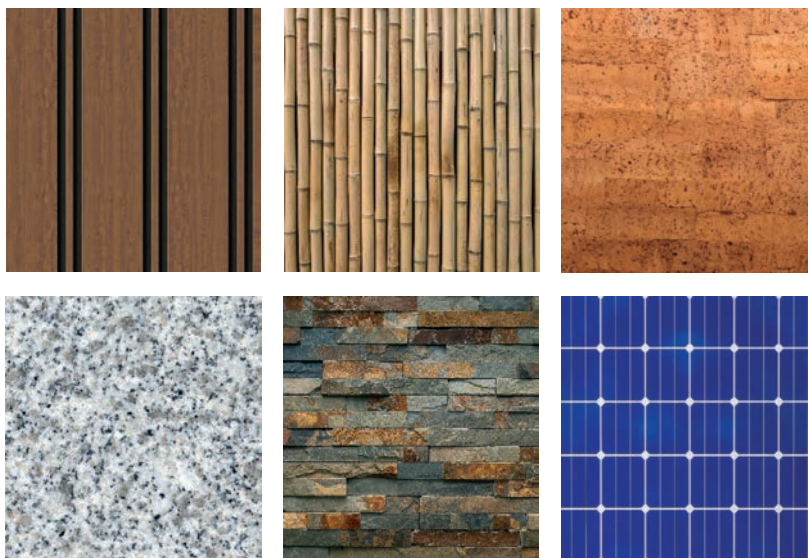


Ilustração 7 – Acabamentos das paredes exteriores: painel de régua de madeira, painel de bambu ou cana, painel de cortiça, painel de composto de pedra, painel de pedra reutilizada e painéis fotovoltaicos, Reaes Pinto.

HME: tipologias de agrupamento dos módulos (Ilustração 8).

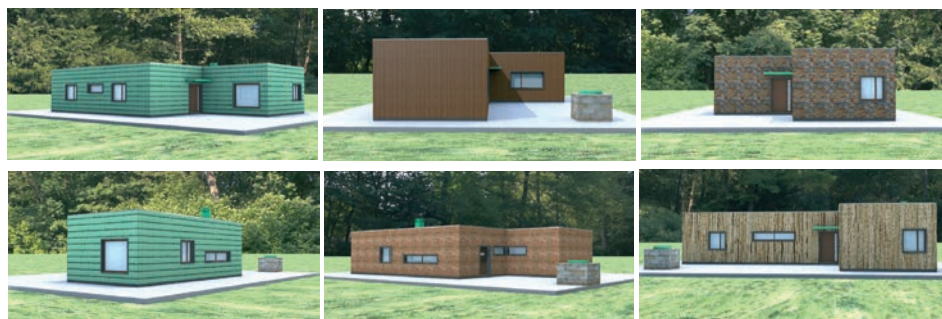


Ilustração 8 – HME: acabamentos exteriores: telha cerâmica plana, painel de régua de madeira, painel de resíduos de pedra, painel de cortiça e painel de bambu ou cana, Reaes Pinto.

2.3. MÓDULO DE PAREDE EXTERIOR PRÉ-FABRICADO

Considerou-se que a utilização da pré-fabricação, parcial, ligeira e pouco mecanizada, que estes painéis representam, apresenta vantagens consideráveis, nomeadamente, em comparação com a construção tradicional/convencional, em termos de tempos de execução em obra, da redução de mão de obra especializada, da redução de resíduos nas frentes de trabalho e de custos, obtendo-se assim uma solução com melhor desempenho ambiental. Também é significativo o facto de os componentes pré-fabricados, ligados a seco, poderem ser reutilizados ou reciclados no final do ciclo de vida dos edifícios (Reaes Pinto, 2018).

Este sistema de painéis modulares pré-fabricados, foi criado, essencialmente, para paredes exteriores de edifícios de pequena e média dimensão e utiliza materiais renováveis, com baixo impacto ambiental, como a madeira, a palha e a cortiça (Ilustração 9) ou outros materiais, como o cânhamo e as fibras de coco. Materiais com baixa energia fóssil incorporada na sua extração, e fabrico, com bom isolamento térmico e acústico e facilmente recicláveis e reutilizáveis (Reaes Pinto e Dias, 2018, p. 28).



Ilustração 9 – Painéis modulares pré-fabricados com palha e cortiça, Reaes Pinto.

2.4. ESTADO DA ARTE DA CONSTRUÇÃO COM FARDOS DE PALHA

Ao longo dos milénios a palha tem sido um dos materiais mais utilizados na construção de Edifícios, usada, inicialmente, nas argamassas de terra para estabilizar rebocos, para estruturar tijolos de tabique adobes e presente nos telhados de colmo. Embora, neste último caso, a palha possa apresentar fragilidade aparente, usada com a aplicação e manutenção corretas, dá origem a soluções com alta durabilidade e eficiência energética.

A construção, com recurso à palha, utilizada sob a forma de fardos de palha tem ganho expressão nos últimos anos, contribuindo para a busca de soluções mais ecológicas, com elevada eficiência energética, respondendo positivamente a nível de conforto no interior dos edifícios.

Este material de construção inspirou este projeto de investigação, no sentido de desenvolver um sistema que combina elevada eficiência energética, com baixo impacto ambiental e com a elevada durabilidade, características, aliás, já comprovadas pela existência de algumas construções centenárias, localizadas principalmente nos Estados Unidos. Na Europa, o exemplo mais conhecido é da Maison Feuillet (Ilustração 10) construída pelo engenheiro francês Feuillet em 1921, em França, que comprova a durabilidade e o conforto higrotérmico deste caso (Reaes Pinto e Dias, 2018, p. 11).

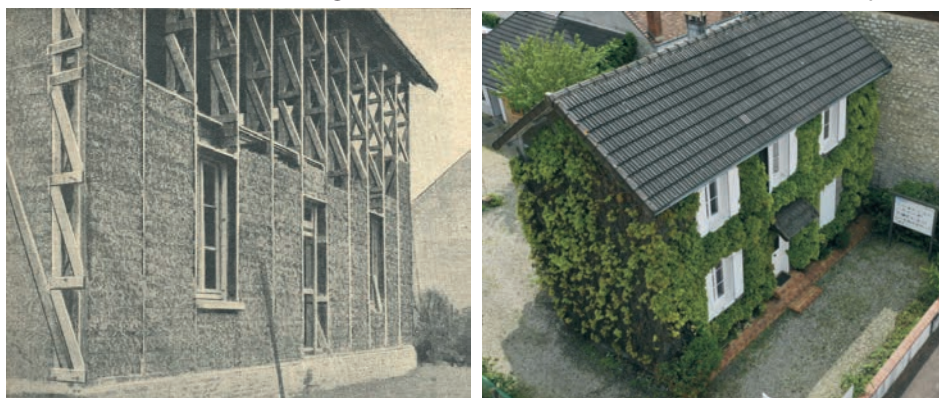


Ilustração 10 – Maison Feuillet, no ano da sua construção e o seu estado actual (à esquerda: Lamache, 1921, p. 483) (à direita: CNCP (Belliot, 2020, p. 47)).

A conceção deste modelo de painel surgiu da necessidade de criar um sistema construtivo aplicado à realidade nacional, utilizando materiais disponíveis, de baixo carbono, económicos e sustentáveis, tendo-se definido uma solução, caracterizada por:

- Módulos leves no sentido da redução da potência dos sistemas de transporte e de elevação mecânica;
- As dimensões dos módulos, no caso da utilização da palha estiveram, inicialmente, dependentes das dimensões dos fardos deste material disponíveis no mercado nacional;
- Os fardos são montados numa estrutura de madeira constituindo um módulo autoportante, com um sistema de encaixe machado que faz a ligação entre módulos e também dos primeiros módulos ao pavimento;
- O módulo pode se integrado na estrutura de um edifício, com funções de enchimento ou com funções resistentes, participando assim numa estrutura de malha de parede resistente;
- O painel é constituído por 4 aros de madeira maciça, com um sistema de encaixe por macho-fêmea de forma a aumentar sua rigidez estrutural e os aros são fixados mecanicamente aos elementos de madeira maciça, que constituem uma estrutura que contem o isolamento térmico.

O módulo de parede, quando preenchido por fardos de palha, é completado, pelo lado interior, por um painel de madeira estrutural que contribui, também, para a rigidez do conjunto. Os fardos de palha que preenchem a parede exterior são rebocados, do lado exterior, com cal aérea e argila, com o objetivo manterem a humidade da palha abaixo dos 23%.

A ligação entre painéis é feita por uma estrutura linear, horizontal e vertical (cintas e montantes) de madeira maciça, que garante o comportamento estrutural do conjunto dos painéis, que constituem a parede exterior, permitindo suportar as cargas verticais, correspondentes ao peso do edifício. Este espaço, entre painéis, pode funcionar também como zona técnica ou então ser apenas preenchido com isolamento térmico.

O módulo pode ser integrado numa estrutura existente com funções de enchimento ou pode ter funções resistentes, participando numa parede de malha estrutural (Reaes Pinto e Dias, 2018, p. 18) (Ilustração 11).



Ilustração 11 – Estrutura do painel, fardo de palha e enchimento da estrutura em painel: fardos de palha e granulado de cortiça, Reaes Pinto.

MELHORIA DO PAINEL

Os módulos foram ensaiados no laboratório SerQ na Lousã.

Os primeiros ensaios, permitiram chegar à conclusão de que a solução dos painéis poderia ser melhorada:

- Foi aplicada uma placa estrutural de madeira a partir do exterior do painel para obter maior resistência ao contraventamento e simultaneamente para fechar o módulo;
- A aplicação da placa a partir do exterior do painel permite a utilização de outros tipos de materiais de isolamento térmico, como a cortiça, casca de arroz, lã de ovelha, resíduos têxteis, cânhamo ou fibra de coco, entre outros;
- Esta solução permite a utilização de materiais disponíveis localmente (com capacidade de isolamento térmico), como os desperdícios locais de cortiça ou a casca de arroz do, entre outros;
- A eliminação do reboco exterior, reduz o tempo de execução do painel (Reaes Pinto e Dias, 2018) (Ilustração 12).

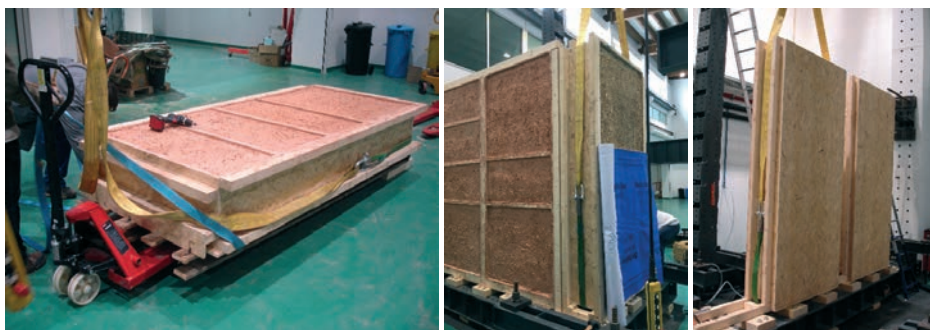


Ilustração 12 – Painel rebocado; elevação dos painéis sem placa exterior; painéis sem reboco e com placa exterior de derivados de madeira, assentes em elementos de base, Reaes Pinto.

A solução construtiva permite vários tipos de acabamentos, tanto no interior como no exterior. Estas soluções de acabamentos podem ser aplicadas com fixação mecânica, de forma a permitir a sua reutilização e reciclagem. Tal não é possível quan-

do se aplicam rebocos em paredes interiores e exteriores. Foram considerados diferentes tipos de acabamentos de fixação mecânica: os ensaios de instalação de revestimentos exteriores foram efetuados, inicialmente, com a telha cerâmica plasma da CS, que é destacável e pode ser reutilizada (Ilustração 13).



Ilustração 13 – Fases de preparação do revestimento exterior: Paineis rebocados, com uma manta geotêxtil de proteção contra a humidade e estrutura para assentamento de revestimento exterior cerâmico, Reaes Pinto.

Os ensaios relativamente ao módulo de parede exterior pré-fabricado demonstram a viabilidade técnica do sistema construtivo. Quanto aos materiais utilizados são renováveis, com pouca energia incorporada, sem emissões tóxicas durante o seu ciclo de vida, podendo ser reutilizáveis ou recicláveis, com redução dos resíduos em obra (Reaes Pinto e Dias, 2018, p. 32).

2.5. DESCONSTRUÇÃO E DESMANTELAMENTO SELETIVO [DDS]

ESTUDO DE CASO: HME

Segundo a previsão do World Population Prospects, organização das NU, de 2023, o aumento da população mundial até meados deste século será de 9.7 mil milhões, com o desenvolvimento das regiões da África e da Ásia, o que levará ao aumento muito significativo do consumo de recursos, que são finitos no nosso Planeta.

Esta situação exigirá a substituição da produção linear que esgota o produto e o leva a vazadouro, com todas as consequências negativas, contaminação dos níveis freáticos e das espécies animais e vegetais, por uma produção circular que dá origem a novos materiais não extraíveis da Natureza.

Neste âmbito, defende-se a existência de um projeto de desconstrução e desmantelamento seletivo de um edifício, paralelamente ao projeto convencional, no sentido de, no fim do seu ciclo de vida, se possam reutilizar os materiais que o constituem, mas também reciclá-los, dando origem a novos materiais não extraíveis que possam ser usados noutra edifício.

A Desconstrução e Desmantelamento Seletivo, (com triagem e reciclagem), tem em vista a recuperação e aquisição do máximo de materiais e elementos que constituem as diferentes partes de um edifício no final do seu ciclo de vida. Esta recuperação é efetuada no pressuposto de que estes materiais podem ser utilizados na construção de novos edifícios através de processos de reutilização e reciclagem (Ilustração 14).

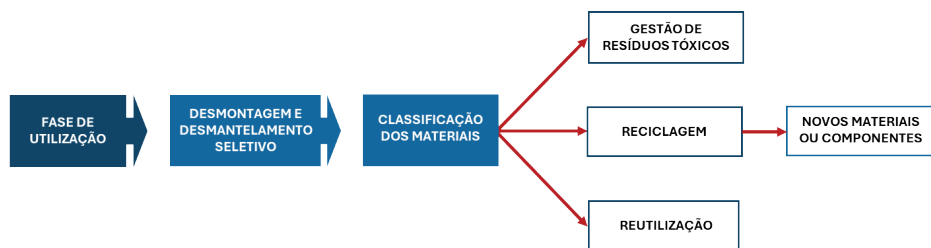
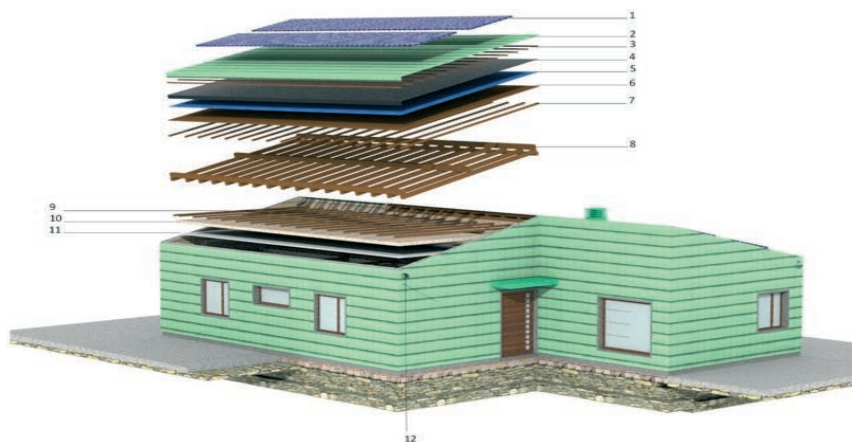


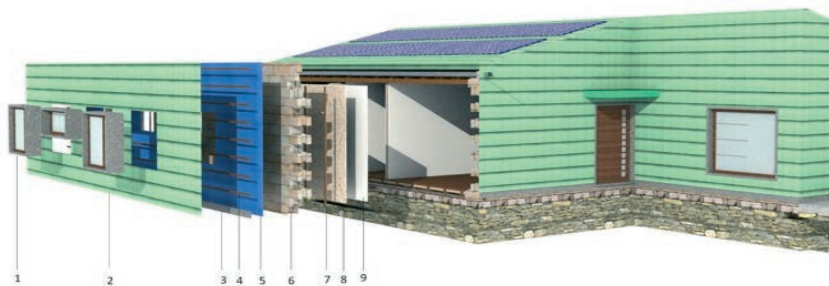
Ilustração 14 - Triagem dos materiais, segundo as suas características, no final do ciclo de vida dos edifícios, Reaes Pinto.

Fases de desconstrução e desmantelamento seletivo do HME (Ilustração 15).



Desmantelamento das paredes exteriores:

- | | |
|--|--|
| 1. Caixilhos e cantarias | 7. Sub-estruturas de madeira |
| 2. Telha Cerâmica Plana | 8. Estrutura de madeira |
| 3. Soco em pedra | 9. Sub-estruturas para teto secundário |
| 4. Ripado de Madeira | 10. Lã de rocha com 10mm de espessura |
| 5. Separador Físico | 11. Placa de gesso cartonado com 17,5mm de espessura |
| 6. Contraplacado com 20mm de espessura | 12. Caleira |



Desmantelamento das paredes exteriores:

- | | |
|--------------------------|---|
| 1. Caixilhos e cantarias | 6. Blocos de encaixe de baixo carbono |
| 2. Telha Cerâmica Plana | 7. Sub-estrutura de |
| 3. Soco em pedra | 8. Lã de rocha com 25mm de espessura |
| 4. Ripado de Madeira | 9. Placa de gesso cartonado com 17,5mm de espessura |
| 5. Separador Físico | |

Ilustração 15 - Triagem dos materiais, segundo as suas características, no final do ciclo de vida dos edifícios, Reaes Pinto.

2.6. MÓDULO DE PAREDE EXTERIOR PRÉ-FABRICADO COM BIOMATERIAL DERIVADO DE MICÉLIO

As soluções de isolamento mais utilizadas na indústria da construção convencional derivam, na sua maioria, de matérias-primas de origem fóssil. Estes materiais de construção, derivados do petróleo, que provêm de recursos extrativos e finitos no nosso planeta, representam uma ameaça significativa à sustentabilidade dos recursos naturais existentes.

A dependência de materiais derivados do petróleo resulta numa série de impactos negativos:

Elevada Pegada Carbónica: A produção e o processamento de materiais petroquímicos libertam grandes quantidades de dióxido de carbono (CO_2) e outros gases com efeito de estufa, contribuindo significativamente para as mudanças climáticas.

Energia Incorporada: A energia necessária para a extração, o fabrico e o transporte destes materiais é substancial, resultando num uso ineficiente de recursos energéticos.

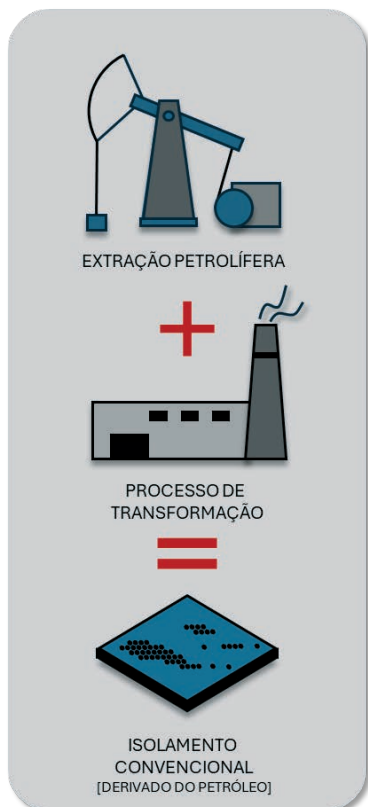
Impacto Ambiental: A extração dos recursos fósseis pode causar desastres ambientais, como derramamentos, contaminação de água e solo, assim como a destruição de habitats naturais.

Sustentabilidade Limitada: Sendo recursos finitos, a dependência contínua de matérias-primas fósseis não é sustentável a longo prazo, levando à necessidade urgente de encontrar alternativas mais ecológicas.

Para mitigar estes problemas, que contribuem para o elevado aumento da concentração de CO_2 , é essencial promover o uso de materiais renováveis e sistemas de construção sustentáveis.

Neste âmbito, e dando continuidade ao projeto de investigação de “Habitação Modular Pré-fabricada”, visa-se desenvolver um módulo de parede exterior pré-fabricado utilizando como isolamento biomateriais derivados de micélio de fungos, no sentido de se alcançar uma alternativa mais sustentável, com menor impacto ambiental e baixo índice de carbono. Para além dos benefícios ecológicos deste material renovável, não extrativo e de crescimento rápido, esta solução de biocompósito de micélio, pretende recorrer a substratos, preferencialmente, locais, como resíduos ou subprodutos industriais, atribuindo-lhes valor (Ilustração 16).

**MATÉRIA-PRIMA EXTRATIVA COM
ELEVADA PEGADA DE CARBONO**



**MATÉRIA-PRIMA NÃO EXTRATIVA
COM BAIXO TEOR DE CARBONO**

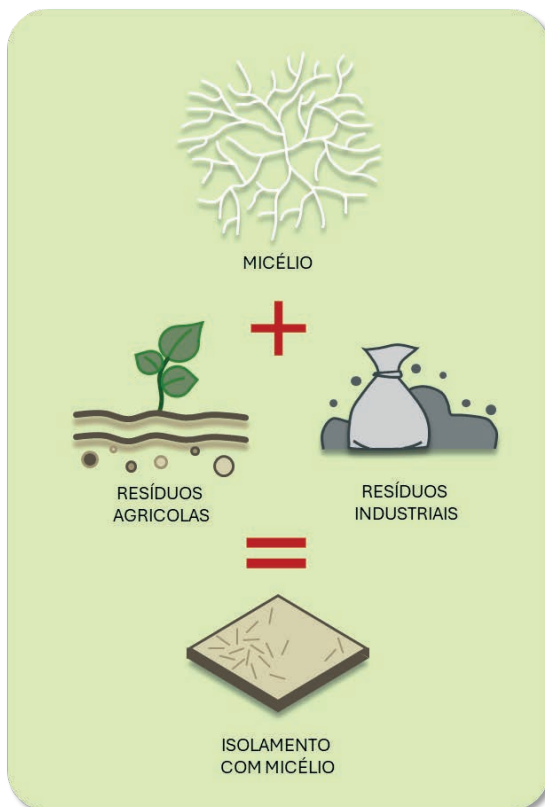


Ilustração 16 – Processo de transformação e teor de carbono:
isolamento convencional e isolamento com micélio, Marlene Urbano.

Neste projeto, os fungos em estudo, são os macrofungos. Estes fungos filamentosos são constituídos por três partes: o cogumelo, um corpo exterior frutífero, que produz e liberta esporos; as hifas, que são células alongadas que se desenvolvem em extensos filamentos fibrosos; e o micélio, composto por uma extensa rede de hifas ramificadas que constituem a parte vegetativa dos fungos, conseguindo colonizar grandes áreas de superfície (Jardim Gulbenkian, 2023; Moore-Landecker, 1990, p.16) (Ilustração 17).

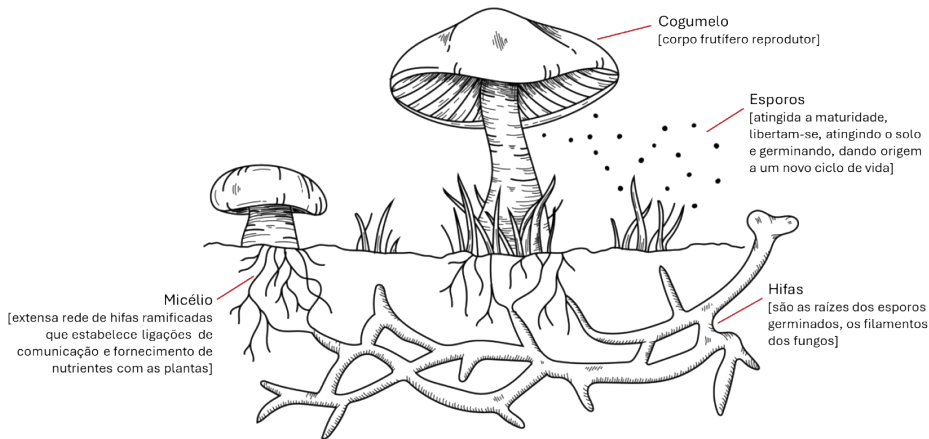


Ilustração 17 – Ciclo de vida dos fungos e a sua constituição
(Adaptado de Ecovative, 2023).

Enquanto organismo vivo, o micélio de fungo está naturalmente munido de enzimas capazes de decompor e transformar matéria orgânica em nutrientes, para que a sua própria biomassa se desenvolva, assegurando a sua recirculação para que outros seres e organismos vivos também os assimilem e cresçam (Meyer *et al.*, 2020, p. 2; Stamets, 2005, p. 55). Os fungos desempenham um papel fundamental no funcionamento e equilíbrio natural dos ecossistemas e na manutenção de um ambiente saudável, vital para o crescimento e sobrevivência de muitas espécies, onde nada é descartado. Os fungos garantem a circularidade da Natureza, enquanto recicladores e reparadores naturais, redutores de substâncias tóxicas dos materiais, decompositores de poluentes, e importantes sequestradores de carbono, fator essencial para o crescimento da sua rede de micélio (Navarro, 2023).

A biotecnologia fúngica pode oferecer soluções de base biológica sustentáveis, transformando resíduos de construção, e de outros setores industriais, em novos materiais seguros e saudáveis, capacitados de consumir e eliminar toxinas dos resíduos. Permitindo a passagem do modelo de construção convencional de resíduos lineares para o modelo circular, reduzindo as emissões de CO₂ e os resíduos industriais, regenerando-os, contribuindo para a sustentabilidade ambiental (Ilustração 18).



Ilustração 18 – Ciclo de vida dos fungos e a sua constituição (Biohm, 2016).

O micélio de fungos é uma matéria-prima natural dotada de capacidades e propriedades únicas, com grandes vantagens e potencialidades, permitindo desenvolver novos materiais não extrativos e com baixo carbono incorporado, num vasto leque de aplicações em diversos setores económicos, como é o caso do sector da construção (Meyer *et al.*, 2020, p. 2; Ecovative, 2023). A sua estrutura celular é composta por cadeias de quitina e glucanos, polímeros naturais que formam os tecidos orgânicos mais resistentes, como os exoesqueletos dos insetos e moluscos (Merzendorfer, 2011). Entre as propriedades mais destacadas do micélio de fungos estão:

Resistência ao fogo: O micélio é inerentemente resistente ao fogo, o que o torna uma excelente opção para aumentar a segurança contra incêndios em edifícios;

Resistência à água: Embora por si só não seja totalmente à prova de água, o micélio pode ser tratado ou combinado com outros materiais para melhorar a sua resistência à água;

Isolamento: Possui propriedades isolantes tanto térmicas quanto acústicas, garantindo o conforto higrotérmico e acústico do espaço interior utilizado dos edifícios;

Resistência mecânica: A resistência mecânica do micélio depende do tipo de substrato usado e das condições de crescimento, mas pode ser comparável a materiais convencionais como o poliestireno expandido;

Durabilidade: Quando devidamente processado e tratado, o micélio pode ser muito durável e resistente ao desgaste. Sendo naturalmente resistente a algumas formas de pragas, como insetos;

Leveza: É um material leve, o que facilita o transporte e a instalação;

Sustentabilidade: Sendo um material renovável e biodegradável, o micélio apresenta uma pegada de carbono muito baixa em comparação com materiais de construção convencionais. O seu cultivo e produção requerem menos energia e recursos, sem a necessidade de processos extrativos intensivos;

Versatilidade: Pode ser moldado em diversas formas e tamanhos, permitindo uma ampla gama de aplicações arquitetónicas e de design (Ecovative, 2023).

No âmbito da investigação científica, o micélio tem sido amplamente estudado como um material de construção devido às suas propriedades exclusivas, incluindo a resistência mecânica. O micélio é capaz de formar uma rede densa e resistente quando cultivado em substratos adequados, criando materiais de isolamento eficazes e duradouros.

Para garantir que o isolamento à base de micélio, e outros, seja duradouro, este deve ser resistente a agressões externas como roedores, insetos e humidade. Ao avaliar o ciclo de vida do isolamento, deve-se considerar a vida útil e a durabilidade de cada material utilizado no sistema construtivo. A maior durabilidade dos materiais de

isolamento naturais e a menor perda de desempenho ao longo do tempo resultam em menos intervenções de manutenção, tornando o isolamento mais eficaz e sustentável a longo prazo (Navarro, 2023) (Ilustração 19).

		Plant based						Recycled		Animal based	
		HEMP	STRAW	FLAX	MYCELIUM	CORK	WOOD FIBER	GRASS	CELLULOSE	COTTON	WOOL
Thermal conductivity	Thermal conductivity	0.028-0.030 W/mK	0.028-0.032 W/mK	0.028-0.032 W/mK	0.029-0.03 W/mK	0.027-0.03 W/mK	0.028-0.032 W/mK	0.032-0.034 W/mK	0.027-0.032 W/mK	0.027 W/mK	0.022-0.048 W/mK
	Specific heat capacity	1200-1220 J/kg.K	1600-1700 J/kg.K	1200-1220 J/kg.K	1200 J/kg.K	1900-2000 J/kg.K	1600-1700 J/kg.K	1600 - 2000 J/kg.K	1200 - 1300 J/kg.K	1200-1220 J/kg.K	1300-1370 J/kg.K
	CO2 footprint primary production	1.52-1.68 kg/kg	1.1 - 0.9 kg/kg	0.42-0.49 kg/kg	Negative	0.739-0.835 kg/kg	0.5-0.66 kg/kg	Negative	Negative	2.32-4.32 kg/kg (Before recycling)	15 - 20 kg/kg (Before recycling)
	Water usage primary production	2.402-3.842 L/kg	660-760 L/kg	190-2.343 L/kg	/	850 - 750 L/kg	850 - 760 L/kg	/	/	7.493 - 8.283 L/kg	1.763 L/kg
	CO2 balance and CO2 footprint	"One hectare of industrial hemp actually sequesters 42.8 kilograms of CO2 per hectare". A negative CO2 footprint can be achieved.	"A straw bale wall actually sequesters 42.8 kilograms of CO2". A negative CO2 footprint can be achieved.	"Flax plants on one hectare absorb more than 3.7 metric tons of carbon dioxide and convert it into oxygen".	"Sequesters at least 10 tonnes of carbon per month". A negative CO2 footprint can be achieved.	"Every year the cork forests retain up to 14 million tons of CO2". A negative CO2 footprint can be achieved.	"A timber weight is generally 40% carbon which means 500g of carbon sequestered per kg of wood. 1.83 kg of CO2 is removed from the atmosphere for every kg of wood products used". A negative CO2 footprint can be achieved.	"Captures 1.6g of CO2/kg per kg of product". A negative CO2 footprint can be achieved.	"Helps lower carbon emissions by recycling waste paper and is made from recycled plant fibers. It carbon is also locked in for the life of the product". A negative CO2 footprint can be achieved.	"Helps lower carbon emissions by recycling fashion waste streams and preventing garments from ending up in landfill". A negative CO2 footprint can be achieved.	"Wool sequesters carbon and other chemicals. 1 kg of clean wool equates to 1.8 kg of CO2 stored".
Binders	Binders	Can be interlarded with flax, hemp or other fibers or mixed with clay or lime, creating hempcrete	Does not contain any binders.	Can contain polyester binder (non-renewable)	Mycelium IS the binder. Contains commercial and agricultural by-products on its mix with insulating properties.	Releases natural glue (lubricant) by heating and pressure. No other binders or chemicals are used in the process.	Releases natural glue (lubricant) by heating and pressure. In some cases synthetic glue can be added. Usually contains polyester binder (non-renewable)	Made by means of Adip technology (needle punching). Can contain either natural bonding fibers like jute or synthetic fibers.	Does not contain any binders	Interlarded around 85% is polyester bonding fibre	Contains recycled polyester binder. Can contain polyester binder (non-renewable). Other binders can be used.
	Treatment	Natural fire resistant but can be externally treated with non-toxic flame retardants like silica	Requires fire treatment. Can contain chemical flame retardant and biocide	Requires fire treatment. Can contain chemical flame retardant and biocide	Needs no treatment	Needs no treatment	Requires fire and waterproof treatment. Can contain chemical fire retardant and pettochemical weatherproofing was.	Requires fire treatment.	Requires fire and fungicide treatment. Usually non-hazardous chemicals.	Requires fire and fungicide treatment.	Requires fire treatment. Can contain chemical flame retardant and biocide. Can contain polyester binder (non-renewable). Other binders can be used.
	Source	Renewable Hemp harvest streams	Renewable Grain harvest streams	Renewable Linen discarded fibers	Renewable Different waste streams	Renewable Oak bark	Renewable Wood industry streams	Renewable Waste streams	Renewable Recycled paper	Recycled pre-consumer clothing scraps	Renewable or recycled Wool discarded fibers
	End of life	Downcycle. Combiust for energy recovery. Biodegrade. Landfill.	Reuse. Downcycle. Combiust for energy recovery. Biodegrade. Landfill.	Reuse. Downcycle. Combiust for energy recovery. Biodegrade. Landfill.	Reuse. Downcycle. Combiust for energy recovery. Biodegrade. Landfill.	Reuse. Downcycle. Combiust for energy recovery. Biodegrade. Landfill.	Reuse. Downcycle. Combiust for energy recovery. Biodegrade. Landfill.	Reuse. Downcycle. Combiust for energy recovery. Biodegrade. Landfill.	Downcycle. Combiust for energy recovery. Biodegrade. Landfill.	Recycle. Downcycle. Combiust for energy recovery. Biodegrade. Landfill.	Recycle. Downcycle. Combiust for energy recovery. Biodegrade. Landfill.
	Price of the raw material	0.99-1.8 €/kg	0.0905-0.043 €/kg	0.59-0.48 €/kg	DIY	2.45-12.1 €/kg	0.49-0.313 €/kg	/	/	1.62 - 4.68 €/kg	1.89 - 3.74 €/kg
Form	Form	Batts or boards	Panels and bales	Roll or batt	Panels	Boards and panels	Boards	Roll or batt	Loose or blown	Roll or batt	Roll or batt
	Form										

Comparative Specifications: "Natural insulation - What do you need to know?"

© 2024 Ecobuild.com

Comparative Specifications: "Natural insulation: What do you need to know?" unifabrics.com

Ilustração 19 – Quadro de comparação das diferentes caraterísticas de isolamentos plant based (Navarro, 2023).

Os micélios de fungos podem ser cultivados em diferentes tipos de substratos, oriundos de diversas fontes, como resíduos ou subprodutos resultantes de diversos setores industriais. Sendo certo que, para que o micélio se desenvolva, deverá ter sempre um substrato de base biológica, ao qual poderá ser adicionado um substrato não biológico. Diversos são os resíduos ou subprodutos disponíveis:

Biológicos: palha, engaço, casca de arroz, cânhamo, bagaço de azeitona, lã de ovelha, entre outros;

Não biológicos: gesso cartonado, betão, asfalto, têxteis, borracha, entre outros.

A eficácia da colonização e da formação da biomassa destes biocompósitos depende essencialmente: da espécie de fungo, o tipo de substrato, a compatibilidade

do micélio com o substrato, o tipo de compósito, o método de cultivo, as condições ambientais de crescimento (temperatura, humidade, nutrientes, pH, etc.), entre outros fatores (Ghazvinian *et al.*, 2019).

No âmbito do projeto de investigação, a estrutura de madeira que compõe os módulos de parede exterior pré-fabricados, com um compartimento reservado para o isolamento, permitiu depositar o substrato com o fungo já inoculado, reunindo as condições necessárias para o desenvolvimento do micélio (Ilustração 20).



Ilustração 20 – Módulo de parede exterior pré-fabricado com isolamento de biocompósito de micélio, Reaes Pinto e Marlene Urbano.

No processo de cultivo do micélio, quando ocorre a colonização dos substratos, os seus filamentos (hifas) aglomeram todas as partículas orgânicas, degradando-as (Meyer *et al.*, 2020, p. 2). O biocompósito, composto pelo substrato ligado por uma extensa rede de hifas, ao atingir a forma e maturidade pretendidas, o seu crescimento deve ser interrompido, por secagem ou fonte de calor, parando o desenvolvimento do micélio evitando assim a degradação do substrato (Ghazvinian *et al.*, 2019). No entanto, procura-se desenvolver um processo de interrupção do ciclo de vida do fungo através de uma ação bioquímica que atue diretamente na estrutura do micélio sem perder as suas propriedades.

Para além de poderem ser reutilizáveis e facilmente recicláveis, estes biomateriais compósitos de enchimento do módulo pré-fabricado, no seu conjunto, garantem uma boa eficiência energética e um bom desempenho higrotérmico e acústico.

2.7. CONSTRUÇÃO CIRCULAR

Os materiais renováveis e as respetivas tecnologias de aplicação, nomeadamente a pré-fabricação, que fazem parte desta Habitação Modular Evolutiva, e a sua potencial desconstrução, integram-se numa produção circular, no âmbito da Economia Circular.

A Economia Circular (EC) é definida como um sistema industrial restaurativo e regenerativo, capaz de salvaguardar o valor económico dos produtos durante o máximo período de tempo com o objetivo de alcançar a dissociação entre o crescimento económico e a demanda de recursos naturais (Ellen MacArthur Foundation, 2015, p. 2).

O diagrama seguinte (*butterfly diagram*) ilustra as várias fases da implementação da EC, em ciclos biológicos e técnicos fechados (*closed loops*), de modo a possibilitar que os recursos da biosfera e da tecnosfera não extravasem prematuramente, além de necessariamente ser alimentada por energias renováveis (Ilustração 21).

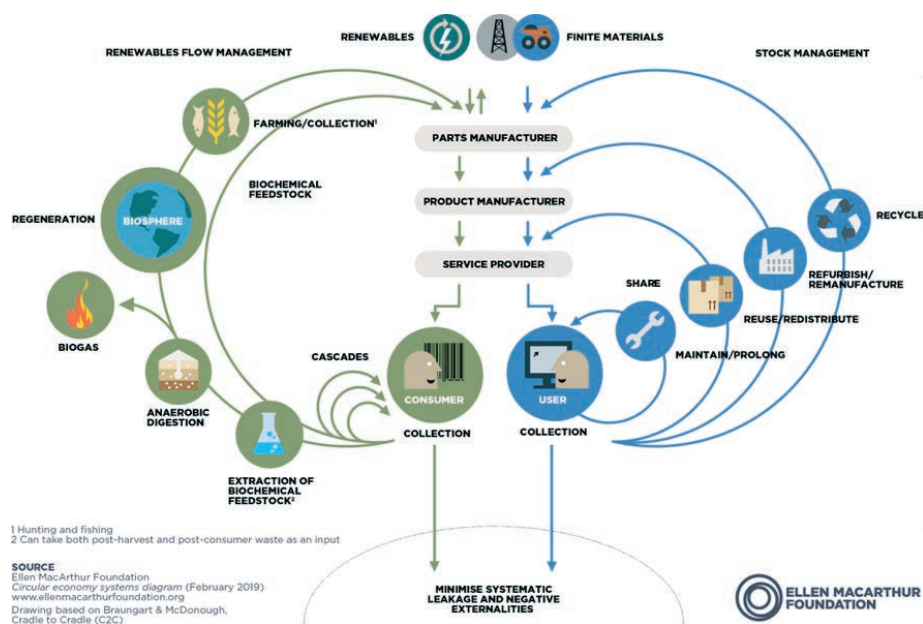


Ilustração 21 - O diagrama da Economia Circular.
(Ellen MacArthur Foundation, 2023).

A Construção Circular (CC) pode ser definida como a aplicação dos princípios da Economia Circular ao setor da construção (UK Green Building Council, 2020) e de modo a ser regenerativa é essencial que a tecnosfera seja fornecida de materiais renováveis provenientes da biosfera (*bio-based*), sendo este um assunto pertinente para a questão da escassez das matérias-primas para o combate às alterações climáticas antropogénicas por via do ambiente construído (Churkina *et al.*, 2020, pp. 270, 271).

De facto, existe uma janela de oportunidade no sentido de tornar os edifícios e as infraestruturas em agentes de impactes positivos através da sua potencial capacidade de captar e armazenar carbono, por via da utilização de materiais renováveis, em vez dos convencionais de origem fóssil ou mineral, principalmente na estrutura e no envelope (isolamento e revestimento) dos edifícios (Churkina *et al.*, 2020, p. 271; Huynh *et al.*, 2023, pp. 60, 61).

Um material de construção renovável pode ser definido como:

[...] materials wholly or partly derived from renewable biological origins, or by-products and biowaste of plant and/or animal biomass that can be used as raw building materials and decorating items in construction, in their original forms or after being reprocessed (Linh Le, Salomone e Nguyen, 2023, p. 1).

De acordo com Huynh *et al.* (2023), existem duas categorias de materiais com o potencial de sequestrar carbono:

1. Materiais renováveis (*bio-based*), maioritariamente de origem vegetal e com carbono biogénico armazenado ao longo do crescimento da planta, resultante da fotossíntese (p.e., palha, cortiça, cânhamo, bambu, micélio, madeira, lã, etc.);
2. Materiais de base mineral a partir da captura e armazenamento de carbono por via tecnológica (p.e., *biochar* ou carvão biogénico estabilizado) (Huynh *et al.*, 2023, pp. 59, 63; Rosenbloom *et al.*, 2023, p. 27).

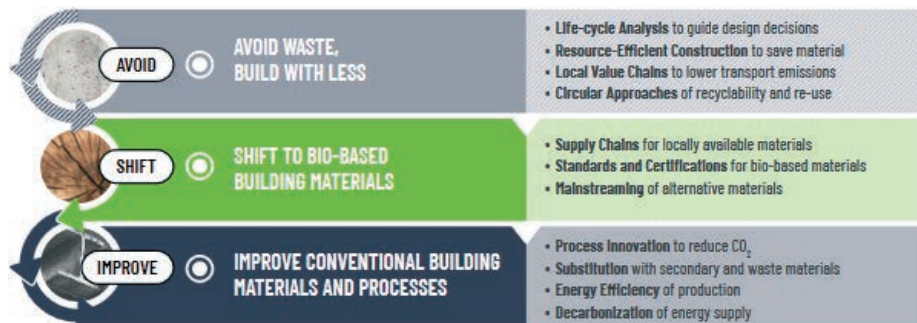
Tabela 1 - Classificação dos materiais renováveis e minerais transformados suscetíveis de captação e armazenamento de carbono.

SOURCES		PRODUCTS	
Biogenic Carbon Storage			
Agricultural and forestry residues and by-products	Straw (rice, wheat), hulls (rice), shells (nuts), stalks		Board products, insulation, cladding, aggregate
Waste stream fibers	Paper, cardboard, textiles		Board products, insulation
Purpose-grown crops	Cork, bamboo, hemp		Boards, flooring, insulation, structure, cladding
Lab-grown materials	Mycelium composites		Insulation, structure
Timber	Lumber, mass timber, sheet goods		Structure, board products, flooring, cladding
Mineralized Carbon Storage			
Biomineralization	Algae and microbe-grown cement		Concrete, concrete masonry unit (CMU), brick
Captured carbon	Synthetic limestone aggregate and accelerated carbonation		Concrete, CMU, brick
Biochar	Biogenic carbon transformed into stable, pyrogenic carbon through combustion in the absence of oxygen		Aggregate, tiles, bricks

Fonte: (Huynh *et al.*, 2023, p. 59).

A utilização cada vez mais frequente de materiais renováveis de qualquer tipo, assume-se atualmente como uma das estratégias mais realistas e eficazes de descarbonizar o setor e, conseqüentemente, a economia, em conjunto com a construção circular numa abordagem que evite (*avoid*) a extração de matérias-primas, que promova a mudança (*shift*) para os materiais renováveis e regenerativos e que melhore (*improve*) os métodos de produção dos materiais e produtos de construção convencionais (Dyson *et al.*, 2023, p. 14).

Tabela 2 - A abordagem “Evitar - Mudar – Melhorar” para a descarbonização do setor da construção.



Fonte: (Dyson *et al.*, 2023, p. 14).

Um exemplo da aplicação destes princípios é o projeto em curso do edifício da sede da empresa tecnológica Atlassian, em Sydney (Austrália), e que se prevê ficar concluído ainda no decurso de 2025. Trata-se de um edifício com cerca de quarenta pisos, executado com uma estrutura prefabricada híbrida de madeira engenheirada e de um exoesqueleto metálico permitindo, além de uma cortina de vidro, a integração de painéis solares fotovoltaicos na fachada (BIPV), diminuindo para metade a pegada de carbono, quando comparado com um edifício convencional equivalente (D’Angelo, 2020; Harrouk, 2020; Blok, 2020).

Por outro lado, a existência de vastos terraços e coberturas ajardinadas contribuem para evitar o efeito de “ilha de calor”, contribuindo para a eficiência energética operacional, ventilação natural e o contacto com a natureza por parte dos utentes, (D’Angelo, 2020; Harrouk, 2020; Blok, 2020), além da retenção e detenção das águas pluviais (*storm water*), tornando o edifício uma “esponja” de carbono e de água (Ilustração 22 e 23).



Ilustração 22 - Render da vista exterior de pisos intermédios do Atlassian HQ.
(SHoP Architects, 2024).



Ilustração 23 – Render da vista exterior dos pisos superiores do Atlassian HQ.
(SHoP Architects, 2024).

3. Conclusões

No contexto deste trabalho, foi utilizado como caso de estudo o PI “Habitação Modular Evolutiva HME”, para regiões de baixa densidade, com base em dois Módulos (diurno e noturno), que utiliza materiais, de preferência locais e tecnologias aplicadas,

com significativa utilização de blocos de encaixe de baixo carbono para paredes exteriores, cujos acabamentos são prefabricados de fixação mecânica ao suporte rígido, sendo reversíveis e reutilizáveis. Relativamente à concretização desta HME prevê-se, também, a sua construção crescente e a possibilidade de autoconstrução, segundo as necessidades económicas e de crescimento das famílias.

Na sequência desta investigação, de natureza mais tradicional e local, foram realizadas outras investigações na área da construção industrializada, nomeadamente da pré-fabricação, no sentido da possibilidade da aplicação de elementos construtivos modulares, para paredes exteriores, de produção e aplicação com maior produtividade e rapidez de construção, constituídos por biomateriais (de origem vegetal, animal e fungos). Materiais com baixo impacte ambiental, se possível locais, destacando-se, mais recentemente, e ainda na área destes materiais, uma investigação sobre a utilização de fungos de crescimento rápido na constituição desses elementos construtivos.

A escolha dos materiais e da sua aplicação, com critério, no âmbito da construção sustentável, para a construção de edifícios, é fundamental, tendo presente que os recursos naturais são finitos na Natureza, situação que se agravará com o grande crescimento da população mundial previsto, para meados deste século. Também os edifícios são responsáveis por grandes impactes negativos ambientais, com cerca de 50% do consumo global de recursos materiais, com a produção de dióxido de carbono da ordem dos 40%, e com elevada produção de resíduos, o que exige a substituição do processo de Construção Linear, que esgota o produto, por um processo de Construção Circular, através do qual se produzem novos materiais não extraíveis. Tem-se ainda presente, neste contexto, o acordo e as recomendações de Paris/COP21, quanto à contenção do aquecimento global que não deve exceder 1,5 graus, relativamente ao período pré-industrial.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é financiado por fundos nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., no âmbito do Projeto <UIDB/04026/2020> com o identificador DOI <10.54499/UIDB/04026/2020 (<https://doi.org/10.54499/UIDB/04026/2020>)>.

REFERÊNCIAS

- BELLIOT, Maïlys (2020) – *Construction paille, enquête*. Em “La Maison Écologique”, nº116, pp. 46-50.
- BIOHM (2016) - *Mycelium Tech* [Em linha] [Consult. 18 jul. 2024]. Disponível em WWW:<URL:<https://www.biohm.co.uk/mycelium>>.
- BLOK, India (2020) - *SHoP Architects and BVN design world's tallest hybrid timber tower for Atlassian in Sydney*. Dezeen. [Em linha]2020). [Consult. 10 jul. 2023]. Disponível em WWW:<URL:<https://www.dezeen.com/2020/07/08/shop-architects-and-bvn-design-worlds-tallest-hybrid-timber-tower-for-atlassian-in-sydney/>>.
- CHURKINA, Galina et al. (2020) - *Buildings as a global carbon sink*. *Nature Sustainability*. ISSN 2398-

9629. 3:4 269–276. doi: <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0462-4>.
- D'ANGELO, Madeleine (2020) - *Atlassian Sydney Headquarters*. Architect Magazine. [Em linha] [2020]. [Consult. 13 fev. 2023]. Disponível em WWW:<URL:https://www.architectmagazine.com/project-gallery/atlassian-sydney-headquarters_o>.
- DYSON, Anna et al. (2023) - *Building materials and the climate : constructing a new future* [Em linha]. Paris, France : United Nations Environment Programme [Consult. 18 set. 2023]. Disponível em WWW:<URL:<https://wedocs.unep.org/xmlui/handle/20.500.11822/43293>>. ISBN 978-92-807-4064-6.
- ECOVATIVE (2023). *Growing Sustainable Products From Mushroom Mycelium To Save The Planet*. 2 fev. 2022. [Consult. 29 mar. 2024]. Disponível em WWW:<URL:<https://www.youtube.com/watch?v=t1UjGTnWGYU>>.
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (2015) - *Towards a circular economy : Business rationale for an accelerated transition* [Em linha]. Cowes, UK : Ellen MacArthur Foundation [Consult. 7 fev. 2023]. Disponível em WWW:<URL:<https://ellenmacarthurfoundation.org/towards-a-circular-economy-business-rationale-for-an-accelerated-transition>>.
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION (2023) - *What is a circular economy?* [Em linha]. Cowes, UK : Ellen MacArthur Foundation [Consult. 3 abr. 2023]. Disponível em WWW:<URL:<https://ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>>.
- GHAZVINIAN, Ali et al. (2019) - *Mycelium-Based Bio-Composites For Architecture: Assessing the Effects of Cultivation Factors on Compressive Strength*. (2019, September 12). doi: https://doi.org/10.5151/proceedings-ecaadesigradi2019_465
- HARROUK, Christele (2020) - *The World's Tallest Hybrid Timber Tower is Under Construction in Sydney*, Australia. ArchDaily. [Em linha]. [Consult. 14 fev. 2023]. Disponível em WWW:<URL:<https://www.archdaily.com/942496/the-worlds-tallest-hybrid-timber-tower-is-under-construction-in-sydney-australia>>. ISSN 0719-8884.
- HUYNH, Tracy et al. (2023) - *Driving action on embodied carbon in buildings : Answers to current questions about embodied carbon and key actions to accelerate the decarbonization of building construction* [Em linha]. Boulder, CO : RMI. [Consult. 28 set. 2023]. Disponível em WWW:<URL:<https://rmi.org/insight/driving-action-on-embodied-carbon-in-buildings/>>.
- JARDIM GULBENKIAN (2023). *Como assegurar a diversidade de cogumelos (e outros fungos) num espaço verde*. 17 Abril 2023. [Em linha] [Consult. 27 mar. 2024]. Disponível em WWW:<URL:<https://gulbenkian.pt/jardim/read-watch-listen/como-assegurar-a-diversidade-de-cogumelos-e-outros-fungos-num-espaco-verde/>>.
- LAMACHE, Gustave (1921) – *Fraiches en été, chaudes en hiver, les maisons de paille sont avant tout économiques*. Em “La Science et la Vie”, nº56, Maio 1921.
- LINH LE, Dinh; SALOMONE, Roberta; NGUYEN, Quan T. (2023) - *Circular bio-based building materials : A literature review of case studies and sustainability assessment methods*. *Building and Environment*. [Em linha] 244: 110774. [Consult. 5 set. 2023]. Disponível em WWW:<URL:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110774>>. ISSN 0360-1323.
- MERZENDORFER, H. (2011) - *The cellular basis of chitin synthesis in fungi and insects: common principles and differences*. *Eur J Cell Biol*. 90:759–69.
- MEYER, Vera et al. (2020) - *Growing a circular economy with fungal biotechnology: a white paper*. *Fungal Biology and Biotechnology*. ISSN 2054-3085. 7:1 5. doi: 10.1186/s40694-020-00095-z.
- MOORE-LANDECKER, Elizabeth (1990) - *Fundamentals of the fungi* [Em linha]. [S.l.] : Englewood Cliffs, N.J. : Prentice Hall, [Consult. 19 jul. 2024]. Disponível em WWW:<URL:<http://archive.org/details/fundamentalsoffu0000moor>>. ISBN 978-0-13-332941-4.
- NAVARRO, Vita Martí (2023) - *Natural Insulation - What do you need to know? Critical Concrete*, 30 jan. 2023. [Consult. 14 mar. 2024]. Disponível em WWW:<URL:<https://criticalconcrete.com/natural-insulation-what-do-you-need-to-know/>>.

- REAES PINTO, A. (2018) - *Contribuições para a construção sustentável*. Lisboa, Portugal: Universidade Lusíada Editora.
- REAES PINTO, Alberto, DIAS, Bruno Duarte (2018) - *Módulo de parede exterior pré-fabricado: A contribuição dos materiais e das tecnologias para a construção sustentável*. Universidade Lusíada Editora.
- ROSENBLOOM, Eva et al. (2023) - *Transforming existing buildings from climate liabilities to climate assets: low-embodied-carbon and carbon storing materials in building retrofits can reduce total building emissions*. [Em linha]. Boulder, CO : RMI. [Consult. 25 fev. 2024]. Disponível em WWW:<URL:<https://rmi.org/insight/transforming-existing-buildings-from-climate-liabilities-to-climate-assets/>>.
- SHOP ARCHITECTS (2024) - *Atlassian HQ* [Em linha]. New York, NY : SHoP, [Consult. 14 mar. 2024]. Disponível em WWW:<URL:<https://www.shoparc.com/projects/atlassian-hq/>>.
- STAMETS, P. (2005) - *Mycelium running: how mushrooms can help save the world*. Berkeley, USA: Ten Speed Press.
- UK GREEN BUILDING COUNCIL (2020) - *Practical how-to guide: Build circular economy thinking into your projects* [Em linha]. London, UK : UK Green Building Council, 2020 [Consult. 23 jan. 2023]. Disponível em WWW:<URL:https://www.greencycle.si/wp-content/uploads/2018/03/business_guide_to_circular_construction.pdf>.