U.PORTO

MESTRADO INTEGRADO

ARQUITETURA

DE RESÍDUO A RECURSO:
A Reciclagem / Reutilização de Materiais Não Biodegradáveis em Arquitetura

Manuela Martins Pinho

M

2018

U.PORTO

MESTRADO INTEGRADO

ARQUITETURA

DE RESÍDUO A RECURSO:
A Reciclagem / Reutilização de Materiais Não Biodegradáveis em Arquitetura

Manuela Martins Pinho

M

2018

Agradecimentos

Agradeço à minha mãe, ao meu marido, à minha amiga Luísa e à sua mãe Lígia pelo apoio, mas sobretudo pela paciência.

Agradeço a todos os professores que fizeram parte do meu percurso académico, pois com cada um aprendi.

Abstract

The present dissertation focuses on the study of materials, more specifically the materials considered “non-biodegradable residues”, as a resource for application in construction. I consider non-biodegradable residues resulting from the industrialized production as a starting point for questioning its impact on the environment. Nowdays we know that the ecological footprint of man is not yet at a level that allows the sustainability of the planet and this theme is transversal to the global society in which we live.

In the field of architecture, there is this ecological awareness that encourages the development of more efficient and sustainable solutions through constructive systems and renewable energy resources, using new technologies. However, the interest of this study is the management of materials and their life cycle, from their production, transportation, application and demolition (which turns the resource into residues). For that purpose, I’ve considered relevant to approach the legal framework to the management of the referred residues with great incidence on the European Countries. The measures taken by governments are intended to reduce the significant amounts that residues currently reaches. Some public or private entities have gathered a number of strategies, including prevention through prior planning of waste production, or other alternatives such as a survey of local materials and the resort to prefabricated elements for the reuse of the elements after demolition.

However, the ever growing consumer society and the disposal of non-biodegradable materials seem to contradict the overall intention of the intended sustainability. Urban solid waste accumulate on the planet, with no apparent solution in sight. Their inclusion in initiatives that make it possible to construct at low cost appear to have positive results for populations suffering from various factors, such as economic poverty, conflict avoidance or natural disasters. Among the materials used in this type of alternative constructions are PET bottles and tires. The case of the tire as a constructive resource is not new, since there is a legislation that promotes the use of crushed rubber for various purposes related to construction.

The “Earthship” emerges after the contextualization of the materials under study, as a model of architectural approach that invests the knowledge obtained through experiments carried out for the application of the referred materials, and will be the example addressed as proof of the efficient application of residues in the construction of several building typologies . The project will also be analyzed by the incorporation of several autonomy and sustainability appetencies in each building, as well as the use of residues in its construction.

At the end of this investigation, a reflection on the situation of the exposed themes is constructed. In the case of the CDW, the reflection focuses on regulatory issues as a fundamental point of raising awareness of the theme. For the SUW, the reflection focuses on their relevance and feasibility as a solution to the problems they refer to, and finally, the Earthship, deserve some attention compared to conventional housing.

Keywords:

Waste, Resources, CDW, Plastic, Tire, Recycling, Reuse, Earthship

Resumo

A presente dissertação incide no estudo de materiais, mais especificamente os materiais considerados ´"resíduos não biodegradáveis", enquanto possibilidade de recurso para aplicação na construção. Considero os resíduos não biodegradáveis provenientes da crescente produção industrializada como ponto de partida para questionar o seu impacto no meio ambiente. Hoje sabemos que a pegada ecológica do Homem não se encontra ainda num nível que permita a sustentabilidade do planeta e este tema é transversal à sociedade global em que vivemos.

No campo da arquitetura, existe essa consciência ecológica que incita o desenvolvimento de soluções mais eficientes e sustentáveis através de sistemas construtivos e recursos energéticos renováveis, recorrendo a novas tecnologias. Contudo, o interesse do presente estudo passa pela gestão dos materiais e o seu ciclo de vida, desde a sua produção, transporte, aplicação e demolição (que transforma o recurso em resíduo). Para tal, considerei pertinente uma aproximação ao enquadramento legal que rege a gestão dos referidos resíduos, com incidência nos países europeus. As medidas adotadas pelos governos surgem com a intenção de minorar os valores significativos que os resíduos alcançam atualmente. Algumas entidades, públicas ou privadas apresentam diversas estratégias, entre as quais a prevenção através de planeamento prévio da produção de resíduos, ou outras vias como o levantamento de materiais de proximidade e o recurso a elementos pré-fabricados para a reutilização dos elementos após demolição.

No entanto, a sociedade de consumo e o descarte de materiais não biodegradáveis parecem contradizer a intenção global da pretendida sustentabilidade. Materiais sólidos urbanos acumulam-se no planeta, sem aparente solução à vista. A sua inserção em iniciativas que possibilitam a construção a baixo custo parecem obter resultados positivos para as populações que sofrem por diversos fatores, como a pobreza económica, a fuga aos conflitos ou a desastres naturais. Entre os materiais aplicados neste tipo de construções alternativas, encontram-se as garrafas PET e os pneus. O caso do pneu enquanto recurso construtivo não é novidade, visto que existe legislação que promove a utilização da borracha triturada para diversos fins ligados à construção.

As Earthship surgem após a contextualização dos materiais em estudo, como modelo de abordagem arquitetónica que investe o conhecimento obtido ao longo de experiências realizadas para aplicação dos referidos materiais, e será o exemplo abordado enquanto prova da aplicação eficiente de resíduos na construção de diversas tipologias edificativas. O projeto será ainda alvo de análise pela incorporação de várias apetências de autonomia e de sustentabilidade em cada edifício, para além da utilização de resíduos na sua construção.

No final desta investigação constrói-se uma reflexão sobre o ponto de situação dos temas expostos. No caso das RCD, a reflexão incide sobre questões regulamentares como ponto fundamental de sensibilização ao tema. Para as RSU, a reflexão incide sobre a sua pertinência e exequibilidade enquanto solução para os problemas a si referentes, e por fim, as Earthship, merecem alguma atenção por comparação com a habitação convencional.

Palavras-chave:

Resíduos, Recursos, RCD, Plástico, Pneu, Reciclagem, Reutilização, Earthship

Índice

Introdução **10**

I - Resíduos Decorrentes da Atividade Construtiva

1.1- Breve História da Construção **13**
1.1.1- Materiais de Construção na Antiguidade 13
1.1.2- Reutilização de Materiais de Construção na Antiguidade 14
1.1.3- Materiais de Construção na Era Moderna 15

1.2- Consciencialização sobre a Questão Ambiental **17**
1.2.1- Consciência Ecológica da Década de 70 17
1.2.2- Conceito de Arquitetura Sustentável 18
1.2.3- Impacto Ambiental Resultante da Produção de Betão 19

1.3- Produção de RCD (Resíduos de Construção e Demolição) **21**
1.3.1- Composição dos RCD 21
1.3.2- Consequências Ambientais Relacionadas com os RCD 22
1.3.3- Diretivas e Legislação nos Países da União Europeia 23
1.3.4- Estratégias Apresentadas para a Diminuição de Produção de RCD 27
1.3.5- Exemplos de Boas Práticas em Obra 30

1.4- Redução, Reutilização e Reciclagem de RCD: Exemplos de Projetos **33**
1.4.1- Kieran & Timberlake, Loblolly House, Maryland, EUA, 2006 33
1.4.2- SuperUse Studios, Villa Welpeloo, Roterdão, Holanda, 2012 35
1.4.3- Olympic Park Queen Elizabeth, Londres, Inglaterra, 2012 37

II - Resíduos Decorrentes do Consumo Doméstico de Bens

2.1- As Cidades e os RSU (Resíduos Sólidos Urbanos) **39**
2.1.1- Cidades, Consumo Global e RSU 39
2.1.2- Composição dos RSU 40
2.1.3- Relação entre os RSU e a Construção de Bairros de Lata 42

2.2- Material Plástico Enquanto Resíduo **44**
2.2.1- Surgimento do Material Plástico Sintético 44
2.2.2- Diversidade de Materiais Plásticos 47
2.2.3- Consequências Ambientais dos Resíduos Plásticos 48

2.3- Material Plástico Como Recurso Construtivo **49**
2.3.1- Garrafa-Tijolo Associada à Construção de Baixo Custo 51
2.3.2- RePlast, o Bloco de Plástico. Por ByFusion, EUA 53
2.3.3- BloquePlas Building System. Por Conceptos Plásticos, Colômbia 55
2.3.4- Edifício EcoArk. Por Miniwiz, Tailândia, 2010 57

2.4- O Caso Específico do Pneu Enquanto Resíduo **58**
2.4.1- Síntese da História do Pneu 58
2.4.2- Consequências Ambientais dos Pneus em Fim de Vida 59
2.4.3- Tratamento de Pneus Usados na União Europeia 60

2.5- Reutilização do Pneu Como Recurso Construtivo **63**
2.5.1- Borracha de Pneu como Revestimento 63
2.5.2- Muros de Contenção Elaborados com Recurso a Pneus 65
2.5.3- Caracterização da Parede-Pneu 65

III - Earthship: Caso de Estudo sobre Construção com Recurso a Resíduos

3.1- Contextualização das Earthship **71**
3.1.1- Surgimento das Earthship 71
3.1.2- Conceito de Habitar Inerente ao Projeto 73

3.2- Earthship Global Model **75**
3.2.1- Desenvolvimento e Configuração de um Modelo Global 75
3.2.2- Materialização e Processo Construtivo do Modelo Global 77
3.2.3- Autonomia do Edifício: Recolha, Reutilização e Reciclagem de Recursos 80
3.2.4- Exemplos de Projetos 83

3.3- Earthship Simple Survival Model **85**
3.3.1- Desenvolvimento do Modelo 85
3.3.2- Configuração e Autonomia 87
3.3.3- Exemplos de Projetos 87

Considerações Finais **88**

Acrónimos **93**

Índice de Ilustrações **94**

Bibliografia **103**

Introdução

O tema apresentado concentra a sua investigação em diferentes materiais que possam ser utilizados na construção, com especial ênfase nos resíduos não biodegradáveis. Esses resíduos, sendo parte do problema ambiental, constituem um desafio e uma oportunidade na procura de respostas eficazes que diminuam a poluição associada ao sector de construção.

O domínio que o homem alcançou sobre o planeta Terra conduziu a Humanidade a um estilo de vida baseado na produção e na posse de bens artificiais. A Natureza tem sido desconsiderada nas ações humanas que, regra geral, se relacionam com um consumo desmedido a par de interesses económicos. Esse facto deveria ser contrariado, pois da natureza dependemos para ter vida. Cada lugar, cada tempo e cada forma de construir, estão associados a uma determinada cultura, a um clima, a um sistema económico. O que os unifica é o facto de todos eles pertencerem a um mundo natural global, que contém recursos naturais essenciais à sobrevivência dos seres vivos no planeta, mas que são limitados.

Competirá, num futuro próximo, à arquitetura desenvolver soluções que promovam a descontinuidade de atividades poluidoras e de produção de resíduos inerentes à construção tradicional. Será desejável um crescente compromisso ambiental como componente da arte de projetar. A responsabilização das várias áreas operativas ligadas à arquitetura e à construção, através do conhecimento das consequências ambientais da sua prática e utilização dos edifícios, estão na base da exploração de alternativas ecológicas, cujos resultados deveriam ser mais divulgados e aplicados.

Estudos sobre a quantidade de recursos naturais e energéticos não renováveis necessários para cada obra e posterior utilização, a possível utilização de recursos de proximidade, ou até de processos de reutilização e de reciclagem de materiais e a contabilização da quantidade de resíduos produzidos em todos os processos de obra, poderão constituir estratégias de consciencialização que promovam a investigação de soluções plausíveis.

A utilização dos resíduos como premissa na conceção de edifícios implica o conhecimento das suas características enquanto matéria, a sua aplicabilidade construtiva enquanto material. Assim, a estratégia passa por clarificar os diferentes tipos de resíduos em dois grupos distintos: os resíduos de construção e demolição (RCD) e os resíduos sólidos urbanos (RSU), elegendo os exemplos de materiais considerados mais pertinentes para a representação de cada um dos grupos acima referidos, em sintonia com a conjuntura em que se inserem.

Capítulo I:

No primeiro capítulo faz-se uma abordagem aos resíduos de construção e demolição, de forma a perceber qual o seu impacto no setor da atividade construtiva. Nesse sentido, o início da investigação incide sobre uma breve cronologia histórica, cujos momentos chave são a Antiguidade, com recurso a materiais exclusivamente naturais; a Revolução Industrial, pela produção em massa de materiais artificiais; o surgimento de uma Consciência Ecológica expressa pela Arquitetura Sustentável; até à prática arquitetónica que define a atualidade.

Os RCD serão analisados enquanto resíduos e enquanto recursos. A sua composição permite retratar a matéria através de processos de planeamento, posterior tratamento e reinserção em obra. Algumas iniciativas surgem no encalce de estratégias governamentais, com diferentes níveis de influência na gestão destes resíduos. Estratégias de prevenção da produção dos RCD serão também analisadas.

Capítulo II:

Diferente do contexto anterior, os resíduos sólidos urbanos serão analisados enquanto possibilidade de construção alternativa que promova a oportunidade de habitação digna a quem não beneficia de condições mínimas de salubridade. A intenção do seu estudo passa por analisar e compreender a sua aplicabilidade como estratégia para a redução do déficit habitacional global, e qual o seu impacto na vida das comunidades que usufruem dessas iniciativas.

A sociedade de consumo atual tem um forte impacto ambiental, bastante representativo na quantificação de RSU descartados. Para algumas comunidades carenciadas, o depósito de alguns resíduos sólidos está associado a rendimento, com base no conhecimento da diferenciação de valor associado à reciclabilidade de cada material. Surgem casos de habitações construídas com recurso a alguns dos materiais descartáveis englobados nos RSU. Serão analisadas iniciativas de recurso a materiais da categoria dos plásticos. Os exemplos estudados divergem no processamento do material e nos processos construtivos associados. A intenção será perceber o impacto real de alguns exemplos na sociedade e a sua relevância para a população alvo referente.

Capítulo III:

Este capítulo pretende mostrar a possibilidade de aplicação de RSU numa perspetiva diferente da abordada no capítulo II: num sistema de construção mais elaborado, onde são contemplados sistemas de poupança de recursos naturais e de autonomia do edifício. Assim, as construções “Earthship” demonstram uma aplicação de resíduos num espectro mais alargado ao das soluções modestas referidas no capítulo anterior, no que se refere à complexidade construtiva.

Earthship é o nome atribuído a um determinado projeto de construção com recurso a materiais descartados como os pneus, as garrafas e as latas. A sua investigação parece ser importante para compreender o real impacto de um projeto do género na sociedade atual, de que forma consegue responder às necessidades relacionadas com a habitação (em comparação com a construção convencional), e qual o público alvo que consegue atingir através de processos de sensibilização. Para compreender o projeto Earthship, será necessário percecionar o seu desenvolvimento ao longo dos anos, e entender o estado de evolução em que se encontra.

Capítulo I - Resíduos Decorrentes da Atividade Construtiva

1.1- Breve História da Construção

1.1.1- Materiais de Construção na Antiguidade

1.1.2- Reutilização de Materiais de Construção na Antiguidade

1.1.3- Materiais de Construção na Era Moderna

1.2- Consciencialização sobre a Questão Ambiental

1.2.1- Consciência Ecológica da Década de 70

1.2.2- Conceito de Arquitetura Sustentável

1.2.3- Impacto Ambiental Resultante da Produção do Betão

1.3- Produção de RCD (Resíduos de Construção e Demolição)

1.3.1- Composição dos RCD

1.3.2- Consequências Ambientais Relacionadas com os RCD

1.3.3- Diretivas e Legislação nos Países da União Europeia

1.3.4- Estratégias Apresentadas para a Diminuição de Produção de RCD

1.3.5- Exemplos de Boas Práticas em Obra

1.4- Redução, Reutilização e Reciclagem de RCD: Exemplos de Projetos

1.4.1- Kieran & Timberlake, Loblolly House, Maryland, EUA, 2006

1.4.2- SuperUse Studios, Villa Welpeloo, Roterdão, Holanda, 2012

1.4.3- Olympic Park Queen Elizabeth, Londres, Inglaterra, 2012

1.1- Breve História da Construção

Com base no conhecimento geral adquirido ao longo dos estudos a respeito da história da Humanidade, podemos iniciar o tema com uma breve cronologia histórica da construção que possibilite uma contextualização temporal sobre os materiais construtivos utilizados na contemporaneidade para a edificação projetada pela arquitetura.



Fig.1 Cavernas em Matera, Itália. Habitadas há milénios, as cavernas de Matera são frescas no verão e grandes o suficiente para acomodar o gado, havendo sido um conveniente abrigo.

1.1.1- Materiais de Construção na Antiguidade

Os primeiros abrigos utilizados pelo Homem consistiam em refúgios proporcionados pela natureza, pré-existentes como as grutas e as cavernas ou construções rudimentares com recurso aos materiais naturais próximos. Os objetivos das primeiras construções humanas parecem ter sido limitados às necessidades de proteção e de abrigo. Posteriormente surgiram programas além do abrigo, como a mobilidade através da elaboração de arruamentos e de pontes. Independentemente do programa, as intervenções construtivas pelo Homem exploravam as qualidades dos materiais disponíveis nas proximidades. A terra, a madeira, a pedra e as fibras vegetais constituem os primeiros materiais utilizados na construção através de diferentes processos construtivos e níveis de complexidade, até ao século XVIII.



Fig.2 Oásis de Siwa, Egipto. Habitada desde o Antigo Egípto, por volta de 10.000 A.C. Habitações construídas com terra e com elementos de madeira, apelidadas de "casas de lama".

A **terra** é utilizada na construção de edifícios desde tempos ancestrais. A sua composição quando localmente adequada para a construção, ou seja, dependendo de determinadas características como a sua razoável resistência à compressão apesar de uma baixa resistência à tração e facilidade de moldagem, permite-lhe ser utilizada em elementos verticais, como muros e paredes. Contudo, a fragilidade do material face aos elementos naturais como a chuva e o vento, induz à necessidade de uma manutenção permanente, através da aplicação de revestimentos protetores. Com base no conhecimento dos prós e contras, e devido à sua disponibilidade local, a terra é ainda hoje utilizada em algumas comunidades. As técnicas construtivas associadas são: a taipa, por compactação da terra na vertical com recurso a sistemas de cofragem de madeira para evitar fugas de material; e o adobe, técnica elaborada através do empilhamento de pequenos paralelepípedos de argila secos ao sol, seguindo a mesma lógica construtiva que é utilizada com os tijolos.

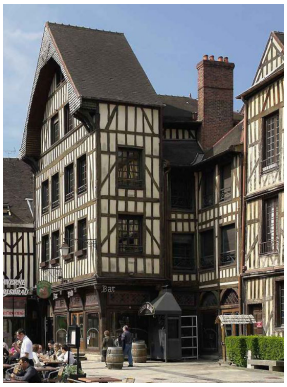


Fig.3 Casas medievais no centro histórico de Troyes, em Champagne, França. Com estrutura e revestimentos de madeira.

A **madeira** é um material resistente à compressão, à tração e à flexão. As suas características tornam o material eficaz para a construção de estruturas. Sendo um material leve e relativamente fácil de trabalhar, é também fragilizado pela sua biodegradabilidade, quando exposta a elementos como a humidade, o fogo, fungos, carunchos, ou outros. As características da madeira permitiram a sua utilização para diversas funções além da estrutural, como a pavimentação e a caixilharia nos edifícios mas também como estrutura para as pontes.



Fig.4 Yurt, habitação nómada na Mongólia. Estrutura em madeira e revestimento de tecido de lã de carneiro. A sua forma circular permite-lhe resistir aos ventos. Adequda para montagem, transporte e desmontagem.



Fig.5 Aqueduto romano, em Segóvia, Espanha. Construído no século I d.C., integralmente em pedra talhada. Forneceu água à cidade até meados do século XIX.



Fig.6 Ruínas da antiga cidade de Tanis, do Antigo Egipto. Construída e decorada com pedra provenientes de outros locais e monumentos.

Os elementos de madeira foram utilizados desde tempos antigos, e existem bons exemplos da sua utilização em diferentes funções em edifícios que sobreviveram às adversidades naturais do avançar do tempo. Continuam a ser bastante utilizados na construção civil, quer enquanto material construtivo ou como material de apoio no periodo de construção. Dependendo do tipo de madeira, os elementos, quando preservados e sujeitos a uma regular manutenção, podem ser bastante duráveis.

As **fibras, vegetais e animais,** permitem fazer cabos e tecidos. É um material com bom comportamento quando exposto à tração, pelo que as suas utilizações são muito específicas: pontes suspensas, coberturas leves como tendas, maioritariamente associadas a estruturas de madeira. Os Yurts, habitações construídas pelos povos nómadas, são um exemplo da sua utilização para permitir a montagem e desmontagem frequentes.

A **pedra** é um material duro, com boa resistência à compressão mas fraca resistência à tração. No entanto, a sua resistência à erosão faz da pedra um material durável. Os diversos exemplos de pedra como recurso construtivo comprovam a sue eficiência para construir paredes, pilares, e vencer vãos através de várias técnicas, como é o caso dos arcos. Inicialmente, o processo construtivo consistia na simples colocação das pedras em linhas horizontais sobrepostas, sensível às forças verticais. Um segundo processo antigo é o aparelhamento, que pressupõe o talhamento prévio da pedra para um encaixe perfeito que dota a construção de uma maior estabilidade. Como a pedra é um material durável, foi o material utilizado para edificações monumentais, cuja intenção seria a intemporalidade.

Dos materiais naturais abordados, a larga maioria dos exemplos construtivos antigos que permanecem percetíveis são em pedra. Algums exemplos com outros materiais sobreviveram aos efeitos do tempo, como pontes em fibras vegetais e construções em madeira ou argila. Apesar da maior fragilidade do material em relação à pedra, o facto de não se terem desvanecido deve-se a diversos fatores, como algumas condições naturais concretas ou a continuidade de manutenção frequente.

1.1.2- Reutilização de Materiais de Construção na Antiguidade

A reutilização de materiais na construção ocorre desde tempos antigos. Materiais como a pedra e o ferro são exemplo de sucessivas reutilizações, pois não sofrem alterações na sua composição quando processados.

A **pedra** é um material abundante e passivo de reutilização. O Antigo Egipto, a Grécia e o Império Romano são exemplos de impérios onde a pedra foi reutilizada continuamente após processos de demolição ou destruição consequente de desastres. Na Idade Média, muitas catedrais foram propositadamente planeadas e construídas sobre templos anteriores que se

encontravam em ruínas ou inutilizados com o intuito de aproveitar as paredes e a cripta subterrânea existentes, a fim de poupar nos recursos materiais e na mão de obra necessários. Outro exemplo da versatilidade construtiva do material é o caso das muralhas, cujas pedras foram posteriormente reutilizadas e convertidas em paredes de habitações e em pavimentos de espaços públicos.

A utilização do **ferro** na construção teve início no século XII, sob a forma de tirantes e pendurais de ferro fundido (elementos auxiliares em estruturas compostas por peças de madeira). A partir do século XVI, o ferro fundido foi utilizado em estruturas de telhado, desenvolvidas com recurso a sistemas estruturais pouco eficazes, facto decorrente do desenvolvimento insuficiente da análise estática dos elementos e inerentes sistemas construtivos que permitisse uma composição estrutural eficiente. Mas no final do século XVIII, o ferro passou a ser utilizado na composição de cúpulas de igrejas e em pontes com vãos em arco ou com treliças. A reutilização do material ferro realiza-se através do derretimento do material, processo esse que se mantém o mesmo desde o Império Romano. A partir do século XIX, o ferro passou a ser produzido com partes de aço e partes de ferro proveniente de sucatas. A extração de matéria virgem requer uma grande quantidade de energia e a qualidade do material durante o processo de reciclagem mantém-se inalterada. A separação do ferro de outros materiais (incluindo metais) é conseguida através de magnetismo[1].



Fig.7 A ponte que cruza o rio Severn, em Coalbrookdale, Inglaterra, apelidada de Iron Bridge, foi a primeira ponte em arco utilizando ferro fundido. Vence um vão de 30 metros.



Fig.8 Pormenor decorativo do talhamento atribuido ao ferro fundido utilizado na Torre Eifel, construída em Paris, entre 1887-1889.

1.1.3- Materiais de Construção na Era Moderna

Com a chegada da 1º Revolução Industrial, o processamento de matérias primas (carvão, petróleo, eletricidade, gás natural) para transformação em materiais passa a ser recorrente. Novos materiais, mais funcionais, com características melhoradas e a melhor preço (devido à standardização e mecanização das empresas fabris), surgem nos mercados de todas as áreas, incluindo o mercado dos materiais de construção.

O aço é um material cujo desenvolvimento se deve a técnicas de produção de elementos em ferro, visto que as composições são similares, sendo o aço um material mais moldável e menos quebradiço, mais apropriado para a produção de peça. A sua aplicação na construção permite uma mudança enorme no entendimento da arquitetura, com possibilidades de edificação proporcionadas pelos novos sistemas construtivos. A utilização do ferro fundido carregava fragilidades, como a fraca resistência e a oxidação do material. O conhecimento e a aceitação do ferro fundido como elemento estrutural na construção do século XVIII, deve-se à construção de pontes e de edifícios industriais. Já no caso do aço, a produção desenvolveu-se a partir de meados da década de 50 do século XIX, por ser mais flexível que o ferro fundido. A qualidade do material produzido é assim aumentada, a preços baixos. A mudança foi um incentivo à progressiva integração do aço nos sistemas construtivos, facto que permitiu



Fig.9 Fábrica de turbinas AEG, construído em 1910, em Berlim, Alemanha. Foi o primeiro edifício alemão construído com os materiais aço e vidro.

1 Bill Addis, *Building with reclaimed componentes and materials: a design handbook for reuse and recycling*, 1ª Edição. (Earthscan, 2006), 11.



Fig.10 Museu Guggenheim, Nova Iorque. Construído em 1959, projeto de Frank Lloyd Wrigth. O betão armado permitiu as linhas orgânicas e modernas do edifício.

construir pontes mais arrojadas e edifícios em altura, que têm vindo a crescer desde então.

A passagem para o século XX revela um novo desenvolvimento nos materiais construtivos: **o betão armado**. Não é um material primário, como a pedra ou a madeira; é um material composto através de processos de química artificial com origem em laboratório, com intenção de criar um material capaz de aumentar a capacidade das argamassas comuns à época. Ainda que o uso de cimentos, nestas circunstâncias naturais, tenha sido utilizado em construções datadas do tempo do Império Romano, em edifícios como termas ou anfiteatros, é só a partir do final do século XVIII e com particular intensidade durante o século XIX, que o desenvolvimento de cimentos artificiais acontece. Trata-se de uma época de experimentação por parte de empresas de construção, dos possíveis sistemas construtivos em betão armado[2].

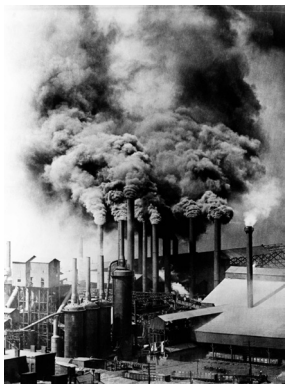


Fig.11 Poluição atmosférica produzida por uma indústria siderúrgica em S. Petesburgo, em, 1906.

A produção industrial de materiais baseada na economia linear tem como início do processo a extração de matéria prima, seguindo-se as fases de processamento, de utilização e de descarte enquanto resíduo. A economia linear gera, como consequência, uma sociedade de consumo que revela uma cultura de desperdício. A globalização do consumo estabelecida pelos mercados internacionais faz com que a referida cultura de desperdício seja uma questão mundial. A problemática ambiental surge já no século XX, inicialmente relacionada com a higiene e com os resíduos depositados no ambiente sem tratamento prévio: os fumos, as águas residuais que corriam a céu aberto e a acumulação de lixos tóxicos que marcavam a insalubridade do quadro de vida das populações. Apesar do surgimento da problemática, após a segunda Guerra Mundial, as agressões ambientais tornaram-se mais frequentes e graves, tanto pela sua magnitude como pela complexidade dos seus impactos[3].

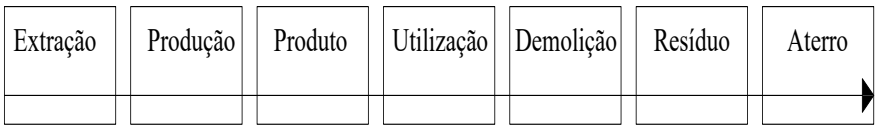


Fig.12 Sistema linear de produção industrial de materiais, que se aplica também ao processo de fabrico de materiais de construção.

2 Peter Collins, *Concrete: the vision of a new architecture*; (Ithaca: McGill-Queen's University Press; 2004).

3 José Eduardo Ventura, *Ambiente, Desenvolvimento e Mudanças Globais,* e-GEO Centro de Estudos de Geografia e Planeamento Regional Fac. de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa. (Lisboa, *s.d.*)

1.2- Consciencialização sobre a Questão Ambiental

A Revolução Industrial proporcionou o crescimento económico dos países ocidentais mas não considerou questões sociais e ambientais na sua acomodação. Tornara-se evidente que se instalara uma separação entre economia e ambiente.



Fig.13 Poluição atmosférica produzida por uma indústria na cidade de Changchun, no nordeste da China.

1.2.1- Consciência Ecológica da Década e 70

O conceito de *Ecologia Industrial* desenvolveu-se a partir de diferentes áreas que ganharam significado no século XIX, com especial ênfase a Ecologia, a Engenharia e a Economia[4]. Os economistas, que investigavam temas como a economia ecológica e o fluxo de energia, ou seja, a relação entre indústria e ecologia, acreditavam que o sistema económico devia ser promovido como um sistema físico e biológico, inserido no planeta Terra do qual depende. Como a Terra e seus recursos naturais são limitados, a economia deveria ser limitada por condicionantes biofísicas e ecológicas. A *Ecologia Industrial* surge como uma "*alternativa que conserva a capacidade de geração de serviços de suporte e que aumenta a produtividade dos elementos do capital natural"*[5].

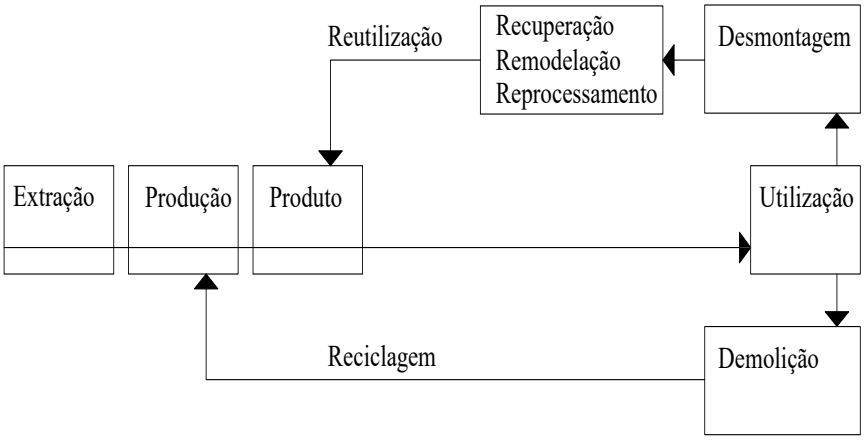


Fig.14 Sistema circular de produção industrial de materiais, que procura a reinserção dos materiais após a primeira utilização, tanto através da reutilização da reciclagem para produção de produtos novos.

A discussão em torno de uma *Consciência Ecológica* expandiu-se globalmente na década de 70 do século XX. A sua relevância fundamentava-se no facto de a Humanidade se encontrar inserida num contexto natural finito. Com uma biosfera propícia mas destrutível que possibilita a existência dos seres vivos incluindo o Homem, a Natureza não pode ser considerada apenas como recurso inerte e infindável do qual podemos extrair matérias consoante a nossa necessidade de produção e afins. A natureza é um conjunto vivo ao qual pertencemos, e a harmonia entre todas as partes é fundamental para a sobrevivência do conjunto.

4 Thalita Dalbelo et. al.; *Conceitos, Princípios e Ferramentas para um ambiente Urbano-Industrial Mais Sustentável,* (S. Paulo: 3º International Workshop Advances in Cleaner Production, 2011), 2.
5 Ibidem.



Fig.15 A Power Tower, sede da empresa Energie AG, em Linz, na Áustria. Não tem conexão com o sistema de aquecimento urbano local, e não necessita de recursos fósseis para produção de energia. Produz dióxido de carbono em menor quantidade do que edifícios similares.

Devido à complexidade do funcionamento urbano, ecologistas e economistas da década de 70 passaram a investigar a melhor forma de transformar o sistema industrial num subsistema da biosfera. Para essa alteração de paradigma, seria fundamental que o exercício da indústria se comparasse a um ecossistema, onde cada organismo funciona em benefício do conjunto e não permitir que a indústria simplesmente consuma os recursos e energia. Essa relação permitiria uma convivência benéfica da indústria com o meio ambiente onde se insere. O impacto ambiental do Homem enquanto uma das espécies que vivem em comunidade, pode ser comparado a outras espécies terrestres. No estudo denominado "Cradle to Cradle", os autores comparam a comunidade humana com uma comunidade de formigas, assumindo que as formigas são um exemplo de "*...uma população cuja densidade e produtividade não são um problema para o resto do mundo, porque tudo o que fazem retorna para os ciclos de reciclagem ilimitada da natureza*"[6].

A procura de soluções resultou na criação de uma nova área de engenharia, a *Ecologia Industrial*. Em 1989, após a publicação do relatório Brudtland[7], as discussões sobre o meio ambiente e o comportamento humano na Terra ganharam seriedade no contexto internacional[8].



Fig.16 Bosco Verticale, do arquiteto Stefano Boeri, Milão. Inaugurado em 2014, caracteriza-se por: menor consumo energético, criação de um microclima no interior, filtragem de partículas de poeira, aumento da humidade, produção de energia, absorção de CO2 e produção de oxigénio, proteção contra as radiações solares, reaproveitamento das águas e maior conforto térmico e acústico.

1.2.2- Conceito de Arquitetura Sustentável

Sustentabilidade e *Eficiência Energética* são conceitos incontornáveis na relação entre a arquitetura e a construção e o meio ambiente. Aplicam-se em ações como o consumo de matérias primas pela indústria de materiais de construção e o o projeto de modelo de funcionamento dos edifícios. O termo Sustentabilidade, enquanto designação de um conjunto de ações, abrange aspetos ambientais e relaciona-os com outros fatores, como os socioeconómicos, o que implica desafios na pesquisa, na prática e no ensino. O conceito *Arquitetura Sustentável* designa iniciativas que apresentam soluções com menor impacto ambiental e que possibilitam a poupança de recursos e de energia necessários. Charles Kibert descreve a expressão como:

"*...a criação e manutenção responsáveis de um ambiente construído saudável, baseado na utilização eficiente de recursos e no projeto baseado em princípios ecológicos*[9]*"*.

6 Michael Braungart; William McDonough; *Cradle to Cradle, Remaking the Way We Make Things.* (Nova Iorque: Vintage, Random House, 2009), 83.

7 Relatório Brundtland, intitulado *Our Common Future*, elaborado pela *Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento* e publicado em 1987, prevê diversas iniciativas anteriores à Agenda 21 que reafirmam uma visão crítica do modelo de desenvolvimento adotado pelos países industrializados e reproduzido nas nações em desenvolvimento. Ressalta riscos do uso excessivo de recursos naturais sem considerar a capacidade de suporte dos ecossistemas. Aponta para a incompatibilidade entre desenvolvimento sustentável e os padrões de produção e consumo vigentes.

8 Thalita Dalbelo et. al.; *Conceitos, Princípios e Ferramentas para um ambiente Urbano-Industrial Mais Sustentável,* (São Paulo: 3º International Workshop Advances in Cleaner Production, 2011), 1-4.

9 Charles Kibert; *Sustainable Construction - Green building design and delivery.* (New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2008).

Em 1994 foram definidos, pelo Conselho Internacional da Construção (CIB)[10], sete princípios fundamentais a considerar na arquitetura e na construção:

- Redução do consumo de recursos;
- Reutilização de recursos;
- Utilização de recursos recicláveis;
- Proteção da natureza;
- Eliminação de elementos tóxicos;
- Aplicação de análises de ciclos de vida em termos económicos;
- Ênfase na qualidade.

As soluções que se desenvolvem enquanto processo de investigação de uma *Arquitetura Sustentável* têm o potencial de incrementar técnicas e inserção de materiais ecológicos que permitem aos edifícios e à indústria obterem um bom desempenho ambiental. Essas iniciativas passam pela utilização de energias renováveis como a solar e a eólica, a reutilização de recursos como a água e determinados materiais e a redução ou a não utilização de materiais tóxicos. São algumas ações que possibilitam o aumento da qualidade do ar interior e exterior, permitem a coexistência da biodiversidade e se adequam a questões como conforto e saúde. A tecnologia é parte integrante para uma mudança de paradigmas eficaz. Se por um lado temos como ferramenta de trabalho o conhecimento vernacular sobre arquitetura enquanto planeamento e construção, por outro lado, novas técnicas e novas tecnologias desenvolvidas serão fundamentais para adequar as edificações às necessidades contemporâneas.



Fig.17 Casa da Música, na Boavista, Porto. Projetada pelo arquiteto Rem Koolhaas foi concluida em 2005. Neste edifício, a estrutura é constituída integralmente por betão armado, assim como a sua aparência exterior. Segundo estatísticas realizadas pela afaConsult, foram utilizados um total de cerca de 63.5000 m3 de betão, considerando o volume total de betão cinza e branco.

1.2.3- Impacto Ambiental Resultante da Produção de Betão

Em contraposição ao desenvolvimento de uma Arquitetura Sustentável, parece pertinente abordar as consequências de um dos materiais que mais revolucionaram a arquitetura. Apesar da liberdade formal que o betão armado possibilita, o seu impacto ambiental deve ser considerado. O betão é o material mais utilizado no mundo a seguir ao consumo de água[11].

O material de ligamento entre os vários componentes é o cimento. Os vários tipos de cimento resultam da quantidade de cada matéria prima. O cimento é uma comódite (um produto de qualidade e características internacionalmente uniformes, com preço determinado pela oferta e procura internacionais), de

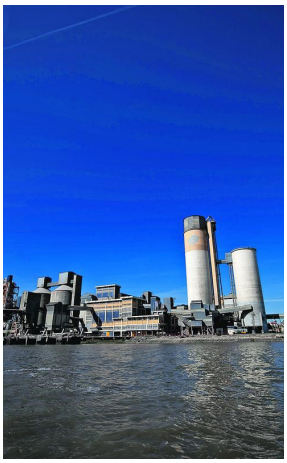


Fig.18 Instalação cimenteira pertencente à Cimpor, localizada em Alhandra.

10 CIB - fundado em 1953, com os objetivos de estimular e facilitar a cooperação internacional e a troca de informações entre institutos de pesquisas governamentais do setor da construção, com ênfase nos institutos ligados à pesquisa. Atualmente é uma rede mundial com milhares de especialistas de cerca de 500 organizações associadas dos ramos de pesquisa, indústria e meio académico, universitário ou governamental, que atua em todos os aspetos da pesquisa e inovação na construção. Em http://www.pcc.poli.usp.br/latinamericancib/sobreocib.html, acedido em 13.07.2018.

11 Joana Coutinho; Eng. Prof. da FEUP. "Consumo de Betão no Mundo". *ENGMIN, Programas* (29.03.2012).

baixa substituibilidade[12]. Os processos de mineração (extração do calcário), transporte de materiais e clinquerização são os mais poluentes. Para produzir uma tonelada de cimento, produz-se uma tonelada de CO2 durante o processo de clinquerização, descrito como processo de cozedura[13]. A poeira resultante do material particulado, o ruído de fraturação de rocha e a movimentação das máquinas atingem níveis de poluição muitas vezes descontrolados. Apesar das consequências da produção de betão, a sua composição convencional vence todas as alternativas por ser o material mais económico[14].

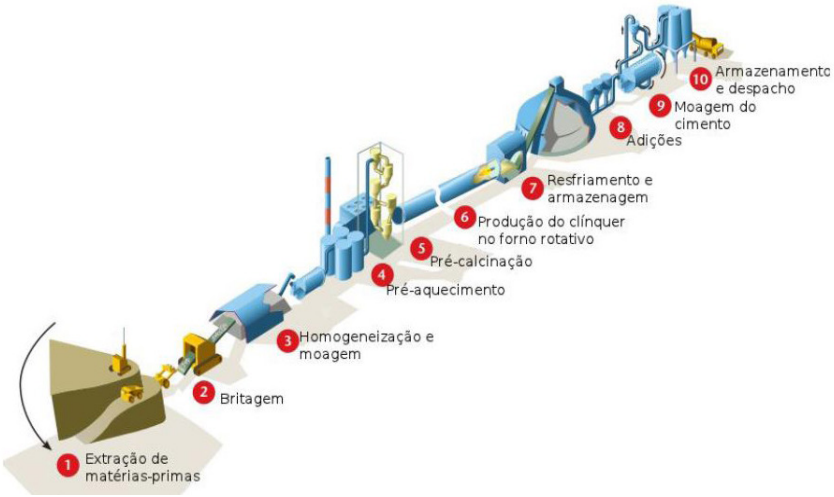


Fig.19 Procedimentos envolvidos no fabrico de cimento: mineração, recurso a combustíveis, transporte de matérias, clinquerização e transporte de material produzido.

Enquanto a sociedade aprecia o melhor padrão de vida que os materiais proporcionam aos edifícios, simultaneamente confronta-se com impactos ambientais que prejudicam a sua qualidade de vida. Nos últimos anos, esse conflito levou a uma crescente pressão em várias direções, dentro e fora da indústria de construção, com ênfase nas soluções de reutilização e de reciclagem de bens e de materiais. Para o betão estão a ser desenvolvidos estudos sobre alternativas por diversas entidades como a FEUP[15]. Ainda assim, prevê-se que a sua composição atual se mantenha intacta até, pelo menos, ao ano de 2050[16].

Os estudos vão obtendo resultados positivos para alguns resíduos testados enquanto agregados, como o vidro e os resíduos de betão triturado. Também se realizam testes com resíduos de alvenaria e mistos, agregados de mármore, borracha, plástico, ferro, carvão, resíduos agroindustriais, entre outros[17].

12 Warley Chaves, et. al., *Análise de indústrias Cimenteiras e seus Impactos Socioambientais,* VII Jornada Científica, (Campus Bambui, 2014).

13 Joana Coutinho, "Resíduos para Substituir Parcialmente o Betão". *MasterClass sobre Resíduos de Construção e Demolição. Projeto PRCD - Prevenção dos Resíduos de Construção e Demolição*. (FAUP a 11.06.2018). Transcrição da própria.

14 Ibidem

15 Investigações realizadas da FEUP, com incidência nos possíveis agregados naturais ou provenientes de resíduos, que permitam diminuir a quantidade de cimento necessária para o betão.

16 Joana Coutinho, "Resíduos para Substituir Parcialmente o Betão". *MasterClass sobre Resíduos de Construção e Demolição. Projeto PRCD - Prevenção dos Resíduos de Construção e Demolição*. (FAUP a 11.06.2018). Transcrição da própria.

17 Jorge de Brito; Rui Silva; *Utilização de resíduos na produção de betões.* Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis, Março de 2014. Documentado em *Materiais de Construção Sustentáveis.* (Guimarães: Universidade do Minho, 2014), 7-18.

1.3- Produção de RCD (Resíduos de Construção e Demolição)

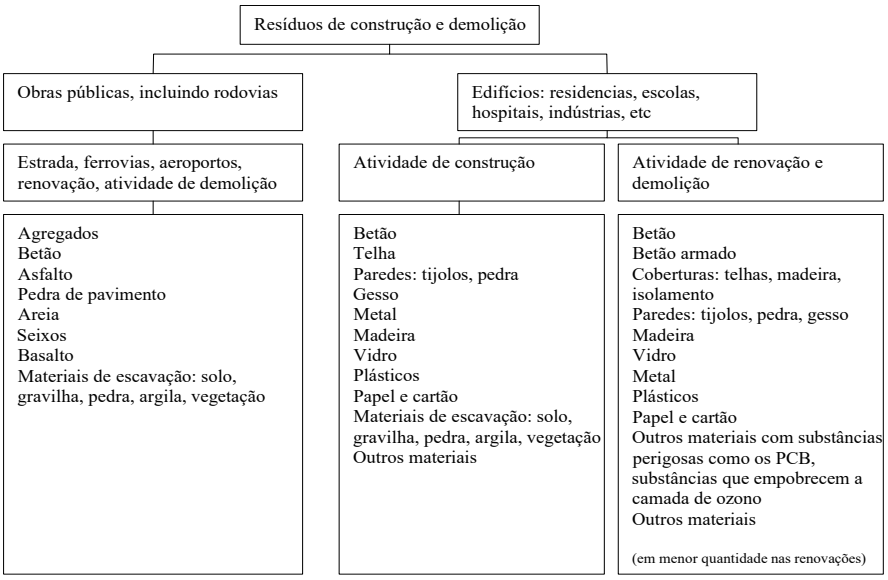
O setor económico de construção é dos que mais resíduos produz na Europa, posicionando-se logo a seguir ao setor de produção de energia. Na U.E., a construção civil gera cerca de 100 milhões de toneladas de resíduos por ano. Aproximadamente 80% das obras realizadas são entregues a empresas de pequena dimensão e o escoamento dos resíduos é efetuado por algumas empresas sem qualquer coordenação central. A remoção de RCD gera elevados custos de recolha e emissões substanciais nos processos de transporte[18].



Fig.20 Resíduos de uma obra de demolição. A separação dos vários elementos não é tarefa fácil.

1.3.1- Composição dos RCD

Os denominados RCD referem-se a todos os resíduos produzidos em obra, quer esta seja de construção, requalificação ou demolição. Os resíduos são resultantes de: atividades de desconstrução e demolição, restos de material utilizado em obra, embalagens do material adquirido para construção e acessórios de montagem, e ainda lixo gerado pelos trabalhadores durante o tempo de trabalho. São maioritariamente compostos por madeira, plástico, metal, solventes, substâncias perigosas como o amianto ou o PCB, betão, gesso, tijolo, fração inerte granular utilizada na construção de processamento de materiais inorgânicos e solo escavado[19]. As consequências diretas da inexistência de uma gestão eficiente de RCD são a acumulação e o crescimento de aterros de materiais não biodegradáveis.



NOTA: Os solos são excluídos da definição de RCD mas podem ser incluídos por alguns países segundo a sua legislação nacional

Fig.21 Materiais constituintes dos RCD, listados por atividade, segundo dados da European Comission, em *Resource Efficient Use of Mixed Wastes Improvement Management of Construction and Demolition Waste*.

18 Klaus Lipsmeier; Marko Gunther; *Manual Europeu de Resíduos da Construção de Edifícios, Vol. I,* Projeto WAMBUCO, (Dresden: Institute for Waste Management and Contaminated Sites Treatment of Dresden University of Technology, 2005).

19 European Comission, *Resource Efficient Use of Mixed Wastes Improvement Management of Construction and Demolition Waste.* (Bruxelas: Outubro 2017), 6.

1.3.2- Consequências Ambientais Relacionadas com os RCD

Em 2012, os 28 Estados Membros da U.E. geraram cerca de 830 milhões de toneladas de RCD, incluindo resíduos de solo e de dragagem. Excluindo os dois últimos tipos de resíduos, o volume de RCD foi de 351 milhões de toneladas[20]. Desse valor:

- 315 milhões de toneladas de resíduos inertes;

- 26 milhões de toneladas de resíduos não perigosos não inertes;

- 10 milhões de toneladas de resíduos perigosos.

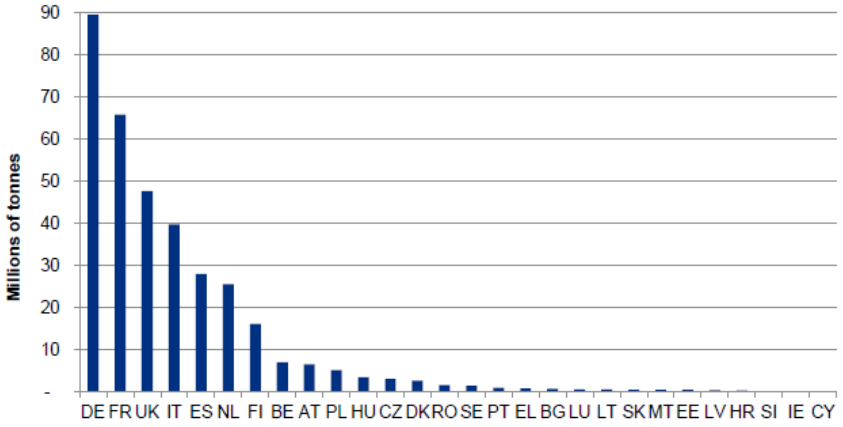


Gráfico 1: Milhões de RCD gerados e declarados pelos vários países da Europa; dados referentes ao ano de 2012. Podemos verificar as discrepância entre os RCD declarados pelos diferentes países.

Os resíduos inertes correspondem a 90% do total de RCD produzidos na Europa, segundo dados estatísticos e de acordo com a informação fornecida por cada país. Os valores variam entre os países, consoante a sua dimensão e o volume de obras realizadas. Apesar dos dados fornecidos pelos países, os resultados podem não ser representativos do total de resíduos produzidos. Esse facto deve-se, em alguns casos, ao englobamento de determinados materiais como RCD e à discrepância entre resíduos produzidos declarados e volume real de resíduos produzidos. Essa situação acontece em países como Portugal, devido à prática frequente de despejo ilegal em aterros e terrenos alheios[21].

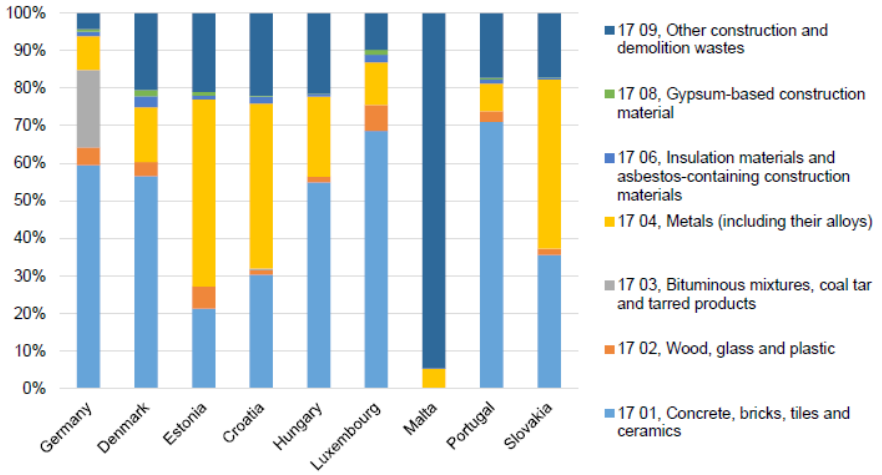


Gráfico 2: Volume dos diversos materiais separados dentro do total de RCD declarado. Podemos verificar que os resíduos inertes, que constam na listagem europeia LER com a referência 17.01, são largamente o material mais comum resultante das atividades de construção. Malta não declara dados sobre esse material. Possivelmente não será considerado RCD a nível nacional.

20 European Comission, *Resource Efficient Use of Mixed Wastes Improvement Management of Construction and Demolition Waste. (*Bruxelas, Outubro 2017), 13.

21 Castorina Vieira; "Gestão de RCD e Aplicações de Agregados Reciclados". *MasterClass sobre Resíduos de Construção e Demolição. Projeto PRCD - Prevenção dos Resíduos de Construção e Demolição*. FAUP a 11.06.2018. Transcrição da própria.

A produção de RCD incorre em duas consequências que devem ser travadas em prol do ambiente: o amontoar dos aterros de resíduos não biodegradáveis, com inclusão de componentes perigosos, por vezes em áreas verdes; e os recorrentes gastos energéticos e de recursos primários por constante necessidade de novos materiais. Devem ser explorados e aplicados planos que conjuguem soluções para as duas problemáticas aqui retratadas.

1.3.3- Diretivas e Legislação nos Países da União Europeia

O termo "Desenvolvimento Sustentável" foi definido no Relatório Brundtland de 1987[22] como um "*...desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazer suas próprias necessidades*[23]".

O Relatório do *Internacional Council for Research and Innovation in Building and Constrution –Agenda 21* para a Construção Sustentável (Relatório CIB – Publicação 237) – foi criado após o Congresso Mundial da Construção (1998), realizado em Gävle, na Suécia. O documento desenvolve um conjunto de aspetos com o propósito de comprometer a construção com um projeto de sociedade sustentável, que decorra de um compromisso civilizacional entre todos os povos que partilham o Planeta Terra. O relatório identifica cinco áreas onde se estabelecem os desafios para a construção:

- O planeamento;
- os produtos da construção;
- qualificação do ambiente interior;
- o consumo dos recursos;
- os impactos da construção no desenvolvimento urbano.

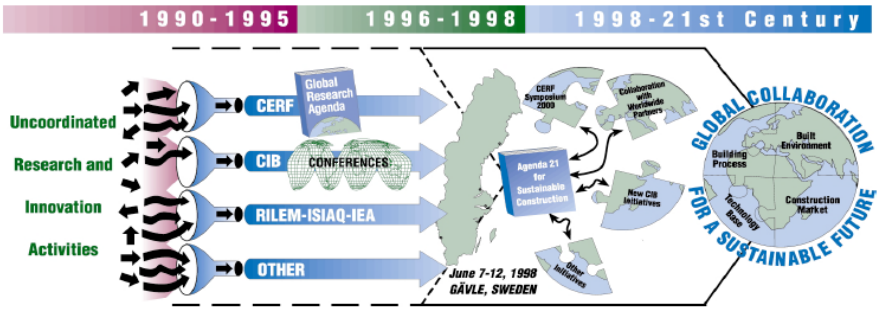


Fig.22 O objetivo da criação do documento *Agenda 21*, foi reunir os diversos estudos realizados acerca das consequências ambientais resultantes da atividade no planeta e a elaboração de possíveis estratégias, para permitir a difusão dos dados e criar estratégias de nível global.

22 O Relatório Brundtland, intitulado *Nosso Futuro Comum* (*Our Common Future*), publicado em 1987, elaborado pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, descrito em pormenor na referência 9.

23 International Council for Research and Innovation in Building and Construction. *Agenda 21 on Sustainable Construction*, CIB Report, Publication 237. (Roterdão, 1999), 17.

A União Europeia tem vindo a estabelecer regras e metas para travar a produção de RCD através de guias e de diretrizes elaboradas pela Comissão Europeia ou por entidades diversas que estudam soluções e são por esta Comissão financiadas. São de salientar alguns documentos de análise e de acompanhamento de obra, que tentam direcionar os países para determinados procedimentos e o registo de boas práticas investigadas, que permitam a cada país encontrar uma estratégia eficaz para uma resolução generalizada entre os Estados Membros com vista a atingir os objetivos comuns e estabelecidos.

Em 2002 foi criado o projeto WAMBUCO - "*Waste Manual for Buildings Constructions*[24]*",* em colaboração com a União Europeia. Este documento é apresentado como o primeiro manual Europeu de Resíduos de Construção de Edifícios. O propósito do documento é a redação de procedimentos que possam servir como instrumento de trabalho e que permitam às entidades envolvidas na construção fazer uma avaliação das suas atividades e perceber como podem colocar em prática métodos eficazes para uma gestão correta dos resíduos. O projeto analisa os elementos funcionais da construção como as paredes, os tetos, os pavimentos, as coberturas e os revestimentos, considerando a quantidade e qualidade dos elementos utilizados, para perceber a sua relevância enquanto resíduo. O projeto determina ainda que os resultados devem ser compilados em fichas de resíduos específicas. As estratégias abordadas passam assim pela catalogação e pela classificação dos resíduos produzidos em construção, remodelação, requalificação ou demolição.

Em 2008 é publicada a Diretiva 2008/98/CE[25]; em 2011, a Lista Europeia de Resíduos (LER)[26]; ambos os documentos elaborados pela Comissão Europeia, cuja intenção é estabelecer procedimentos comuns aos países da União Europeia e conceder ferramentas de uniformização de tipologias de RCD, para proporcionar uma leitura equitativa entre os dados dos diferentes países e permitir a redução da produção de RCD de forma análoga em todos os Estados Membros com meta estabelecida nos 70% até 2020, seguindo as seguintes considerações[27]:

- A reutilização de elementos construtivos que possam servir determinado propósito útil, evitando gastos de recursos virgens;
- A reciclagem através da recuperação por reprocessamento em produtos, materiais ou substâncias para a mesma finalidade ou outra, à exceção do uso como combustível e aterro;
- A eliminação, através de operações que não sejam a valorização, ainda que a operação tenha como consequência secundária a recuperação de substâncias ou energia.

24 Projeto WAMBUCO: *Manual Europeu de Resíduos da Construção de Edifícios, Vol. I, II e III.* Financiado pela UE, no âmbito do Programa Crescimento Competitivo e Sustentável (1998-2002)

25 EC, *Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on Waste and Repealing Certain Directives*. (Official Journal of the European Union, 22.11.2008)

26 EC, *Commission Decision of 18 November 2011 Establishing Rules and Calculation Methods for Verifying Compliance with the Targets Set in Article 11(2) of Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council*. (Official Journal of the European Union, 25.11.2011)

27 EC, *Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on Waste and Repealing Certain Directives*. (2008), 28.

A diretiva prevê que, além da composição de resíduos, a catalogação dos mesmos permita uma atividade de pesquisa e rastreio das atividades que os geram, de forma a perceber as dinâmicas entre recursos, utilização de materiais e consequente produção de resíduos, o que permitiria a exploração de soluções. Cada país membro tem a responsabilidade de criação de uma legislação interna. Contudo, têm-se verificado estratégias nacionais desiguais em termos de eficácia e de operacionalidade entre os países. Os resultados nacionais recolhidos são reportados à União Europeia que, através das estatísticas Eurostat as divulgam, como as conclusões retiradas pela Comissão Europeia.

Em 2017 foi elaborado o relatório *Resource Efficient Use of Mixed Wastes Improving management of construction and demolition waste*[28], destinado a expor a investigação realizada da gestão de RCD nos Estados Membros da U.E. e a identificar os obstáculos existentes à reciclagem em alguns estados. Existem potenciais deficiências que parecem levar à não conformidade com a legislação europeia em matéria de RCD. Segundo os autores do documento, foram identificadas boas práticas de estratégias para promover a recuperação e a reciclagem e para melhorar a sua qualidade. O documento enuncia um conjunto de recomendações para enfrentar potenciais barreiras[29].

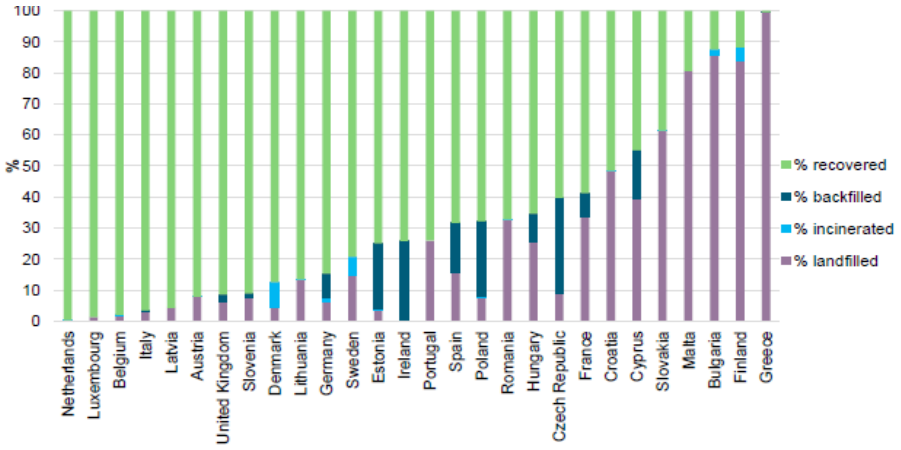


Gráfico 3: Podemos verificar no gráfico, que o depósito de materiais RCD é ainda uma prática comum em alguns países. Se considerarmos a prática de depósito ilegal de RCD realizada em alguns países da Europa, os dados reais de RCD não tratados podem ser superiores aos representados.

Através das estatísticas apresentadas no documento, percebemos que países como Holanda, Bélgica, Dinamarca, a Itália, a Irlanda, a Alemanha e o Luxemburgo têm altas taxas de reutilização e principalmente de reciclagem de resíduos. Este facto deve-se à elevada utilização dos agregados secundários nas construções rodoviárias; deve-se também à proibição de depósito de materiais recicláveis em aterros. Muitos dos Estados Membros com maior proporção de recuperação usufruem de uma rede eficaz de distribuição e de instalações de apoio e de gestão dos RCD disponíveis[30].

O relatório aponta as falhas nos países com baixas taxas de reutilização e de reciclagem de resíduos e determina que decorrem de uma falta de políticas

28 European Comission, Directorate-General for Environment, *Resource Efficient Use of Mixed Wastes Improvement Management of Construction and Demolition Waste.* Bruxelas, (Outubro 2017).
29 Ibidem, 47-80.
30 Ibidem, 19.

eficazes sobre os RCD, manifestamente a falta de fiscalização e de divulgação para que possa ocorrer a incrementação da legislação em vigor. Sobre as condições e os estímulos económicos para criar interesse por parte das entidades envolvidas na construção, existem também lacunas, por exemplo, na distribuição de instalações de gestão para apoiar a atividade facilitando os procedimentos, visto que os custos de transporte são um entrave para a redução de RCD[31].

No caso de Portugal, através da publicação do decreto-lei n.º 46/2008, de 12 de março, (atualizado pelo decreto-lei n.º 73/2011, de 17 de junho), foi estabelecido o regulamento das operações de gestão de RCD, com o intuito de promover a prevenção de produção e a posterior reutilização, assim como regulamentar as inerentes operações de recolha, transporte, armazenamento, tratamento, valorização e eliminação. O regime estabelecido no decreto constitui a primeira de uma série de normas e legislações com a intenção de suprir as falhas de conhecimento e promover a aplicação da hierarquia de resíduos[32]. Foi criada uma entidade responsável pela regulamentação das regras impostas, a APA (Agência Portuguesa do Ambiente). No entanto, é dado assumido que a permissividade de depósito de RCD em aterros ou descampados continua a acontecer em larga escala, pela falta de divulgação e de consciencialização, e por falta de fiscalização e de incentivos, transmitidos aos envolvidos no ramo da construção. Uma extensa parte das construções realizadas no país é entregue a empresas de pequena e média escala, cujo conhecimento da meta dos 70% de redução de resíduos em 2020 e da legislação que rege a gestão dos RCD em vigor é escasso[33]. Dados apresentados pelo INE sobre o ano de 2013 dão conta de um volume de produção de resíduos no valor de 1 746 652 toneladas de resíduos produzidos[34], mas a realidade deve estar mais aproximada dos 9 000 000 de toneladas[35]. Tal como em Portugal, também outros países podem incorrer na mesma incidência de dados irreais.

"*Este importante fluxo de resíduos continua fora de controlo. A obrigação legal de incorporação de 5% de materiais recicláveis nas obras públicas tem sido sistematicamente ignorada e ninguém sabe qual a real taxa de reciclagem destes resíduos. Por outro lado, a TGR incentiva o envio de RCD recicláveis para pedreiras. Assim vai ser quase impossível Portugal atingir a meta de reciclagem de 70% dos RCD exigida para 2020 pela legislação comunitária*"[36]

---

31 European Comission, Directorate-General for Environment, *Resource Efficient Use of Mixed Wastes Improvement Management of Construction and Demolition Waste. Bruxelas.* (Outubro 2017).

32 Apambiente, "Resíduos de Construção e Demolição", *Ambiente Portugal, Ambição para o Futuro.* Site www.apambiente.pt, acedido a 23.06.2018.

33 Cláudia Cardoso, "Repositório de Materiais", *MasterClass sobre Resíduos de Construção e Demolição. Projeto PRCD - Prevenção dos Resíduos de Construção e Demolição*. FAUP a 11.06.2018. Transcrição da própria.

34 Graça Martinho et al., *Construction and Demolition Waste management in Portugal*, V2, Universidade Nova de Lisboa, FCT. (Lisboa, Setembro 2015), 4.

35 Castorina Vieira, "Gestão de RCD e Aplicações de Agregados Reciclados". MasterClass sobre Resíduos de Construção e Demolição. Projeto PRCD - Prevenção dos Resíduos de Construção e Demolição. FAUP a 11.06.2018. Transcrição da própria.

36 Quercus, "Reciclagem, quais os problemas em Portugal?", *Olhar Verde, Opinião.* Site http://verdadeiroolhar.pt/2016/05/18, acedido a 18.05.2016.

1.3.4- Estratégias Apresentadas para a Diminuição de Produção de RCD

Existem várias estratégias para evitar a produção de RCD. A prevenção deve ser considerada numa fase inicial do desenho de projeto. O desenvolvimento de um projeto com recurso a materiais reutilizados ou reciclados pode ser bastante diferente de um projeto convencional. A incorporação de produtos e materiais em segunda mão requer um mercado estabelecido para tal. A fonte dos materiais deve ser encontrada antes das especificações serem definidas[37]. A capacidade de conhecimento e de busca de soluções ambientalmente corretas por parte dos projetistas pode conduzir os clientes às decisões mais ajustadas ao seu projeto em termos de sustentabilidade construtiva; o conhecimento sobre os custos ambientais na escolha dos materiais, com vista a permitir a ponderação de opções como a utilização de materiais reciclados e reutilizáveis, materiais biodegradáveis e materiais e elementos que possibilitem uma posterior desconstrução são fundamentais para um projeto amigo do ambiente. A difusão do conhecimento das capacidades dos materiais é importante, realizada pelas entidades envolvidas no projeto e na construção, para melhor compreender os métodos construtivos inerentes. O exemplo da construção com elementos pré-fabricados e modulares que permitam uma desmontagem são estratégias com resultados[38].

1) O **planeamento preventivo de produção de RCD** e a diminuição dos gastos energéticos correntes é fundamental na preparação de projeto. Um bom planeamento previne a utilização exagerada de recursos energéticos e de produção de RCD. Em obra, a criação de planos de gestão de resíduos na sua preparação obriga à elaboração de cálculos de quantidade de RCD produzido que consciencializam os intervenientes do resultado final na sua produção. O processamento dos resíduos obriga os intervenientes no processo a ter conhecimento das regras a cumprir em obra. A obrigatoriedade de estudos e os cálculos de RCD, assim como a consciência permanente da necessidade de prevenir a sua produção, servem como uma instrução para as entidades envolvidas com menor grau de conhecimento adquirido, com incidência nas pequenas e médias empresas de construção. A criação de certificações e especificações técnicas para materiais reciclados pode também servir de incentivo à implementação eficaz dos processos de redução de RCD[39]. Na fase de desenvolvimento de projeto, a estratégia adequada ao caso específico deve influir em todos os procedimentos seguintes.

2) A **escolha dos materiais**, processo que envolve uma perceção das suas qualidades enquanto interferente nos seguintes aspetos do edifício: qualidade do ar, qualidade térmica, iluminação e conforto, gastos associados à utilização dos edifícios, como é o caso dos gastos energéticos para

37 Bill Addis, *Building with reclaimed componentes and materials: a design handbook for reuse and recycling*, 1ª Edição. (Earthscan, 2006), 1.

38 Cláudia Escaleira, "Fluxo circular dos materiais de construção: Tecnologia ou Projecto?". *MasterClass sobre Resíduos de Construção e Demolição. Projeto PRCD - Prevenção dos Resíduos de Construção e Demolição*. FAUP a 11.06.2018. Transcrição da própria.

39 European Comission, Directorate-General for Environment, *Resource Efficient Use of Mixwd Wastes Improvement Management of Construction and Demolition Waste.* (Bruxelas, Outubro 2017), 56.

iluminação e temperatura. Devem ser considerados os aspetos do material enquanto elemento constituinte do edifício, no que respeita a qualidade dos ambientes interior e exterior, a durabilidade, a adaptabilidade e os requisitos de funcionamento. Outras questões ambientais, que se podem descrever como indiretamente associadas ao edifício, devem também ser consideradas, como a biodegradabilidade, o impacto ambiental derivado da sua produção, transporte e aplicação, a sua capacidade de reutilização e reciclagem futuros e o seu impacto aquando o fim de vida, por processos de incineração ou depósito.

a) No caso de um edifício com recurso à **reutilização** de materiais, é fundamental fazer um mapeamento de materiais disponíveis numa envolvente próxima, para perceber a disponibilidade de materiais que possam ser utilizados no projeto em desenvolvimento. Neste caso, o projeto depende da identificação prévia dos materiais encontrados para proceder ao desenvolvimento do desenho do edifício, condicionado pela disponibilidade e pelas características (como as construtivas, dimensionais e térmicas) dos elementos encontrados. O mapeamento circundante deve ser limitado a um determinado raio para evitar a poluição atmosférica por CO2 nos processos de transporte.

b) Em obras com recurso a materiais provenientes de **reciclagem**, as decisões devem considerar os processos de transformação envolvidos e as distâncias entre os locais de recolha, transformação e aplicação, para perceber se é compensatória a escolha. Os casos de transformação que envolvam a utilização de recursos naturais e/ou que poluam o ambiente durante o processo podem não ser meritosos.

c) Uma forma de evitar os excedentes diretos e indiretos produzidos no local de construção é a utilização de **peças pré-fabricadas**. Estas peças são produzidas em ambiente fabril e permitem uma contabilização rigorosa de material necessário e uma rigorosa quantificação dos vários elementos constituintes que dotam o produto final de uma qualidade superior e uma menor produção de material excedente. As vantagens da construção com elementos pré-fabricados são a sua produção controlada em termos de qualidade e de quantidade do material e o tempo de aplicação, que reduz a produção de RCD direta e indireta. A standardização dos elementos construtivos produzidos em ambiente fabril controlado são benefícios pois possibilitam uma desconstrução e reutilização posteriores das partes. As peças são mais facilmente contabilizadas para reutilização e a qualidade do material pode ser certificada de acordo com características especificas, próprias de produção industrial controlada, dotando o material de maior fiabilidade, com descrição do material que informe, por exemplo, sobre a sua durabilidade.

3) O **consumo de recursos,** que podem ser inerentes à construção, ao fabrico, ao transporte e à aplicação dos materiais, mas também provenientes da utilização do edifício durante o seu tempo de vida devem ser acautelados

desde o planeamento. Recursos como a energia, os recursos minerais, a água e o uso eficiente dos solos estão intrinsecamente relacionados com procedimentos de construção, de produção dos materiais construtivos, quer na sua aplicação no decorrer da obra como na utilização e manutenção do edifício. A utilização de materiais provenientes de reciclagem sustentável ou reutilização de elementos construtivos contribuem para a supressão da necessidade de utilização de recursos naturais virgens utilizados no fabrico de materiais novos. Um desenho de arquitetura baseado em técnicas de energia solar passiva permite a redução da necessidade de gastos energéticos na utilização de aquecimento, arrefecimento e iluminação do espaço interior. Os maiores impactos ambientais em termos energéticos são observados na fase de utilização de um edifício, acima de 90% de gasto total, para um tempo de vida superior a 60 anos[40].

4) Os processos de **desconstrução e demolição** devem ser realizados criteriosamente e a separação dos materiais deve ser acautelada, devido às diferentes características dos materiais e os diferentes efeitos ambientais, processos de reutilização e transformação em que incorrem à posteriori.

   a) O processo de **desconstrução** consiste em retirar os vários elementos e os materiais sem prejuízo dos mesmos. Em obras de restauro, os elementos devem ser mantidos o quanto possível no local, e se não for possível, devem ser retirados, desmontados de forma cuidadosa, para permitir o seu transporte, restauro, armazenamento e reutilização. Nos processos de desconstrução, as peças pré-fabricadas são vantajosas pois simplificam os métodos e evitam danos por separação de elementos agregados. O levantamento dos materiais é importante para catalogar e encontrar futuras finalidades. Testes de capacidade de material, como testes de degradação, capacidade estrutural ou outras devem ser realizados para perceber o potencial e as necessidades dos elementos.

   b) Em obras que pressupõe **demolição**, será necessário compreender e catalogar os elementos a demolir e o seu potencial de reutilização e de reciclagem. Para tal, efetua-se um levantamento prévio dos elementos, materiais e condições em que se encontra o material, para abordar a questão com a estratégia mais adequada. Durante a fase de demolição, os elementos devem ser separados por categorias, seguindo os procedimentos adequados consoante o seu tipo e possível posterior utilização. São colocados em diferentes recipientes ou contentores, seguindo as normas da lista LER. Elementos como o ferro, o aço, a madeira, o material cerâmico, o vidro e algum tipo de plástico, como o PET (entre outros utilizados em menor volume) podem ser reutilizados ou reciclados e reintroduzidos; já os granulados provenientes de resíduos inertes devem constituir componentes na produção do novo betão ou betonilhas.

40 Ana Paula Duarte, Rui Frazão; *Materiais e produtos de Construção, Ciclos de Vida, Ecodesign, Certificação e Inovação,* LNEG-UPCS. (Novembro 2011).

1.3.5- Exemplos de Boas Práticas em Obra



Fig.23 Madeira proveniente de obras de demolição, separadas e preparadas para reutilização.



Fig.24 Telhas proveniente de obras de demolição, separadas para reutilização.



Fig.25 Tijolos provenientes de obras de demolição, separados e preparados para poderem ser reutilizados.

Como forma de evitar a produção de RCD e perceber possíveis processamentos de reciclagem e reutilização, devemos perceber as características de cada material para determinada aplicação[41]:

1. Para a **madeira**: Pode ser reintegrada no próprio edifício, enquanto janelas, portas, vigas de cobertura, ou mesmo enquanto material de apoio, como é o caso da cofragem para betão. A madeira é frequentemente afetada pelo desgaste por abrasão. A reutilização da madeira na construção é possível desde que sejam cumpridos determinados parâmetros como a segurança, através de uma vistoria ao estado de conservação e, se necessário, os elementos serem sujeitos a tratamento adequado para minorar a perda de capacidades enquanto material. Para maior durabilidade dos elementos em madeira, as estruturas devem ser desmontadas cautelosamente para que os elementos constituintes possam ser reutilizados. Caso os elementos de madeira não se encontrem em condições adequadas para proceder à sua reutilização, ainda que com o devido tratamento, o material pode ser empregue em soluções de painéis de madeira colada. Em construções antigas é habitual encontrar elementos em madeira de qualidade que podem ser dotados de carácter estético. A madeira usada tem algumas vantagens em relação à madeira nova, como o facto de ter atingido um excelente nível em termos de humidade e da sua tendência de fissuração ser já visível.

2. As **telhas** são passíveis de reutilizar e reciclar, em cerca de 40% a 60% do valor global, para elementos até 100 a 150 anos. Na Dinamarca, a reciclagem de telhas é praticada desde há muitos anos, havendo registos desta prática que datam de há cerca de 90 anos. A recolha e separação das telhas é um procedimento simples no caso de terem sido utilizadas argamassas sem cimento para fixação, como é o caso da argamassa de cal. Todas as telhas danificadas são separadas para serem britadas.

3. Os **tijolos** têm vindo a ser recuperados por uma empresa na Dinamarca, que desenvolveu uma máquina para tratamento de tijolos usados. Os tijolos são limpos de argamassas (quando contém apenas cal, pois a argamassa de cimento cria juntas muito ligadas, o que dificulta a separação dos tijolos) e armazenados para serem comercializados. Os tijolos partidos são britados para utilização em aterros construtivos. A qualidade dos tijolos recuperados assemelha-se ou até supera a qualidade dos tijolos recentes e o material serve para novas alvenarias. Em edifícios antigos, o aspeto dos tijolos recuperados tem melhor enquadramento. A argamassa retirada pode ser reutilizada como agente ligante suplementar de nova argamassa. Considerando que as argilas utilizadas na produção de tijolos cerâmicos são um recurso limitado nesse país, os processos descritos contribuem para a preservação de um recurso valioso e poupa nos custos de britagem.

41 Klaus Lipsmeier, Marko Gunther; *Manual Europeu de Resíduos da Construção de Edifícios, Vol. III,* Projeto WAMBUCO, Institute for Waste Management and Contaminated Sites Treatment of Dresden University of Technology. (Dresden, 2002), V, 68-81.

4. Os **resíduos cerâmicos** são utilizados em diferentes registos na construção, tanto em revestimento, de paredes e pavimentos, como enquanto elementos estruturais, para paredes e coberturas. Os ladrilhos de revestimento de parede e de pavimento podem ser reciclados, após britagem, em bases de estradas ou acessos no local da própria obra. Teoricamente podem ser britados e reciclados como agregado secundário para produção de argamassas ou betão. No entanto, é necessário considerar a redução de desempenho estrutural que a sua utilização, enquanto agregado, acarreta no betão, o que implica o recurso a uma maior quantidade de cimento para atingir a determinada resistência e durabilidade necessárias.



Fig.26 Resíduos cerâmicos britados para incorporação como agregados secundários na construção de estradas, em argamassas ou em betão.

5. Os **resíduos inertes** fazem com que qualquer solução mais ecológica que não a reciclagem não seja competitiva. A grande quantidade de resíduos inertes produzidos em obras contribui para a acumulação destes resíduos em aterros, ainda que especializados. A assimilação deste material em obras de construção é importante: a britagem pode ser realizada no local, através de britadoras móveis; o denominado "entulho" é reduzido em pequenos pedaços, o que viabiliza a sua reciclagem em obra. A utilização dos resíduos inertes britados na obra local permite reduzir a quantidade de resíduos com necessidade de encaminhamento para aterro, minorando os custos de gestão dos resíduos. A qualidade do produto final depende da eficiência do processo de reciclagem e da qualidade do produto inicial recolhido. Para melhorar a qualidade dos resíduos inertes enquanto recurso para produção de novo material, é importante que a composição do material composto por vários resíduos seja homogénea, o que é difícil de conseguir, mas possível, se existir um sistema bem organizado de gestão de resíduos baseado numa recolha em obra.



Fig.27 Resíduos inertes provenientes de demolição, prontos para serem britados e servirem como agregado secundário na produção de novos materiais.

6. Existem variadas **substâncias líquidas** em obra. As águas de construção são um exemplo, e a sua existência nas obras acarreta um problema. São denominadas águas de construção as misturas muito fluidas compostas por cimento, elementos finos como areia, e água. Estas águas são resultantes de processos de lavagem, como por exemplo, de baldes e de betoneiras. Quando esta água é despejada diretamente no solo, pode migrar através do terreno e poluir águas dos subsolos; quando são depositadas diretamente nas infraestruturas de limpeza podem causar o entupimento das canalizações devido ao elevado grau de matéria em suspensão. Visto que não existem soluções para as águas de construção, a melhor forma para tratar estes resíduos líquidos é através do seu armazenamento em bidões de retenção e tratamento por decantação, em bidões próprios, para que as matérias em suspensão assentam no fundo. A água limpa, após o assentamento das restantes matérias, pode ser reciclada na obra, como para produção de betão fresco, enquanto que os depósitos, designados por lamas, são eliminados como resíduos inertes após secagem. O tratamento deste tipo de águas residuais pode envolver a instalação de um dispositivo com bidão de decantação e tanque de reciclagem de água, ligado à rede de saneamento.



Fig.28 Residência Loblolly, inserida em Taylors Island, Maryland, EUA. Os seus pilares imitam a forma das árvores circundantes. Todas as suas peças são modulares e préfabricadas.

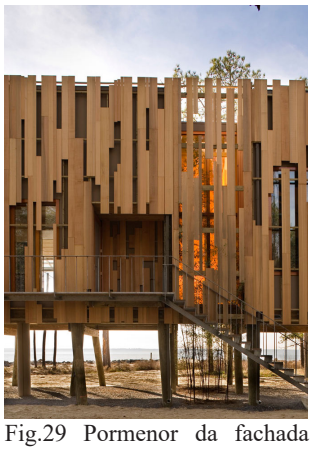


Fig.29 Pormenor da fachada posterior.

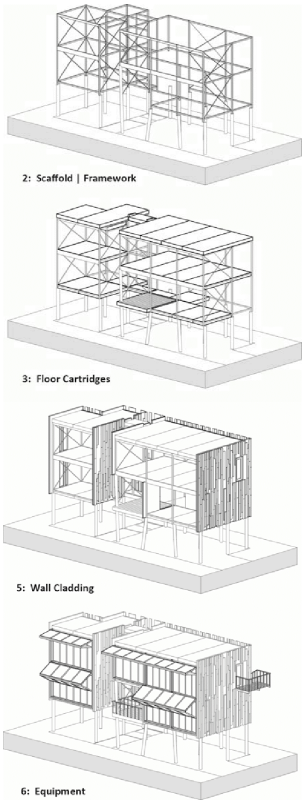








Fig.30 Pormenor de encaixe entre as peças estruturas e os demais elementos construtivos.
Fig.31 Pormenor do sistema estrutural, constituído por peças de alumínio préfabricadas e sistema de união das peças.
Fig.32 Interior da residência: a sala de estar.



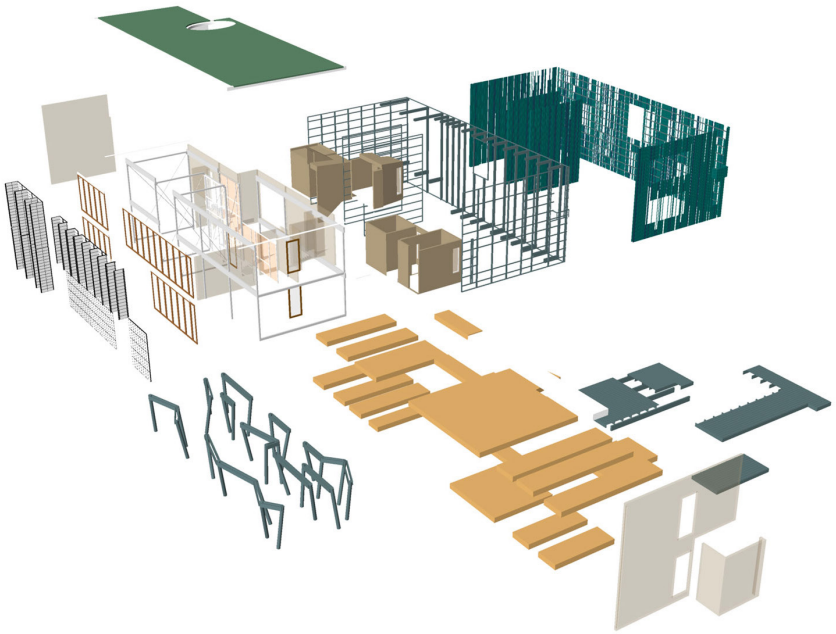


Fig.33 Em cima, separação para análise dos vários elementos constituintes da residência. Podemos perceber as diferentes materializações utilizadas através da atribuição das diferentes cores utilizadas.
Fig.34 Á direita, desenvolvimento da construção da residência, com as diferentes fases: a estrutura, as superfícies horizontais apoiadas na estrutura, as superfícies verticais de parede e outros elementos como a madeira de acabamento exterior. Por fim, as caixilharias, os elementos de sombreamento e os vãos de apoio exteriores.

1.4- Redução, Reutilização e Reciclagem de RCD: Exemplos de Projetos

A melhor forma de demonstrar e eficácia dos processos passa por analisar exemplos com resultado positivo pela diminuição de produção de RCD.

1.4.1- Kieran & Timberlake, Loblolly House, Maryland, EUA, 2006

- Planeamento prévio e pré-fabrico de elementos

Kieran & Timberlake é uma empresa fundada em 1984, em Filadélfia, que, além do trabalho de projeto de arquitetura, transforma os seus trabalhos em locais de teste, na procura de alternativas ecológicas baseadas no design e na ciência que permitam prosperar no avanço de soluções construtivas ambientalmente sustentáveis[42].

Como exemplo de planeamento prévio e prevenção de produção de RCD, consideramos o exemplo dos elementos pré-fabricados aplicados na obra de Loblolly House, em Taylors Island, Maryland, EUA. Nesse projeto de residência privada, elaborado no ano 2006, os elementos construtivos pré-fabricados permitiram uma construção rápida e com recurso a ferramentas simples, visto que 70% do esforço de construção foi elaborado pela indústria. O projeto foi reconhecido pelos Award and International Architecture Award e EPA Lifecycle Building Challenge[43], segundo os quais esta habitação é considerada uma nova abordagem aos conceitos de edifícios de habitação pré-fabricados e modulares. Apresenta elementos detalhados para montagem no local, futura desmontagem e reutilização em novas construções. A análise da pegada de carbono e energia incorporada inclui um cenário de projeto para remontagem, mostrando o potencial de um projeto com intenção de aproveitamento de resíduos próximo a 100%[44].

A residência localiza-se numa área de bosque. Os pilares inclinados sobre as fundações tentam dar continuidade à envolvente. A estrutura do edifício é formada por elementos em alumínio, sobre a qual o processo de montagem dos elementos pré-fabricados foi conseguido em seis semanas. Os elementos pré-fabricados compõe as lajes, os painéis de parede exteriores, as janelas e as telas de madeira de cedro vermelho ocidental. Os sistemas de aquecimento radiante, água quente e fria, águas residuais, ventilação e eletricidade foram integrados nos painéis de pisos e tetos. A intenção deste projeto é apontar um processo de design e construção com ética ambiental que traga ao habitar o mundo natural ao qual deve pertencer[45].

42 https://kierantimberlake.com/, acedido a 17.06.2018.
43 https://kierantimberlake.com/pages/view/20, acedido a 17.06.2018.
44 Ibidem
45 Ibidem



Fig.35 Fachada principal da Villa Wellpeloo, em Roterdão, Holanda. Recurso a materiais de proximidade, através de uma técnica de mapeamento de recursos.



Fig.36 Villa Wellpeloo, fachada posterior. O revestimento em madeira provém da reciclagem de bobinas antigas de uma empresa local. As caixilharias não são elementos recuperados.



Fig.37 Visualização do espaço interior.



Fig.38 Mobiliário construído a partir de painéis publicitários.



Fig.39 Pormenor de gavetas elaboradas com recurso a painéis publicitários. As iluminárias foram elaboradas pela reciclagem de estruturas de guarda chuvas inutilizados.

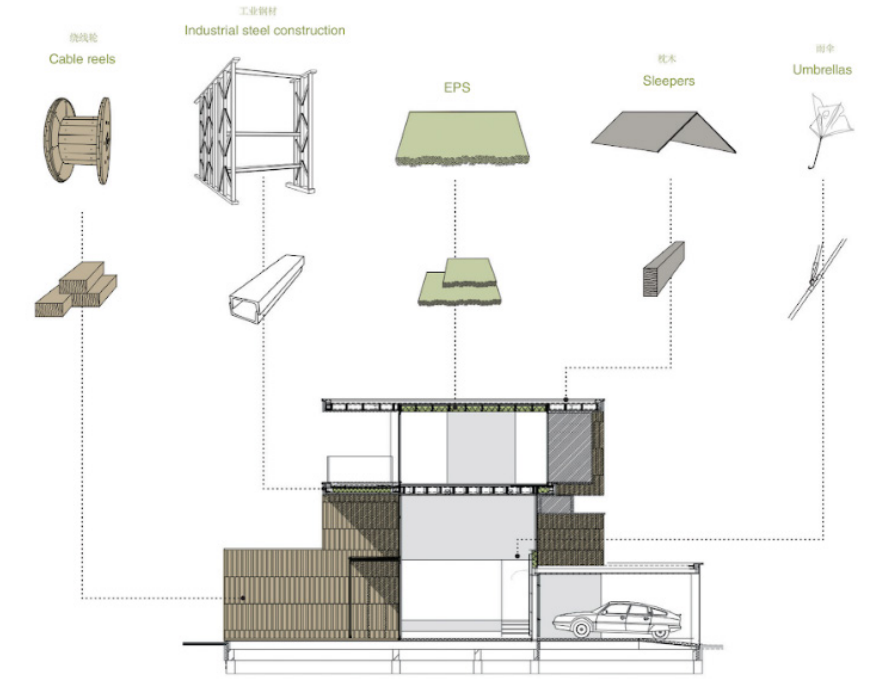


Fig.40 Painel de apresentação da proposta residêncial e sistema construtivo inerente. Solução para os materiais encontrados na envolvente e as finalidades praticáveis. O levantamento do material disponível nas proximidades do local de construção e o planeamento prévio foram fundamentais: o aço encontrado como condicionante estrutural; o isolamento determinado pelas peças disponíveis; o revestimento projetado de acordo com a forma da madeira das bobinas; e as iluminárias planeadas de acordo com as estruturas dos guardas-chuvas.



Fig.41 Mapeamento e localização dos materiais disponíveis encontrados para a Villa Welpeloo, dentro de uma determinada área circundante ao local de construção. Este sistema foi desenvolvido pela SuperUse Studios e levou à criação, em 2012, de uma plataforma on-line denominada de SuperUse / HarvestMap (Oogstkaart em holandês). Consiste num mercado on-line para materiais usados e sobras que permite a criação de um inventário mapeado, no qual os projetisitas podem encontrar, nas proximidades dos locais de construção, materiais disponíveis para englobar nos projetos.

1.4.2- SuperUse Studios, Villa Welpeloo, Roterdão, Holanda, 2012

- Reutilização de materiais por estratégias de proximidade

A 2012Architecten (atualmente Superuse Studio) foi fundada em 1997 pelos arquitetos Césare Peeren e Jan Jongert e dedica-se ao design sustentável. A empresa é reconhecida nacional e internacionalmente pela sua abordagem de design inovador, bem como por fornecer métodos e ferramentas de "fonte aberta" para a comunidade de design. O objetivo da empresa é fazer uso efetivo de recursos e da energia frequentemente desperdiçados[46].

"*O estado do nosso mundo pode ser tipificado como um sistema desintegrado. Na atual "velha" sociedade a maioria dos processos estão claramente separados. Dada a aparente abundância de recursos, esta fórmula funcionou "eficazmente" durante cerca de 100 anos. Mas, como sabemos, a realidade é que estamos a chegar ao fim desses recursos, devido à natureza ineficiente dos processos que desenvolvemos, desperdiçam-se muita energia e recursos*."[47]

Os diferentes espaços da Villa são formados por plataformas que se estendem lateralmente, provenientes de um elemento estrutural central. Além de algumas paredes interiores e vidros isolados, a moradia é feita de material reutilizado. Durante a fase de projeto de 2012, os arquitetos exploraram a região circundante em busca de resíduos com possibilidades de reutilização para minorar os custos ambientais consequentes das distâncias de transporte. As descobertas de possíveis materiais a inserir na obra foram registadas num mapa de hipóteses e resultaram em novos e constantes impulsos para o projeto. Dos resultados dessa estratégia surgem: a fachada feita de madeira de bobinas antigas recolhidas numa empresa local, da qual as pranchas redondas são aparafusadas diretamente na fachada; o isolamento, para o qual a equipa fez uso de sobras da indústria de caravanas; a estrutura principal, que consiste em perfis de aço provenientes de uma enorme máquina têxtil inutilizada, encontrada numa empresa em Enschede. Em relação a outros elementos, os móveis foram desenvolvidos com recurso a sinais publicitários de edifícios próximos e as iluminárias foram desenvolvidas com recurso a estruturas de guarda-chuva inutilizados.

Pesquisas para novas formas e métodos de construção que se revelaram inovadores foram necessários para incorporar os materiais encontrados. No total, 60% dos materiais utilizados na obra são reciclados ou reutilizados. A estratégia permitiu uma redução das emissões de CO2, incluindo as emissões produzidas no transporte e no processamento. Além disso e segundo os autores do projeto, a estratégia permitiu uma redução de custo de 85% em relação ao novo revestimento de madeira simples e uma redução de custo de 95% em relação à mesma construção com aço novo[48].

46 http://superuse-studios.com/, acedido a 19.06.2018.

47 PEEREN, Césare, entrevista "Arquitecto, co-fundador 2012 Architecten, co-autor Superuse e Recyclicity". *arqa—Arquitectura e Arte Contemporâneas — Portuguese Contemporary Architecture and Art Magazine*, edição 124, (Março 2010).

48 http://super-use-studios.com e http://archiweb.cz/en/b/villa-welpello, acedido a 17.06.2018.





Fig.42 (em cima) Lower Lea Valley, vista aérea do local de construção do Parque olímpico Rainha Elizabeth antes do início da construção.
Fig.43 (em baixo) Pormenor de um dos locais em Lower Lea Valley.



Fig.44 Visão aérea do Parque Olímpico Rainha Elizabeth, construido para os Jogos Olímpicos e Paraolímpicos de 2012, no nordeste de Londres, Reino Unido. Neste parque estão localizados o Centro Aquático de Londres, a Arena de Polo Aquático e o Estádio Olímpico de Londres.



Fig.45 Processo de construção, em 2009. Para a inserção de RCD na obra, foram realizadas o máximo de ações possíveis no local para minorar o impacto ambiental dos transportes de material extraído e material a inserir na obra.



Fig.46 O projeto engloba a inserção de áreas verdes com vegetação diversa, para permitir aos habitantes e visitantes o usufruto de espaços de estar, de ciclovias, e de percursos pedonais.

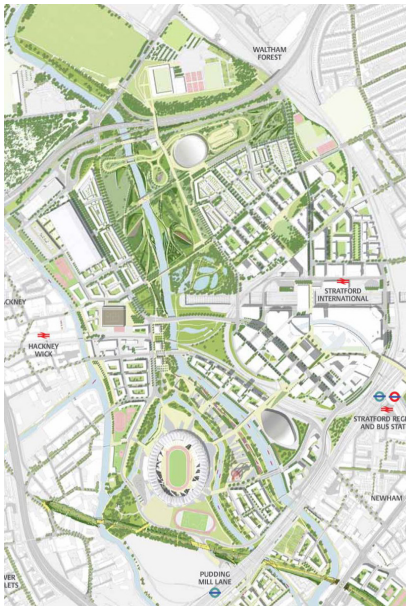




Fig.48 Visão aérea do plano de urbanização previsto para 2030.

Fig.47 Para 2030, as intenções da London Legacy Development Corporation passam pela construção e ocupação de edifícios habitacionais construídos com recurso a materiais sustentáveis, com telhados verdes, sistemas de aproveitamento da água das chuvas e regramento da sua utilização. Os acessos aos diferentes espaços poderão ser feitos por transporte aquático, sem esquecer os percursos pedonais e as ciclovias. A proposta refere ainda a utilização de automóveis elétricos.

1.4.3- Olympic Park Queen Elizabeth, Londres, Inglaterra, 2012

- Reciclagem e reutilização de RCD locais

A construção do recinto para os Jogos Olímpicos e Paralímpicos de Londres, em 2012, foi baseada na teoria desenvolvida Zero Waste Concept - One Planet Living: uma filosofia que incentiva o redesenho dos ciclos de vida dos recursos através da reutilização de todos os produtos. Desencoraja o uso de aterro ou incineração e procura eliminar o conceito de desperdício[49]. Seguindo as normas do *Designing Out Waste*[50], as metas estipuladas foram ultrapassadas.

Para o projeto localizado em Lower Lea Valley, Stratford, com uma dimensão de 2,5 km2, o recinto serviu como elemento catalisador de regeneração da zona circundante. A construção foi delineada prevendo a inserção de vários elementos pré-existentes e de resíduos locais. O desenho dos edifícios e dos diversos espaços teve em consideração o seu posterior desmantelamento. Todo o projeto e conceção seguiram os seguintes princípios estabelecidos:

- Desenho considerando processos de reutilização e de reciclagem de materiais e elementos;
- Utilização de elementos pré-fabricados que permitissem menos resíduos e maior qualidade;
- Otimização dos materiais através da simplificação no desenho e por standardização, para resultar numa menor necessidade de material e menor produção de resíduos;
- Eficiência nos processos construtivos por parte dos construtores, atingindo as especificações do desenho e metodologia de construção;
- Desenho para flexibilidade dos elementos e preparação para desconstrução posterior[51].

Os resultados foram bastante notáveis no desenvolvimento de técnicas de redução e prevenção de RCD:

- 98.5% dos materiais provenientes das demolições foram reutilizados ou reciclados, ultrapassando a margem dos 90% estipulada. A maioria destes RCD, sendo agregados inertes, foram processados no local.
- Elementos como vãos e tijolos foram reutilizados.
- Os solos contaminados foram limpos no local e repostos, através de processos como biorremediação, lavagem de solos ou estabilização geotécnica com recurso a processos químicos.
- Em relação às estratégias de abordagem e métodos construtivos, conseguiram reduzir em 98% os custos ambientais expectáveis. O movimento dos veículos resultantes do tratamento dos resíduos foi diminuído em 90% devido ao tratamento desses RCD no local[52].

49 *London 2012 Zero Waste Games Vision*, disponível em http://learninglegacy.independent.gov.uk/publications/london-2012-zero-waste-games-vision.php, pag. 7.

50 Wrap, *Designing Out Waste: a Design Team Guide for civil Engeneering, Part I*, Institucion of Civil Engineers.

51 London Organising Commitee of The Olympic Games and Paralympic Games Limited 2007-2012, *Learning Legacy, Designing out waste on the Olympic Park.* (Londres, Dezembro 2012), 7.

52 Deloitte S.A., *Resource Efficient Use Of Mixed WAstes, Case Study: Construction Works in the Preparation Of The Olympics Games in London 2012.* (2014)

Capítulo II - Resíduos Decorrentes do Consumo Doméstico de Bens

2.1- As Cidades e os RSU (Resíduos Sólidos Urbanos)

2.1.1- Cidades, Consumo Global e RSU

2.1.2- Composição dos RSU

2.1.3- Relação entre os RSU e a Construção de Bairros de Lata

2.2- Material Plástico Enquanto Resíduo

2.2.1- Surgimento do Material Plástico Sintético

2.2.2- Diversidade dos Materiais Plásticos

2.2.3- Consequências Ambientais dos Resíduos Plásticos

2.3- Material Plástico como Recurso Construtivo

2.3.1- Garrafa-tijolo Associada à Construção de Baixo Custo

2.3.2- RePlast, o Bloco de Plástico. Por ByFusion, EUA

2.3.3- BloquePlas Building System. Por Conceptos Plásticos, Colômbia

2.3.4- Edifício EcoArk. Por Miniwiz, Tailândia, 2010

2.4- O Caso Específico do Pneu Enquanto Resíduo

2.4.1- Contextualização: A História do Pneu

2.4.2- Consequências Ambientais dos Pneus em Fim de Vida

2.4.3- Tratamento de Pneus Usados na União Europeia

2.5- Reutilização do Pneu Como Recurso Construtivo

2.5.1- Borracha de Pneu como Revestimento

2.5.2- Muros de Contenção Elaborados com Recurso a Pneus

2.5.3- Caracterização da Parede-Pneu

2.1- As Cidades e os RSU (Resíduos Sólidos Urbanos)

"*À nossa volta, existe hoje uma espécie de evidência fantástica do consumo e da abundância, criada pela multiplicação dos objetos, dos serviços, dos bens materiais, originando como que uma categoria de mutação fundamental da ecologia da espécie humana. Para falar com propriedade, os homens da opulência não se encontram rodeados, como sempre acontecera, por outros homens, mas mais por objetos. (...) como a criança lobo se torna lobo à força de com eles viver, também nós, pouco a pouco, nos tornamos funcionais. Vivemos o tempo dos objetos: quero dizer que existimos segundo o seu ritmo e em conformidade com a sua sucessão permanente. Atualmente, somos nós que os vemos nascer, produzir-se e morrer, ao passo que em todas as civilizações anteriores eram os objetos, instrumentos ou monumentos perenes, que sobreviviam às gerações humanas*"[1].

2.1.1- Cidades, Consumo Global e RSU

As cidades ocupam um papel central na economia global. 54% da população mundial vive em áreas urbanas, e as cidades representam 85% da geração do PIB global. Representam, 75% do consumo de recursos naturais, 50% da produção de resíduos e 60% a 80% de emissões de gases com efeito de estufa[2].

Em 2012, as cidades produziram um total de 1,3 biliões de toneladas de resíduos sólidos, e a tendência é de aumento desse volume, para cerca de 2,2 bilhões em 2025. Prevê-se ainda que o volume de resíduo sólidos urbanos mais que duplique nos próximos vinte anos, nos países em desenvolvimento[3].

A gestão de resíduos sólidos, é feita pelos municípios, sendo este o serviço mais importante que uma cidade pode oferecer. Uma cidade que não consegue gerir eficazmente os seus resíduos, provavelmente terá dificuldade em gerir serviços mais complexos, como a saúde, a educação ou os transportes. Os resíduos mal geridos têm um forte impacto no ambiente local e a nível global, em áreas como a saúde e a economia. Além disso, o lixo gerido indevidamente resulta em custos posteriores mais elevados do que os custos de uma gestão inicial adequada. A natureza dos RSU implica consequências como as emissões de gases efeito de estufa, o metano proveniente da fração orgânica, e outras consequências resultantes de ligações cada vez mais globais do seu transporte, práticas urbanas e indústria de reciclagem. As taxas de crescimento mais acentuado de produção de RSU são verificadas em países como a China, outros países da Ásia Oriental, partes da Europa de Leste, e o Médio Oriente[4].



Fig. 1: Depósito de resíduos sólidos urbanos em "lixeira a céu aberto". Estes locais causam grande impacto no meio ambiente e na saúde humana, com maior incidência nos países em desenvolvimento.

1 Jean Baudrillard; *La société de Consommation.* (Lisboa: Edições 70, 1970), 15-16.
2 Ellen Macarthur Foundation; *Cities in Circular Economy: an Initial Exploration*. (2017), 4.
3 Rachael Kyte; Introdução em *What a Waste, A Global Review of Solid Waste Management.* (Washington: The World Bank, 2012).
4 Daniel Hoornweg; Perinaz Bhada-Tata; *What a Waste, A Global Review of Solid Waste Management.* (Washington: The World Bank, 2012), 10.

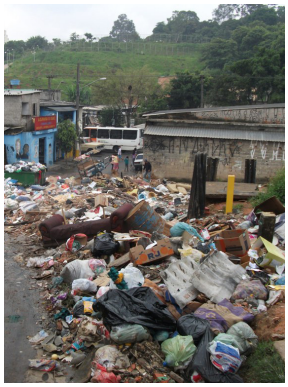


Fig. 2: A situação de acumulação de resíduos tem maior impacto nos países de baixo rendimento. Muitas vezes, o volume de recolha do lixo não alcança sequer a metade da quantidade produzida, segundo dados da ONU.

Os resíduos sólidos não recolhidos são a principal causa de inundações locais e de poluição do ar e da água. São considerados uma questão urbana visto que as taxas de geração de resíduos nessas áreas são superiores às taxas em zonas rurais, onde os residentes detêm normalmente menor poder económico, compram menos itens nos mercados convencionais (menos embalagens) e atingem níveis mais elevados de reutilização e reciclagem. Até 2050, o número de habitantes em cidades pode ser equivalente ao número de habitantes da população mundial em 2000.

O sistema económico global baseado no modelo linear de consumo amplifica os desafios emergentes quando relacionado com a escala das grandes áreas metropolitanas. Uma crescente população global, em grande parte concentrada nas cidades e a crescente classe média urbana, levam a um aumento de procura e de pressão sobre as infraestruturas urbanas e os recursos governamentais devido ao aumento do consumo de recursos. Com a falta de uma abordagem holística à gestão urbana, as perdas económicas são o resultado da estrutura de resíduos e impactos ambientais negativos[5]. Mas a produção de resíduos sólidos e de outros tipos de poluição não pode ser atribuída apenas ao descarte dos produtos e posterior tratamento. São também agentes altamente poluidores alguns procedimentos no fabrico de novos materiais provenientes da produção industrial. A pesquisa por soluções para travar as práticas prejudiciais ao meio ambiente passa por todos os habitantes do planeta: o indivíduo, a família, a comunidade, as empresas e os governos locais, nacionais e mundiais.

A responsabilidade pela geração e eliminação de resíduos pode ser atribuída, numa fase inicial, a entidades de produção de bens, desde o design de produto enquanto prevenção e a separação de resíduos. A colaboração entre todas as entidades envolvidas na produção e os consumidores é fundamental. Prevê-se que surja uma maior ênfase na "mineração urbana"[6], pois as zonas urbanas são a maior fonte de materiais como o metal e o papel[7].

2.1.2- Composição dos RSU

Dentro dos diversos materiais que compõe os RSU, encontramos matérias orgânicas e inorgânicas. Dentro das matérias inorgânicas, existe ainda uma panóplia de materiais com diferentes composições, graus de reciclabilidade, níveis de poluição inerente e valor económico pelo reaproveitamento.

A composição dos resíduos é influenciada por diversos fatores: o nível de desenvolvimento económico, as normas culturais, a localização geográfica, as fontes de energia e o clima. À medida que um país se urbaniza e a população enriquece, a tendência é de aumento de consumo de materias inorgânicas e diminuição da fração orgânica. Geralmente, os países de baixo e médio

5 Ellen Macarthur Foundation; *Cities in Circular Economy: an Initial Exploration*. (2017), 3.

6 "Mineração Urbana" é o conceito de obtenção de matérias primas em áreas urbanas para proceder à sua reutilização e reciclagem, com vista a minorar a dificuldade de obtenção de matérias primas virgens.

7 Ellen Macarthur Foundation; *Cities in Circular Economy: an Initial Exploration*. (2017), 3.

rendimento têm uma alta percentagem de matéria orgânica no fluxo de resíduos urbanos, variando de 40 a 85% do total. As frações de papel, plástico, vidro e metal aumentam no fluxo de resíduos dos países de rendimento médio e alto[8].

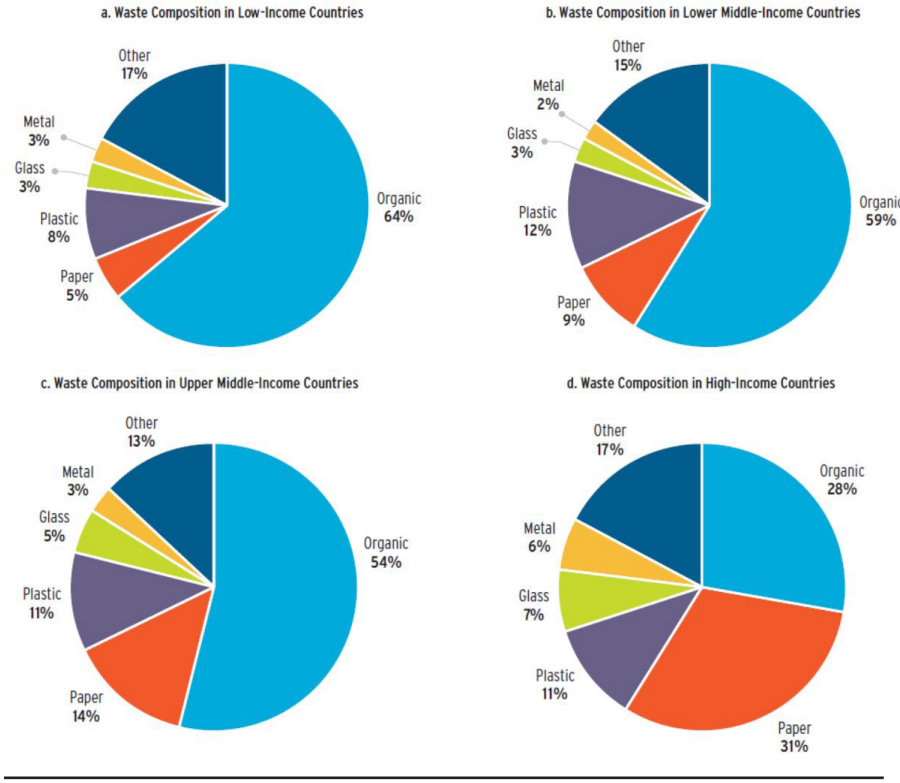


Gráfico 1: Diferenças na composição dos resíduos produzidos pelos países, consoante o seu nível de rendimento e desenvolvimento.

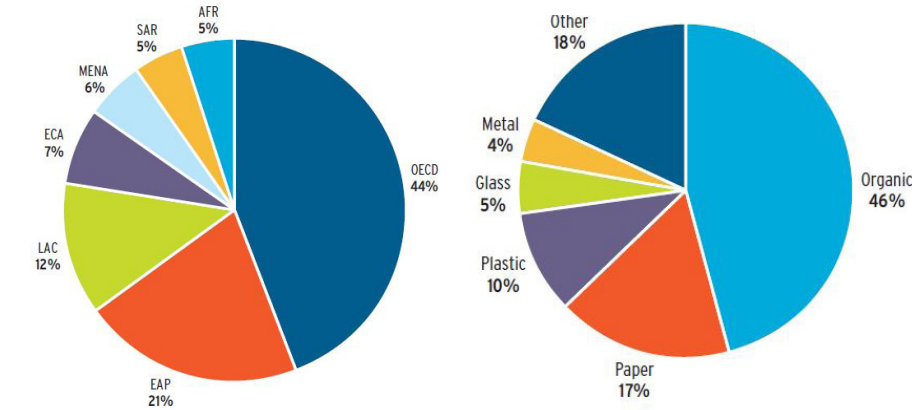


Gráfico 2: À esquerda, volume de resíduos urbanos produzidos por área de referência a nível global.
Gráfico 3: À direita, composição dos elementos constituintes dos resíduos produzidos ao nível global.

Os materiais orgânicos, como a própria designação indica, são biodegradáveis, pelo que podem ser reinseridos na natureza, de forma apropriada, para se degradarem eficazmente, podendo mesmo ser benéficos para a terra. São os resíduos provenientes de elementos vegetais e animais, que se decompõe. O papel é um material biodegradável, mas a sua composição pode conter substâncias químicas prejudiciais e a sua reciclagem provavelmente é mais vantajosa que o depósito para degradação. A reciclagem tem como objetivo conseguir a diminuição de necessidade de recursos naturais virgens no fabrico de novos materiais.

8 Daniel Hoornweg; Perinaz Bhada-Tata; *What a Waste, A Global Review of Solid Waste Management.* (Washington: The World Bank, 2012), 17.



Fig. 3: Catadores de lixo, em Jakarta, Indonésia. A recolha pode significar rendimento extra pela separação de resíduos.



Fig. 4: Catadores do lixo, no Lixão da Estrutural, Brasília, considerada a maior lixeira da América Latina. O local foi encerrado em 2018.



Fig. 5: Bairro de lata Ezbet Al Nakhl, no Cairo, Egito. Neste bairro o lixo é classificado manualmente, sendo a sua colheita e separação uma economia informal local.

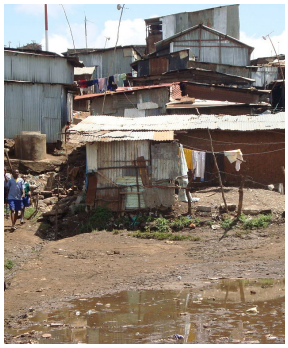


Fig. 6: Bairro de Mathare, Nairobi, Quénia. Estima-se que existam, apenas em Nairóbi, cerca de 300 assentamentos deste género, com uma população de 1,75 milhões de habitantes (cerca de 50% da população da cidade), com tendência ascendente.

Entre os materiais inorgânicos, temos as seguintes categorias: os metais, o vidro e os plásticos. Os metais, pelo seu valor comercial e pela dificuldade de extração de matéria virgem, são facilmente recicláveis e dos materiais mais colhidos. O vidro é 100% reciclável, apesar de nem sempre ser separado. Os polímeros, pela diversidade que detêm a designação, podem ser recicláveis ou não, e o seu baixo valor comercial agrava a situação de não separação. A consequência é o problema ambiental proveniente da sua acumulação.

Existem entidades que, pela sua consciência ecológica, recorrem à reciclagem de resíduos. Parte desses processos revelam desvantagens económicas e o próprio processamento dos resíduos pode ser ambientalmente prejudicial. Algumas comunidades pobres dedicam-se à recolha de materiais depositados em aterro como o papel, os plásticos, o vidro e os metais, que utilizam ou vendem, para conseguirem algum rendimento económico complementar.

2.1.3- Relação entre os RSU e a Construção de Bairros de Lata

"*Num mundo de constante mudança e urbanização, a provisão do habitar adequado e acessível mantém-se uma prioridade máxima para todas as nações. Contudo, o conceito de habitar requer uma nova perceção que permita abordar, de forma eficaz e sinérgica, as questões prementes para a prevenção dos bairros de lata, da divisão urbana, económica e humana, do desenvolvimento e das mudanças climáticas*[9]".

O interesse da abordagem aos bairros de lata incide na relação existente entre o facto de as populações economicamente mais carenciadas sofrerem com a falta de recursos económicos para adquirir materiais convencionais e pelo facto de essas comunidades conviverem, por vezes lado a lado, com os resíduos descartados por si e pela restante sociedade. A reciclagem de resíduos deve-se, em parte, a estas comunidades que os utilizam para reutilização, para venda ou ainda para processos de combustão. Os bairros de lata são um exemplo de recurso a resíduos urbanos para a construção de abrigos para as famílias. Recorrem à autoconstrução de cariz ilegal e precária. Os recursos económicos destas famílias, sendo insuficientes ou inexistentes, impelem-nas a recorrer a resíduos para construir habitações que se resumem a processos elementares, frágeis e sem acesso a infraestruturas básicas. São um exemplo amplo, na sua dimensão populacional, de transformação dos resíduos em recursos.

Uma em cada oito pessoas vive em "bairros de lata" - "*aglomerado de construções onde os habitantes sofrem um ou mais das seguintes privações domésticas: falta de acesso a fonte de água própria para consumo, falta de acesso a instalações sanitárias preparadas, falta de área suficiente, faltas de durabilidade e de segurança da habitação edificada*"[10].

9 UN-HABITAT, *Sustainable Housing for Sustainable Cities, A Policy Framework for Developing Countries.* (Nairobi: UN-HABITAT, 2012), 1. Tradução própria

10 Definição de UN-Habitat para *slum household,* determinada pelo Expert Group Meeting em 2002. UN-Habitat: the United Nations Statistic Division and the Cities Alliance.

No total, cerca de mil milhões de pessoas vivem hoje em condições degradantes, uma realidade contemporânea que continua a aumentar. Apesar do progresso derivado das iniciativas governamentais para acabar com o flagelo – que proporcionou uma diminuição de 39% para 30% da população urbana que vive bairros de lata em países em desenvolvimento entre 2000 e 2014 - os números absolutos continuam a crescer[11].

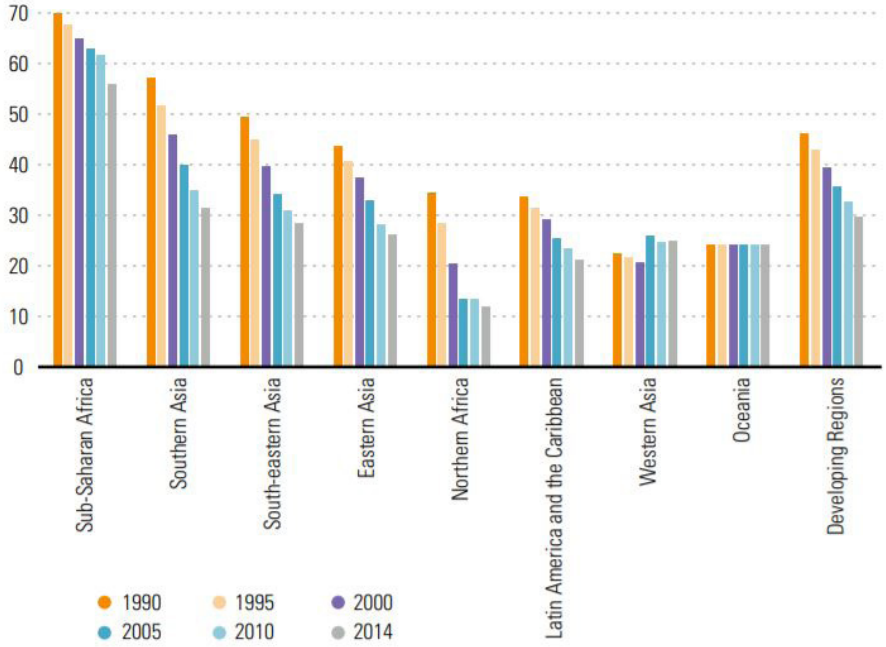


Gráfico 4: Percentagem de população que habita em bairros de lata. Comparação entre os anos de 1990 e 2014.

"*Existe uma relação entre o crescimento da informalidade dos assentamentos em bairros de lata e a falta de moradia adequada e terra para servir aos mais pobres. Embora o investimento do setor privado em habitação tenha sido estável ao longo dos anos, esse investimento não se traduziu em habitação a preços acessíveis e a favor dos pobres*"[12].

A questão dos bairros de lata deve abranger todas as dimensões relacionadas com o problema: urbanismo, condições sociais, acessibilidade, espaços públicos, acesso à saúde, educação, etc. Dentro do tema da presente dissertação, o foco são os materiais utilizados, que permitam melhorar as condições habitacionais destas comunidades a baixo ou nenhum custo monetário. Existem dois tipos de iniciativas de apoio a estas comunidades: iniciativas que passam pelo apoio dos governos, através de investimento para obtenção de materiais convencionais para a autoconstrução das comunidades mais pobres, e em iniciativas que passam pela utilização e tratamento dos RSU descartados como materiais de construção de baixo custo.[13] É sobre as iniciativas abrangidas na última estratégia referida que incide o estudo sobre a utilização dos RSU na construção.

11 United Nations, *The Millennium Development Goals Report.* (Nova Iorque: UN-Habitat, 2015).
12 UN-Habitat, *Slum ALmanac, 2015/2016, Tracking Improvement in the Lives of Slum Dwellers.* (Nairobi: UN-Habitat, 2014), 9.
13 Ibidem, 16-17.

2.2- Material Plástico Enquanto Resíduo

De acordo com as estatísticas disponibilizadas pela Fundação Ellen MacArthur[14], prevê-se que em 2050 haja mais plástico nos nossos oceanos do que peixes. Os 4 a 12 milhões de toneladas de plástico que são expelidos nas águas dos oceanos, todos os anos, são um problema que necessita ser travado e solucionado.



Fig. 7: Exemplo de polímero natural: o latex, extraído da resina das árvores.



Fig. 8: Celulose, proveniente da glicose, um dos principais constituintes das paredes das plantas.





Fig. 9: O snoker foi o mote para a substituição do marfim pela celuloide, que também foi utilizada noutros produtos, como a película cinematográfica.
Fig. 10: Alguns produtos de celuloide.

2.2.1- Surgimento do Material Plástico Sintético

A palavra "plástico" tem como significado "maleável e facilmente moldável". Mais recentemente tornou-se uma designação para os materiais polímeros. A palavra "polímero" significa "de muitas partes" e os materiais polímeros são constituídos por longas cadeias de moléculas. O contacto do Homem com os polímeros provém da Antiguidade, com a utilização de resinas e gorduras extraídas e/ou refinadas, ou seja, polímeros naturais, utilizados por egípcios e romanos para carimbar, colar documentos e vedar vasilhames. Estes polímeros naturais surgem sob forma de borracha natural, lã, algodão, celulose, entre outros. Ao longo do último século e meio, os humanos aprenderam a fazer polímeros sintéticos. Por vezes com substâncias naturais como a celulose, mas mais frequentemente utilizando os abundantes átomos de carbono fornecidos pelo petróleo e outros combustíveis fósseis. Esses são polímeros sintéticos, compostos de longas cadeias de átomos, dispostas em unidades de repetição, muitas vezes muito mais longas do que as encontradas na natureza. É o comprimento dessas cadeias e os padrões em que são organizados, que tornam os polímeros fortes, leves e flexíveis. Em outras palavras, é o que os torna tão plásticos. Essas propriedades tornam os polímeros sintéticos excecionalmente úteis e, como aprendemos a criá-los e manipulá-los, os polímeros parecem ocupar uma posição essencial na nossa vida. Com especial incidência nos últimos 50 anos, o recurso ao material plástico tornou-se global e mudou a maneira como vivemos[15].

O primeiro polímero sintético foi criado em 1869 por John Wesley Hyatt, como substituto para o marfim. Ao tratar a celulose, derivada da fibra de algodão, Hyatt descobriu um material plástico que podia ser trabalhado em várias formas, o que permitia imitar substâncias naturais como a carapaça da tartaruga, o chifre, o linho e o marfim. A este material foi atribuído o nome de celuloide. Pela primeira vez, a fabricação humana não foi restringida pelos limites da natureza. Assim se deu início à revolução dos plásticos[16].

14 A Ellen MacArthur Foundation foi estabelecida em 2010, no Reino Unido, com a missão de acelerar a transição rumo a uma economia circular. É uma das fundações globais líderes do pensamento sustentável, inserindo a economia circular na agenda de entidades de decisão como empresas, governos e escolas.

15 Deborah Cook; *The History and Future of Plastics.* (2010), 1.

16 Ibidem, 2.

Em 1907, Leo Baekeland inventou a baquelite, o primeiro plástico totalmente sintético, o que significa que não continha moléculas encontradas na natureza. A baquelite foi desenvolvida como material isolante: era durável, resistente ao calor e, ao contrário do celuloide, ideal para a produção em massa mecânica. Comercializado como "o material de mil usos", a baquelite poderia ser moldada em quase tudo, proporcionando infinitas possibilidades. Os sucessos da Hyatt e Baekeland levaram ao investimento na pesquisa e no desenvolvimento de novos polímeros, que repidamente se uniram ao celuloide e à baquelite. A Segunda Guerra Mundial fez emergir uma grande expansão da indústria de plásticos nos Estados Unidos, já que a necessidade de preservar os recursos naturais escassos se tornou prioritária e desenvolveu-se a produção de alternativas sintéticas. O Nylon, inventado por Wallace Carothers em 1935 como uma seda sintética, foi usado durante a guerra para paraquedas, cordas, coletes, forros de capacete e muito mais. Plexiglas forneceu uma alternativa ao vidro para janelas de aeronaves. Um artigo da revista Time observou que, por causa da guerra, "*os plásticos foram transformados em novos usos e a capacidade de adaptação dos plásticos foi demonstrada novamente*"[17]. Durante a Segunda Guerra Mundial, a produção de plástico nos Estados Unidos aumentou em 300%[18].



Fig. 11: Telefone que data de 1955, construído em baquelite.

O aumento da produção de plástico continuou após o fim da guerra. Depois da Grande Depressão e da Segunda Guerra Mundial, muito do material comprado foi feito de plástico, principalmente nos EUA e na Europa. Segundo a autora Susan Freinkel, "*em produto após produto, mercado após mercado, os plásticos desafiavam os materiais tradicionais e ganhavam, tomando o lugar do aço em carros, papel e vidro em embalagens e madeira em móveis*"[19]. As possibilidades dos plásticos permitiram à população alcançar uma visão quase utópica de um futuro com riqueza material abundante, graças a uma substância sanitária barata, segura e que permitia uma modelação a todas as formas pretendidas.

Contudo, o otimismo acerca dos plásticos não durou muito tempo. Nos anos do pós-guerra houve uma mudança na perceção da realidade acerca da utilização dos plásticos. Os detritos que se acumulavam nos oceanos foram observados pela primeira vez na década de 1960, uma década em que se evidencia uma consciência crescente dos problemas ambientais, no encalce do surgimento da Consciência Ecológica, datada na década de 70. Como a conscientização da problemática ambiental se espalhou globalmente, a persistência dos resíduos plásticos começou a tornar-se incómoda. A reputação do plástico caiu nas décadas de 1970 e 1980, à medida que aumentava o debate sobre o desperdício. O plástico tornou-se um alvo especial porque, enquanto descartável, a sua composição reflete-se numa biodegradação que pode levar mais de 500 anos e sua disposição final é muitas vezes desadequada, principalmente sobre os plásticos compostos por camadas. Os prejuízos ambientais continuam a ser indefinidos e alvo de estudos atualmente.

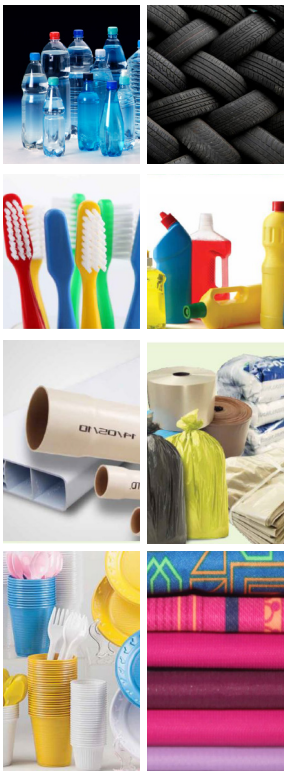


Fig. 12: Exemplos de alguns produtos feitos a partir de polímeros sintéticos.

17 Joseph L. Nicholson; George R. Leighton, "Plastics Come of Age", *Harper's Magazine.* (Nova Iorque, Harper & Brothers, 1942), 306.

18 Deborah Cook; *The History and Future of Plastics.* (2010), 3.

19 Susan Freinkel, *Plastics: A Toxic Love Story* (Boston: Houghton Mifflin Harcourt, 2011), 4.



Fig. 13: Ilhas de lixo plástico acumulado nos oceanos. A ilha de maior dimensão encontra-se localizada no Oceano Pacífico, apelidada de Great Pacific Garbage Patch, mas existem exemplos semelhantes noutros pontos do planeta.

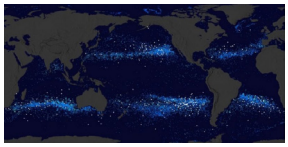


Fig. 14: Localização das ilhas de plástico a nível global, segundo dados divulgados pela NASA.

Contudo, em pleno século XXI, o plástico continua a ser um material influente e omnipresente na economia e na vida quotidiana. Tem funções múltiplas que ajudam a enfrentar uma série de desafios com que se depara a sociedade. A utilização de materiais ligeiros inovadores, como é o caso da sua utilização em automóveis e aeronaves, permite poupar combustível e reduzir as emissões de CO2. É também utilizado enquanto material de isolamento de alta eficiência que contribui para poupanças nas faturas de energia. As embalagens de plástico contribuem para garantir a segurança dos alimentos e reduzir o desperdício destes. Combinados com a impressão 3D, os plásticos biocompatíveis podem salvar vidas humanas, permitindo a inovação médica[20].

A forma como os plásticos são atualmente produzidos, utilizados e eliminados não permite captar os benefícios económicos de uma abordagem circular, com consequentes prejuízos ambientais. Os milhões de toneladas de resíduos de plástico que anualmente se acumulam nos oceanos são um dos sinais mais visíveis e alarmantes que refletem a situação, constituindo, cada vez mais, motivo de preocupação pública. O mais recente sinal sobre o problema dos resíduos plásticos é o denominado Great Pacific Garbage Patch, que tem sido descrito como um redemoinho de lixo plástico, do tamanho do Texas, que flutua no Oceano Pacífico. Existem outros exemplos de ilhas de plástico que se mantêm à tona nos oceanos, para não referir a quantidade de plástico não contabilizado que se acumula no fundo dos oceanos. A importância do plástico na economia tem vindo a crescer sistematicamente ao longo dos últimos 50 anos. A produção mundial de plásticos foi multiplicada por um fator de vinte desde a década de 60, tendo atingido 322 milhões de toneladas em 2015. Prevê-se que duplique nos próximos 20 anos[21].

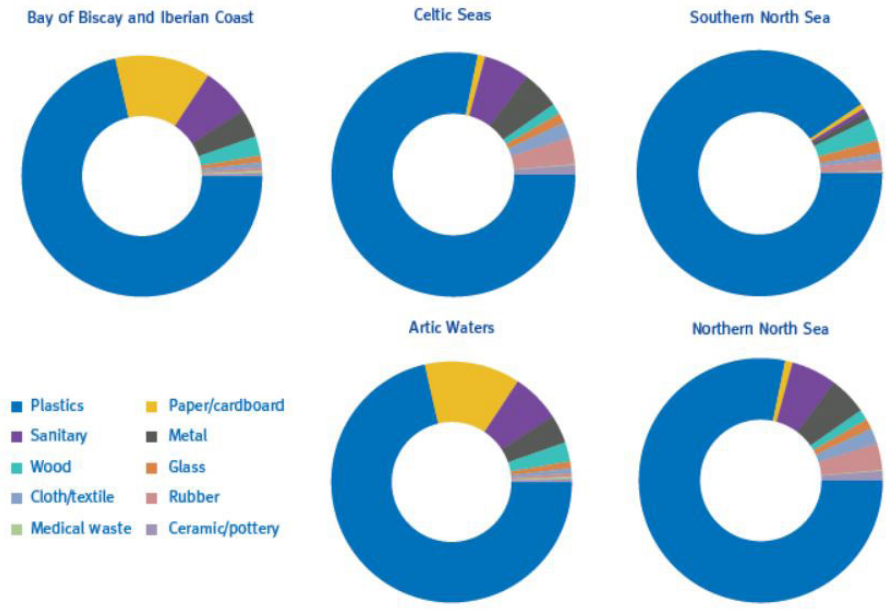


Gráfico 5: Composição das ilhas de lixo acumulado em alguns pontos das baías e dos oceanos do planeta. Podemos verificar que o plástico constitui, sem exceção, o maior volume de material na composição dos amontoados de lixo.

20 Comissão Europeia, *Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões: Uma Estratégia Europeia para os Plásticos na Economia Circular,* (Estrasburgo, 2018), 1.

21 Idem, 2.

2.2.2- Diversidade dos Materiais Plásticos

Os materiais plásticos foram substituindo materiais como o vidro, a cerâmica e o aço, na produção de determinados produtos. Este facto deve-se às suas diversas composições, que permitem a criação de diferentes materiais polímeros dotados das características necessárias para cada utilidade específica. Algumas vantagens, talvez as mais comuns, são a sua versatilidade, a facilidade de manuseamento, o baixo peso e os menores custos de produção, que permitem à generalidade dos plásticos superar qualquer outro material concorrente. Com o desenvolvimento da indústria dos polímeros, e com a multiplicação das suas variadas composições, foi sendo comprovado que cada uma delas cumpre, de forma eficaz e barata, os requisitos pretendidos para determinados produtos.

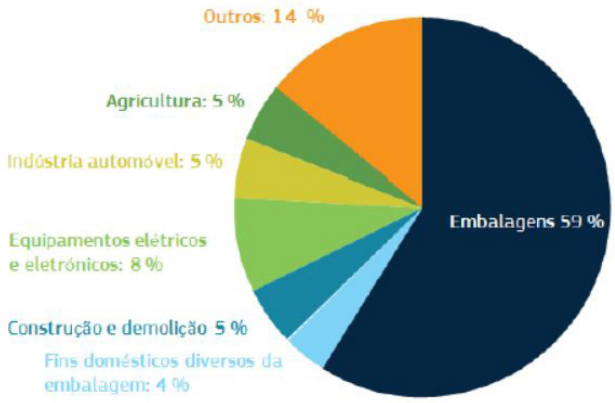


Gráfico 6: Produção dos vários tipos de resíduos plásticos na União Europeia no ano de 2015.

Os polímeros podem ser do tipo[22]:

Termoplástico - Este tipo de polímeros caracteriza-se pelo amolecimento quando aquecido, permitindo a sua moldação e posterior resfriamento. São exemplo o PVC, o plexigras (vidro plástico), o polipropileno, o poliestireno, o poliuretano e o policarbonato, os acrílicos e o polietileno tereftalato (PET). Representam 80% dos plásticos utilizados para consumo. É o tipo de plástico reciclável, mas alguns exemplos perdem propriedades e a reciclagem é finita;

Termofixo - A tipologia dos termofixos é composta por polímeros que resultam de um processo de moldagem por reação química irreversível entre as moléculas do material, tornando-o duro e quebradiço, portanto não reciclável. Os mais conhecidos são a baquelite (fenol formaldeído), o poliéster, a resina epóxi e as melaminas.

Elastómero - Os polímeros elastómeros apresentam uma grande elasticidade e resumem-se aos casos de diferentes borrachas sintéticas. São exemplos a borracha utilizada nos pneus, os elásticos e o poliuretano.

22 Definição de wikipédia, em https://pt.wikipedia.org/wiki/Polimero, acedido em 06.08.2018.

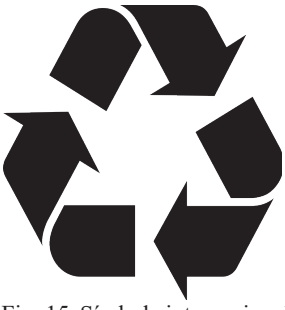


Fig. 15: Símbolo internacional da reciclagem, desenvolvido em 1971 por Gary Anderson, arquiteto e designer, na época estudante na Universidade do Sul da Califórnia.

2.2.3- Consequências Ambientais dos Resíduos Plásticos

A Europa produz anualmente cerca de 25,8 milhões de toneladas de resíduos de plástico. Menos de 30% desses resíduos são recolhidos para reciclagem. Uma parte significativa desta quantidade é exportada da UE para tratamento em países terceiros que, por vezes, aplicam normas ambientais diferentes[23].

O primeiro símbolo universal de reciclagem foi criado na década de 70 mas, apesar das campanhas de sensibilização, hoje apenas 14% das embalagens de plástico são recolhidas para reciclagem. Após a colheita de material e processos de separação iniciais, apenas 5% do valor do material é retido para um uso subsequente. Esses plásticos são, na maioria das vezes, reciclados em aplicações de baixo valor, sem um segundo processo de reciclagem. A taxa de reciclagem para plásticos é, em geral, muito menor do que as taxas globais de reciclagem de papel (58%) e ferro e aço (70% a 90%). As embalagens plásticas são quase exclusivamente de uso único[24].

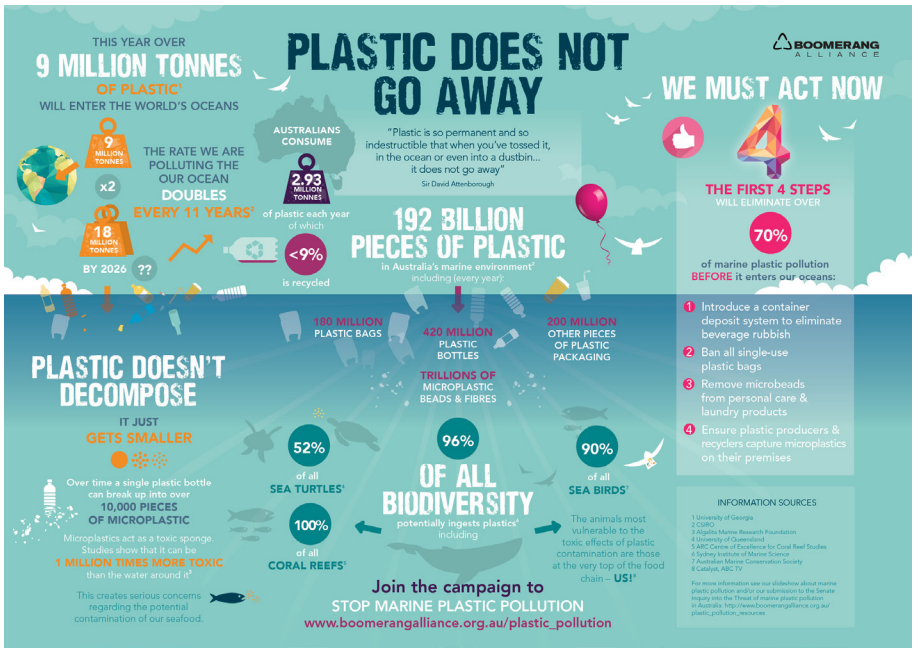


Fig. 16: Exemplo de campanha de conciencialização para a diminuição da poluição dos oceanos e mares por acumulação de plástico. Realizada pela Northern Beaches Council, na Austrália. A evidência da frase chave: o plástico não desaparece. O descarte não corresponde ao seu desaparecimento. O cartaz informa e incentiva a prática de quatro passos fundamentais para que o descarte de plástico no oceano, seja reduzido.

A cada ano, pelo menos 8 milhões de toneladas de plásticos são depositados no oceano, o equivalente ao despejo do conteúdo de um camião de lixo no oceano a cada minuto. Se nenhuma ação for tomada, espera-se que a quantidade duplique até 2030 e quadruplique até 2050. As estimativas sugerem que as embalagens plásticas representam a maior parte desse depósito de plástico. Estima-se que existam mais de 150 milhões de toneladas de plásticos no oceano atualmente. Em questões de comparação direta, espera-se que, até 2025, o oceano contenha 1 tonelada de plástico para cada 3 toneladas de peixe e, em 2050, o oceano contenha mais plásticos do que peixes (em peso)[25].

23 Comissão Europeia, *Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões: Uma Estratégia Europeia para os Plásticos na Economia Circular,* (Estrasburgo, 2018), 1.
24 Ibidem, 1.
25 Ibidem, 3.

A produção de plásticos baseia-se em matérias-primas fósseis, com um significativo impacto de carbono que se tornará ainda mais significativo com o aumento projetado no consumo. Mais de 90% dos plásticos produzidos são derivados de matérias-primas fósseis virgens. Isso representa, para todos os plásticos (não apenas embalagens), cerca de 6% do consumo mundial de petróleo, o que equivale ao consumo de petróleo do setor de aviação global. Se o forte crescimento do uso de plásticos continuar como previsto, o setor de plásticos será responsável por 20% do consumo total de petróleo e 15% da produção anual de dióxido de carbono até 2050. Embora os plásticos possam trazer ganhos de eficiência de recursos durante o uso, esses números mostram que é crucial abordar o impacto dos gases de efeito estufa na produção de plásticos e no tratamento pós-uso. Plásticos geralmente contêm uma mistura complexa de substâncias químicas, algumas das quais levantam preocupações sobre potenciais efeitos adversos na saúde humana e no meio ambiente. Embora as evidências científicas sobre as implicações do plástico nem sempre sejam conclusivas, especialmente devido à dificuldade de avaliar a exposição complexa a longo prazo e os efeitos da sua composição, há indícios suficientes que justificam uma pesquisa adicional e uma tomada de ação acelerada[26].

A China é atualmente o maior importador de plástico do mundo, recebendo cerca de 63% do total de plástico separado nos países da Europa, Ásia e Américas, responsáveis por 85% das exportações globais de plástico. Contudo, apenas 9% da totalidade de plásticos produzidos até hoje foram reciclados. A maioria acaba em aterros sanitários e em ambientes naturais[27].

2.3- Material Plástico como Recurso Construtivo

O recurso aos plásticos para a produção de materiais de construção tem vindo a ser explorado. O reaproveitamento dos resíduos plásticos possibilitaria o aumento da vida útil dos aterros e poderia significar avanços na indústria da construção. Alguns exemplos são a sua utilização como substituto da brita na produção de cimento; como substituto da areia para tijolos e blocos[28].

Como matéria alternativa, descartando as soluções de agregados, várias soluções são apresentadas como inovadoras e ecológicas. Dentro do ramo da engenharia ambiental avaliam-se as características dos materiais enquanto elementos construtivos (tais como a sua resistência mecânica, química, à compressão, ao fogo, aos fenómenos naturais, e a sua capacidade térmica)[29]. A corroboração dos factos padece de fontes fidedignas, mas a análise das diversas aplicações do material na construção será alvo de análise.

26 Comissão Europeia, *Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões: Uma Estratégia Europeia para os Plásticos na Economia Circular,* (Estrasburgo, 2018), 17.

27 Andrea Cunha Freitas, "Nova lei na China pode deixar 111 milhões de toneladas de "lixo" plástico sem destino", *Público, Ambiente,* (20 de Junho de 2018).

28 Ibidem.

29 TAGLIANI, Simone; *Inovação e Sustentabilidade: como as garrafas PET estão servindo de insumo para a construção civil,* em https://blogdaengenharia.com/.



Fig. 17: Habitações construídas em Yelma, Nigéria. São construídas por fileiras de garrafas PET enchidas com terra, e com acabamento em argila local. Segundo os autores do projeto, são casas à prova de bala, à prova de fogo, e resistentes a terramotos. Proporcionam aos habitantes uma temperatura interior confortável, produzem zero emissões de carbono, e são alimentados por energia solar e metano (através da fermentação de resíduos biodegradáveis). Podem resultar destas construções o efeito de inclusão social, pela auto-construção e entreajuda entre os habitantes locais.
Fig. 18: Amarração e alinhamento das fileiras de garrafas PET, para permitir uma maior segurança.
Fig. 19: Preenchimento dos espaços e acabamentos com argila local.

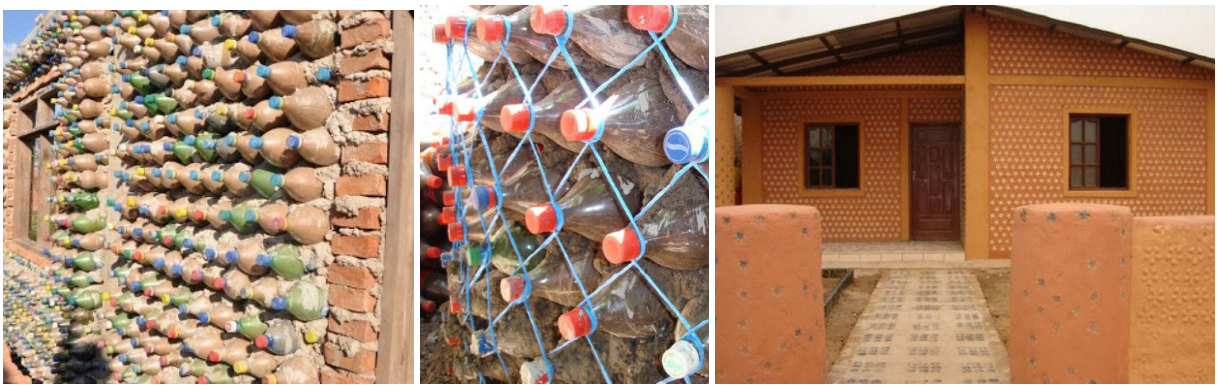


Fig. 20: Projeto desenvolvido pela cidadã Ingrid Vaca Diez. Este exemplo em particular localiza-se no municipio de San Pablo del Monte, Estado de Tlaxcala, no México. Habitação incluída no projeto de construção de dez casas para famílias que viviam em extrema pobreza. Podemos ver as paredes sem revestimento.
Fig. 21: O enchimento das garrafas e o sistema de amarração das garrafas é similar ao projeto desenvolvido na Nigéria.
Fig. 22: Uma das habitações finalizada, onde se distinguem os componentes utilizados.



Fig. 23: Tateh Lehbib Breica, engenheiro e refugiado sarauí na Argélia, tem vindo a desenvolver construções para melhorar as condições de vida dos refugiados saharauis com o apoio da Agência de Refugiados da ONU. As casas são projetadas para resistir aos elementos naturais e a catástrofes, e o projeto permitiu criar empregos para muitos dos refugiados. O engenheiro constrói casas com garrafas de plástico descartadas, capazes de suportar as duras condições do deserto, como a temperatura e as tempestades de areia. Os habitantes são refugiados que se encontram perto de Tindouf, na Argélia, depois de fugir da violência na guerra do Saara Ocidental que decorre há mais de 40 anos.
Fig. 24: Materiais de apoio à construção com garrafas PET. A cobertura é elaborada com estrutura de madeira e placa de betão. Vãos e caixilharia definidos com madeira.

2.3.1- Garrafa-Tijolo Associada à Construção de Baixo Custo

- Reutilização de garrafas PET

As garrafas PET têm sido utilizadas na construção de habitações em países africanos, como é o caso do projeto da associação DARE[30], em parceria com a Africa Community Trust[31] em Yelma, na Nigéria. Projetos similares surgiram em países da América do Sul, como as Casas de Botellas, inicialmente desenvolvidas pela boliviana Ingrid Diez, cujas edificações sucedem na Bolívia, Argentina, México, Panamá, Uruguai, e Brasil[32].



Fig. 25: Testes realizados a paredes construidas com recurso a garrafas PET. As peças tornam as paredes padronizadas, com poros melhor preenchidos, menos permeáveis e mais resistentes a impactos, segundo dados referentes ao presente estudo elaborado na Universidade Estácio Uniradial – Unidade Jabaquara, São Paulo, Brasil.

Os projetos possibilitam o aumento da qualidade de vida de comunidades carenciadas, através de soluções de baixo custo e com redução do impacto ambiental. Calcula-se que o custo de construção destas paredes seja reduzido em 70%, quando comparado com o custo das paredes convencionais. Além disso, a solução apresentada possibilita a redução de produção de resíduos PET e de RCD, a diminuição de extração de recursos naturais para a produção de materiais convencionais, a inclusão social pela autoconstrução, a qualificação de mão-de-obra para projetos semelhantes e aumento do controle da saúde pública pelas aumento das condições de vida[33].

As garrafas PET são enchidas com areia ou terra e formam as paredes, colocadas lado a lado em fiadas sobrepostas. São amarradas no extremos interior, o gargalo da garrafa, para aumentar a estabilidade e segurança. As fundações e os pilares são construídos em betão. O modelo contempla as juntas preenchidas por argamassas naturais ou artificiais. Estas habitações surgem como boa alternativa para regiões quentes, onde não existem muitos recursos a tecnologias, materiais e recursos financeiros[34].

O comportamento térmico da parede é considerado como similar ao da taipa ou areia, de acordo com o material de enchimento utilizado. Em teoria, as garrafas PET podem ainda ser enchidas com palha de arroz, de trigo ou resíduos, como os RCD ou outros.

	Massa térmica J/K.m3	Capacidade calorífica (por m2)	Retardamento térmico (horas)	Condutibilidade térmica W/m.K
Taipa (300mm)	1968	887	6.3	0.73
Sacos de areia (300mm)	1359	410	10.3	0.27

Tabela 1: Comparação de dados entre materiais de enchimento das garrafas PET, com base de cálculo na largura de parede referente à utilização das garrafas.

30 DARE, (Developmental Association For Renewable Energies), é uma ONG, sediada em Kakuri, Nigéria, que promove a utilização de recursos energéticos renováveis, promove a qualidade do ar interior, mitiga a desertificação, procura soluções para as alterações climáticas.

31 African Community Trust é uma ONG, sediada em Londres, que promove a redução do comportamento anti-social entre os jovens.

32 Green Technology, *Una abogada boliviana hace casas com botellas PET para las personas en situación de extrema pobreza,* em https://ecoinventos.com/.

33 Bárbara Galli et al. "Uso de Garrafas de Poli-Tereftalato de Etileno–PET como Insumo Alternativo na Construção de Edificações Residenciais", *Revista de Arquitetura da IMED*, v.1, n.2 (2012): 174-181.

34 TAGLIANI, Simone; *Inovação e Sustentabilidade: como as garrafas PET estão servindo de insumo para a construção civil,* em https://blogdaengenharia.com/.

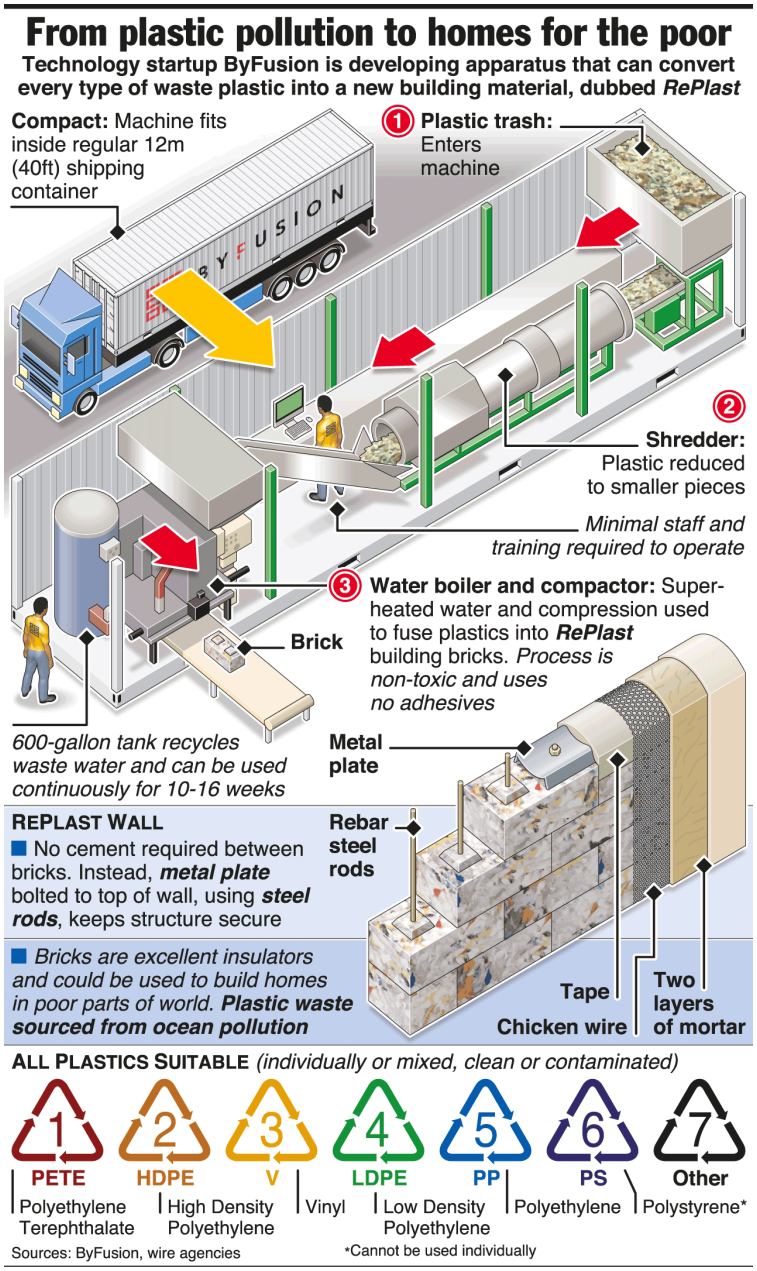


Fig. 26: Painel explicativo do sistema de produção e de aplicação dos blocos RePlast. A máquina, denominade de ByBlocker, está inserida num contentor que pode ser transportado para o local propício à produção dos blocos. Os plásticos são lavados, gastando cerca de 2 litros por um ByBlock, mas a ByBlocker tem um tanque que recicla a água através de um processo de filtragem centrífuga, permitindo a sua reutilização por 10-16 semanas antes que as telas, filtros e água precisem ser substituídos.





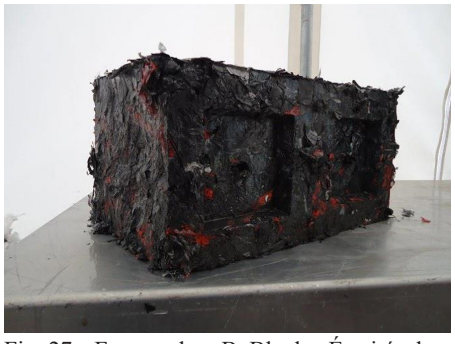


Fig. 27: Forma dos ByBlock. É visível o compactação dos resíduos plásticos.

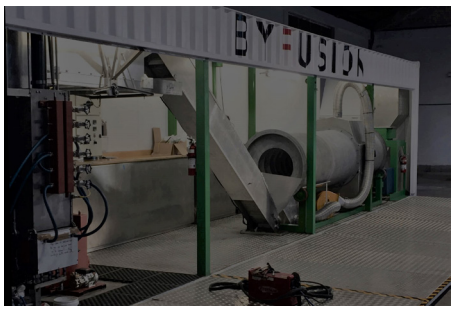


Fig. 28: ByBlocker, máquina de produção dos ByBlocks. De um lado entra o plástico, passa pelo processo de lavagem e compactação, e no outro extremo são expelidos os blocos.



Fig. 29: Em cima, pormenor de construção de muro com os ByBlocks, com recurso a rede e argamassas de acabamento.
Fig. 30: À esquerda, processo construtivo de parede com os ByBlocks, com a inserção dos blocos em elementos verticais de aço, sobre laje convencional.

2.3.2- RePlast, o Bloco de Plástico. Por By Fusion, EUA

- reciclagem de resíduos plásticos acumulados nos oceanos

Os blocos de plástico foram desenvolvidos por Peter Lewis, engenheiro e inventor da Nova Zelândia, com a intenção de transformar o lixo acumulado nos oceanos em algo que pudesse ser utilizado na vida prática dos cidadãos. No desenvolver da ideia, o engenheiro percebeu que o plástico possuía propriedades térmicas semelhantes aos fardos de palha, e que poderia ser utilizado na construção[35]. A startup ByFusion, concretizou a ideia numa escala maior, criando blocos a partir de plásticos do tipo 1 e 2 (consumo de bens alimentares), com recurso a uma máquina de lavagem e compactação desenvolvida pela empresa[36]. A máquina acolhe os resíduos de plástico numa das extremidades e expele blocos na outra extremidade. Os blocos são denominados por ByBlock ou RePlast, e são compactados com as dimensões dos blocos convencionais de cimento. Segundo os autores do projeto, os blocos não necessitam de colas ou adesivos e podem contribuir para a certificação LEED[37] para construção, pelo facto de constituírem uma pegada de emissão de gases de efeito estufa 95% menor quando comparados aos blocos de betão[38].

"*Os blocos RePlast têm incríveis características térmicas em termos de transferência de som e calor. Pretendemos usá-los com estruturas normais de construção, como blocos de preenchimento. (...) Em teoria, estamos olhando para uma definição absoluta de economia circular, em que o lixo plástico que é absorvido pelas comunidades locais é processado e usado em projetos comunitários locais ou em estradas*[39]".

A empresa ByFusion tem parceria com uma aliança de organizações sem fins lucrativos que lidam com o lixo oceânico nas praias ao redor do mundo. O desafio é encontrar maneiras de usar o RePlast, em colaboração com entidades construtoras e em conjunto com as autoridades locais.

"*Queremos ver o RePlast usado de maneira modular em moradias de baixa renda, por exemplo*.[40]"

Ao longo dos anos, os ByBlocks têm sido utilizados para uma variedade de projetos, como a construção de muros de contenção na Nova Zelândia e na Califórnia que são, segundo os autores do projeto, resistentes a severas exposições ambientais e a situações extremas como terramotos, sem sinais visíveis de deformação ou degradação.

35 Tom Idle, "ByFusion: Creating the Building Blocks for Tackling Ocean Waste", *Sustainable Brands*, Business Models, (19.07.2016). http://www.sustainablebrands.com/news_and_views/business_models/tom_idle/byfusion_ creating_building_blocks_tackling_ocean_waste.

36 ByFusion, *Reshaping The Future,* (San Antonio: ByFusion, 26 de Março de 2018). em https://sanantonio.uli.org/wp-content/uploads/sites/78/2018/03/ByFusion-Overview_SA_2018.pdf.

37 O LEED é um sistema de certificação, que tem como objetivo estabelecer um padrão comum de avaliação dos edifícios e servir como exemplo para a construção sustentável. Foi criado nos EUA em 1998.

38 Tom Idle, "ByFusion: Creating the Building Blocks for Tackling Ocean Waste", *Sustainable Brands*, Business Models, (19.07.2016). http://www.sustainablebrands.com/news_and_views/business_models/tom_idle/byfusion_ creating_building_blocks_tackling_ocean_waste.

39 Gregos Goromy, "ByFusion: Creating the Building Blocks for Tackling Ocean Waste", *Sustainable Brands*, Business Models, (19.07.2016). http://www.sustainablebrands.com/news_and_views/business_models/tom_idle/byfusion_ creating_building_blocks_tackling_ocean_waste.

40 Ibidem.



Fig. 31: Plástico triturado, utilizado para a produção das peças construtivas. Os elementos estruturais são também produzidos com recurso a este material, considerando as habitações simples de piso único.



Fig. 32: As fundações são construidas em betão e a estrutura da laje construída com elementos de aço.



Fig. 33: As peças de plástico são encaixadas através de um sistema semelhante ao *lego*, sem necessidade de argamassas. Os elementos verticais estruturais e dos vãos são também de encaixe.



Fig. 34: A estrutura da cobertura é compostas poe elementos do mesmo material reciclado, fixadas por elementos metálicos.



Fig. 35: Aspeto final de uma habitação construída com Bloqueplas. São perceptíveis os diferentes elementos constituintes, assim como o sistema construtivo geral da habitação.



Fig. 36: Edificado construído com elementos BloquePlas, destinado ao albergue temporário em Guapi, Colômbia, para alojar 42 famílias refugiadas, que fogem do conflito armado.



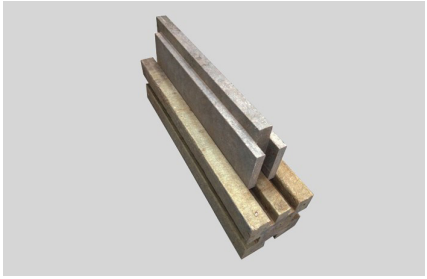


Fig. 37: À esquerda, peças de encaixe, onde podemos denotar a textura do material.
Fig. 38: À direita, forma das peças para permitir o encaixe entre as peças estruturais e de enchimento.

2.3.3- BloquePlas Building System. Por Conceptos Plasticos, Colômbia

- reciclagem de resíduos plásticos para construção "Lego"

O projeto denominado BloquePlas, da empresa "Conceptos Plásticos", foi fundada por Oscar Andres Mendez, em 2010. A intenção seria substituir os assentamentos de habitações informais e precárias por habitações decentes, em simultâneo com a redução da quantidade de desperdício de plástico. Mendez afirma que a tecnologia desenvolvida pela Conceptos Plasticos promove uma redução de 30% em média em relação ao custo de construção tradicional em locais rurais. Por esse motivo considera o projeto adequado para comunidades carentes, com o apoio de fundações e ONG's[41].

"*Para gerar alto impacto, reduzir a pobreza extrema, mitigar os assentamentos informais e promover condições de sustentabilidade, nasce uma sinergia que analisa novos modelos e tecnologias para "industrializar a habitação", na qual a reciclagem de plástico prova ser uma solução potencial para um novo modelo de habitação decente*[42]".

"*De um processo industrial de extrusão, podemos usar esse tipo de plástico para transformar este lixo em elementos de construção de qualidade. Nosso sistema é composto por vigas, blocos, batente e peitoril que juntos compõem o alojamento. Na América Latina, África e Ásia, o déficit habitacional tem percentagens médias de 40% em muitos casos, e os nossos elementos fabricados funcionam bem para autoconstrução, soluções de habitação de emergência, abrigos, salas de aula e qualquer tipo de projeto que possa dignificar assentamentos informais*"[43].

A aparente simplicidade do processo construtivo permite que uma construção rápida e eficiente e sem necessidade de conhecimentos especializados. Segundo dados da empresa, o material é imune a patologias e resistente à humidade. Assumem que as alterações de temperatura e a humidade não causam deteoração ou fendas. Em termos de durabilidade, a arquitetura molecular do material permite-lhe manter-se estável por muito tempo. Considerando o baixo peso do material, o valor de construção é reduzido em aspetos como as fundações, a necessidade de reforços devido a cargas, ou ainda em custos de transporte e maquinaria necessária[44].

O autor afirma que o sistema modular permite grande flexibilidade no desenho dos espaços interiores, e que os testes realizados comprovam a sua resistência a forças como a torção, a compressão, ou as forças provocadas por sismos. Os acabamentos utilizados podem ser os tradicionalmente utilizados, como a pintura e os materiais cerâmicos.

---

41 Simone Tagliani; *Projeto desenvolve moradia popular sustentável feita com blocos de borracha e garrafas PET,* 02.08.2016. http://ciclovivo.com.br/arq-urb/arquitetura/arquiteto-colombiano-constroi-casas-com-plastico-e _borracha-reciclados/.

42 Oscar Mendez, "Re-Cycled House | Closing the cycle of plastic: Decent housing solutions from recycled plastics", *Unilever Sustainable Living Young Entrepreneurs Awards 2015.* https://www.changemakers.com/globalgoals2015/entries/re-cycled-house-closing-cycle-plastic.

43 Oscar Mendez, "Re-Cycled House | Closing the cycle of plastic: Decent housing solutions from recycled plastics", *Unilever Sustainable Living Young Entrepreneurs Awards 2015.*

44 Brochura BloquePlas, *Innovative Housing From Recycled Plastic,* Bogota, Colombia, pag. 3





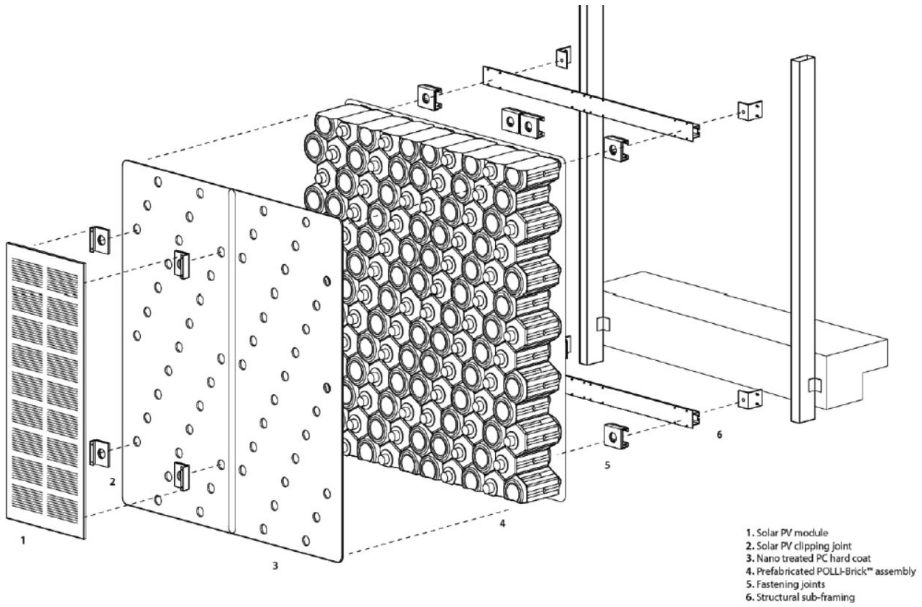


Fig. 39: Forma atribuída à garrafa Polli Bricks, com sistema de encaixe.
Fig. 40: Modelação do encaixe das garrafas reformuladas.
Fig. 41: Na direita, sistema de montagem dos painéis de PolliBricks: 1- Painel solar colocado na fachada; 2- Suportes para os painéis solares; 3- Painel de revestimento em policarbonato, cortado a laser, que estabelece o suporte dos Polli Bricks face às cargas laterais e elimina a imprecisão na localização dos tijolos; 4- Composição dos PollyBricks pré-fabricados; 5- Peças de junção aos elementos estruturais; 6- Peças estruturais, de aço.

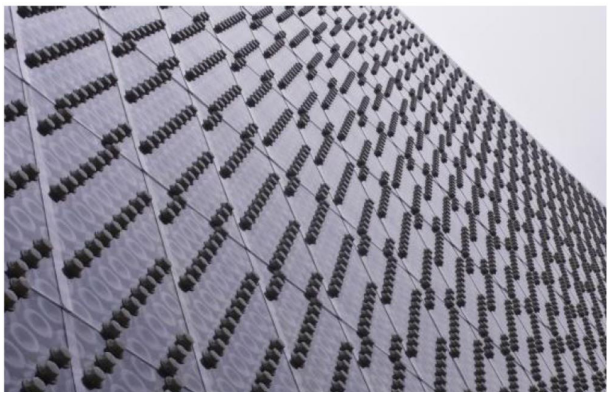


Fig. 42: Pormenor da fachada. Fixação das garrafas aos painéis com recurso às tampas como elemento estético do edifício.

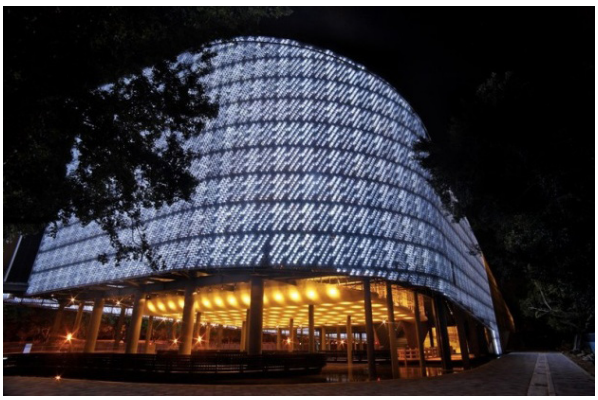


Fig. 43: Fachada global do edifício, com a sua forma curva e iluminação noturna de sistema LEED.

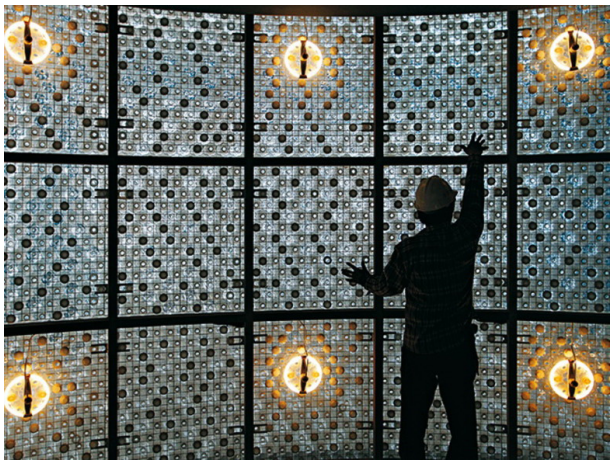


Fig. 44: Inserção de iluminação LEED nos painéis de PolliBricks, alimentada por energia solar e eólica, produzidas no próprio edifício.

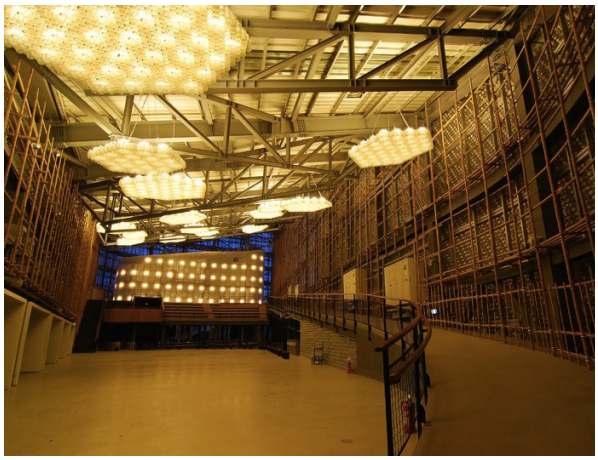


Fig. 45: A iluminação do interior do pavilhão foi elaborada com recurso aos PolliBricks, semelhante ao sistema de iluminação utilizado na fachada.

2.3.4- Edifício Ecoark. Por Miniwiz, Tailândia

- Fachadas de garrafas PET

A Tailândia consome 4,5 milhões de garrafas PET por ano. Contudo, concretiza um dos programas de reciclagem mais respeitados do mundo. Foi com esse alerta sobre o problema dos resíduos plásticos em mente, que a empresa Far Eastern Group, uma das maiores produtoras mundiais de produtos PET, contratou o arquiteto Arthur Huang, fundador da empresa Miniwiz, para projetar o edifício EcoARK, para o Taipei International Flora Expo 2010. A Miniwiz desenvolve vários produtos, desde materiais de construção até produtos eletrónicos, em busca de soluções ambientalmente sustentáveis[45].

O edifício EcoARK transmite uma mensagem de sustentabilidade: considerado como o primeiro edifício do mundo do género, a sua fachada é constituída por Polli-Bricks, um bloco de construção oco feito de PET reciclado. Os Polli-Bricks foram produzidos a partir de mais de um milhão de garrafas PET derretidas e remoldadas numa nova forma, com um design que permite o encaixe entre elas, com necessidade de uma pequena quantidade de silicone como selante. Devido à fragilidade do material, os Polli-Bricks foram desenvolvidos com uma espessura superior à das garrafas PET convencionais. Os elementos são montados em painéis retangulares, revestidos com uma película resistente ao fogo e à água. A fachada curva e transparente do edifício é composta por painéis modulares aparafusados e montados em estrutura de aço, passível de ser desmontada e remontada após a Expo. Considerando a leveza do material, as forças horizontais foram um fator de grande relevância para a estabilidade do edifício. Embora o EcoARK pese metade dos edifícios convencionais, é acreditado pela equipa responsável como sendo resistente a terramotos, ventos fortes e tufões.

O uso de garrafas PET não foi o único recurso ecológico utilizado no edifício. O pavilhão foi construído com técnicas que mantiveram a pegada ecológica de zero carbono. O telhado alberga uma matriz fotovoltaica para a iluminação, e o edifício beneficia de ventiladores internos e de um sistema de arrefecimento que funcionam através da energia solar produzida, sem sistemas de aquecimento ou ar condicionado, dependendo apenas da ventilação natural. Para arrefecer o espaço interior, uma seção da fachada foi deixada aberta, para a captura de brisas. O ar que entrava era arrefecido através de um sistema de projeção da água, e o ar dentro das garrafas fornecia isolamento ao calor. A água da chuva era recolhida e utilizada para arrefecer o prédio. A transparência dos elementos construtivos da fachada permitiu que a luz natural que iluminasse o interior durante o dia, diminuindo as necessidades de energia para iluminação. A energia recolhida era solar e eólica, produzia a eletricidade necessária para alimentar 40.000 LEDs, utilizados para a iluminação do edifício à noite[46].

45 Anthony Kane; Martin Bechthold; *Polli-Brick, Low Carbon Facade Systems, Case Study on the Miniwiz Polli-brick Cladding System,* Design Robotics Group. (Cambridge: Harvard Univ. Graduates School of Design, 2001), 2.

46 Lucy Wang; "Amazing Building Made from 1.5 Million Plastic Bottles Withstands Fires and Earthquakes"*, Inhabitat*, 15.05.2017.
https://inhabitat.com/amazing-plastic-bottle-architecture-withstands-earthquakes-in-taipei/.



Fig. 46: O primeiro pneu utilizável usando a nova borracha sintética, criado pela Metzeler em 1933.



Fig. 47: No Kuwait, na região desértica de Sulaibiya, existe esse aterro enorme, onde são descartados os pneus usados por diversas partes do mundo.

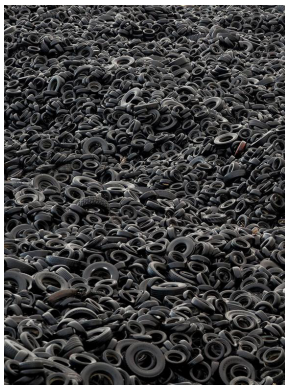


Fig. 48: Aterro de Sesena Nuevo, Espanha, fotografia de Setembro de 2014. Havia sido considerado ilegal em 2003. Os pneus foram destinados à reciclagem com aplicação em obras de construção e parques infantis.

2.4- O Caso Específico do Pneu Enquanto Resíduo

Sendo a borracha um material não biodegradável bastante utilizado, no final do século XX, a problemática dos pneus usados era evidente devido ao crescimento e à multiplicação de aterros de pneus por todo o mundo.

2.4.1- Síntese da História do Pneu

A pneu foi inventado à mais de um século. A borracha utilizada inicialmente era uma goma desenvolvida para diversos fins, como a impermeabilização, e derretia com o calor. Por volta de 1830, Charles Goodyear descobriu o processo de vulcanização, que consiste na cozedura da borracha com enxofre. As temperaturas elevadas do processo concediam ao material elasticidade no frio e no calor. O pneu automóvel foi patenteado em 1845, pelos irmãos Michelin, e a câmara de ar foi projetada pelo inglês Robert Thompson em 1847, para ser colocada dentro do pneu de borracha maciça. Com o subsequente desenvolvimento do pneu a escala de produção aumentou e a partir do ano de 1888, as empresas passaram a investir mais em segurança rodoviária através de inovações implementadas nos pneus. Mais tarde, em 1891, os irmãos André & Edouard Michelin criaram o pneu desmontável. Esta invenção pode ser considerada como o ancestral do pneu que conhecemos hoje[47].

Material	Composição de pneus novos (%)	Composição estimada de PU (%)
Borracha sintética	25	22
Borracha natural	17	15
Negro de fumo	19	15,5
Sílica	10	9
Enxofre	1,3	1,5
Óxido de zinco	1,6	1,2
Óleos aromáticos	6	3,8
Malha de aço	11,4	18
Malhas têxteis	4,7	14
Outros	4	-

Tabela 2: Composição dos pneus tipo. Grande parte do material da sua composição é a borracha, sintética e natural.

Quando observamos um pneu, a imagem remete-nos para o material borracha. No entanto, o pneu é composto por vários outros materiais que, juntamente com a borracha, lhe dão a estabilidade necessária. Um pneu-tipo atual é maioritariamente composto por anéis de borracha (polímero elastomérico), mas fazem parte da sua composição outros materiais como o carbono, o metal, as fibras têxteis, o óxido de zinco, o enxofre e alguns aditivos. [48]

47 ETRMA, "Who invented the first Tyre?", *Tyres,* (2018). European Tyre and Rubber Manufactorer's Association. http://www.etrma.org/tyres.

48 Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and their Disposal, *Technical Guidelines on Hazardous Wastes: Identification and Management of Used Tures,* SBC No: 99/008. (Geneva: October 1999), 6.

2.4.2- Consequências Ambientais dos Pneus em Fim de Vida

Na União Europeia, o alerta para os perigos englobados no tratamento dos pneus usados surge em debate pelos Estados Membros em 1990 durante a Convenção de Basel[49]. Nesse encontro foram discutidas as problemáticas associadas aos pneus em fim de vida e delineadas as diretrizes de conduta a seguir por parte dos países membros. O documento final é divulgado com o título: "*Technical Guidelines on Hazardous Wastes: Identification and Management of Used Tires[50]"*, no qual se apresentam resultados de testes realizados em aterros sobre os perigos para o ambiente e sobre as consequências do crescimento do problema, assim como eventuais possibilidades de reutilização e reciclagem do material em questão.

A conclusão dos estudos afirma que[51]:

- No caso de depósito, o contacto com a água ou com o solo não causa risco de contaminação, mas o simples depósito e armazenamento descontrolados trazem consequências, devido à acumulação de águas paradas que instigam a vinda de insetos capazes de transmitir doenças aos humanos.
- No caso da incineração, quer na água, quer ao ar livre, a situação implica perigo para o ambiente e para a saúde pública visto que são libertados níveis potencialmente perigosos de monóxido de carbono e mono-hidrocarbonetos aromáticos nas nuvens de fumo. Após a queima são ainda libertados composto orgânicos, como óleos pirolíticos, que repousam no solo e podem causar danos ambientais à fauna e à flora envolventes.
- É manifesta a importância do debate sobre uma resolução para evitar a continuidade do crescimento e a multiplicação dos aterros de pneus, cuja solução passa por processos de reutilização e de reciclagem como um ponto de partida, procurados a nível interno dos países, num sistema de recolha e distribuição apropriados.

49 Diretiva Europeia 1999/31/EC: "Diretriz técnica sobre a identificação e a gestão de pneus usados, elaborada nos termos do artigo 10.º da Convenção de Basileia, sobre o controlo dos movimentos transfronteiriços de Resíduos Perigosos e sua eliminação, realizada a 22 de março de 1989. As partes participantes da Convenção da Basileia têm o dever de cooperar conjuntamente para melhorar as estratégias e alcançar um bom ambiente na gestão de resíduos, incluindo os perigosos. Para tal, as partes aceitam cooperar no desenvolvimento e implementação de novos sistemas e tecnologias de baixa emissão de resíduos e a melhoria das tecnologias existentes, com vista a eliminar, tanto quanto possível, a geração de resíduos perigosos e outros resíduos e a obtenção de métodos eficientes da sua gestão de uma forma ambientalmente saudável." Disponível em https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=LEGISSUM%3Al21208.

50 Secretariat of the Basel Convention, *Technical Guidelines on the Identification and Management of Used Tyres.* (Basel: Secretariat of the Basel Convention, 1999). http://archive.basel.int/meetings/sbc/workdoc/old%20docs/tech-usedtyres.pdf.

51 Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and their Disposal, *Technical Guidelines on Hazardous Wastes: Identification and Management of Used Tures,* SBC No: 99/008 (Geneva: October 1999), 4-5.

2.4.3- Tratamento de Pneus Usados na União Europeia

Após a Convenção de Basel e considerando a problemática ambiental em questão, os países da União Europeia delineiam as diretrizes para a criação da Diretiva Europeia 1999/31/EC[52], cuja orientação impõe que os Estados Membros se esforcem na responsabilidade ambiental, na recolha e tratamento adequados dos pneus usados nacionais. Esse esforço foi sendo concretizado pelos vários países, através de três tipos de sistema de gestão:

- O sistema de responsabilidade do produtor, sistema adotado por Portugal tal como pela maioria dos Estados Membros, no qual o estado determina qual a estrutura reguladora responsável pela gestão dos pneus usados e que imponha a responsabilidade dos fabricantes de pneus para a recolha e tratamento dos pneus em fim de vida, de forma a assegurar os níveis de valorização exigidos pelos Estados Membros;
- O sistema de taxas, no qual o estado cobra um imposto que servirá de financiamento para a recolha e tratamento dos pneus em fim de vida;
- O sistema de mercado livre, no qual o estado determina os objetivos a atingir na questão da recolha e do tratamento dos pneus usados, mas o responsável pelo encaminhamento correto dos pneus é o detentor final, sem que o governo decida quais serão os responsáveis diretos pela posterior gestão. Com este sistema de mercado livre, é desenvolvido um mercado competitivo, ou seja, as empresas competem ao nível da sua gestão[53].

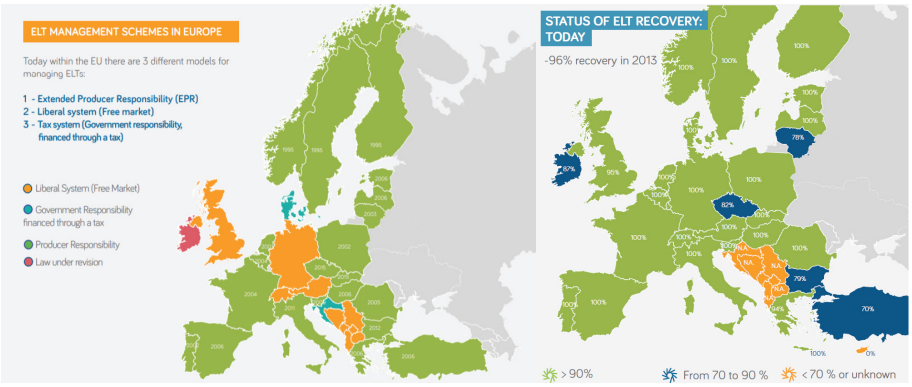


Fig. 49: Na esquerda: a verde, os países que recorrem ao sistema de responsabilidade do produtor; a laranja, ao sistema de mercado livre; a azul, ao sistema de taxas, determinadas pelo governo; e a vermelho, os países cujo sistema não está ainda determinado.
Fig. 50: Na direta: a verde, países com taxa de recuperação e reutilização de pneus acima dos 90%, a azul, de 70% a 90%; a laranja, taxa inferior a 70%.

Em Portugal foi elaborado o Decreto-Lei 111/2001, publicado a 6 de Abril, posteriormente alterado pelo Decreto-Lei 43/2004 de 2 de Março, no qual a responsabilidade da gestão dos pneus usados terá obrigatoriamente de ser delegada a uma entidade gestora sem fins lucrativos devidamente licenciada para o efeito - a Valorpneu. Tal como na maioria dos países da U.E., apesar dos valores positivos da reutilização e reciclagem de pneus, é necessário questionar a finalidade atribuída ao produto reciclado no mercado atual.

O tratamento mais comum aplicado na reciclagem dos pneus passa por um processo de separação de componentes: o aço é encaminhado para a siderurgia,

52 Diretiva 1999/31/CE do Conselho, de 26 de abril de 1999, relativa à deposição de resíduos em aterros. Disponível em https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=legissum%3Al21208.

53 Filipe Fernandes; (Climénia Silva). "Novas Ideias para Reciclar Pneus", *Jornal de Negócios*, Negócios Iniciativas (11.10.2017). https://www.jornaldenegocios.pt/negocios-iniciativas/detalhe/novas-ideias-para-reciclar-pneus.

o têxtil é aproveitado para produção de energia nas empresas cimenteiras, a borracha é transformada em granulado e em pó de borracha. E é sobre o granulado de borracha, maior fatia de material proveniente de pneus, que incidem as intervenções relacionadas com a construção. Os principais destinos deste material são os relvados sintéticos e os pisos para parques infantis.

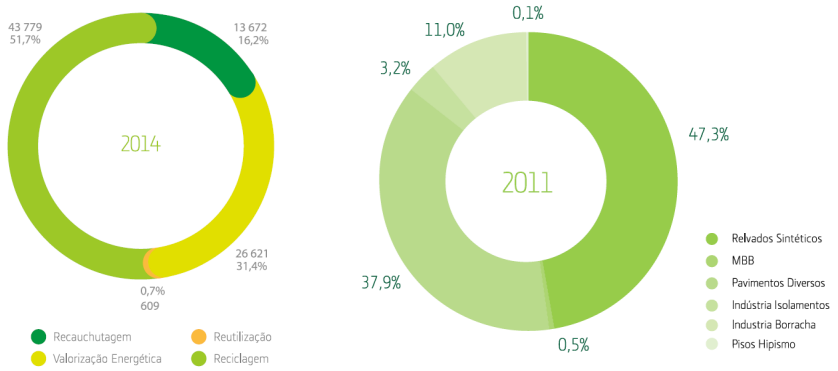


Gráfico 7: Na esquerda, destino dos pneus recolhidos pelo Sistema de Gestão de Pneus Usados, em Portugal.
Gráfico 8: Na direita: atividades com recurso a aplicação de granulado de borracha de pneus reciclados em Portugal.

"*É um facto que Portugal é autossuficiente em termos de unidades de valorização de pneus em fim de vida, mas também é evidente que existem enormes dificuldades no mercado dos materiais derivados da reciclagem de pneus. A concorrência é grande e a produção do granulado e pó de borracha é excessiva relativamente à procura. É reconhecida a qualidade dos granulados produzidos no nosso país, mas os mercados de colocação destes produtos são cada vez mais longínquos. À medida que os países se vão organizando na gestão e tratamento dos resíduos de pneus vão também sendo autónomos na satisfação das suas necessidades em relação a estes materiais*."[54]

Apesar dos dados estatísticos europeus concluírem que o processamento de pneus usados se encontra bem delineado, com as metas dos 100% atingidas e em alguns países ultrapassadas, os destinos de inserção da matéria no mercado são finitos. Novas soluções para a reciclagem dos pneus são determinantes para a continuidade da sua gestão e eliminação de existência de aterros e de incinerações. Algumas empresas investem na investigação de novas soluções para a reciclagem do granulado de borracha.

"*O aumento da reutilização e recuperação de energia de pneus em fim de vida nos últimos 15 anos são da responsabilidade das empresas de gestão de pneus usados. No entanto, existem desafios significativos a serem superados. Várias aplicações para granulados de borracha que foram desenvolvidas nos últimos anos aingiram um estágio maduro e têm pouco potencial para crescimento adicional. Outros ainda estão em estágio inicial de desenvolvimento de mercado e têm grande potencial de crescimento. (...) Granulados de borracha tem inúmeras propriedades incluindo absorção de choque, redução de ruído, resistência contra mudanças de temperatura e contra degradação química. Existem muitas boas práticas sobre como aplicar o material na construção civil. Este passo exige condições reguladoras e de mercado adequadas, para as quais as autoridades públicas tem um importante papel a desempenhar*"[55].

54 Climénia Silva, "Editorial", *Newsletter Quadrimestral da Valorpneu* n.26, (maio 2015). http://www.valorpneu.pt/Cache/binImagens/XPQ032QXX2463SQcms5QzHYZKU.pdf.
55 Ibidem.





Fig. 51: Exemplo de telhado constituído com recurso a borracha de pneus em fim de vida. Modelo estudado e desenvolvido pela Ingepro, Brasil, no qual cada pneu serve para três telhas. Sistema de pregamento das telhas.
Fig. 52: Um segundo exemplo, desenvolvido pela Euroshield, EUA. As telhas são produzidas com inserção de borracha como componente, em conjunto com asfalto e ardósia.
Fig. 53: Telhado composto pelas telhas Euroshield após finalização do telhado.



Fig. 54: Projeto lançado por Carlos Levinton, em colaboração com a Comissão de Capacetes Brancos da ONU. O projeto pretende melhorar a qualidade de vida das vítimas de desastres naturais no Haiti. O revestimento da casa em pneus reciclados e a cúpula de metal.



Fig. 55: The Brighton Waste House, Inglaterra. A sua construção integrou cerca de 85% de material reciclado. A edificação, de carácter público, foi construída por estudantes e fabricada nas oficinas do City College Brighton e Hove, entre maio de 2013 e abril de 2014. O seu revestimento exterior é totalmente composto por borracha planificada, proveniente de pneus usados.




Fig. 56: Construção praticada pelo grupo Refunc. Neste caso a Maisongomme, na Holanda. Uma casa de jardim construída com inserção dos materiais provenientes da demolição precedente e outros materiais residuais locais como pneus e vidro.
Fig. 57: Conceção finalizada da Maisongomme, onde são visíveis as tiras de pneu planificado.

2.5- Reutilização do Pneu Como Recurso Construtivo

A inserção de granulado de borracha de pneu na construção tem sido explorada como componente para a produção de novos materiais: como componente de argamassas, asfalto, ou como materiais com capacidade de isolamento térmico e acústico, tirando partido das suas capacidades térmicas, durabilidade, resistência aos elementos e elasticidade. A recuperação da borracha pode ainda decorrer da simples reutilização de borracha de pneu sem recurso a processos de transformação. Aplicações diversas da borracha em materiais e práticas construtivas alternativas são analisados pelas seguintes iniciativas.

2.5.1- Borracha de Pneu como Revestimento

Existem várias iniciativas de utilização de borracha de pneus usados como revestimento, tirando partido das características da borracha e, no caso da reutilização, diminuindo os custos económicos associados à construção.

A telha de borracha tem vindo a ser explorada como elemento alternativo para a elaboração de telhados. A estrutura do telhado pode ser estruturalmente convencional, sobre a qual as telhas de borracha são aplicadas. As soluções podem passar por uma aplicação básica, através do pregamento de retalhos de pneu planificado, apresentada como solução de baixo custo. Outro exemplo de telhas produzidas com recurso a borracha, neste caso como um componente agregado a materiais como asfalto e ardósia, visa atender aos padrões estabelecidos de desempenho técnico. As telhas incorporam 75% de material reciclado e são moldadas por compressão. Segundo os fabricantes são livres de manutenção, imunes a insetos, resistentes a fogo e podridão[56]. Testes de resistência, tração e vedação comprovam a sua aplicabilidade[57].

O revestimento de fachadas com peças de pneu planificado é um processo semelhante à aplicação dos retalhos de borracha no telhado. Os retalhos são colocados nas fachadas por justaposição; como um tecido que pode ser enquadrado no projeto, as peças são aplicadas com as dimensões adequadas ou pretendidas. Um exemplo notável é o edifício Brighton Waste House, que além da borracha, incorpora na sua construção outros resíduos, como cassetes VHS, escovas de dentes, vinis e RCD como tijolos e madeira[58]. Outros exemplos de aplicação são considerados em edificações mais simples e de menor dimensão, casas de jardim ou abrigos.

56 Frida Jeppsson; "Euroshield Eco-Friendly Roof Shingles Made from Recycled Tires",*Inhabitat,* (03.09.2011). https://inhabitat.com/euroshield-eco-friendly-roof-shingles-made-from-recycled-tires/.

57 Roberto Naime, Ronilton da Silva. "Utilização de Pneus Usados na Fabricação de Telhas", *INGEPRO, Inovação, Gestão e Produção*, Janeiro de 2010, vol. 02, no. 01. www.ingepro.com.br.

58 Veronica Simpson. "The Waste House", *DesignCurial,* News (01.12.2015). http://www.designcurial.com/news/the-waste-house-4740787.

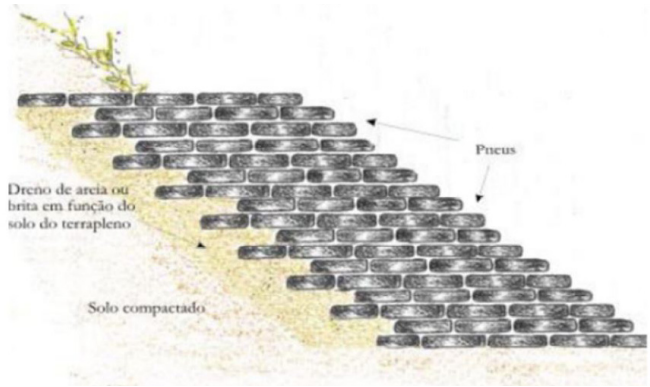


Fig. 58: Os muros de pneus são construídos por fileiras horizontais de pneus amarrados entre si com recurso a corda ou arame e o seu interior preenchido com solo compactado. Funcionam como muros de gravidade. A utilização de pneus em obras geotécnicas apresenta-se como uma solução que combina a elevada resistência mecânica do material com o seu baixo custo, comparativamente aos materiais convencionais.



Fig. 59: Exemplo de empilhamento de pneus para construção de muro de suporte. Normalmente são soluções encontradas por comunidades com menor poder económico e representam uma boa alternativa para promover a construção sustentável.



Fig. 60: Muro de contenção em Jacarepaguá, Brasil, com 60m de comprimento por 4 m de altura, onde foram utilizados 15 mil pneus. O muro foi construído sem recurso a máquinas, com recurso a mão de obra da comunidade local, dotando a obra de cariz social. Pesquisa elaborada pela Geo-Rio, em parceria com o Dpt de Engenharia Civil do Centro Técnico-Científico da Pontifícia Univ. Católica do Rio de Janeiro, com apoio da Univ. de Ottawa, do Canadá. Neste projeto foram identificadas pelas entidades envolvidas as vantagens e a eficácia da técnica.



Fig. 61: Processo construtivo de muro de contenção. Neste caso, os pneus são amarrados nas fiadas por grampos resistentes à corrosão. Podem também ser amarrados por cordas ou arames. Os elementos de amarração podem ser revestidos de material plástico para garantir a durabilidade e evitar a corrosão do arame.



Fig. 62: Casa EcoFixe, na Trofa, construída com pneus e outros materiais descartados, como latas e garrafas PET e de vidro.



Fig. 63: Nova sede da empresa de software Plako, na Póvoa do Lanhoso. O edifício Utopia, uma infra-estrutura feita de raiz a partir do enchimento de 2000 pneus com terra, revestidos com uma combinação de argamassa, cal, palha, areia e latas de refrigerante usadas.

2.5.2- Muros de Contenção Elaborados com Recurso a Pneus

A utilização de pneus na construção de muros de contenção é concretizada através do sistema do pneu enchido com terra. A borracha representa um material eficiente no combate à erosão, e quando o pneu é enchido com terra, acrescenta suporte para carregamento de solo[59]. Contudo, os raios ultra-violeta são capazes de danificar a borracha, pois secam o material e provocam o aparecimento de fissuras. No caso de o pneu se encontrar completamente enterrado ou coberto, de forma a que os raios UV não o atinjam, as estruturas de pneus podem permanecer inalteradas por mais de quarenta anos, sem qualquer sinal de degradação ao longo do tempo[60]. Para que as estruturas de pneus tenham essa durabilidade, é necessário que os elementos ligadores sejam compatíveis com a duração de vida útil da borracha. Esses ligadores podem ser de material metálico não corrosível ou de fios de amarração. Como revestimento dos muros, podem ser utilizadas diferentes soluções, desde uma cobertura vegetativa, simples ou com aplicação de manta geotêxtil, ou ainda através da projeção de cimento.

Para a construção de um muro de contenção com recurso a pneus devem ser consideradas as seguintes etapas: a regularização do solo para colocação da primeira camada de pneus, devidamente amarrados, que servirá de fundação; a compactação da terra no interior dos pneus nesta camada; por fim, o aterro no seu tardoz. O processo descrito repete-se para cada camada que se sobreponha, até que se atinja a altura pretendida para o muro[61]. A construção de muros de suporte com recurso a pneus usados tem sido desenvolvida em países como o Canadá, com a elaboração de estudos por parte da Universidade de Ottawa, e no Brasil, com o apoio da Investigação do Departamento de Engenharia Civil do Centro Técnico-Científico da Pontifícia Univ. Católica do Rio de Janeiro. Alguns exemplos estão associados a soluções sustentáveis praticadas por comunidades com menor poder económico para aquisição de materiais.

2.5.3- Caracterização da Parede-Pneu

O termo "parede pneu" designa uma parede composta por pneus enchidos com terra compactada, colocados em fileiras sobrepostas: o mesmo processo utilizado na construção de muros de suporte. O processo construtivo é similar aos dos blocos e dos tijolos. A parede pneu é considerada uma parede pesada e tem, por esse motivo, um carácter estrutural. A necessidade de fundações e de estrutura para além da própria parede depende da legislação local referente à construção.

59 Andres Bernal; Rodrigo Salgado; *Laboratory Study on the Use of Tire Shreds and Rubber -Sand in Backfills and Reinforced Soil Applications*; (Indiana: School of Civil Engineering, Department of Transportation, Junho 2016).

60 José Filipe Pinto Teixeira; *Estruturas de Suporte de Terras Executadas com Pneus*. (Porto: Instituto Politécnico do Porto 2012), 55.

61 Ibidem, 56.

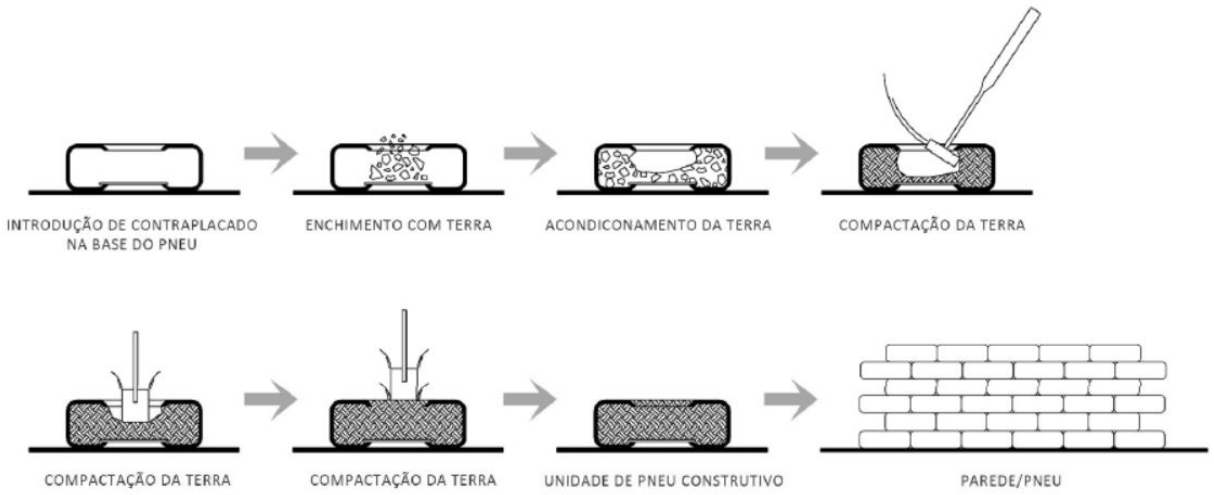


Fig. 64: Processo de enchimento e compactação da terra de enchimento dos pneus para elaboração de parede-pneu.

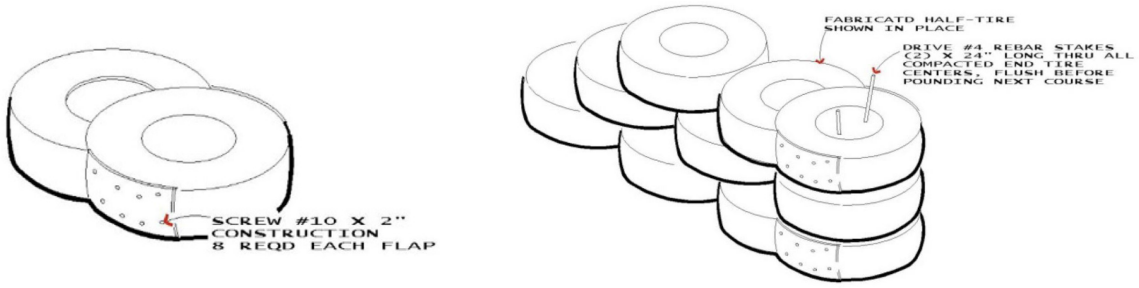


Fig. 65: Corte e amarração de pneus para permitir o remate vertical da parede. Esta solução prevê a amarração do pneu cortado através de aparafusamento.
Fig. 66:Para permitir estabilidade da parede, os topos devem ser ocupados por pneus inteiros, preenchidos com verguinhas de aço, para evitar deslocamentos.



Fig. 67: Exemplo de construção de habitação com parede-pneu, na Nova Zelândia. Podemos verificar a modelação dos pneus nas paredes. Neste caso, a construção foi planeada com recurso a fundações e pilares convencionais, de acordo com o regulamento zelandês. Das fundações elevam-se pilares de aço que trespassam os pneus em determinados pontos estratégicos das paredes.
Fig. 68: À direita, o pormenor da amarração feita com os pneus, para permitir uma modelação mais aperfeiçoada e uma dimensão constante da parede, sem necessidade de recorrer a outros materias.



Devido à sua utilização em edifícios, como as habitações, os perigos para a saúde pública devem ser contabilizados. A borracha do pneu não apresenta risco de apodrecimento nem de contaminação direta em contacto com o solo ou com a água. Portanto, a sua utilização em contacto com os elementos naturais não apresenta perigo para a saúde pública.



Fig. 69: Exemplo de muro de pneus, com acabamento e pintura. Localizada em Brighton, Inglaterra.



Fig. 70: Exemplo diferente, em que se tirou maior partido da forma dos pneus para finalizar o muro. Localizado no Novo México, EUA.

Para iniciar o processo de construção é colocada um tampão na parte inferior do pneu, que pode ser de cartão ou madeira, para evitar o vazamento do material de enchimento. Os pneus são enchidos com terra que é então compactada. Tal como na formação de muros de suporte, a sobreposição das fileiras de pneus é elaborada de forma contrafiada, pelo que existe a necessidade de rematar os topos verticais da parede. Entre as várias soluções de remate exploradas, a solução que parece mais eficiente consiste no rasgamento de um pneu para ser amarrado a partir do seu centro a um pneu inteiro justaposto, por forma a manter a fisionomia geral da parede. Este método foi apresentado como sendo a melhor solução, após a realização de testes apresentados no documento *Testing and Analysis of Modified Rammed Earth Tire Walls*[62], da autoria de Aaron Zimmerman. Após a construção por empilhamento de pneus estar terminada, procede-se então ao preenchimento dos espaços intersticiais. Os materiais utilizados para este processo podem ser vários, sendo as soluções mais praticadas, o enchimento com argamassas que podem ser naturais ou artificiais. As soluções de enchimento podem ser associadas às práticas locais. Posteriormente a parede deve ser rebocada e finalizada recorrendo aos materiais convencionais. Devido à espessura dos pneus, a largura mínima da parede deve rondar os 660 mm.

A parede pneu consiste num tipo de construção alternativo que tem sido alvo de análise por parte de entidades associadas à investigação e regulamentação de processos construtivos. Este facto permite-nos considerar dados concretos e mais assertivos, para uma melhor caracterização.

Para análise do **comportamento térmico** da parede pneu, assumiremos que as suas características térmicas são similares ao processo construtivo de taipa, visto a maioria da sua capacidade térmica provém da terra de enchimento. Contudo, é de realçar a diferença entre estes dois processos: a parede pneu dispensa a necessidade de terra adequada, como acontece com a taipa. Ao contrário da taipa, o enchimento de terra em pneus evita a necessidade de custos financeiros e ecológicos adicionais para transporte de matéria prima adequada.

Analisemos as características térmicas da parede pneu, provenientes de ganhos solares indiretos, (massa térmica, capacidade calorífica, retardamento térmico e condutibilidade térmica[63]) pois a parede absorve, reserva e liberta calor em determinadas quantidades e tempos.

62 Aaron Zimmerman; *Testing and Analysis of Modified Rammed Earth Tire Walls,* Swarthmore College, E90 Project, Department of Engineering. (Swarthmore: Maio de 2011).

63 Francisco Moita; *Energia Solar Passiva,* Direção Geral da Energia. (Lisboa: Imprensa Nacional Casa da Moeda, 1985), 86-93.

Tabela 3: Comparação de dados: características de diversos materiais utilizados na construção de paredes. Para cada material, foram considerados os dados relativos à espessura comum a cada material, para obter dados realistas em termos da prática construtiva.

	Massa térmica J/K.m3	Capacidade calorífica (por m2)	Retardamento térmico (horas)	Condutibilidade térmica W/m.K
Betão armado (200mm)	2340	468	5.1	2.3
Tijolo maciço (340mm)	1490	507	8	0.7
Adobe s/ palha (350mm)	1701	595	12.6	0.56
Taipa (450mm)	2952	1330	9.5	1.10
Sacos de areia (300mm)	1359	410	10.3	0.27
Parede pneu (700mm)	2952	2066	10.5	1.10

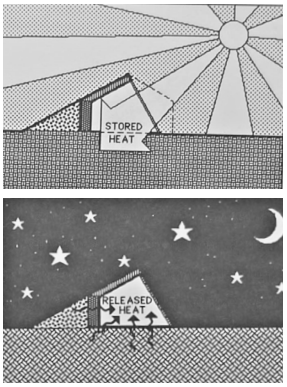


Fig. 71: Durante o dia, os materiais acumulam calor, de acordo com a luz solar que lhes incide e com as suas características térmicas. Durante a noite, quando a temperatura exterior é mais baixa e não existe iluminação solar, esse calor acumulado é libertado.

A relação adequada entre a materialização e a espessura da parede permite que o armazenamento de calor possa estabilizar com maior eficácia a temperatura interior ao longo do ciclo diário, tendo em conta a relação existente entre a capacidade calorífica do material e o seu retardamento térmico com as horas de temperaturas exteriores mínimas e máximas expectáveis. Ou seja, as oscilações de temperatura interior são tanto menores quanto maior for a capacidade calorífica do material de barreira com o exterior[64]. Quanto às diferenças existentes entre a estação de verão e a de inverno, diferenças essas de variação de temperatura e das horas de radiação solar, também são fundamentais a capacidade de armazenamento de calor e o retardamento térmico. No verão, quando as temperaturas altas ocorrem, o retardamento térmico provoca o arrefecimento do espaço interior, visto que ainda não está a libertar o calor das horas de maior radiação solar, enquanto que durante a noite, quando a temperatura exterior é mais baixa, inicia-se então o processo de libertação de calor acumulado nas paredes. No inverno, o mesmo processo é também benéfico, pois é nas horas de temperaturas baixas noturnas que o calor acumulado durante o dia se faz sentir, aquando a sua libertação das paredes. O retardamento térmico da parede pneu é de 10,5 horas, pois apesar da materialização ser equivalente à taipa, a espessura da parede é mais elevada.

No decorrer da prática da utilização da parede pneu, têm sido realizados testes quanto à sua **estabilidade** e **resistência,** tanto às forças verticais como horizontais. Em paredes construídas sem recurso a fundações convencionais, ou seja, através do simples apoio da parede em solo não perturbado, foram documentados os resultados dos testes realizados por entidades como é o caso da Swarthmore College - Department of Engineering[65], que realizou exercícios em paredes de teste, e a entidade Consulting Engineers and Geologists, que realizou testes no exemplar construtivo de uma habitação "Earthship" (com análise aprofundada no capítulo III), a Dennis Weaver Residence[66]. Ambos concluem que a parede pneu representa uma estrutura segura e fiável para habitações de um a dois andares.

64 Francisco Moita; *Energia Solar Passiva,* Direção Geral da Energia. (Lisboa: Imprensa Nacional Casa da Moeda, 1985), 86-93..

65 Aaron Zimmerman; *Testing and Analysis of Modified Rammed Earth Tire Walls,* Swarthmore College, E90 Project, Department of Engineering. (Swarthmore: Maio de 2011).

66 Consulting Engineers and Geologists, *Engineering Evaluation of Earth-Filled Tired Construction*, *Demis Weaver Residence.* (Colorado: 1990).

"*As paredes, lateralmente apoiadas, têm força suficiente para aguentar com a carga estrutural, e a fricção entre os pneus contrapostos permite resistir a deslizamentos e a pressões de torção provenientes do exterior. A carga aplicada às fundações comprova a capacidade de construir diretamente em solo não perturbado"*[67].

A parede pneu parece ser flexível ao ponto de se adaptar aos movimentos da terra, visto que a borracha cede aos movimentos de contração e de expansão, evitando a ocorrência de fissuração ou roturas, comuns nos elementos construtivos estáticos. Os pneus de base devem ser colocados abaixo da linha de geada, onde a temperatura é mais constante, para evitar vulnerabilidade face a constantes movimentos termais[68].

Seguindo a linha de pensamento anterior, em questões de **sismologia**, a parede pneu apresenta-se como "*uma estrutura massiva, durável e resiliente, preparada para lidar com cargas sísmicas provocadas por tremores de terra*"[69]. Este facto pode ser credível quando aplicadas soluções antissísmicas. Apesar da terra estar contida dentro da estrutura do pneu, consideremos as soluções correspondentes à construção em taipa. Segundo o documento *"Construction manual for Earthquake-resistance houses built of Earth"*[70], as estruturas em terra podem ser 50% mais afetadas por forças horizontais do que por forças verticais, e por esse motivo, a prevenção de fissuras ou desmoronamento não deve ser desvalorizada na construção. A forma da habitação é importante na prevenção, sendo a forma circular a menos propensa a afetação por forças horizontais. As paredes devem estar bem agarradas às bases ou fundações e a altura da parede não deve ultrapassar 8x a espessura da mesma. O interior da parede pode ser reforçado com varas verticais, ininterruptas desde a base até ao topo. Na base e no topo, a parede deve ter varas horizontais, amarradas às verticais. Tanto no caso da taipa como no caso da parede pneu, será um processo plausível de realizar. Cada solução deve ser ajustada ao caso concreto.

Portanto, as construções com paredes de pneu enchido de terra podem ser uma alternativa ambientalmente sustentável às práticas de construção convencionais. A nível económico, o material é de baixo custo. Contudo, a sua aplicação parece ser mais plausível em áreas de baixa densidade construtiva, pois trata-se de um processo construtivo adequado a edificações que não ultrapassem os dois pisos[71]. Pelos limites do material e restrições construtivas referidos que condicionam a construção em altura e limitam a versatilidade de espaços interiores pelo volume elevado do material, o recurso à sua aplicação não parece adequado a áreas urbanas, onde prosperam a construção em altura e áreas construtivas mais limitadas, o que impele a utilização de materiais leves.

---

67 Consulting Engineers and Geologists, *Engineering Evaluation of Earth-Filled Tired Construction*, *Demis Weaver Residence.* (Colorado: 1990), 12.

68 Michael, Reynolds, *How to built your own*, Vol. I. (Earthship Biotecture, 1990), 69-73.

69 Michael, Reynolds, *How to built your own*, Vol. I. (Earthship Biotecture, 1990), 81.

70 Gernot Minke; *Construction Manual for Earthquake-Resistant Houses Built of Earth.* (GATE - BASIN at GTZ GmbH, 2001).

71 Aaron Zimmerman; *Testing and Analysis of Modified Rammed Earth Tire Walls,* Swarthmore College, E90 Project, Department of Engineering. (Swarthmore: Maio de 2011), 51.

Capítulo III - Earthship:

Caso de Estudo sobre Construção com Recurso a Resíduos

3.1- Contextualização das Earthship

3.1.1- Surgimento das Earthship

3.1.2- Conceito de Habitar Inerente ao Projeto

3.2- Earthship Global Model

3.2.1- Desenvolvimento e Configuração de um Modelo Global

3.2.2- Materialização e Processo Construtivo do Modelo Global

3.2.3- Autonomia do Edifício: Recolha, Reutilização e Reciclagem de Recursos

3.2.4- Exemplos de Projetos

3.3- Earthship Simple Survival Model

3.3.1- Desenvolvimento do Modelo

3.3.2- Configuração e Autonomia

3.3.3- Exemplos de Projetos

3.1- Contextualização das Earthship

Um exemplo com grande amplitude em investigação e em construção com recurso a materiais descartados desde o pneu, as garrafas de vidro, PET, latas de alumínio é o projeto de construção de Earthship, desenvolvida pela empresa Earthship Biotecture, nos EUA. O desenho dos seus modelos reúne várias noções de sustentabilidade (pelos materiais, condições de termicidade, produção de resíduos) e de autonomia face às dependência de infraestruturas de serviços.

3.1.1- Surgimento das Earthship

A Earthship surge como um novo conceito do "habitar", em meados da década de 70 do século XX, pelas mãos do arquiteto Michael Reynolds. Durante a crise do petróleo vivida nessa década e com conhecimento sobre as consequências ambientais que se começavam a sentir, Reynolds decide avançar com experiências de desempenho ambiental em habitações convencionais. Na investigação de soluções para criar um mundo mais limpo e preocupado com a devastação ambiental, dedicou a sua carreira profissional na construção de habitações com recurso a materiais considerados resíduos que se acumulavam em aterros. Os projetos são também delineados para a autossificiência em relação ao abastecimento de água, energia, saneamento; com possibilidade de produção de alimentos para consumo próprio e promoção do conhecimento de processos de autoconstrução. Com o intuito de utilizar itens descartados e reutilizá-los, Reynolds inicia o seu percurso profissional com a construção de *Thumb House*, em 1972, com recurso a latas de cerveja vazias na constituição de paredes. Com base no resultado final do processo aplicado, o autor conseguiu uma patente para a utilização das latas de alumínio enquanto material e processo construtivo em 1973[1]. Desde então tem construído as Earthship por todo o planeta, em diferentes condições de envolvência.

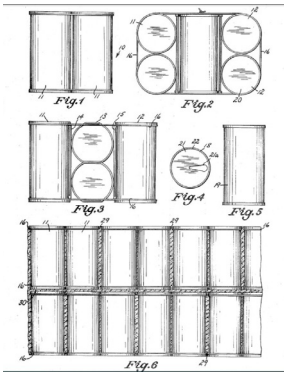


Fig. 1: *Building block of emplty cans*, explicação do sistema construtivo para o qual Michael Reynolds obteve a patente para construção de paredes com recurso a latas de cerveja vazia, aquando a construção do seu projeto, Thumb House.


Fig. 2: Thumb House, 1972. Primeira habitaçao finalizada com recurso a latas de cerveja vazias, no Novo México, EUA.

"*Garrafas, latas e, sobretudo, pneus velhos cheios de terra, assim se constroem as "Earthship", moradias que prometem garantir a sobrevivência dos seus ocupantes mesmo nos piores cenários"*[2].

A obra do arquiteto norte americano resulta de uma procura constante de processos construtivos que suprimam a necessidade de utilização de recursos naturais finitos e a poluição produzida quer durante o processo de construção quer durante a vida dos edifícios. Os processos de construção com resíduos são considerados como técnicas construtivas amigas do ambiente, e possibilitam a redução de gastos de energia e água utilizadas durante a obra.

1 REYNOLDS, Michael. *Bulding Block Of Emplty Cans*. United States Patent: March 20, 1973

2 Pedro Pires Serrão; "Earthship: casas ecológicas à prova de catástrofes"*;* jornal *PÚBLICO*, *Ecologia* (21.11.2013). https://www.publico.pt/2013/11/20/p3/noticia/earthship-casas-ecologicas-a-prova-de-catastrofes-1818581.

O arquiteto desenvolve ainda sistemas que propiciam a poupança de recursos durante a vida do edifício e o reaproveitamento de resíduos domésticos, sistemas estes que insere no programa habitacional. O desenho do espaço contempla os indissociáveis espaço de estufa e talude posterior, respetivamente área de entrada de calor e área de acesso de ar fresco que, conjuntamente, regulam a temperatura interior e permitem ao edifício albergar os diversos sistemas de autossuficiência.

Segundo o autor, a produção de grande parte dos materiais convencionais implica grandes gastos de energia e poluição. Os materiais são, muitas vezes, produzidos em áreas centralizadas e dependem de transporte para outras áreas do país e do mundo, o que provoca enormes gastos económicos, energéticos e ambientais. A produção de energia elétrica e os sistemas de distribuição não servem os interesses geral das pessoas. O seu preço ecológico traduz-se no esgotamento dos recursos que levaram milhões de anos a produzir e na poluição de um ambiente delicado que sustenta a vida. Também o sistema de purificação e tratamento das águas residuais é um problema de proporções sérias, pois grande parte do volume dessas águas produzido requer tratamento por questões de contaminação devido à utilização doméstica de produtos químicos. Todos os sistemas de fornecimento de serviços funcionam com base em recursos económicos, o que significa que, quando não existe poder económico, o acesso aos sistemas é interdito. Essa interdição acontece independentemente da época do ano, podendo acontecer num período extremo, como os picos de inverno ou verão, deixando as pessoas numa situação de precariedade. Portanto, a habitação encontra-se num momento em que os materiais tendem a ditar a natureza da casa quando devia ser ao contrário[3].

As premissas para a filosofia defendida são a recusa de um sistema capitalista e consequente dependência económica das populações em relação às grandes empresas e aos governos, que levam a uma espécie de escravidão moderna, em que o homem comum não controla vários aspetos da sua vida. Vive dependente da economia para tudo: para ter abrigo, para se alimentar, para ter energia, para ter água e até ar, considerando a questão da sua vivência em cidades poluídas e sujeitas a catástrofes. O sistema capitalista promove a existência de pessoas em situação de fome e de falta de abrigo. A produção excessiva de resíduos é um facto diretamente relacionado com o habitar, quer no momento de construção quer na utilização do espaço habitacional[4]. A filosofia aplicada em cada projeto Earthship implementa um estilo de vida ambientalmente propício e autónomo da dependência física, económica e social da vida do Homem moderno. Seguindo os mesmos princípios, foram desenvolvidos diferentes modelos e tipologias, que promovem a autoconstrução por parte do cidadão comum interessado e a acessibilidade em termos de custos de execução de obra e programa associado. Estas são as premissas inerentes à obra escrita do autor, "Earthship", composta por três volumes[5].

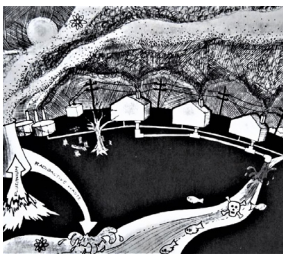


Fig. 3: Sistema de habitação e de ligação às infraestruturas atual, segundo o autor. Neste sistema, a poluição ambiental e a dependência dos sistemas são evidentes.

3 Michael, Reynolds, *Earthship, How to built your own*, Vol. I. (Earthship Biotecture, 1990).

4 Ibidem.

5 Michael Reynolds, *Earthship, How to built your own*, Vol. I, (Earthship Biotecture, 1990); *Earhship, Systems and Components*, Vol. II, (1991); *Earthship, Evolution Beyond Economics*, Vol. III; (1993).

3.1.2- Conceito de Habitar Inerente ao Projeto

O Homem devia ter controlo sobre a sua vivência no planeta e ser responsável pela sua inserção no ambiente, para obtenção de abrigo, de alimentação e demais necessidades, em contacto pleno com a natureza à qual pertence, sem dependência de sistemas que não controla e que o condicionam. São estas as bases em que o projeto Earthship se apoia. O resultado foi desenvolvido por processos de constante aperfeiçoamento. A Earthship Global é o modelo mais generalizado, preparado para habitação, que pode ser construído dentro das suas variantes, consoante o clima local.

A Earthship baseia-se nos seguintes seis princípios fundamentais[6]:

- sistema solar passivo para aquecimento e arrefecimento;
- construção com materiais naturais e reciclados;
- produção de alimentos para consumo próprio;
- produção de energia solar e eólica, com sistema de armazenamento de energia;
- sistema de reutilização e reciclagem de águas cinzentas;
- reciclagem do lixo produzido na habitação.

As habitações devem tornar-se locais de Interface, ou seja, envolver as ideias pré-concebidas de estilo e aparência com a independência e o desempenho. Sendo o Homem parte de Natureza, deve procurar viver em harmonia com ela, ou seja, dar e receber do planeta, não só receber. Segundo o autor, a Earthship possibilita esta independência em qualquer parte do mundo[7].

Atualmente, existem edifícios de diversas tipologias Earthships dispersas por todo o planeta, inseridos em áreas de diferentes climas. O objetivo de construção de habitações foi transposto e alguns exemplos de Earthship albergam diferentes programas.



Fig. 4: Localização dos vários exemplos de Earthship no mundo, inseridos em diferentes climas.

6 https://www.earthshipglobal.com/.
7 Michael, Reynolds, *How to built your own*, Vol. I. (Earthship Biotecture, 1990).

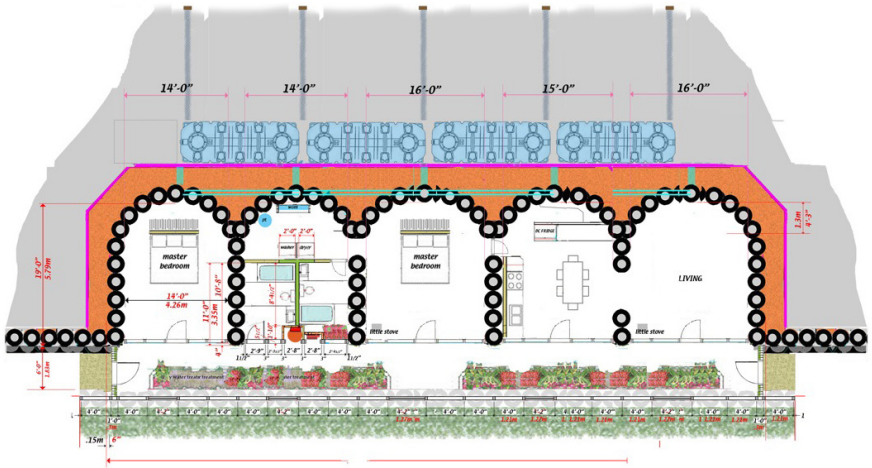


Fig. 5: Planificação de um modelo inicial Earthship com multiplicação de formas "U", construídas com paredes pneu. A estufa na fachada principal do edifício, parte da terra de talude protegida com material impermeabilizante, as cisternas de água assinaladas a azul, e as entradas de ar fresco por baixo do talude. As entradas na habitação fazem-se pelas laterais do edifício.

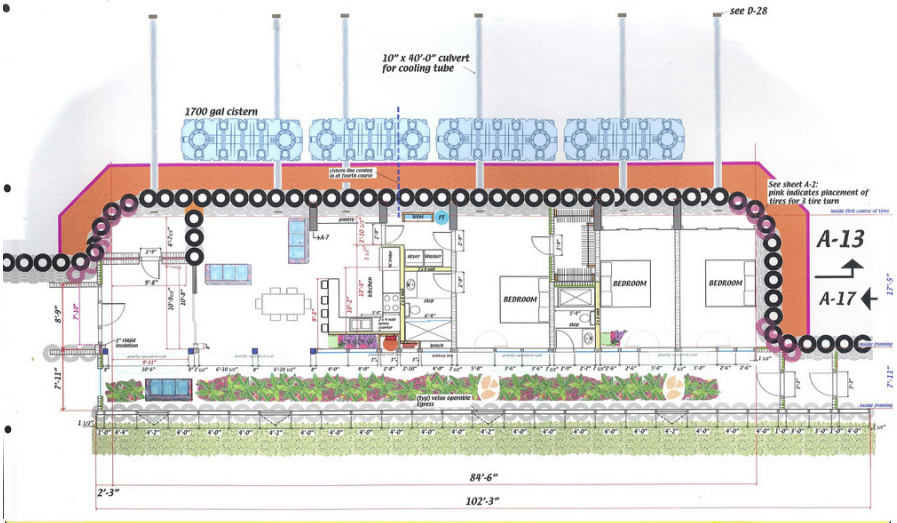


Fig. 6: Planificação de um dos modelos atuais Earthship, com a parede pneu nas fachada posterior e laterais. A estufa e o talude mantém-se definidores do desenho. A impermeabilização, as cisternas de água, as entradas de ar fresco e a localização das entradas na habitação também são relevantes na definição do projeto .

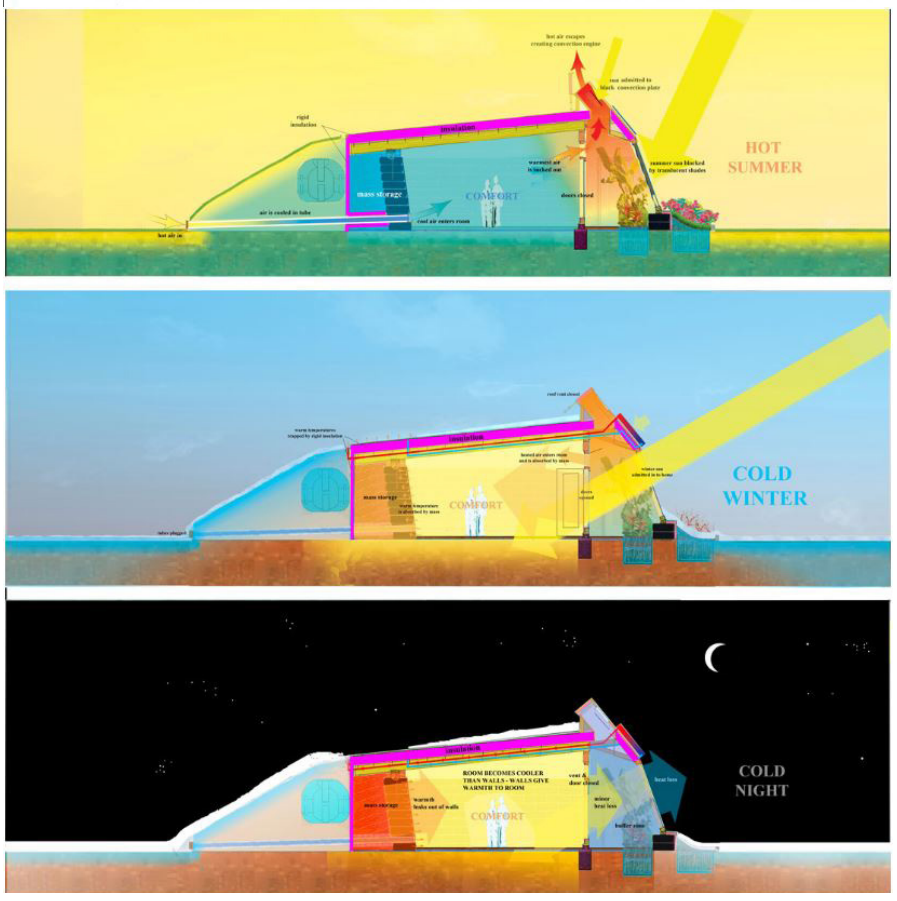


Fig. 7: Corte tipo explicativo do sistema solar passivo das Earthship. Durante o verão, com as temperaturas mais quentes, o calor é expelido por aberturas na cobertura, e o ar fresco entra por canais localizados sob o talude posterior. No inverno, com as temperaturas mais frias, o calor proveniente dos raios solares é aproveitado ao máximo para aquecer o interior do edifício. Durante a noite, o calor acumulado nas paredes pneu é libertado.

3.2- Earthship Global Model

Os modelos Earthship traduzem um projeto baseado em regras de energia solar passiva. No Modelo Earthship Global, o projeto compõe-se por duas áreas intrínsecas mas distintas que definem o seu interior. São essas áreas a estufa, onde o edifício recolhe a energia solar, e a área de conforto, onde o edifício acumula a energia recebida.

3.2.1- Desenvolvimento e Configuração de um Modelo Global

O modelo Global foi inicialmente desenvolvido em módulos com forma de "U", com as dimensões standard de 5,5 metros de largura por 8 metros de profundidade, determinados por paredes pneu. O objetivo do modelo sempre foi a absorção máxima de calor proveniente da energia solar, através das paredes coletoras. Este modelo inicial não pressupunha materiais de isolamento térmico, necessitando por isso de maior massa para absorção de calor. O módulo "U" era passível de ser multiplicado lateralmente ou diagonalmente, com o cuidado de evitar zonas de sombra no horário de absorção de energia. Com o avançar da investigação, a definição do modelo Earthship Global foi aprimorada e o desenho interior evoluiu para um espaço estruturalmente amplo, com definição livre das divisões interiores.

A **estufa**, na fachada principal, é o eixo distribuidor que acede aos restantes espaços interiores. Aí se localizam os acessos à habitação. É através da estufa que a habitação recebe os ganhos da energia procedente da radiação solar direta nos dias ensolarados e ganhos de radiação difusa nos dias de céu encoberto. A estufa é conduta distribuidora do calor pelos compartimentos internos, onde é absorvido pela massa térmica da parede pneu[8]. A estufa permite a produção de alimentos, a produção de oxigénio pelas plantas e a reciclagem de águas cinzentas e de resíduos orgânicos para alimentação das plantas.

O **talude** posterior possibilita: a proteção do edifício em relação a correntes ventosas; o proveito da amenização térmica que a terra oferece; o aumento da massa calorífica da parede pneu; a colocação de cisternas para armazenamento da água da chuva recolhida; o sistema de conduta e de arrefecimento de ar para controlo da temperatura interior.

O **alinhamento** do edifício depende da sua localização, da latitude e do clima local. Esses fatores determinam também a variante do modelo mais apropriada. No caso europeu, a estufa deve ser alinhada a sul e as paredes recolectoras a norte. A inclinação dos envidraçados da estufa podem variar consoante o clima local. No caso de clima temperado, podem ser consideradas aberturas ou até a desativação sazonal da estufa para evitar os excessos de ganhos solares nos dias mais quentes[9].

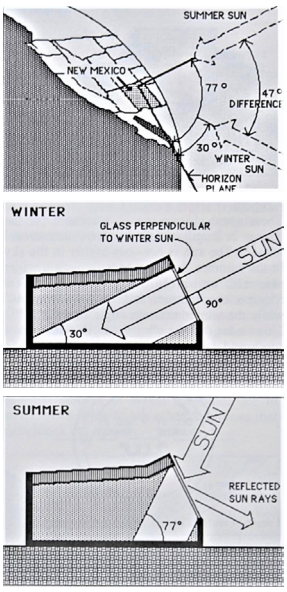


Fig. 8: A importância da latitude e do clima para alinhar o edifício Earthship e a fachada envidraçada da estufa. No caso do Novo México, é importante que a luz do sol de inverno incida o máximo possível no interior do edifício.

8 Francisco Moita; *Energia Solar Passiva,* Direção Geral da Energia. (Lisboa: Imprensa Nacional Casa da Moeda, 1985), 93.
9 Ibidem, 98.

Fig. 9: Corte explicativo do sistema do edifício. A cobertura é apoiada na parede pneu e na fachada estrutural construída por elementos de madeira. O ar fresco entra pelo talude e o ar quente é expelido pelas aberturas na estufa. Cisternas de água sob o talude recolhem a água que cai na cobertura. O isolamento percorre a cobertura e fachada posterior.

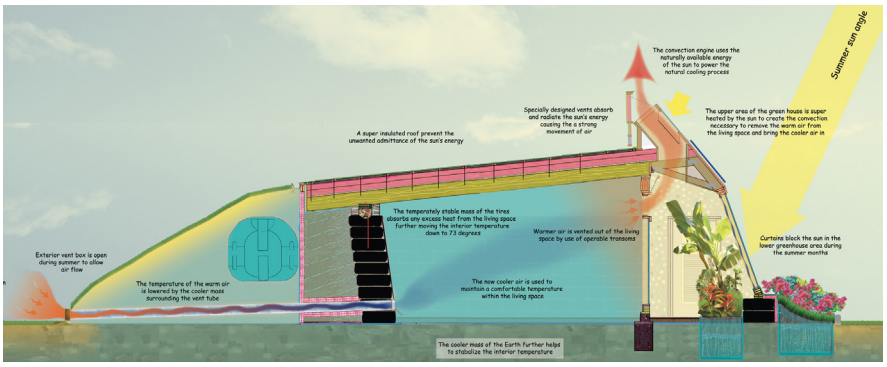




Fig. 10: Processo de construção. As paredes de pneu estão terminadas com os espaços intersticiais preenchidos com latas de alumínio. O materia utilizado para o preenchimento das juntas é o betão. A estrutura da fachada é em madeira. Podemos verificar a viga longitudinal apoiada nas paredes de pneu e a definição dos vãos e da cobertura da estufa.

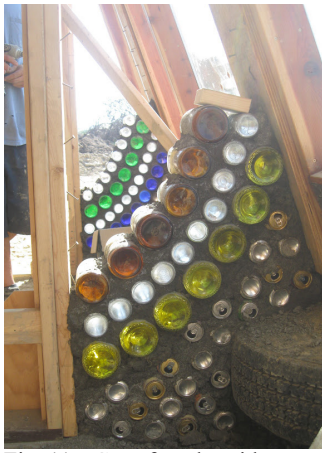


Fig. 11: Garrafas de vidro em paredes internas.

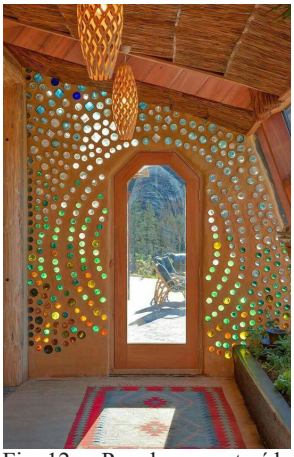


Fig. 12: Parede construída com garrafas de vidro, como parte da decoração interior.



Fig. 13: Construção de paredes interiores com recurso a latas de alumínio.



Fig. 14: Habitação em Taos, Novo México, EUA.

3.2.2- Materialização e Processo Construtivo do Modelo Global

Os materiais reutilizados numa Earthship são destinados a diferentes funções. Os pneus formam paredes pesadas, com carácter estrutural. Dependendo da regulamentação local, pode ser exigido a construção de fundações e estrutura convencionais. No caso de permissão para prescindir da estruturação convencional do edifício, as primeiras fileiras de pneus devem localizar-se abaixo da linha de geada, para propiciar mais estabilidade à parede e para que o interior possa tirar partido da temperatura amena da terra[10]. Pelos mesmos motivos se compõe o talude posterior, suportado pela parede pneu. As paredes interiores são construídas com recurso a materiais com capacidades não estruturais, como as latas de alumínio e as garrafas de vidro e PET. As latas de alumínio são ainda colocadas nos espaços intersticiais entre os pneus na parede pesada, o que possibilita uma redução na quantidade de argamassas de acabamento. As garrafas de vidro e PET formam paredes internas e estas podem beneficiar de uma função decorativa dos elementos, devido à sua forma, transparência e cor. A estrutura da estufa compõe-se frequentemente com elementos de madeira, com o parapeito sob os envidraçados em pneus na fachada principal. A cobertura pode ser construída com estrutura em betão ou madeira, apoiada na parede pneu posterior e na estrutura da estufa. É prevista uma inclinação suficiente para a recolha de água, com caimento para a parte posterior do edifício, onde se situam as cisternas. O piso interior pode ser materializado com materiais convencionais, desde madeira a acabamento cerâmico.

O isolamento térmico e a impermeabilização são colocados no exterior da parede pneu e sobre a cobertura. São ainda colocados na canalização do ar arrefecido trazido sob o talude, para que o ar não seja influenciado pelo calor da terra. No entanto, o modelo original não contempla isolamento térmico sob o chão. Segundo Michael Reynolds, o enterro da base do edifício pressupõe que o interior do edifício seja influenciado pela temperatura amena da terra. Contudo, estudos comparativos entre a habitação convencional, a Passive House e a Earthship, realizados pela Universidade de Groninga, Holanda, a maior fatia de perda de calor nas Earthship concentra-se no chão, pelo que o seu isolamento possibilitaria melhorias no sistema de energia solar passiva[11].

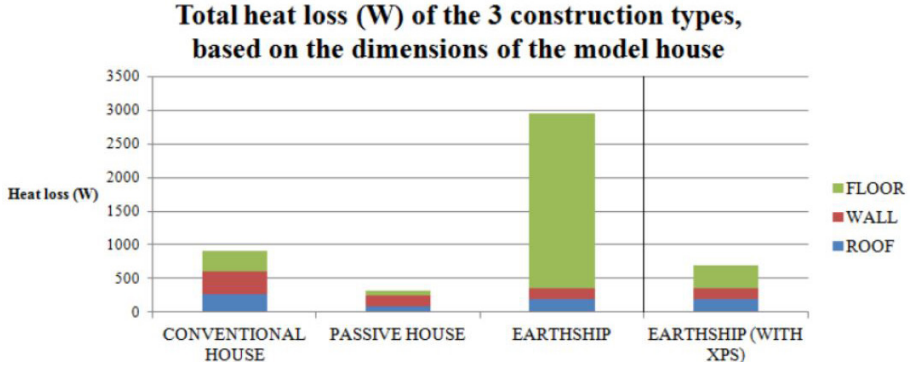


Gráfico 1: Comparação de perdas de calor dos três tipos de habitação: a habitação convencional, a Passive House e a Earthship. É possível perceber a diferença de perda de calor entre a Earthship sem isolamento térmico no pavimento e com isolamento tipo XPS.

10 Michael Reynolds; *Earthship, How to built your own*, Vol. I, (Earthship Biotecture, 1990), 42.

11 Elena Kuil, *The sustainability of conventional houses, passive houses and earthships, based on legislation, environmental impact energy and operating energy.;* Master Programme Energy and Environmental Sciences. (Groningen: University of Groningen, 2012).

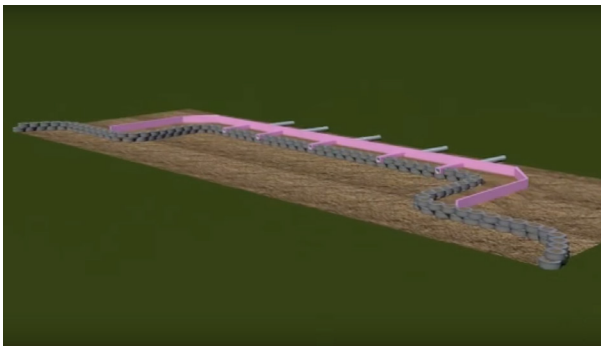


Fig. 15: Primeiras fiadas de pneus. Posicionamento da canalização para entrada de ar fresco. O isolamento térmico acompanha a parede mantendo o espaço necessário para acréscimo de massa térmica proveniente da terra.

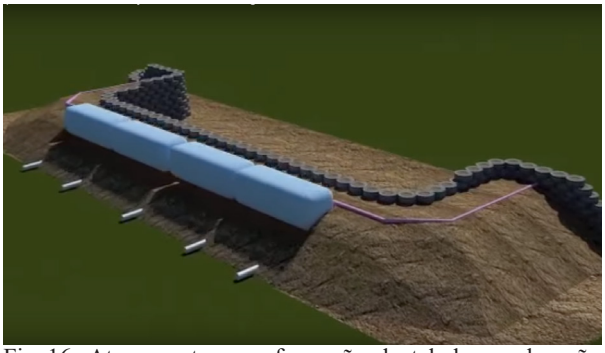


Fig. 16: Aterramento para formação de talude e colocação das cisternas de reserva de água. Localização dos canais de ar fresco, em relação à composição do talude. O isolamento acompanha a altura da parede pneu.

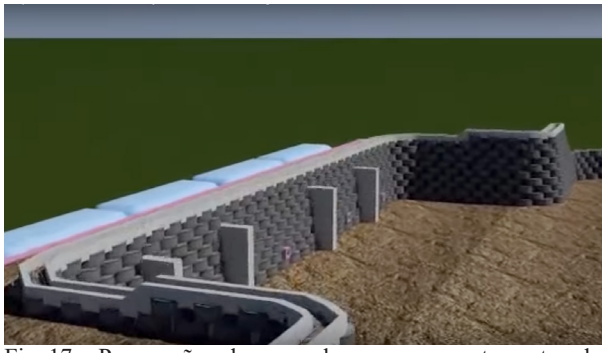


Fig. 17: Preparação das paredes para assentamento da cobertura: amarração de cinta e de pilares em betão armado. O aço é enterrado na terra interior dos pneus na vertical e amarrado na horizontal. Os pilares são também amarrados.



Fig. 18: Viga de betão enterrada que servirá de fundação para o assentamento da parede estrutural da estufa. O isolamento térmico acompanha a viga.

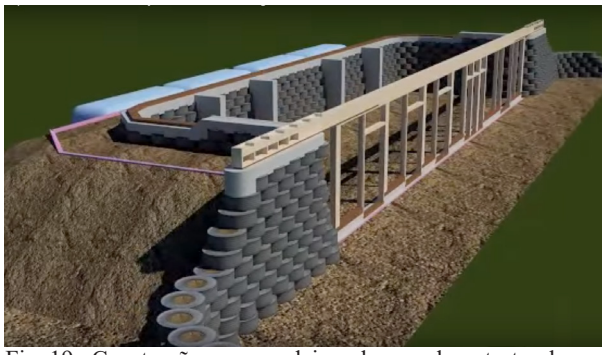


Fig. 19: Construção, em madeira, da parede estrutural que suportará a estrutura da estufa e a cobertura do edifício. Preparação dos vãos para portas e janelas.



Fig. 20: Colocação de vigas em madeira para elaboração da cobertura. São apoiadas na cinta sobre a parede pneu e na parede estrutural da frente.

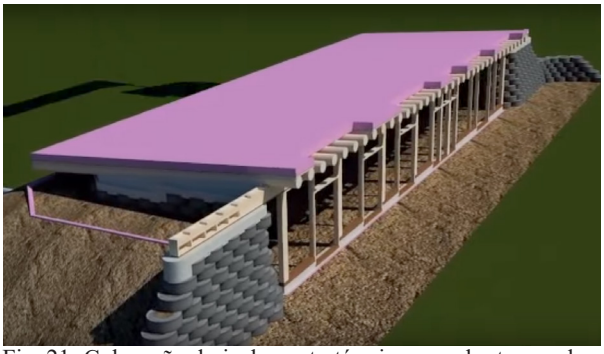


Fig. 21: Colocação do isolamento térmico na cobertura, sobre tela impermeabilizante. As aberturas na parte da frente são destinadas à colocação de caixas para saída do ar quente e armazenamento de energia.

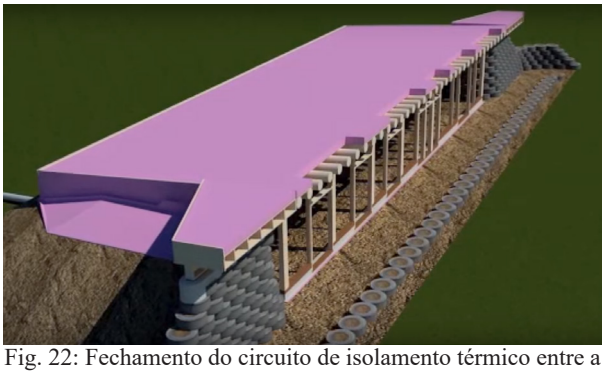


Fig. 22: Fechamento do circuito de isolamento térmico entre a cobertura e o talude. Colocação das fiadas de pneu na fachada principal do edifício sob o parapeito dos envidraçados de estufa.

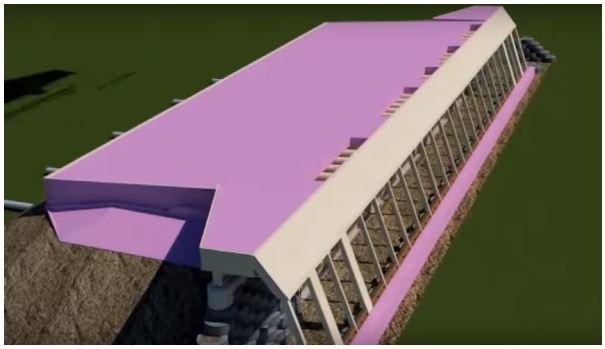


Fig. 23: Conclusão estrutural da estufa: definição dos vãos, isolamento dos restantes elementos da fachada.

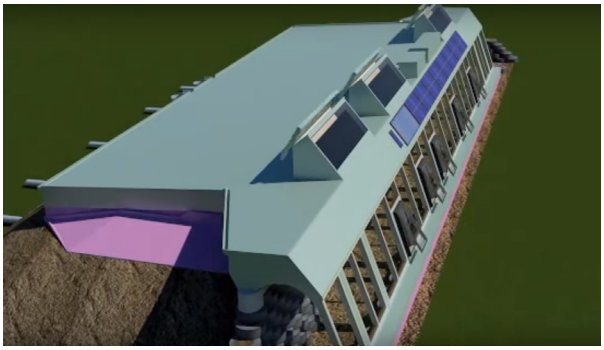


Fig. 24: Materiais de acabamento exteriores, que serão do tipo escolhido pelo cliente. Colocação das caixas de ventilação e caixas de baterias para armazenamento de energia. Painéis fotovoltaicos na fachada.

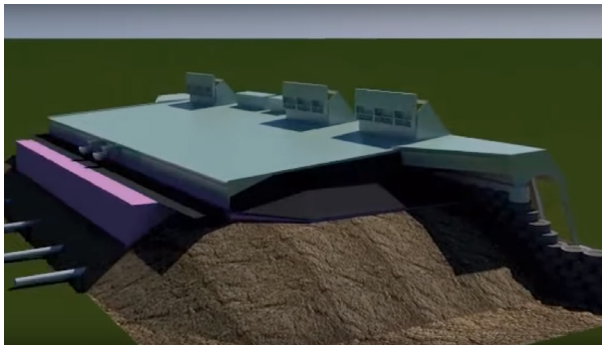


Fig. 25: Isolamento térmico na parte posterior das cisternas. A impermeabilização extende-se para fechar o circuito.

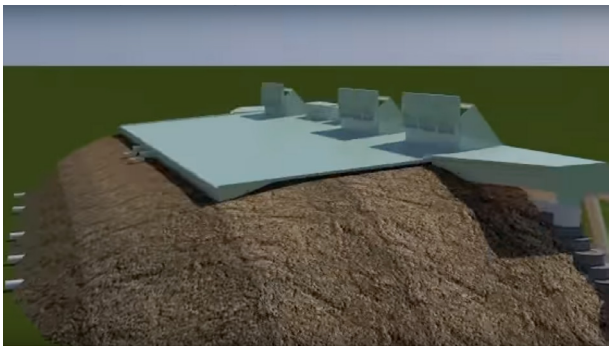


Fig. 26: Aterramento do talude completo.



Fig. 27: Interior da Earthship: o pavimento encontra-se em terra. Não foi colocado qualquer material de base, isolamento ou impermeabilizante.



Fig. 28: Definição das paredes internas. Neste caso, com recurso às latas de alumínio.



Fig. 29: Interior da estufa: pavimentação do corredor; entrada no edifício pelos topos; espaços preparados para colocação de plantas.



Fig. 30: Earthship após finalização dos trabalhos de obra de construção.

3.2.3- Autonomia do Edifício:

Recolha, Reutilização e Reciclagem de Recursos

Sistema elétrico: As Earthship incorporam no seu projeto a utilização de painéis fotovoltaicos (energia solar) e aerogeradores (energia eólica) para produção de energia elétrica, dependendo da localização da habitação e da abundância de recursos no local. A energia produzida é consistente com a amplitude da sua necessidade no edifício, visto que o desenho das Earthship implementa a redução da necessidade de energia elétrica. A energia produzida através dos sistemas solar e eólico é posteriormente armazenado por um conjunto de baterias.

Sistema de recolha de água: O sistema de circulação de água é composto por elementos de recolha, armazenamento e purificação. Segundo Michael Reynolds, num clima em que se obtém, pelo menos, 250 mm de precipitação por ano, será possível armazenar água suficiente para uso doméstico. Este procedimento é vantajoso se forem postos em prática outros sistemas como a sanita seca, a reciclagem das águas cinzentas para rega e alimentação das plantas da estufa e o uso regrado da água reservada[12]. A recolha acontece na cobertura, através de caleiras que conduzem a água para os reservatórios que pode ser localizados no exterior ou no interior da habitação, junto à estufa. Para obter um bom funcionamento, deve ser considerado um sistema de drenagem para evitar a queda de resíduos juntamente com a água, assim como a incorporação de um sistema de limpeza e de filtragem de água. A localização de um reservatório de água na área de estufa pode ser associado a outro benefício térmico: a amenização da temperatura interior[13].

Reciclagem de águas cinzentas: A alimentação das plantas é feita com recurso às águas cinzentas filtradas. Essa filtragem é feita dentro de um depósito de tratamento próprio, onde a água percorre um sistema de filtros compostos por gravilha para ser posteriormente puxada a motor e proceder à alimentação das plantas.

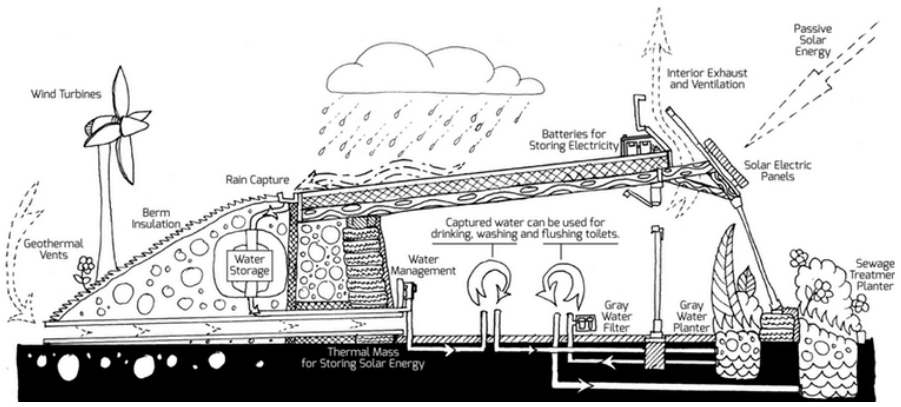


Fig. 31: Sistemas de produção de energia e recolha e tratamento de águas. Armazenamento de energia elétrica em baterias colocadas na cobertura. Turbinas de energia eólica. Entrada de ar fresco pelo talude e saída de ar quente pela cobertura. Recolha de água da chuva e tratamento para utilização no edifício. Processos de filtragem de águas cinzentas, para posterior utilização como rega para as plantas da estufa.

12 Michael Reynolds; *Earthship, How to built your own*, Vol. I, (Earthship Biotecture, 1990).

13 Francisco Moita; *Energia Solar Passiva,* Direção Geral da Energia. (Lisboa: Imprensa Nacional Casa da Moeda, 1985), 95.

Sanita seca: O sistema de sanita seca consiste na utilização de uma sanita sem necessidade de recurso a água ou a eletricidade, mas sim de energia solar direta. Os excrementos caem diretamente num cesto colocado com uma face virada para o sol para uma fermentação rápida, que pode atingir os 400ºC. A matéria transforma-se naturalmente em substrato e pode ser utilizada para alimentação das plantas.

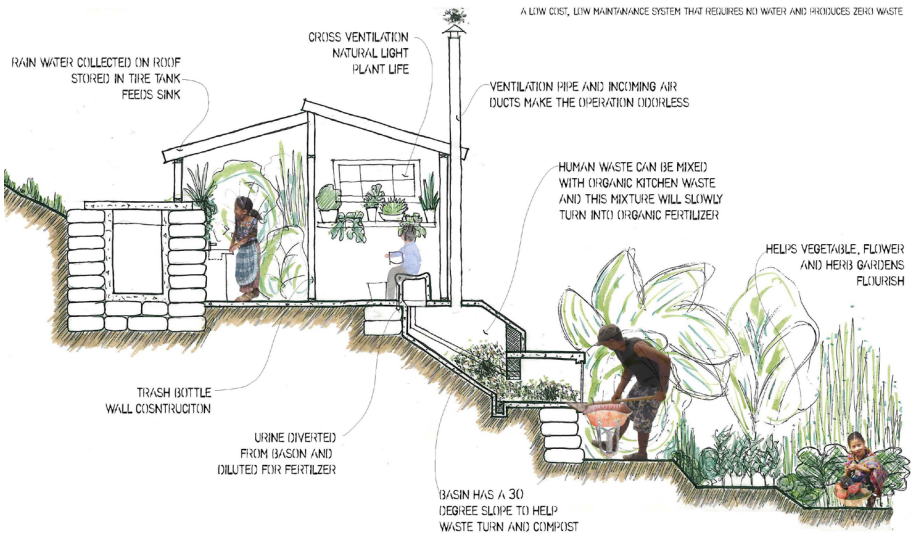
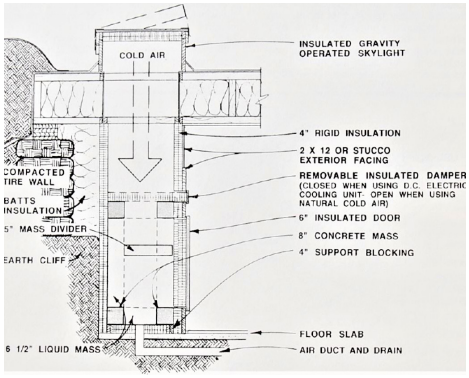


Fig. 32: Explicação do sistema de sanita seca e produção de substrato para a produção de alimentos na terra circundante. O substrato é produzido através do processo de fermentação de dejetos provenientes do depósito da sanita.

Sistema de refrigeração passiva: Com base em procedimentos antigos de refrigeração de alimentos sem recurso a sistemas elétricos, as Earthship incorporam uma forma de refrigeração passiva, através de arrefecimento noturno. Este sistema consiste na inserção de um espaço interior que admite a entrada do ar frio noturno e se fecha para o ar quente diurno. Em algumas zonas do planeta, este sistema funciona sem qualquer necessidade de energia elétrica. Contudo, em alguns locais alguma energia é necessária, apesar da diminuição considerável dos gastos de energia.

Fogão e forno solares: O fogão e o forno solares funcionam através de uma caixa exposta aos raios solares diretos, construída com materiais que absorvem muito desse calor. Este sistema necessita de uma quantidade de energia elétrica menor que o comum, visto que parte da temperatura é alcançada por ganho direto de energia solar. Para as horas em que o sistema do forno está desativado, prevê-se a destilação de água através de um processo de evaporação.



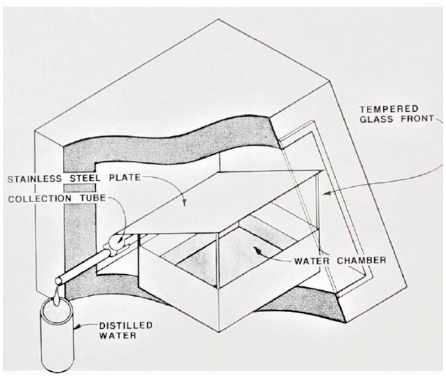


Fig. 33: À esquerda, corte tipo de um sistema de refrigeração passiva, através do ar frio noturno.
Fig. 34: À direita, processo de destilação de água dentro do espaço do forno, quando este não está a ser utilizado.

Fig. 35: Projeto E.V.E., localizado em Taos, New México. Neste local encontram-se várias habitações familiares, assim como a sede da Organização Earthship Biotecture e Academia Earthship Biotecture, onde vários jovens e arquitetos recém formados podem aprender os processos de construção ou trazer novas soluções para os vários modelos Earthship.



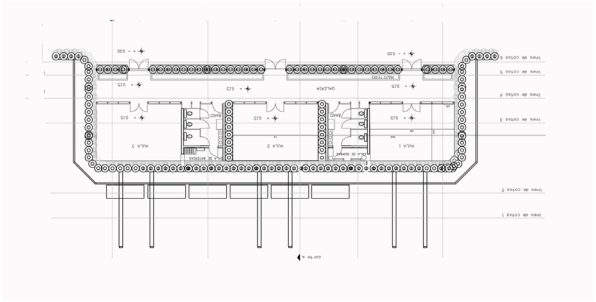


Fig. 36: Projeto para a escola em Jaureguiberry, Uruguai. Planificação do espaço interior. Estufa orientada a Norte.

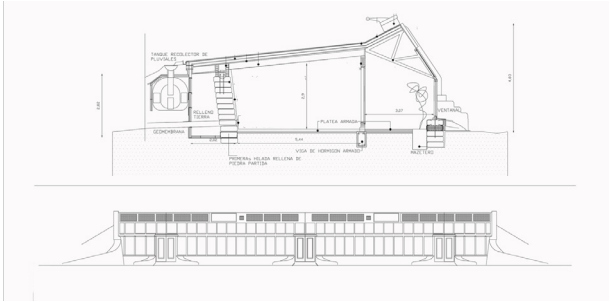


Fig. 37: Corte construtivo e fachada principal do edifício. O desenho resume-se ao Modelo Global.



Fig. 38: Processo de construção: estrutura constituída por pneus, elementos de betão e de madeira.



Fig. 39: Pormenor do interior da parede pneu, com inserção das aberturas necessárias para a entrada de ar fresco.



Fig. 40: Espaço da estufa, com definição da cobertura deste espaço do edifício.



Fig. 41: Escola terminada. Energia produzida pelos painéis. Caixas de saída de ar quente na cobertura. Neste exemplo, a entrada é feita pela fachada principal.

3.2.4 - Exemplos de Projetos

"Um fator importante para desenvolver o estado de espírito adequado para habitar uma Earthship é a consciência de que uma Earthship não é uma casa. Uma casa, como a conhecemos, é um conceito ultrapassado, que já não é apropriado para a vida humana na terra. Com essa perceção, não transformamos uma Earthship numa casa. Uma Earthship é uma nave que permite cuidar de nós no mundo de amanhã, quando os abusos populacionais e globais forem realidades a serem enfrentadas. Esse amanhã está a aproximar-se depressa. Aí estaremos mais preocupados com autossuficiência em questões de conforto e de comida do que com estilo e tradição"[14].

Conceito de Comunidade: E.V.E. Project, Taos, New Mexico

O Projeto EVE (Earthship Village Ecologies) consiste numa aldeia constituída por Earthships, localizada numa área onde existe permissão para construir fora dos códigos de construção regulamentares, para fins experimentais. O projeto EVE encontra-se em Taos, Novo México, e é nessa área que Michael Reynolds e a sua equipa realizam testes e protótipos que propiciam novos e constantes desenvolvimentos no projeto Earthship. Desenvolvida desde a década de 70 do século XX, a vila consiste numa comunidade de pessoas que aí habitam, trabalham e cultivam alimentos. A propriedade onde se insere tem dois hectares de um ambiente considerado desértico e inóspito, e é descrito pela Organização Earthship Biotecture, cuja sede é neste local, como sendo o primeiro local comunitário de desenvolvimento sustentável do mundo, um protótipo totalmente autónomo de redes públicas e autossustentável, com pegada de zero carbono no planeta[15]. É um projeto destinado a constantes alterações, melhoramentos e incrementos por novas ideias ou testes em protótipos, tanto no Global Model como noutros modelos que surgem para ultrapassar diferentes desafios.

Projeto Educativo: Escola Primária Jaureguiberry, Uruguai, 2016

Com a intenção de trazer para a educação tradicional o conhecimento sobre o respeito pelo meio ambiente, uso responsável dos recursos naturais e relações humanas, surge a construção da primeira escola sustentável Earthship da América Latina. O edifício, do tipo Global Model, contém 270 m2 e foi construído em seis semanas, com o apoio de 150 voluntários e a equipa de Michael Reynolds. Considerando a localização do edifício, no hemisfério sul, o posicionamento da estufa a norte permite a exploração da energia solar e, no total, a construção recorreu a 60% de material reciclado[16]. A

14 Michael Reynolds; *Earthship, How to Built Your Own*, Vol. I. (Earthship Biotecture, 1990), 233.
15 Michael Reynolds; sobre o projeto E.V.E.
https://www.earthshipglobal.com/some-of-our-previous-projects/.
16 s.n.; "Conoce la escuela sustentable de Michael Reynolds en Jaureguiberry, Uruguay", *Archydaily* (19.06.2016).
https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/789739/conoce-la-escuela-sustentable-de-michael-reynolds-en-jaureguiberry-uruguay.

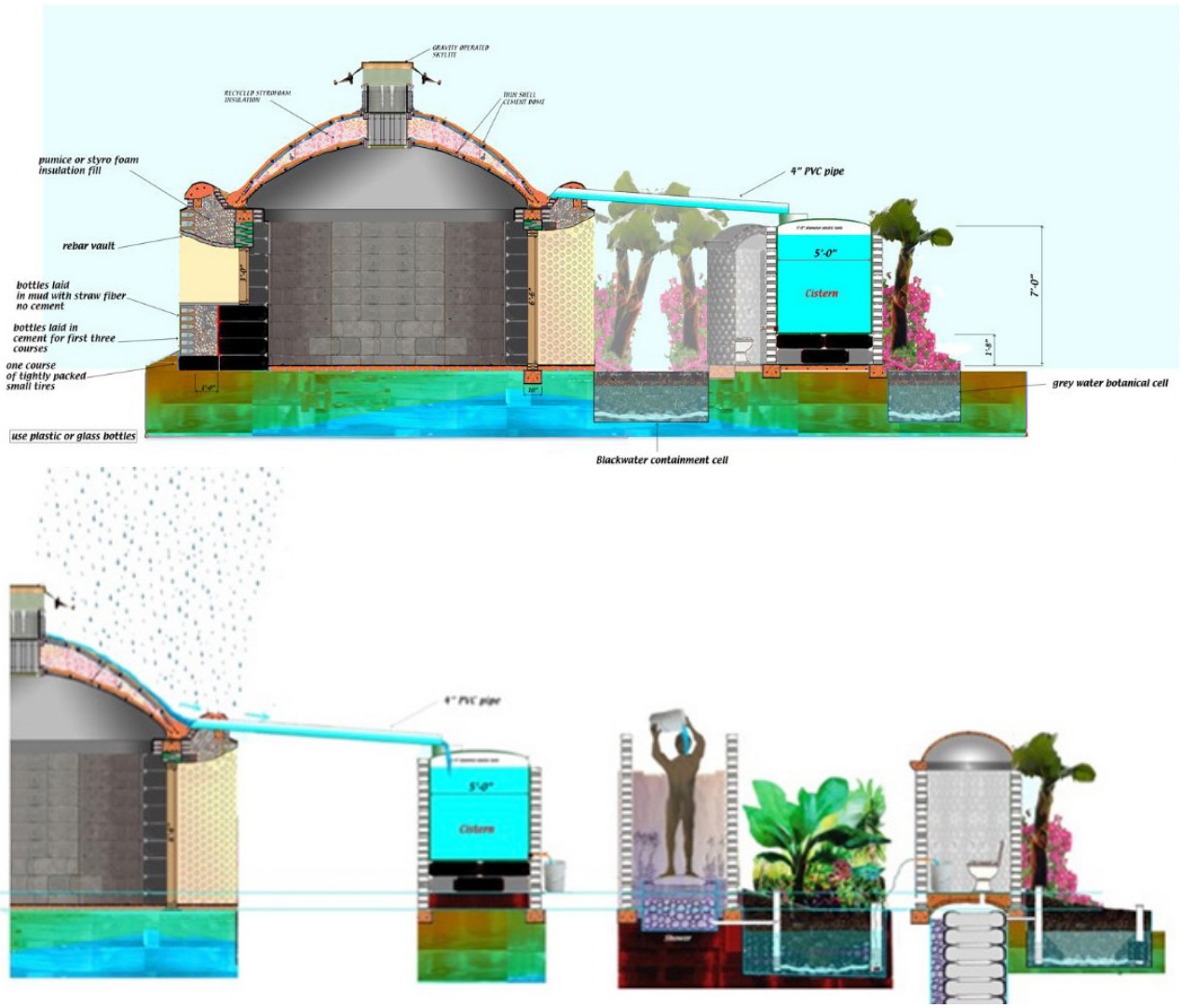


Fig. 42: O Modelo Simple Survival construído no Haiti. A forma da cobertura permite a proteção do interior de chuva mas com uma constante ventilação. O isolamento térmico é feito com recurso a espuma de poliestireno dentro de sacos de arroz, colocados entre as duas placas de betão armado que definem a cobertura.
Fig. 43: A habitação incorpora uma cisterna externa para armazenamento da água das chuvas recolhida pelo telhado. A água é utilizada para consumo e banho e depois filtrada para utilização no wc. Por fim, a água desce para uma série de depósitos subterrâneos para alimentar plantas e espécies vegetais para consumo próprio.

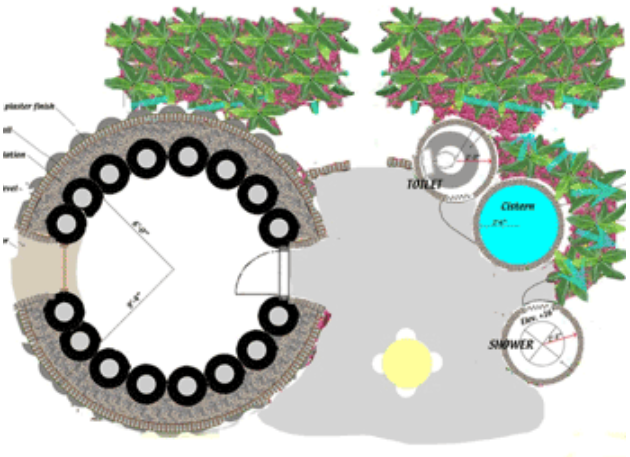


Fig. 44: Habitação isolada, com cisterna de água, local de banho e wc exteriores. Os sistemas são interligados entre si e com sistema de alimentação das espécies vegetais que os ladeiam.

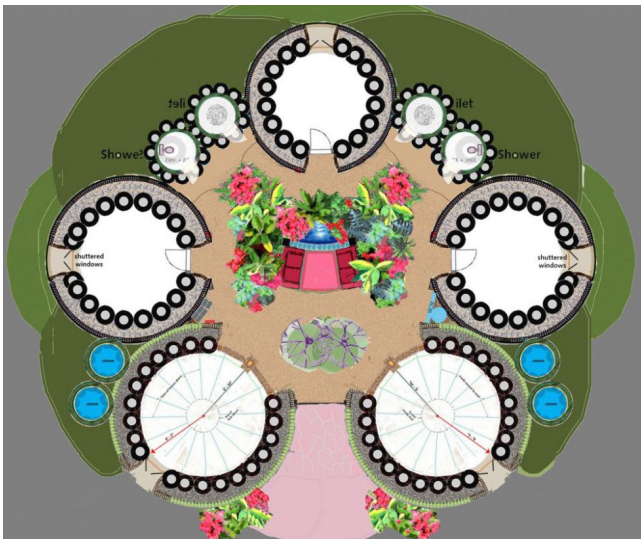


Fig. 45: Conjunto de edificações com recurso a pneus e garrafas, com inserção do sistema de recolha e armazenamento de água referidos.

estratégia construtiva envolveu a participação social e permitiu a transmissão de conhecimento das técnicas construtivas envolvidas. A iniciativa surgiu da Organização sem fins lucrativos, Tagma, com o apoio da Administração Nacional de Educação Pública do Uruguai e de várias empresas públicas e privadas.

3.3 - Earthship Simple Survival Model

O Modelo Simple Survival designa uma versão híbrida do Modelo Global, pela sua forma circular e pela maior simplicidade construtiva. Tem vindo a ser construído em países localizados no Hemisfério Sul, de clima tropical, com necessidade de apoio para combater a crise imobiliária que surge após a ocorrência de desastres naturais.

3.3.1 - Desenvolvimento do Modelo

O desígnio deste modelo variante é proporcionar às famílias destituídas de habitação um abrigo simples mas apropriado que instigue a supressão de necessidades básicas após os desastres. Para suprimir essas necessidades, o projeto desenvolve técnicas de abastecimento de água potável e tratamento de águas residuais através de um sistema de saneamento básico autónomo. Além de proporcionar abrigo, o projeto tem como objetivo minorar a incidência de problemas associados à falta de água potável e à falta de tratamento de águas residuais, cuja consequência é a proliferação de doenças. O sistema permite, simultaneamente, alimentar o cultivo de plantas vegetais.

O Modelo Simple Survivor foi delineado para ser construído a baixo custo e num curto período de tempo. O desenho e a construção têm como objetivo a simplicidade e o fácil processo construtivo, para permitir aos habitantes locais uma rápida aprendizagem que lhes permita replicar o modelo pelo número de edifícios necessários[17].

Segundo os autores do projeto, estas edificações são capazes de resistir a terramotos e furacões, pela sua forma e pela sua resiliência construtiva.

17 Elizabeth Dicesare; *"*Earthship Biotecture Provides Sustainable Housing"*, Emergency Relief*, (26.05.2014).
http://innovatedevelopment.org/2014/05/26/earthship-biotecture-provides-sustainable-housing.

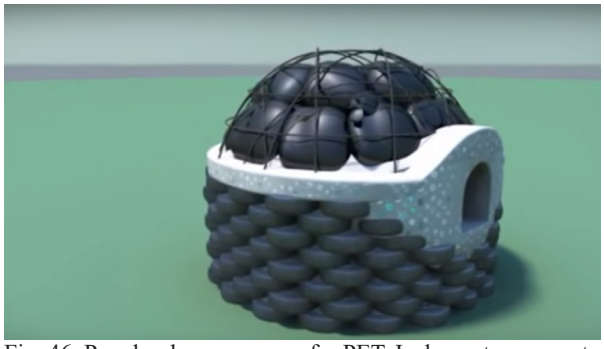


Fig. 46: Paredes de pneu e garrafas PET. Isolamento composto por sacos de arroz cheios de poliestireno.

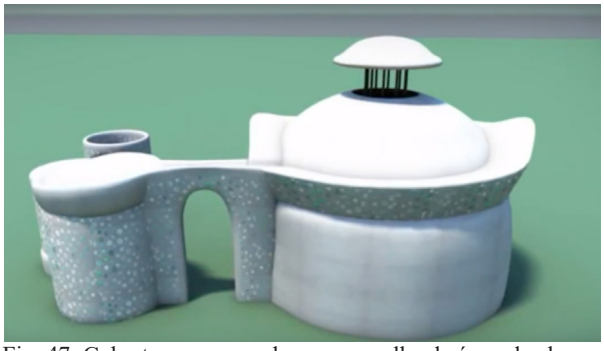


Fig. 47: Coberturas preparadas para recolha de água da chuva.



Fig. 48: Sistema de recolha de água: cisterna de depósito com ligação a torneira. Local de duche em frente ao depósito.



Fig. 49: Plantas alimentadas por uma série de depósitos subterrâneos, o primeiro sob o duche, para as águas cinzentas.



Fig. 50: Processo de construção no Haiti, com mão de obra dos habitantes locais para que aprendam os procedimentos e possam construir as suas próprias habitações.



Fig. 51: Pormenor da entrada para das habitações do Modelo Simple Survival.



Fig. 52: Conjunto de habitações Modelo Simple Survival em Puerto Rico. Podemos observar na imagem que estas habitações contêm painéis fotovoltaicos na cobertura e bateriais de armazenamento de energia.

3.3.2 - Configuração e Autonomia

A construção do Modelo Simple Survival segue os mesmos princípios do Modelo Global e recorre aos mesmos resíduos, mas difere no grau de complexidade. Com forma circular, o modelo é construído com uma base estrutural em pneus e uma parte superior com garrafas de vidro e PET. A cobertura é composta por duas placas de betão em forma de cúpula, com o espaço interior entre elas preenchido com isolamento térmico composto por sacas de arroz enchidas com poliestireno.

O projeto do Modelo Simple Survival foi delineado para se inserir nas comunidades mais pobres, vítimas de terramotos e furacões em países tropicais, pelo que o seu desenho é adequado a estas condicionantes. A forma da cobertura permite proteger o interior da habitação de entrada de águas da chuva, mas permite, em simultâneo, uma ventilação interior constante. A forma da cobertura é estratégicamente modelada para possibilitar a recolha de águas de chuva, que são guiadas pela cobertura até ao local de armazenamento, numa cisterna exterior à habitação. Através dessa cisterna, os habitantes acedem a água potável para utilização na habitação. As águas residuais são utilizadas para alimentar espécies vegetais cultivadas em redor da habitação, que podem ser para consumo. O referido sistema de águas residuais pressupõe um conjunto de depósitos subterrâneos, localizados sob as áreas de plantação.

3.3.3 - Exemplos de Projetos

O primeiro dos projetos foi realizado no Haiti em 2011, o apelidado de H.E.L.P. (Haiti Eco Living Project). As casas foram construídas com materiais recolhidos na área imediata de Porto Príncipe. Foi neste contexto que surgiu o primeiro protótipo do Modelo Simple Survival.

Um segundo projeto similar ocorreu em 2014 nas Filipinas. O WINDSHIP começou após a passagem do tufão Haiyan. As casas foram construídas usando materiais de origem local, novos e reciclados, seguindo o mesmo padrão e princípios do exemplo edificado no Haiti, onde o abrigo, a obtenção de água potável e o tratamento das águas cinzentas para produção de alimento são propósitos essenciais para o sucesso do projeto[18].

Em 2017, após a passagem do furacão Maria na ilha de Puerto Rico, deu-se início a mais uma iniciativa semelhante. Várias habitações foram entretanto construídas, mas o término do projeto está definido para Janeio de 2019.

18 Elizabeth Dicesare; *"*Earthship Biotecture Provides Sustainable Housing"*, Emergency Relief*, (26.05.2014).
http://innovatedevelopment.org/2014/05/26/earthship-biotecture-provides-sustainable-housing.

Considerações Finais

A prevalência dos interesses económicos como desígnio da generalidade das atividades produtivas humanas inibe a capacidade de discernimento dos problemas ambientais associados. Paradoxalmente, a consciencialização da finitude dos recursos naturais encontra-se ainda numa fase embrionária. Apesar da variedade de iniciativas meritosas na procura de sustentabilidade em questão de recursos e resíduos, com alcance de objetivos ambiciosos em alguns países exemplo, a concretização da generalidade do edificado acarreta, ainda, custos ecológicos elevados.

Os materiais naturais utilizados na construção desde o início da Humanidade foram suplantados enquanto recurso de utilização massiva pelo desenvolvimento de materiais artificiais, como o betão, que permitem uma maior liberdade formal. Apesar das capacidades de modelação, resistência e durabilidade atribuídas ao betão armado, a sua ampla utilização implica consequências ambientais consideráveis. Visto que a substituição do cimento não se verifica plausível num futuro próximo, soluções como a inserção de agregados ecológicos ou de RCD na composição típica do betão poderiam minorar o impacto ambiental inerente à sua utilização. Verifica-se a existência de investigações na procura por alternativas que deveriam, a um possível médio ou longo prazo, poder ser capazes de estabelecer a criação de um mercado competitivo.

Após pesquisa sobre os RCD, com particular incidência na União Europeia, constata-se a existência de um desenvolvimento assimétrico entre os vários estados membros. Países do Norte como a Holanda, o Luxemburgo e a Bélgica encontram-se mais desenvolvidos em relação à recuperação de resíduos. Noutros países localizados mais a Sul, entre eles Portugal, parece prevalecer uma lentidão na tomada de iniciativas próprias que pode estar associada à ausência de uma estratégia eficiente. Se não se verifica, na prática nacional, o cumprimento da obrigação legal de incorporação de 5% de materiais recicláveis em obras públicas nem uma fiscalização eficiente às práticas de construção privadas, então a meta de incorporação de 70% de RCD exigida para 2020 pela legislação comunitária da União Europeia é apenas uma miragem.

Depreende-se que os fatores que retardam a tomada de medidas eficazes são originados, fundamentalmente, por uma falta de sensibilização da população. A implementação dos regulamentos respetivos aliada a uma fiscalização ineficaz não tem surtido o efeito necessário. Por outro lado, a sobrevalorização das questões económicas em detrimento das questões ambientais é uma realidade inquestionável visto que, sem incentivos, não é economicamente compensatório o tratamento adequado dos RCD.

Os programas de incentivo e de penalização colocados em prática através de uma fiscalização eficiente por parte das entidades reguladoras poderiam constituir o objeto principal com vista à obtenção de resultados reais satisfatórios. Outras iniciativas, como a promoção de benefícios fiscais a empresas e instituições que apostem na investigação e no comércio de materiais de construção alternativos poderiam estimular o desenvolvimento de produtos reciclados ou recicláveis assim como o recurso a técnicas de produção de materiais ecologicamente mais aceitáveis.

A aplicação de soluções descritas como boas práticas na construção são influenciadas por condicionantes locais. Nos EUA, por exemplo, é recorrente e culturalmente aceite o uso de elementos pré-fabricados, em sistemas como o *Wood Frame* e o *Steel Frame*. A construção com recurso a elementos pré-fabricados possibilita a redução de desperdício de material pelo facto de os elementos serem produzidos em ambiente controlado. Possibilita também a diminuição da quantidade de resíduos aquando o momento de desconstrução posterior do edifício. Contudo, na Europa, a construção convencional encontra-se culturalmente associada às alvenarias. O processo construtivo implica, por vezes, a produção de matéria em obra cujo processo de demolição dificulta a separação seletiva dos materiais ligados. Existe a possibilidade de uma demolição seletiva que, apesar dos prós, mas sem a devida sensibilização generalizada, provoca um aumento de tempo gasto em obra com custos económicos indesejáveis.

As propostas de projeto com base na reutilização e reciclagem de RCD e com recurso a materiais de proximidade parecem ter como principal obstáculo a falta de conhecimento geral sobre as características de materiais alternativos. A inserção dos referidos materiais não implica necessariamente o acréscimo do custo de obra. Ainda assim, possíveis custos adicionais poderiam ser rebatidos por benefícios fiscais ou outros incentivos.

Caberá ao arquiteto assumir um papel de vanguarda, investigando no sentido de desenvolver e adotar soluções de boas práticas ambientais, ainda que condicionado. Sendo o exercício complexo, pela quantidade de entidades envolvidas, desde o cliente, ao empreiteiro e demais áreas construtivas, até às questões económicas, sociais e culturais, esse procedimento altruísta poderá ser o ponto de viragem para uma consciencialização global, uma vez que a sensibilização passará também pela aquisição e transmissão de conhecimentos.

A acumulação de resíduos urbanos, com especial ênfase nos resíduos plásticos, é um dos sinais de que os processos de reutilização e reciclagem não evidenciam resultados vitoriosos. Ao contrário dos plásticos, os metais e o vidro são passíveis de uma reciclagem contínua pelos seguintes fatores: a sua composição mantém-se inalterada no processamento do material e evita a extração de recursos naturais limitados, mas necessários à sua produção, que implicam acréscimo de custos económicos. Por esses motivos, a sua reciclagem adquire relevo e os resíduos desses materiais, valor. Por outro lado, os resíduos plásticos, alguns considerados recicláveis, obtêm um valor comercial diminuto que não incentiva à recolha. Apenas 9% dos plásticos mundialmente produzidos até agora foram efetivamente reciclados, quando os termoplásticos (considerados recicláveis) formam mais de 60% do total produzido. A produção de plástico novo tem um custo tão diminuto que a recolha e a reciclagem não significam benefícios económicos para as empresas e o seu processamento não é sempre sinónimo de redução de impacto ambiental.

Através da arquitetura e da construção surgem diversas iniciativas de recurso a resíduos que permitem analisar e tirar partido do comportamento dos materiais e simultaneamente realizar reciclagem e reutilização. Parte dessas iniciativas incide na construção com recursos de baixo custo que têm como objetivo suprir as necessidades de comunidades

economicamente mais carenciadas. Segundo estudos elaborados pelo Departamento Habitat, das Nações Unidas, os programas de atribuição de habitação através de investimento público para as populações com menos recursos, não conseguem colmatar o atual déficit habitacional global. Esse facto deve-se, em parte (entre outros fatores bastante complexos), ao custo associado à construção convencional. As intervenções com recurso a resíduos levadas a cabo por ONG's e cidadãos empenhados em países localizados na Ásia, África e América Latina, em áreas de crise por diversos fatores (económicos, naturais, políticos), apresentam-se como iniciativas plausíveis para a resolução de um problema premente.

Se algumas das soluções analisadas carecem de estudos mais aprofundados para compreender melhor a sua exequibilidade (como o comportamento térmico, resistência ao fogo, entre outros), então a investigação necessária poderia ser realizada ou incentivada por parte de entidades envolvidas, incluindo algumas instituições governamentais. A regulamentação das iniciativas de construção de baixo custo com recurso a resíduos, para uma possível aplicação massiva, poderá ser uma das soluções que permita a diminuição do déficit habitacional e a diminuição dos custos associados aos programas de construção convencional. As iniciativas podem incrementar benefícios relativos a outras problemáticas, como a saúde pública pelo aumento de salubridade do habitar e a diminuição de existência de doenças relacionadas, assim como a inclusão social pelos processos de autoconstrução comunitária que implicam a aquisição e transmissão de conhecimentos sobre material e construção.

Além das iniciativas acima referidas, o recurso à reutilização e reciclagem de RSU enquanto material de construção pode ser implementado em áreas urbanizadas. À semelhança do que acontece com os RCD, a inserção desses resíduos poderia ser estimulada e regulamentada, com benefícios e penalizações associados, que promovesse o estudo sobre possíveis aplicações enquanto material alternativo pelas empresas de materiais, à semelhança do que tem sido alcançado em relação ao granulado de borracha do pneu.

O recurso à borracha de pneu na construção tem sido implementado enquanto material granulado, agregado a outros materiais ou na produção de pavimentos. Existe um mercado estabelecido e novas soluções para o granulado têm vindo a ser exploradas. No entanto, a análise da borracha de pneus em fim de vida teve maior incidência na sua reutilização, sem recurso a processamento, associado a processos de autoconstrução. O recurso a paredes pesadas com pneus possibilita a edificação de paredes sem outros elementos estruturais, quando a regulamentação assim o permite. As características térmicas, de resistência e durabilidade do material têm sido alvo de análise e documentação, numa relação direta a experiências que tiveram início no século XX, entre as quais pela validação de uma tipologia construtiva denominada Earthship.

A construção de um modelo Earthship baseia-se no recurso a resíduos. Os pneus como parede pesada que acumula calor proveniente da energia solar e outros resíduos como garrafas de plástico, de vidro e latas de alumínio são exemplo de estratégias que utilizam o potencial de cada um dos diferentes materiais. A necessidade de recurso a materiais como

o betão e a madeira é menor, mas existente, tal como materiais de isolamento térmico e de impermeabilização. Ou seja, não existe uma rutura com o recurso a materiais convencionais, mas sim uma composição integrada pelos materiais novos e os materiais reciclados e reutilizados. Contudo, não é apenas sobre os materiais utilizados no processo construtivo de uma Earthship que se concentra o seu potencial de diminuição de pegada ecológica. São integrados no projeto uma série de sistemas cuja função passa pelo aproveitamento e reciclagem dos recursos naturais necessários à funcionalidade do edifício. Construir e habitar uma Earthship pretende ser um exemplo de sustentabilidade e de autonomia.

Uma construção deste género pode implicar custos económicos superiores aos exemplos analisados de reutilização e de reciclagem de RSU apropriados para construção de baixo custo. Além disso, o seu desenho acarreta determinadas limitações que tornam improvável a integração dos modelos em áreas com maior grau de densidade urbana. Já num contexto menos urbano, um edifício deste género poderá funcionar. Existem questões de regulamentação, em termos construtivos, que diferem entre países ou entre contextos urbanos, o que facilita ou condiciona a implantação de um edifício do género.

A ideologia do projeto Earthship concentra o seu desígnio na implementação de um estilo de vida associado aos conceitos ambiente, comunidade e educação. Diferem os modelos, mas mantêm-se os princípios, adequando o desenho às necessidades locais, sociais, culturais e económicas de cada situação particular.

Assim, a consciencialização para a questão dos resíduos em geral passa por compreender a possibilidade de utilização dos mesmos em edifícios que beneficiam um determinado público alvo, porque a consciencialização pela população geral é um processo algo moroso, que deve ser considerado por partes. Medidas de sensibilização sobre o consumo de materiais e o seu impacto ambiental deveriam ser tema integrante do programa educativo dos cidadãos, com início na infância.

Acrónimos

APA - Associação Portuguesa do Ambiente

AFR - África

CE - Comissão Europeia

CIB - Construction and Innovation in Building

CDW - Construction and Demolition Waste

CO2 - Dióxido de Carbono

EAP - East Asian and Pacific Affair Countries and Other Areas

ECA - Estern Europe and Central Asia

EPA - Environmental Protection Agency

E.U.A. - Estados Unidos da América

E.V.E. - Earthship Village Ecologies

FEUP - Faculdade de Engenharia de Universidade do Porto

H.E.L.P. - Haiti Eco Living Project

INE - Instituto Nacional de Estatística

LAC - Latin America and Carribean

LER - Lista Europeia de Resíduos

MENA - Middle East and North Africa

OCDE - Organization for Economic Cooperation and Development

ONG - Organização Não Governamental

PCB - Printed Circuit Board

PET - Polietileno tereftalato

RCD - Resíduos de Construção e Demolição

RSU - Resíduos Sólidos Urbanos

SAR - South Asian Association for Regional Cooperation

SUW - Solid Urban Waste

TGR - Taxa de Gestão de Resíduos

U.E. - União Europeia

XPS - Poliestireno Extrudido

Índice de Ilustrações

Capítulo I

Imagens:

Figura 1: Caverna em Matera, Itália.
Fonte: http://ultimosegundo.ig.com.br/ciencia/foto-do-dia-cavernas-de-matera/n1597338028739.html

Figura 2: Oásis de Siwa, Egipto.
Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e1/Siwa-Homes2009.jpg

Figura 3: Centro Histórico de Troyes, França.
Fonte: https://cidademedieval.blogspot.com/2015/11/higiene-e-saude-nas-ruas-e-nas-casas

Figura 4: Yurts, Habitações nómadas. Mongólia.
Fonte: https://photos.uncorneredmarket.com/Asia/Central-Asia-Best-Photos/Central-Asia-Landscape/i-v28jCKD

Figura 5: Aqueduto Romano em Segóvia, Espanha.
Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f4/Aqueduct_of_Segovia_08.jpg

Figura 6: Ruínas de Tanis, Antigo Egipto.
Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c7/Ruins_of_Tanis.jpg

Figura 7: Iron Bridge, sobre o rio Severn, Coalbrookdale, Inglaterra.
Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/44/Ironbridge_6.jpg

Figura 8: Pormenor da estrutura da Torre Eifell, França.
Fonte: https://arqline.files.wordpress.com/2010/10/torre-eifell-ferro-fundido-decorado.jpg

Figura 9: Fábrica da AEG em Berlim, Alemanha.
Fonte: https://architektimausland.files.wordpress.com/2012/02/dscn0914.jpg

Figura 10: Museu Guggenheim em Nova Iorque, EUA.
Fonte: https://www.inexhibit.com/wp-content/uploads/2014/05/guggenheim-museum-new-york-02.jpg

Figura 11: Poluição atmosférica pelas indústrias em S. Petesburgo, Rússia.
Fonte: http://explorepahistory.com/displayimage.php?imgId=1-2-444

Figura 12: Representação do sistema linear de manufatura industrial.
Fonte: Tradução própria: Bill Addis, *Building with reclaimed componentes and materials: a design handbook for reuse and recycling*. (Earthscan, 2006), 10.

Figura 13: Poluição atmosférica atual em Changchum, China.
Fonte: https://www.rfa.org/english/news/china/china-smog-03032016135155.html

Figura 14: Representação do sistema circular de manufatura industrial.
Fonte: Tradução própria: Bill Addis, *Building with reclaimed componentes and materials: a design handbook for reuse and recycling*. (Earthscan, 2006), 10.

Figura 15: Power Tower, da Energie AG em Linz, Áustria.
Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d0/Power_Tower_Linz.jpg

Figura 16: Bosco Verticale em Milão, Itália.
Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Bosco_Verticale_towers_in_Milan,_Italy_02.jpg

Figura 17: Casa da Música no Porto, Portugal.
Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c8/1-Casa_da_Musica-exterior_%281%29.jpg

Figura 18: Instalação cimenteira da Cimpor em Alhandra, Portugal.
Fonte: https://www.publico.pt/2013/07/08/jornal/invencao-portuguesa-pode-ajudar-as-cimenteiras-a-lancar-menos-co2-26795824

Figura 19: Representação dos processos de fabrico de cimento.
Fonte: http://blogdocimento.blogspot.com/2015/09/fluxogramas-de-fabricacao-de-cimento.html

Figura 20: Exemplo de resíduos produzidos em demolição de edifício.
Fonte: https://www.rcd.pt/

Figura 21: Representação dos tipos de resíduos que compõe os RCD.
Fonte: Tradução prórpia: European Comission, *Resource Efficient Use of Mixwd Wastes Improvement Management of Construction and Demolition Waste*. (Bruxelas: Outubro 2017), 6.

Figura 22: Representação explicativa da criação do documento Agenda 21.
Fonte: International Council for Research and Innovation in Building and Construction. *Agenda 21 on Sustainable Construction*, CIB Report, Publication 237. (Roterdão, 1999), 17.

Figura 23: Exemplo de madeira usada, preparada para reutilização.
Fonte: http://madeiradedemolicao.com/blog/madeira-de-demolicao-madeiras-de-lei-transformadas-produtos-duraveis-sustentaveis/

Figura 24: Exemplo de telhas provenientes de obras de demolição.
Fonte: https://www.clasf.com.br/telha-francesa-23-cm-de-largura-e-40-cm-de-comprimento-em-curitiba-9408262/?p=1

Figura 25: Exemplo de tijolos usados, prontos para reutilização.
Fonte: https://www.beegreen.green/products/pavers-bricks/used-brick/

Figura 26: Exemplo de resíduos cerâmicos, britados para agregados.
Fonte: http://remeb-h2020.com/remeb-project/ceramic-wastes-remeb-project/

Figura 27: Exemplo de resíduos inertes, ainda sem britagem, para agregados.
Fonte: https://www.residuosprofesional.com/clausura-sellado-vertedero-lebrija/

Figura 28: Fachada principal da Loblolly Residence.
Fonte: https://kierantimberlake.com/pages/view/20/loblolly-house/parent:3

Figura 29: Pormenor da madeira utilizada na fachada posterior.
Fonte: https://kierantimberlake.com/pages/view/20

Figura 30: Pormenor estrutural da Loblolly Residence.
Fonte: https://emthesis.files.wordpress.com/2008/11/5.jpg

Figura 31: Pormenor estrutural da Loblolly Residence.
Fonte: https://emthesis.files.wordpress.com/2008/11/4.jpg

Figura 32: Entrada na Loblolly Residence.
Figura 33: Pormenor do interior da Loblolly Residence.
Fonte: https://kierantimberlake.com/pages/view/20/loblolly-house/parent:3

Figura 34: Explosão dos elementos pré-fabricados, Loblolly Residence.
Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Partial-anatomy-of-Loblolly-House-by-Kieran-Timberlake_fig2_322253624

Figura 35: Representação das quatro fases de construção da Loblolly Residence.
Fonte: https://kierantimberlake.com/posts/view/145/

Figura 36: Fachada principal da Villa Welpello.
Fonte: https://www.homedsgn.com/2013/09/07/villa-welpeloo-by-superuse-studios/villa-welpeloo-01/

Figura 37: Fachada posterior da Villa Welpeloo.
Fonte: https://www.homedsgn.com/2013/09/07/villa-welpeloo-by-superuse-studios/villa-welpeloo-05/

Figura 38: Pormenor do interior do espaço expositivo da Villa Welpeloo.
Figura 39: Pormenor do interior da sala de estar da Villa Welpeloo.
Fonte: https://www.archiweb.cz/en/b/vila-welpeloo

Figura 40: Pormenor da reutilização de resíduos para móveis e iluminárias da Villa Welpeloo.
Fonte: https://inhabitat.com/modern-dutch-house-built-from-salvaged-billboards-and-umbrellas/new-1-140

Figura 41: Painel representativo do sistema de projeção da Villa Welpeloo.
Fonte: Mark Gorgolewski; *Resource Salvation: The Architecture of Reuse, Ryerson University*.
(Toronto: Jonh Wiley & Sons Ltd, 2018). Cortesia SuperUse Studio.

Figura 42: Mapeamento e materiais encontrados que definiram os materiais da Villa Welpeloo.
Fonte: http://www.newitalianblood.com/show.pl?id=6207

Figura 43: Lower Lea Valley, Londres, antes das intervenções para a construção do Parque Olímpico de Londres.
Fonte: https://www.e-architect.co.uk/images/jpgs/london/olympic_park_aerial_oda250708_4.jpg

Figura 44: Um dos locais de Lower Lea Valley, antes das intervenções do Parque Olímpico de Londres.
Fonte: https://simonleerobinson.wordpress.com/2014/07/21/the-lower-lea-valley/

Figura 45: Vista aérea do Parque Olímpico de Londres, após conclusão da obra.
Fonte: https://www.capitaproperty.co.uk/projects-folder/commercial-property/queen-elizabeth-olympic-park/

Figura 46: Vista aéra do processo construtivo do Parque Olímpico de Londres.
Fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/70/Olympic_Park%2C_London_October_2009_SM.jpg

Figura 47: Eemplo de local do Parque Olímpico: a ponte pré-existente e vegetação foram incluídas no projeto.
Fonte: https://www.gardenvisit.com/gardens/london_olympic_park

Figura 48: Projeto para o Parque Olímpico de Londres, previsto para 2030.
Figura 49: Representação 3D do projeto para o Parque Olímpico de Londres.
Fonte: London Legacy Development Corporation; Your Sustainability Guide to Queen Elizabeth Olympic Park 2030. (London: 2012).
Disponível em http://www.queenelizabetholympicpark.co.uk/-/media/lldc/policies/lldc_your_sustainability_guide_to_the_queen_elizabeth_olympic_park2030.ashx?la=en

Gráficos:

Gráfico 1: Quantidade de RCD gerados nos países da U.E.
Fonte: *European Comission, Resource Efficient Use of Mixwd Wastes Improvement Management of Construction and Demolition Waste.* (Bruxelas: Outubro 2017), 14.

Gráfico 2: Volume de materiais RCD separados na U.E.
Gráfico 3: Volume de RCD depositados em aterro, nos países da U.E.
Fonte: *European Comission, Resource Efficient Use of Mixwd Wastes Improvement Management of Construction and Demolition Waste.* (Bruxelas: Outubro 2017), 16.

Capítulo II

Imagens

Figura 1: Aterro de RSU.
Fonte: https://www.titanus.com.br/sustentabilidade-e-a-questao-do-lixo/

Figura 2: Exemplo de acumulação de RSU na via pública.
Fonte: http://www.ecodesenvolvimento.org/posts/2012/novembro/onu-alerta-para-quantidade-de-lixo-urbano#ixzz5MveFgdGy
Figura 3: Catadores de lixo em Jakarta, Indonésia.
Fonte: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Jakarta_slumlife41.JPG#filehistor

Figura 4: Catadores de lixo em Brasília, Brasil.
Fonte: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lix%C3%A3o_da_Estrutural_(15487729280).jpg

Figura 5: Bairro de lata Ezbel Al Nakhl, Cairo, Egito.
Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Shanty_town#/media/File:M%C3%BCllgebiet_Ezbet_Al_Nakhl.jp

Figura 6: Bairro de lata de Mathare, Nairobi, Quénia.
Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Mathare_Valley#/media/File:Iron_sheet_and_mud_houses_in_Mathare_(Nairobi)_(5163712556).jpg

Figura 7: Extração de ploímero natural: latex.
Fonte: http://www.thepinsta.com/rubber-tree-harvest_hUqjPX0QQNKamAvUQI9dZEQhdDf6WOyPKLCm%7C%7CRnZns/

Figura 8: Celulose, proveniente da glicose das plantas.
http://www.tecnoalimentar.pt/tecnoalimentarrevista.files.wordpress.com/2015/02/celulose.jpg

Figura 9: Exemplos de peças de marfim, que foram substituídas por celulóide.
Figura 10: Exemplos de peças de celulóide.
Fonte: http://mercadonegroantiguidades.com.br/celuloide/

Figura 11: Telefone produzido com baquelite.
Fonte: https://pixabay.com/pt/telefone-idade-year-built-1955-1610185/

Figura 12: Exemplos da variedade de produtos plásticos.
Fonte: http://alcaplas.com.br/informativo/arquivos/tipos-de-pl-stico.pdf

Figura 13:Ilha de lixo no Oceano Pacífico.
Fonte: https://steemit.com/nature/@heroback/trash-island-increase-in-ocean

Figura 14: Mapa com localização das maiores acumulações de lixo nos Oceanos.
Fonte: http://conexaoplaneta.com.br/blog/video-da-nasa-revela-as-ilhas-de-lixo-no-planeta/

Figura 15: Símbolo internacional de reciclagem.
Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Reciclagem

Figura 16: Cartaz de sensibilização sobre os plásticos nos Oceanos.
Fonte: https://www.northernbeaches.nsw.gov.au/services/rubbish-and-recycling/single-use-plastic-reduction

Figura 17: Habitações construídas em Yelma, Nigéria, com recurso a garrafas PET.
Figura 18: Amarração e alinhamento das paredes de garrafas PET.
Figura 19: Acabamento das paredes com argila local.
Fonte: https://linguagemgeografica.blogspot.com/2016/01/nigeria-casas-de-garrafas-pet-e-barro.html

Figura 20: Paredes de PET, projeto de Ingrid Diez, San Pablo del Monte, México.
Figura 21: Amarração das garrafas para formação das paredes.
Figura 22: Habitação de garrafas PET, após finalização.
Fonte: http://www.basurillas.org/casa-de-botellas-en-mexico/

Figura 23: Refúgio construído por Tateh Breica, Argélia.
Figura 24: Elaboração de cobertura para abrigos feitos com garrafas PET, Argélia.
Fonte: https://thisisafrica.me/tateh-lehbib-breicas-houses-made-bottled-sand-helping-sahrawi-refugees/

Figura 25: Testes realizados ao processo construtivo de PET.
Fonte: http://maisumaengenharia.blogspot.com/2017/04/inovacao-e-sustentabilidade-como-as.html

Figura 26: Painel explicativo so sistema de produção dos ByBlock.
Fonte: https://www.graphicnews.com/en/pages/34790/TECH-Recycled-plastic-building-bricks

Figura 27: Forma dos ByBlock, após compactação do plástico.
Fonte: https://inhabitat.com/byfusion-turns-all-types-of-ocean-plastic-into-eco-friendly-construction-blocks/

Figura 28: Máquina de produção dos ByBlock, inserida num contentor.
Fonte: https://www.byfusion.com/wp-content/uploads/2017/10/byfusion-blocker.jpg

Figura 29: Construção de muro com recurso aos ByBlock.
Figura 30: Construção de paredes com recurso aos ByBlock.
Fonte: http://maisumaengenharia.blogspot.com/2016/11/startup-produz-blocos-com-lixo.htm

Figura 31: Plástico triturado.
Fonte: http://conceptosplasticos.com/

Figura 32: Fundações utilizadas na construção BloquePlas.
Figura 33: Montagem de habitação com peças BloquePlas.
Figura 34: Montagem de telhado de habitação com BloquePlas.
Figura 35: Montagem terminada dos elementos BloquePlas.
Figura 36: Albergue temporário em Guapi, Colômbia.
Fonte: https://www.archdaily.com.br/br/792662/esta-casa-foi-construida-com-tijolos-de-plastico-reciclado-em-apenas-5-dias/

Figura 37: Pormenor das peças de encaixe BloquePlas.
Fonte: http://keepbrevardbeautiful.org/frontpage-article/sturdy-homes-created-lego-like-recycled-plastic-bricks/attachment/

Figura 38: Sistema de encaixe das peças BloquePlas.
Fonte: https://challenges.openideo.com/challenge/circular-design/ideas/constructive-systems-from-recycled-plastic-closing-the-cycle-of-plastic-with-social-impact

Figura 39: Forma da garrafa desenvolvida pela Miniwiz.
Figura 40: Modelação do encaixe das garrafas Miniwiz.
Figura 41: Sistema de montagem dos painéis para fachada do edifício EcoArk.
Figura 42: Fachada do edifício EcoArk.
Fonte: Anthony Kane; Martin Bechthould; *Polli-Brick, Low Carbon Facade Systems, Case Study on the Miniwiz Polli-brick Cladding System,* Design Robotics Group. (Cambridge: Harvard University Graduates School of Design, 2001).

Figura 43: Iluminação noturna do edifício EcoArk.
Fonte: https://sustentarqui.com.br/noticias/construcao-em-pet-recebe-a-certificacao-leed/

Figura 44: Iluminação LEED nos painéis de garrafas.
Figura 45: Interior do edifício EcoArk.
Fonte: http://arquitetesuasideias.com.br/2016/06/13/ecoark-um-edificio-de-garrafa-pet/

Figura 46: Fotografia do modelo do primeiro pneu utilizável de borracha sintética.
Fonte: https://www.metzeler.com/site/br/about-us/history.html

Figura 47: Aterro de pneus em Sulaibiya, Kuwait.
Fonte: http://noticiaseinfor10.blogspot.com/2015/09/maior-aterro-do-mundo.html

Figura 48: Aterro de pneus em Sesena Nuevo, Espanha.
Fonte: https://www.theatlantic.com/photo/2014/09/photos-of-the-week-920-926/100821/

Figura 49: Mapa dos sistemas aplicados nos países da U.E. para tratamento dos pneus em fim de vida.
Figura 50: Taxa de recuperação e reciclagem dos pneus nos países da U.E.
Fonte: ETRMA, European Tyre and Rubber Manufactorer's Association, *End of Life Tyre Report 2015*.
Capítulo 5, Development of New End Markets for Tyre Derived Materials.
http://www.etrma.org/uploads/Modules/Documentsmanager/elt-report-v9a---final.pdf

Figura 51: Telhado construído com borracha de pneus usados planificada, Brasil.
Fonte: http://oarquivo.com.br/temas-polemicos/verdades-inconvenientes/2-uncategorised/4005-utiliza%C3%A7%C3%A3o-de-pneus-com-telhas.html

Figura 52: Telhado construído com borracha de pneus usados processada.
Fonte: https://br.pinterest.com/pin/571746115168651509/?lp=true

Figura 53: Diferentes peças que compõe o telhado, provenientes da borracha de pneus.
Fonte: http://www.kuki.me/rubber-roof-pavers/rubber-roof-pavers-ro-interlocking-rubber-roof-pavers/

Figura 54: Revestimento de abrigo com borracha de pneus usados.
Fonte: https://news.softpedia.com/news/Best-Eco-Friendly-Houses-Made-from-Recycled-Tires-243784.shtml

Figura 55: The Brighton Waste House em Brighton, Inglaterra.
Fonte: https://www.labc.co.uk/news/brighton-waste-house-development-living-laboratory-ecological-architectural-design

Figura 56: Construção de abrigo por Refunc, Holanda.
Figura 57: Conceção finalizada de abrigo por Refunc, Holanda.
Fonte: https://inhabitat.com/maisongomme-a-funky-garden-office-and-shed-made-from-recycled-car-tires/

Figura 58: Desenho ilustrativo de construção de muro com recurso a pneus usados.
Fonte: Eulávio Romão Bernardo; *Reutilização dos pneus em muros de contenção de terra*, Universidade Zambeze.
Dept de Eng. Civil-Beira, Moçambique; 8º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia / V Congresso de Engenharia de Moçambique.
(Maputo, INEGI/FEUP, 2017).

Figura 59: Muro de contenção de pneus usados, Brasil.
Fonte: http://wp.radioshiga.com/pneus-podem-ser-base-de-muros-de-contencao-em-encostas-no-pais/

Figura 60: Muro de contenção de terras em Jacarepagua, Brasil.
Fonte: http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2015-11/pneus-podem-ser-base-de-muros-de-contencao-de-encostas-no-pais

Figura 61: Processo de construção de muro de contenção de terras.
Fonte: http://sitioalfavilanova.blogspot.com/2015/10/consciencia-ambiental.html

Figura 62: Elaboração da Casa Ecofixe, Trofa.
Fonte: http://ecoconstruir.blogspot.com/2013/10/casa-ecofixe-na-trofa-1.html

Figura 63: Sede da Plako, Póvoa do Varzim.
Fonte: https://greensavers.sapo.pt/empresa-de-braga-relocaliza-se-e-constroi-nova-sede-com-pneus-usados-com-fotos/

Figura 64: Ilustração de processo de enchimento de pneus para construção de parede.
Fonte: Francisco Cristóvão Leal de Oliveira; *Parede Pneu, Uma Técnica Construtiva para a Arquitetura Solar Passiva em Portugal*;
(Coimbra: FCTUC, 2015), 98.

Figura 65: Corte de pneu para remates horizontais das fiadas.
Figura 66: Colocação de fileiras de pneus contrafiadas.
Fonte: Aaron Zimmerman; *Testing and Analysis of Modified Rammed Earth Tire Walls*; Swarthmore College Department of Engineering.
(Swarthmore: E90 Project, 2011), 10.

Figura 67: Construção com paredes de pneus, Nova Zelândia.
Fonte: http://earthship.co.nz/

Figura 68: Pormenor de amarração de pneus para remate horizontal de fileiras.
Fonte: https://www.youtube.com/watch?v=v5CRlSJ46M8

Figura 69: Parede de pneu finalizada com argamassas e pintura cconvencionais em Brighton, Inglaterra.
Fonte: https://www.flickr.com/photos/dominicspics/with/3288482283/

Figura 70: Acabamento de muro de suporte, com pneus à vista no Novo México, EUA.
Fonte: http://caroldaemon.blogspot.com/2013/04/

Figura 71: Ilustração de entrada de energia solar no interior do edifício.
Fonte: Michael Reynolds; *How to built your own, Vol. I*. (Earthship Biotecture, 1990), 16.

Gráficos:

Gráfico 1: Composição dos RSU em diferentes países da U.E.
Gráfico 2: Volume de RSU por área de referência a nível global.
Gráfico 3: Composição dos RSU a nível global.
Fonte: Daniel Hoornweg; Perinaz Bhada-Tata; *What a Waste: a Global Review of Solid Waste Management.* (Washington, The World Bank, 2012).
https://siteresources.worldbank.org/INTURBANDEVELOPMENT/Resources/336387-1334852610766/What_a_Waste2012_Final.pdf

Gráfico 4: Percentagem de população que habita em bairros de lata.
Fonte: UN-Habitat; *Urbanization and Development: Emerging Futures World Cities Report 2016*.
Image Source: UN-Habitat, Global Urban Observatory Urban Indicators Database 2015.
https://unhabitat.org/wp-content/uploads/2014/03/WCR-%20Full-Report-2016.pdf

Gráfico 5: Composição dos RSU que se acumulam em ilhas nos Oceanos.
Fonte: Plastics Europe, *PlasticsEurope Annual Review 2017-2018*. PlasticsEurope AISBL.
Image Source: OSPAR Commission Annual Report 2016-2017 P 17 – Marine litter composition by material.
https://www.plasticseurope.org/en/resources/publications/498-plasticseurope-annual-review-2017-2018

Gráfico 6: Produção de resíduos plásticos na U.E.
Fonte: Comissão europeia; *Comunicação da comissão ao parlamento uropeu, ao conselho, ao comité económico e social europeu e ao comité das regiões, uma estratégia para os plásticos na economia circular*, SWD 2018. (Estrasburgo, 16.01.2018).

Gráfico 7: Destino dos pneus recolhidos pelo sistema de gestão de pneus usados.
Fonte: Valorpneu; Newsletter quadrimestral, n.26. (Maio 2015).
http://www.valorpneu.pt/Cache/binImagens/XPQ032QXX2463SQcms5QzHYZKU.pdf

Gráfico 8: Mercados para granulado de borracha.
Fonte: Valorpneu. Newsletter quadrimestral, nº 18. (Agosto 2012).
http://www.valorpneu.pt/Cache/binImagens/XPQ032QXX909SQcms5QzHYZKU.pdf

Tabelas:

Tabela 1: Comportamento térmico dos materiais de enchimento de garrafas tijolo.
Fonte: Francisco Oliveira; *Parede-pneu: Uma Técnica Construtiva para a Arquitetura Solar Passiva em Portugal;* Dissertação de Mestrado Integrado em Arqtuitectura da FCTUC, Julho de 2015.

Tabela 2: Composição dos pnues tipo.
Fonte: Joint Research Center 2010 Balanço Ambiental, *Económico e Social da Gestão de Pneus Usados em Portugal Relatório de Projecto Dezembro de 2013*. 3Drivers – Engenharia, Inovação e Ambiente Lda e IST – Instituto Superior Técnico.

Tabela 3: Capacidades térmicas dos diferentes materiais de construção.
Fonte: Francisco Oliveira; *Parede-pneu: Uma Técnica Construtiva para a Arquitetura Solar Passiva em Portugal;* Dissertação de Mestrado Integrado em Arqtuitectura da FCTUC, Julho de 2015.

Capítulo III

Imagens

Figura 1: Apresentação do Building Block of Empty Cans para atribuição de patente.
Figura 2: The Thumb House, New Mexico.
Fonte: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:FIRST_EXPERIMENTAL_HOUSE_COMPLETED_NEAR_TAOS,_NEW_MEXICO_USING_EMPTY_STEEL_BEER_AND_SOFT_DRINK_CANS_-_NARA_-_556623.jpg

Figura 3: Ilustração do sistema de habitação convencional, segundo Michael Reynolds.
Fonte: Michael Reynolds; *Earthship, How to built your own, Vol. I.* (Earthship Biotecture, Setembro de 1990), 5.

Figura 4: Localização de edifícios Earthship pelo mundo.
Fonte: https://urbannext.net/global-earthship/

Figura 5: Modelo global de multiplicação de formas “U”, planta.
Fonte: https://collingwoodearthship.wordpress.com/

Figura 6: Modelo global com estruturação atual, que permite a definição livre do interior.
Fonte: https://www.flickr.com/photos/greenenergyfutures/15341980905

Figura 7: Corte explicativo do sistema solar passivo utilizado nas Earthship.
Fonte: https://urbannext.net/earthship-biotecture/

Figura 8: Estratégia de alinhamento do edifício em relação ao eixo azimute referente à sua localização no planeta.
Fonte: Michael Reynolds; *Earthship, How to built your own, Vol. I.* (Earthship Biotecture, Setembro de 1990), 37.

Figura 9: Corte de um edifício tipo: materiais e termicidade do interior.
Fonte: http://zacc.cafeblog.hu/2014/02/19/100-ban-onfenntarto-haz-az-earthship-ezt-nem-hiszed-el-fotok/

Figura 10: Estruturação de uma construção Eatthship.
Fonte: https://www.arrevol.com/blog/earthships-materiales

Figura 11: Construção de parede com garrafas de vidro.
Fonte: http://freevilleearthship.blogspot.com/2012/08/day-10.html

Figura 12: Efeito decorativo das garrafas de vidro nas paredes.
Fonte: https://www.pinterest.pt/pin/233413193171150043/

Figura 13: Paredes internas com recurso a latas de alumínio.
Fonte: http://greenfilmshooting.net/blog/en/2017/11/19/a-magic-house/

Figura 14: Habitação earthship em Taos, New Mexico.
Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Earthship

Figura 15: Processo de construção 3D: primeiras fileiras de pneus e isolamento do talude.
Figura 16: Processo de construção 3D: colocação de cisternas para armazenamento de água.
Figura 17: Processo de construção 3D: cinta e pilares em betão armado.
Figura 18: Processo de construção 3D: fundações para fachada principal.
Figura 19: Processo de construção 3D: estrutura de madeira da fachada principal.
Figura 20: Processo de construção 3D: assentamento das vigas de madeira para cobertura.
Figura 21: Processo de construção 3D: isolamento térmico na cobertura.
Figura 22: Processo de construção 3D: fechamento do isolamento térmico entre cobertura e talude.
Figura 23: Processo de construção 3D: definição e isolamento da fachada principal.
Figura 24: Processo de construção 3D: revestimentos exteriores.
Figura 25: Processo de construção 3D: fechamento da impermeabilização entre cobertura e talude.
Figura 26: Processo de construção 3D: finalização do aterramento do talude.
Figura 27: Processo de construção 3D: interior do edifício, com piso ainda em terra.
Figura 28: Processo de construção 3D: elevação das paredes internas com latas de alumínio.
Figura 29: Processo de construção 3D: pavimentação do espaço de estufa.
Figura 30: Processo de construção 3D: conclusão do processo de obra.
Fonte: https://www.youtube.com/watch?v=N2so9hyNWxc

Figura 31: Ilustração dos sistemas de recolha e armazenamento de energia renovável e recursos naturais.
Fonte: https://pangeabuilders.com/buildings/earthships/

Figura 32: Ilustração do processo associado à obtenção de substrato apartir de uma sanita seca.
Fonte: https://thehomestead.guru/composting-toilet-2/

Figura 33: Ilustração do sistema de refrigeração passiva.
Fonte: Michael Reynolds; *Earthship, Evolution Beyond Economics, Vol. III*. (Earthship Biotecture, Julho 1993), 86.

Figura 34: Ilustração do processo de destilação de água através do forno.
Fonte: Michael Reynolds; *Earthship, Evolution Beyond Economics, Vol. III*. (Earthship Biotecture, Julho 1993), 112.

Figura 35: Visão aéra do projeto E.V.E., em New Mexico.
Fonte: https://www.newmexico.org/blog/post/an-earthship-voyage/

Figura 36: Planta do projeto para a escola em Jaureguberry, Uruguai.
Figura 37: Corte e fachada do projeto para a escola de Jaureguberry, Uruguai.
Figura 38: Fotografia da construção: as paredes pesadas.
Figura 39: Promenor de aberturas colocadas sob o talude, para entrada de ar fresco.
Figura 40: Interior do espaço da estufa.
Figura 41: Fachada principal da escola em Jaureguberry, Uruguai.
Fonte: https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/789739/conoce-la-escuela-sustentable-de-michael-reynolds-en-jaureguiberry-uruguay

Figura 42: Modelo de sobrevivência: Simple Survival Model, desenvolvido para o Haiti.
Fonte: https://www.pinterest.co.uk/pin/402931497888627511/

Figura 43: Explicação de recolha, armazenamento e utilização da água da chuva.
Figura 44: Edificação isolada do Simple Survival Model
Figura 45:Conjunto de edificações Simple Survival Model
Fonte: https://pangeabuilders.com/disaster-relief-hurricanes-earthquakes-poverty/

Figura 46: Processo de construção 3D: definição das paredes e isolamento da cobertura.
Figura 47: Processo de construção 3D: desenho da cobertura, preparada para a recolha das águas da chuva.
Figura 48: Processo de construção 3D: armazenamento de águas de chuva recolhidas.
Figura 49: Processo de construção 3D: relação entre os depósitos subterrâneos de águas cinzentas e as plantas.
Fonte: https://www.youtube.com/watch?v=cGlq8DSp9Gs

Figura 50: Construção do abrigo no Haiti, com mão de obra da comunidade.
Fonte: https://alanatracey.files.wordpress.com/2012/02/dscn2778.jpg

Figura 51: Pormenor de entrada de um Simple Survival Model.
Fonte: http://endeavourcentre.org/2012/02/first-report-from-endeavour-in-haiti/

Figura 52: Construção de conjunto de habitações do modelo Simple Survival
Fonte: http://www.biotectureplanetearth.com/puertorico3

Gráficos

Gráfico 1: Comparação de perdas de calor entre a habitação convencional, Passive House e Earthship.
Fonte: Elena Kui; *The sustainability of conventional houses, passive houses and earthships, based on legislation, environmental impact energy and operating energy*. (Groningen: Master Programme Energy and Environmental Sciences, University of Groningen, 2012).

Bibliografia

Capitulo I

Livros

ADDIS, Bill. *Building with reclaimed componentes and materials: a design handbook for reuse and recycling*. Earthscan, 1ª Edição, 2006.

BRAUNGART, Michael; MCDONOUGH, William. *Cradle to Cradle, Remaking the Way We Make Things.* Nova Iorque: Vintage, Random House. 1ª Edição, 2009.

COLLINS, Peter. *Concrete: the vision of a new architecture*. Ithaca: McGill-Queen's University Press. 2004.

GORGOLEWSKI, Mark. *Resource Salvation: The Architecture of Reuse, Ryerson University*. Toronto: Jonh Wiley & Sons Ltd, 2018.

KIBERT, Charles. *Sustainable Construction - Green building design and delivery*, 4ª Edição. New Jersey: John Wiley & Sons Inc., 2008.

Investigação

BRITO Jorge de; SILVA Rui. *Utilização de resíduos na produção de betões.* Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis, Março de 2014. Documentado em *Materiais de Construção Sustentáveis.* Universidade do Minho. Guimarães, 2014. http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/31361

CHAVES, Warley Alves Coutinho; MORAIS, Valdevan da Silva; OLIVEIRA, Patrícia Chaves de; EVANGELISTA, Wemerton Luís. *Análise de indústrias Cimenteiras e seus Impactos Socioambientais.* VII Jornada Científica. Campus Bambui, 2014. https://www.researchgate.net/publication/270580147_Analise_de_industrias_cimenteiras_e_seus_impactos_socioambientais

DALBELO, Thalita; FREIRE, Rodrigo; RUTKOWSKI, Emília; MONTEIRO, Evandro. *Conceitos, Princípios e Ferramentas para um ambiente Urbano-Industrial Mais Sustentável.* 3º International Workshop Advances in Cleaner Production: *Cleaner Production Iniciatives and Challenges for a Sustainable World.* São Paulo, 2011. http://www.advancesincleanerproduction.net/third/files/technical%20report%20-%203rd.pdf

DUARTE, Ana Paula, FRAZÃO, Rui. *Materiais e produtos de Construção, Ciclos de Vida, Ecodesign, Certificação e Inovação.* LNEG-UPCS, Novembro 2011. http://repositorio.lneg.pt/bitstream/10400.9/1438/1/LNEGconstru%C3%A7%C3%A3o%20sustent%C3%A1vel.pdf

STRIKE, James. *De la construcción a los proyetos: la influencia de las nuevas* técnicas *en el duseño arquitectónico 1700-2000.* Série Estudios Universitarios de Arquitectura. Editorial Reverté. Barcelona, 2004.

VENTURA, José Eduardo. *Ambiente, Desenvolvimento e Mudanças Globais.* e-GEO Centro de Estudos de Geografia e Planeamento Regional, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa. *s.d.* http://fcsh.unl.pt/geoinova/revistas/files/n9-4.pdf

Documentos Institucionais

Deloitte S.A., *Resource Efficient Use Of Mixed Wastes, Case Study: Construction Works in the Preparation Of The Olympics Games in London 2012.* 2014. http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/cdw/CDW_Task%202_Case%20studies_Olympic.pdf, acedido em 20.07.2018.

Deloitte S.A., *Study on Resource Efficient Use of Mixed Wastes, Improving management of construction and demolition waste* – Final Report. Prepared for the European Commission, DG ENV. 2017. http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/mixed_waste.htm, acedido a 15.07.2018.

European Comission. *Resource Efficient Use of Mixed Wastes Improvement Management of Construction and Demolition Waste*. Bruxelas, Outubro 2017. https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/

European Comission. *Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on Waste and Repealing Certain Directives*. Official Journal of the European Union, 22.11.2008. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32008L0098

European Comission. *Commission Decision of 18 November 2011 Establishing Rules and Calculation Methods for Verifying Compliance with the Targets Set in Article 11(2) of Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council*. Official Journal of the European Union, 25.11.2011. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32011D0753

International Council for Research and Innovation in Building and Construction. *Agenda 21 on Sustainable Construction.* CIB Report Publication 237. Roterdão, 1999. file:///C:/Users/Utilizador/Downloads/CIBAgenda21forSustainableConstruction.pdf

LIPSMEIER, Klaus; GUNTHER, Marko, *Manual Europeu de Resíduos da Construção de Edifícios, Vol. I, II, III.* Projeto WAMBUCO, Institute for Waste Management and Contaminated Sites Treatment of Dresden University of Technology, 2002. https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/language-en

London Organising Commitee of The Olympic Games and Paralympic Games Limited 2007-2012, *Learning Legacy, Designing out waste on the Olympic Park.* Londres, 2012. http://learninglegacy.independent.gov.uk/documents/pdfs/sustainability/313-designing-waste-aw.pdf

MARTINHO, Graça; PIRES, Ana; RAMOS, Mário; GOMES, Ana; SANTOS, Pedro. *Construction and Demolition Waste management in Portugal*, V2. Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 2015. http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/deliverables/CDW_Portugal_Final.pdf

World Commission on Environment and Development. *Our Common Future*. Oxford University Press. Oxford, 1987. http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm

Wrap (Waste & Resources Action Programme) by TRL, *Designing Out Waste: a Design Team Guide for civil Engeneering, Part I*, Institucion of Civil Engineers, http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Designing.

Entrevistas, Publicações e Masterclass

CARDOSO, Cláudia, Arq. Coordenadora do projeto Repositório de Materiais. "Repositório de Materiais". *MasterClass sobre Resíduos de Construção e Demolição. Projeto PRCD - Prevenção dos Resíduos de Construção e Demolição*. FAUP a 11.06.2018. Transcrição da própria.

COUTINHO, Joana; Eng. Prof. da FEUP. "Consumo de Betão no Mundo". *ENGMIN, Programas* (29.03.2012). Disponível em https://paginas.fe.up.pt/~engmin/index.php/programas/item/190-consumo-de-bet%C3%A3o-no-mundo-29032012.html, acedido a 15.07.2018.

COUTINHO, Joana; Prof. Assoc. FEUP. "Resíduos para Substituir Parcialmente o Betão". *MasterClass sobre Resíduos de Construção e Demolição. Projeto PRCD - Prevenção dos Resíduos de Construção e Demolição*. FAUP a 11.06.2018. Transcrição da própria.

ESCALEIRA, Cláudia; Arq. Investigadora Univ. do Minho. "Fluxo circular dos materiais de construção: Tecnologia ou Projecto?". *MasterClass sobre Resíduos de Construção e Demolição. Projeto PRCD - Prevenção dos Resíduos de Construção e Demolição*. FAUP a 11.06.2018. Transcrição da própria.

PEEREN, Césare; *"Arquitecto, co-fundador 2012 Architecten, co-autor Superuse e Recyclicity". arqa—Arquitectura e Arte Contemporâneas — Portuguese Contemporary Architecture and Art Magazine,* edição 124, (Março 2010). https://www.revarqa.com/content/1/513/cesare-peeren/, acedido a 16.07.2018.

VIEIRA, Castorina: prof. Auxiliar FEUP. "Gestão de RCD e Aplicações de Agregados Reciclados". *MasterClass sobre Resíduos de Construção e Demolição. Projeto PRCD - Prevenção dos Resíduos de Construção e Demolição*. FAUP a 11.06.2018. Transcrição da própria.

Sites web

www.apambiente.pt

http://verdadeiroolhar.pt/2016/05/18/reciclagem-quais-os-problemas-portugal/

https://kierantimberlake.com/

http://superuse-studios.com/

https://www.archiweb.cz/en/b/vila-welpeloo

http://learninglegacy.independent.gov.uk/

Capítulo II

Livros

BAUDRILLARD, Jean. *La société de Consommation.* 1º versão publicada em 1970. Traduzido por Artur Mourão. Coleção Arte e Comunicação, nº 54. Lisboa: Edições 70, 1970.

BERNAL, Andres; LOVELL, C. W.; SALGADO, Rodrigo. *Laboratory Study on the Use of Tire Shreds and Rubber -Sand in Backfills and Reinforced Soil Applications;* Indiana: School of Civil Engineering, Department of Transportation, Junho 2016.

BERNARDO, Eulávio Romão. *Reutilização dos pneus em muros de contenção de terra*; Universidade Zambeze, Departamento de engenharia Civil-Beira, Moçambique. Maputo, INEGI/FEUP, 2017; Ed: J.F. Silva Gomes et al.; Publ: INEGI/FEUP, 2017.

COOK, Deborah. *The History and Future of Plastics.* 2010. https://www.sciencehistory.org/sites/default/files/history-of-plastics.pdf, acedido em 10.07.2018.

Consulting Engineers and Geologists, *Engineering Evaluation of Earth-Filled Tired Construction*, *Demis Weaver Residence.* (Colorado: 1990).

FREINKEL, Susan. *Plastics: A Toxic Love Story.* Boston: Houghton Mifflin Harcourt, 2011.

KANE, Anthony; BECHTHOLD, Martin. *Polli-Brick, Low Carbon Facade Systems, Case Study on the Miniwiz Polli-brick Cladding System.* Design Robotics Group. Cambridge: Harvard University Graduates School of Design, 2001.

MINKE, Gernot; *Construction Manual for Earthquake-Resistant Houses Built of Earth.* GATE - BASIN (Building Advisory Service and Information Network) at GTZ GmbH (Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit), Dezembro de 2001.

MOITA, Francisco; *Energia Solar Passiva,* Direção Geral da Energia. Lisboa: Imprensa Nacional da Casa da Moeda, 1985.

NICHOLSON, Joseph; LEIGHTON. "Plastics Come of Age". *Harper's Magazine.* New York: Harper & Brothers, 1942. https://harpers.org/archive/1942/08/plastics-come-of-age/, acedido em 15.07.2018.

OLIVEIRA, Francisco Cristóvão Leal de. *Parede Pneu, Uma Técnica Construtiva para a Arquitetura Solar Passiva em Portugal*. Coimbra: FCTUC, 2015.

REYNOLDS, Michael, *How to built your own*, Vol. I. (Earthship Biotecture, 1990).

TEIXEIRA, José Filipe Pinto. *Estruturas de Suporte de Terras Executadas com Pneus;* Instituto Politécnico do Porto. Porto: Instituto Politécnico do Porto, 2012.

VILLAÇA, Flávio. *O que todo o Cidadão precisa saber sobre habitação.* São Paulo: Editora Global, 1986.

ZIMMERMAN, Aaron; *Testing and Analysis of Modified Rammed Earth Tire Walls,* Swarthmore College, E90 Project, Department of Engineering. Swarthmore: Maio de 2011.

Investigação

Ellen Macarthur Foundation. *Cities in Circular Economy: an initial Exploration.* Ellen Macarthur Foundation, 2017. https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Cities-in-the-CE_An-Initial-Exploration.pdf

HOORNWEG, Daniel; BHADA-TATA, Perinaz. *What a Waste: a Global Review of Solid Waste Management*. Washington, The World Bank, Março 2012. https://siteresources.worldbank.org/INTURBANDEVELOPMENT/Resources/336387-1334852610766/What_a_Waste2012_Final.pdf

Plastics Europe. *PlasticsEurope Annual Review 2017-2018*. PlasticsEurope AISBL. https://www.plasticseurope.org/en/resources/publications/498-plasticseurope-annual-review-2017-2018

UN-Habitat. *Sustainable Housing for Sustainable Cities, A Policy Framework for Developing Countries.* Nairobi, UN-HABITAT, 2012. Tradução própria. file:///C:/Users/Utilizador/Downloads/3365_alt.pdf

UN-Habitat. *Slum ALmanac, 2015/2016, Tracking Improvement in the Lives of Slum Dwellers.* Nairobi, UN-Habitat, 2014. https://unhabitat.org/wp-content/uploads/2016/02-old/Slum%20Almanac%202015-2016_EN.pdf

United Nations. *The Millennium Development Goals Report.* Nova Iorque, UN-Habitat, 2015. http://www.un.org/millenniumgoals/2015_MDG_Report/pdf/MDG%202015%20rev%20(July%201).pdf

UN-Habitat. *Urbanization and Development: Emerging Futures World Cities Report 2016*. https://www.plasticseurope.org/en/resources/publications/498-plasticseurope-annual-review-2017-2018

Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and their Disposal, *Technical Guidelines on Hazardous Wastes: Identification and Management of Used Tures,* SBC No: 99/008 Geneva: October 1999. http://archive.basel.int/meetings/sbc/workdoc/old%20docs/tech-usedtyres.pdf, acedido a 18.07.2018.

Secretariat of the Basel Convention, *Technical Guidelines on the Identification and Management of Used Tyres.* (Basel: Secretariat of the Basel Convention, 1999). http://archive.basel.int/meetings/sbc/workdoc/old%20docs/tech-usedtyres.pdf.

Comissão Europeia. *Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões: Uma Estratégia Europeia para os Plásticos na Economia Circular.* Estrasburgo: CE, 16.01.2018. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=COM%3A2018%3A28%3AFIN, acedido a 15.07.2018.

Decreto Lei nº 43/2004, https://dre.pt/web/guest/pesquisa/-/search/551860/details/maximized?print_preview=print-preview

Diretiva Europeia 1999/31/EC. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=LEGISSUM%3Al21208.

Diretiva 1999/31/CE do Conselho, de 26 de abril de 1999. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=legissum%3A121208. Acedido a 30.07.2018.

Entrevistas e Publicações

ByFusion, *Reshaping The Future,* (San Antonio: ByFusion, 26 de Março de 2018). em https://sanantonio.uli.org/wp-content/uploads/sites/78/2018/03/ByFusion Overview_SA_2018.pdf. Acedido a 13.07.2018.

ETRMA, "Who invented the first Tyre?", *Tyres,* (2018). European Tyre and Rubber Manufactorer's Association. http://www.etrma.org/tyres, acedido em 30.06.2018

FERNANDES, Filipe; (SILVA, Climénia). "Novas Ideias para Reciclar Pneus", *Jornal de Negócios,* Negócios Iniciativas (11.10.2017). https://www.jornaldenegocios.pt/negocios-iniciativas/detalhe/novas-ideias-para-reciclar-pneus. Acedido em 30.08.2018.

FREITAS, Andrea Cunha. "Nova lei na China pode deixar 111 milhões de toneladas de "lixo" plástico sem destino", *Público, Ambiente,* (20 de Junho de 2018). https://www.publico.pt/2018/06/20/

ciencia/noticia/nova-lei-na-china-pode-deixar-111-milhoes-de-toneladas-do-lixo-plastico-sem-destino-1835086. Acedido em 21.09.2018.

GALLI, Bárbara; MAGINA, Carolina; MENEZES, Renata; PEREZ, Pedro; UENO, Helena; "Uso de Garrafas de Poli-Tereftalato de Etileno – PET como Insumo Alternativo na Construção de Edificações Residenciais"*, Revista de Arquitetura da IMED*, v. 1, n.2, (2012): 174-181. file:///C:/Users/Utilizador/Downloads/424-1570-1-PB.pdf. Acedido em 15.06.2018.

Green Technology. *Una abogada boliviana hace casas com botellas PET para las personas en situación de extrema pobreza,* 1.08.2017. https://ecoinventos.com/. Acedido a 14.07.2018.

IDLE, Tom; "ByFusion: Creating the Building Blocks for Tackling Ocean Waste"*, Sustainable Brands*, Business Models, (19.07.2016). http://www.sustainablebrands.com/news_and_views/business_models/tom_idle/byfusion_ creating_ building_blocks_tackling_ocean_waste.Acedido a 02.07.2018.

JEPPSSON, Frida. "Euroshield Eco-Friendly Roof Shingles Made from Recycled Tires"*, Inhabitat,* (03.09.2011). https://inhabitat.com/euroshield-eco-friendly-roof-shingles-made-from-recycled-tires/. Acedido em 03.07.2018.

MENDEZ, Oscar Andres, "Re-Cycled House | Closing the cycle of plastic: Decent housing solutions from recycled plastics", *Unilever Sustainable Living Young Entrepreneurs Awards 2015.* https://www.changemakers.com/globalgoals2015/entries/re-cycled-house-closing-cycle-plastic. Acedido a 02.07.2018.

NAIME, Roberto; SILVA, Ronilton da. "Utilização de Pneus Usados na Fabricação de Telhas", *INGEPRO, Inovação, Gestão e Produção*, Janeiro de 2010, vol. 02, no. 01. http://ingepro.com.br/Publ_2010/Jan/170-531-1-PB.pdf. Acedido em 15.06.2018.

SILVA, Climénia. "Editorial", *Newsletter Quadrimestral da Valorpneu* n.26, (maio 2015). http://www.valorpneu.pt/Cache/binImagens/XPQ032QXX2463SQcms5QzHYZKU.pdf. Acedido a 17.07.2018.

SIMPSON, Veronica. "The Waste House", *DesignCurial,* News (01.12.2015). http://www.designcurial.com/news/the-waste-house-4740787. Acedido em 13.08.2018.

TAGLIANI, Simone; *Inovação e Sustentabilidade: como as garrafas PET estão servindo de insumo para a construção civil,* em 11.04.2018. https://blogdaengenharia.com/. Acedido em 14.07.2018.

TAGLIANI, Simone; *Projeto desenvolve moradia popular sustentável feita com blocos de borracha e garrafas PET,* 02.08.2016. http://ciclovivo.com.br/arq-urb/arquitetura/arquiteto-colombiano-constroi-casas-com-plastico-e _borracha-reciclados/, acedido em 02.07.2018.

Valorpneu. Newsletter quadrimestral, nº 18. (Agosto 2012). http://www.valorpneu.pt/Cache/binImagens/XPQ032QXX909SQcms5QzHYZKU.pdf

Valorpneu; Newsletter quadrimestral, n.26. (Maio 2015). http://www.valorpneu.pt/Cache/binImagens/XPQ032QXX2463SQcms5QzHYZKU.pdf

WANG, Lucy. "Amazing Building Made from 1.5 Million Plastic Bottles Withstands Fires and Earthquakes"*, Inhabitat*, 15.05.2017. https://inhabitat.com/amazing-plastic-bottle-architecture-withstands-earthquakes-in-taipei/, acedido em 03.07.2018.

Sites web

https://blogdaengenharia.com/

http://valorpneu.pt/

https://pt.wikipedia.org/wiki/

http://www.etrma.org/tyres

Capítulo III

Livros

KUIL, Elena, *The sustainability of conventional houses, passive houses and earthships, based on legislation, environmental impact energy and operating energy.* Master Programme Energy and Environmental Sciences. Groningen: University of Groningen, 2012.

MOITA, Francisco; *Energia Solar Passiva,* Direção Geral da Energia. Lisboa: Imprensa Nacional da Casa da Moeda, 1985.

REYNOLDS, Michael. *Earthship, How to built your own*. Vol. I, (Earthship Biotecture, 1990).

REYNOLDS, Michael. *Earhship, Systems and Components*. Vol. II, (Earthship Biotecture, 1991).

REYNOLDS, Michael. *Earthship, Evolution Beyond Economics*. Vol. III; (Earthship Biotecture, 1993).

Documentos Institucionais

REYNOLDS, Michael. United States Patent, *Bulding Block Of Emplty Cans.* United States Patent: March 20, 1973.

DICESARE, Elizabeth; "Earthship Biotecture Provides Sustainable Housing"*; Emergency Relief*, (26.05.2014). http://innovatedevelopment.org/2014/05/26/earthship-biotecture-provides-sustainable-housing. Acedido a 25.07.2018.

Entrevistas e Publicações

s.n.; "Conoce la escuela sustentable de Michael Reynolds en Jaureguiberry, Uruguay"*, Archydaily* (19.06.2016). https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/789739/conoce-la-escuela-sustentable-de-michael-reynolds-en-jaureguiberry-uruguay. Acedido a 24.08.2018.

SERRÃO, Pedro Pires; "Earthship: casas ecológicas à prova de catástrofes"*;* jornal *PÚBLICO*, *Ecologia*. (21.11.2013). https://www.publico.pt/2013/11/20/p3/noticia/earthship-casas-ecologicas-a-prova-de-catastrofes-1818581. Acedido em 01.07.2018.

Sites web

https://www.earthshipglobal.com/.

DE RESÍDUO A RECURSO:
A Reciclagem / Reutilização de Materiais Não Biodegradáveis em Arquitetura

Manuela Martins Pinho

FACULDADE DE ARQUITETURA