

PAREDE-PNEU
Uma Técnica Construtiva para a Arquitectura Solar Passiva
em Portugal
(Projeto para uma Pousada da Juventude em Salreu)



Dissertação de Mestrado Integrado em Arquitectura
apresentada ao Departamento de Arquitectura da FCTUC em Julho de 2015
sob a orientação do Professor Doutor Gonçalo Canto Moniz
e coorientação do Professor Jorge Carvalho

Francisco Cristóvão Leal de Oliveira

PAREDE-PNEU

Uma Técnica Construtiva para a Arquitetura Solar Passiva
em Portugal

(Projeto para uma Pousada da Juventude em Salreu)

O pneu é feio.

O pneu é rude, preto e sujo. Cheira mal até em fotografias. É pesado e fora do ergonómico. Está lá, porque tem de estar. E só na imagem de um carro nos faz menos mal à vista. É também casa de banho para animais de algumas pessoas menos asseadas. Até a própria palavra é feia. Pneu é quase um palavrão. É feio dizer pneu. Pneu. Não é?

Do autor

Obrigado,

Ao professor Jorge Carvalho,
pela forma exemplar como contribuiu para que este trabalho fosse sempre mais além.

Ao professor João Paulo Cardielos,
pelo incentivo de uma aprendizagem académica feita também através do erro e da experimentação.

Ao Jean Jacques Jouret e ao Niels Kloppenburg,
pelas entrevistas e cedência de elementos.

À Eglê Plytnikaitė,
pela primeira vez que ouvi a palavra Earthship.

Ao Christiaan Zwanikken,
pela oportunidade de sentir a magia que acontece quando se transforma um pneu num bloco construtivo.

Aos arquitetos e amigos André Andrade e Pedro Carvalho e ao engenheiro Pedro Conceição,
pelas preciosas discussões técnicas.

À Ingrida Skudutytė,
pela partilha do tempo que esta parede levou a construir.

Ao Filipe Cristóvão e à Aurora Matias,
pelas histórias das suas vidas, que são para mim um exemplo de dedicação.

À Adelaide Cristóvão,
pela contribuição literária com que me mima desde que nos conhecemos.

Ao João e à Madalena,
pelo apoio moral e não só.

À Mãe e ao Pai,
pelas quase três décadas de constante zelo, incentivo e compreensão.

RESUMO

Ler o seu termo – parede-pneu – porventura bastará para percebermos que esta é uma técnica construtiva que está longe do panorama da arquitetura em Portugal. Que técnica construtiva é esta, que ainda nem nome tem na língua portuguesa? Será ela apenas um produto gerado por e para alguma espécie de movimento *underground*? Porquê construir arquitetura com parede-pneu, quando o podemos fazer em betão? É essa mesma arquitetura que dá forma ao nosso habitat, e assim traduz aquilo que expressamos. E o que queremos nós expressar? Este trabalho pretende aproximar a parede-pneu das técnicas construtivas de que atualmente dispomos na arquitetura em Portugal, constituindo-a como uma alternativa válida. Para que possa, enquanto opção, contribuir para o projeto que se faz agora, pois será ele o habitat de amanhã.

Palavras-chave:

PAREDE-PNEU, HABITAT, MASSA TÉRMICA, DESENHO SOLAR PASSIVO, ARQUITETURA BIOCLIMÁTICA, ZWOLLE EARTHSHIP, HYBRID EARTHSHIP, VERENIGING AARDEHUIS PROJECT, POUSADA DA JUVENTUDE EM SALREU

ABSTRACT

Reading its term – tire-wall – is perhaps enough to realize that this building technique is far from architecture's panorama in Portugal. What is this construction technique, which has still no name in Portuguese? Is it barely a product generated by and for some kind of underground movement? Why build architecture with a tire-wall, when instead we can do it with concrete? It is that same architecture that shapes our habitat, and so translate what we express. And what we want to express? This study aims to bring the tire-wall closer to the building techniques in Portugal, constituting it as a valid alternative. In order to become, whilst an option, a contribute to the project that is being made right now, as it will be the habitat of tomorrow.

Keywords:

TIRE-WALL, HABITAT, THERMAL MASS, SOLAR PASSIVE DESIGN, BIOCLIMATIC ARCHITECTURE, ZWOLLE EARTHSHIP, HYBRID EARTHSHIP, VERENIGING AARDEHUIS PROJECT, SALREU YOUTH HOSTEL PROJECT

SUMÁRIO

11	Introdução
17	Metodologia
23	1 – Habitar com a parede-pneu
27	1.1 – Habitat – a relação humana com o mundo
45	1.2 – Habitat hodierno – o sistema dinâmico
57	1.3 – Massa térmica no desenho solar passivo
61	1.3.1 – O que é a massa térmica?
65	1.3.2 – Massa térmica associada ao isolamento pelo exterior
77	1.3.3 – Massa térmica associada a outras estratégias passivas
83	1.4 – Paredes pesadas - técnicas e materiais
99	1.5 – Parede-pneu
113	1.6 – Considerações sobre <i>Habitar com a parede-pneu</i>
121	2– Casos de estudo
125	2.1 – <i>Earthship Global Model</i>
135	2.1.1 – A parede-pneu na <i>Earthship Zwolle</i>
155	2.1.2 – Considerações sobre a <i>Earthship Global Model</i>
159	2.2 – <i>Earthship Híbrida</i>
161	2.2.1 – A parede-pneu no <i>Vereniging Aardehuis Project</i>
171	2.2.2 – Considerações sobre a <i>Earthship Híbrida</i>
175	2.3 – Considerações sobre os casos de estudo
177	3 – Projeto Pousada da Juventude em Salreu
183	3.1 – A parede-pneu na Pousada da Juventude
205	3.2 – Considerações sobre o projeto da Pousada da Juventude em Salreu
209	Conclusão
221	Bibliografia
225	Fontes das imagens

INTRODUÇÃO

Esta tese de mestrado pretende fazer uma investigação sobre a experiência de projeto com a aplicação da técnica construtiva da parede-pneu e tem como objetivo apresentar uma proposta prática de melhoramento do uso desta técnica no contexto específico da arquitetura em Portugal.

Estando até agora a utilização desta técnica praticamente ausente do panorama da construção em Portugal, o próprio termo carece de uma tradução para a língua portuguesa. Como tal, o termo *parede-pneu* é utilizado ao longo deste trabalho como proposta de substituição do termo em inglês – *tire-wall*.

Embora à primeira vista a parede-pneu nos possa remeter para uma visão que foca apenas a utilização dos materiais com que é feita (sobretudo o pneu automóvel), a sua análise de um ponto de vista de uma técnica construtiva pode trazer resultados bastante mais conclusivos para o tema da arquitetura. Este é, por essa razão, um exercício que constitui um pilar fundamental deste trabalho.

Interessa referir que esta técnica não é investigada com o propósito de procura de uma solução universal, capaz de substituir qualquer outra opção. Pelo contrário, esta investigação parte do pressuposto de que existem contextos distintos em que a arquitetura acontece e que, para cada um, deve existir um leque de opções técnicas específico que deve ser sempre corroborado mediante os fatores que caracterizam o espaço cultural, económica e fisiologicamente. É com base no entendimento de que existe um contexto em Portugal no qual a aplicação da técnica da parede-pneu pode trazer vantagens sobre a utilização de outras técnicas, que esta dissertação se desenvolve.

A interpretação desse contexto é fundamental para que se possam perceber as razões que motivam a escolha de determinada técnica construtiva no processo da arquitetura. O que traduz essa escolha e que consequências traz para o habitat que construímos através dela.

Tal interpretação tem o seu ponto de partida no contexto histórico situado antes daquilo a que chamamos civilização e é na análise do seu progresso até à atualidade que podemos clarificar o processo da maneira como nos relacionamos com tudo aquilo que julgamos conhecer.

Aquilo que julgamos conhecer hoje deve ser mote para aquilo que fazemos. E é neste confronto que se desenvolve o nosso progresso enquanto indivíduos.

No plano da arquitetura, assumem-se várias variáveis que pertencem a esse conhecimento e que como tal devem ser tidas em conta no seu processo. No contexto delimitado da dissertação, são identificadas algumas variáveis consideradas nos dias de hoje como cruciais na arquitetura. Conceitos como a eficiência energética da construção, a dependência do conforto do ato de habitar em relação ao custo financeiro de aquisição e manutenção do edifício, ou o consumo insustentável de recursos fósseis de que este faz uso. Este são temas que se interligam e que ainda carecem de investigação e diversidade dos pontos de vista acerca do modo como os entendemos e relacionamos com eles.

A participação na solução do problema ecológico global é muitas vezes camuflada e mascarada por atitudes que se prendem com a exposição individual da leveza de consciência que queremos transmitir. O problema não está nos sacos verdes que se compram no supermercado e que apregoam a responsabilidade ecológica de quem os carrega. O problema está antes no que se leva dentro dos sacos verdes. O mesmo é válido para a arquitetura. Um painel solar na cobertura não valida de maneira nenhuma uma atitude consciente para com os recursos naturais, nem por isso estabelece o confronto que este tema merece.

O que podemos retirar deste arbítrio é que é necessária uma conceção holística da arquitetura, dissecando e equilibrando ao máximo os fatores que a compõem. Lembremo-nos que é através deste exercício, mas também do seu oposto, que se forma o habitat hodierno. Esta afirmação é válida para o

panorama da arquitetura em geral e estende-se para além dos fatores em foco neste trabalho.

A parede-pneu tem então de ser tratada, nomeadamente nas situações de análise de projeto, como um elemento pertencente a um coletivo, associado a um conjunto de opções. Pois é isso mesmo que a parede-pneu constitui. Apenas uma parte de um todo, que é o projeto.

Assim sendo, é com a noção de que a arquitetura não pode ser gerada a partir de um raciocínio meramente analítico sobre aquilo que lhe dá forma, que se dá início à apresentação do estudo sobre a parede-pneu.

METODOLOGIA

Este trabalho divide-se em três partes diferentes, mas que no entanto se complementam num propósito comum. Cada parte pretende estabelecer um momento distinto na ordem do progresso da técnica construtiva da parede-pneu. O balizamento concetual da dissertação é assim definido através dos momentos *antes*, *agora* e *depois* que estruturam a dissertação pelos três capítulos que lhe correspondem respetivamente. Assim, pretende-se no mesmo estudo: 1-clarificar o processo de aparecimento da técnica e aquilo que são dados adquiridos a seu respeito, 2-perceber em que consiste o seu estado de arte e 3-apresentar uma proposta para o seu melhoramento tendo em vista a adaptação ao contexto português.

Assim, ao longo do capítulo 1 é demonstrado que o uso da parede-pneu pode responder a um leque de problemas com que a arquitetura vem sendo confrontada, nomeadamente em Portugal, como o desconforto do ato de habitar, derivado da má eficiência energética da construção convencional de carácter permanente, a deficiente relação que esta estabelece entre o habitante de um determinado espaço e o meio natural de onde são extraídos os recursos energéticos de que faz uso, e a condicionante financeira imposta pela própria construção para que se obtenha uma solução viável a nível de custos, durante todas as fase do ciclo de vida do projeto.

A investigação neste capítulo é ordenada segundo a escala dos temas abordados, fazendo uma análise desde a arquitetura como objeto de estudo global, até à técnica construtiva da parede-pneu.

Para tal, são estabelecidas categorias de análise para os dados e conceitos investigados, que levam à identificação do esquema de relações entre o ser humano e o seu conhecimento acumulado, bem como a contextualização dos elementos sobre os quais a arquitetura é hoje submetida e desafiada a agir.

Sobre estas conclusões é identificado, no plano da arquitetura, um conjunto de métodos de uso da massa térmica baseados no *desenho solar passivo* que propõem um sistema dinâmico para a arquitetura e no qual a técnica da parede-pneu se insere. O seu tratamento é feito através de comparações entre diversas técnicas de paredes pesadas, que conduzem às conclusões sobre quais os contextos onde a utilização da parede-pneu pode ser uma mais-valia, como o pode fazer e quais as suas características que lhe permitem alcançar esse objetivo.

O conceito de massa térmica utilizado ao longo da dissertação corresponde à definição científica de *capacidade calorífica volumétrica*. Na construção é utilizado mais frequentemente o termo em inglês (*thermal mass*).

No segundo capítulo é feita uma análise crítica ao estado de arte da utilização da parede-pneu no sentido de perceber o seu funcionamento e identificar os aspetos que podem ser melhorados.

Enquanto técnica integrada no desenho solar passivo, a origem da sua aplicação está situada no aparecimento de um sistema de construção específico - as *Earthships*. Partindo de uma introdução ao conceito do sistema, prossegue-se com a análise do seu modelo mais recente – *Earthship Global Model* – focada num caso de estudo de um objeto arquitetónico construído sobre os princípios deste modelo – a *Earthship Zwolle*.

Tendo sido este um sistema construtivo em constante evolução, a sua conceção teve derivações do modelo original. É assim possível observar projetos, conhecidos como *Earthship Inspired Building* ou *Earthship Híbrida* (por derivarem da patente original), onde a estratégia de aplicação da parede-pneu (bem como de outros princípios do conceito) sofreu alterações, e onde é possível encontrarem-se novas propostas de melhoramento de alguns aspetos condicionantes do seu uso.

Estas derivações contribuíram de alguma maneira para a evolução e melhoramento da aplicação da técnica da parede-pneu, e é por isso feita uma análise ao caso de

estudo do *Vereniging Aardehuis Project*, de onde é retirada uma conclusão crítica que complementa o ponto de partida para o capítulo seguinte.

No capítulo 3 é finalmente apresentada uma proposta de projeto com a utilização da parede-pneu. O projeto teve início em 2013, com a proposta de reordenamento do território para a Ria de Aveiro, elaborada no âmbito da disciplina de Projeto V do Departamento de Arquitetura da Universidade de Coimbra. Desde então, devido à rápida e constante evolução que se desenvolveu em torno desta temática nos últimos anos, nomeadamente em Portugal, o projeto careceu de uma revisão constante e muitas vezes radical.

Como metodologia de recolha de conceitos, classificações e dados, foram utilizadas, para além da documentação escrita e digital, a realização de: visitas aos casos de estudo; uma entrevista a Jean Jacques Jouret, líder do projeto *Doepark Nooterhof*, onde se situa a *Earthship Zwolle* (o primeiro caso de estudo); uma entrevista a Niels Kloppenburg, supervisor do *Vereniging Aardehuis Project* (o segundo caso de estudo) e um período de trabalho prático em construção na *Earthship* em Mértola. Como método de complemento à recolha de críticas e à discussão sobre a proposta de projeto, foi ainda utilizada a sua publicação digital na plataforma *Hacking the Earthship*, da arquiteta Rachel Preston Prinz.

Ao longo de todo o trabalho, as referências aos pontos cardeais são feitas do ponto de vista da orientação a partir do hemisfério norte.

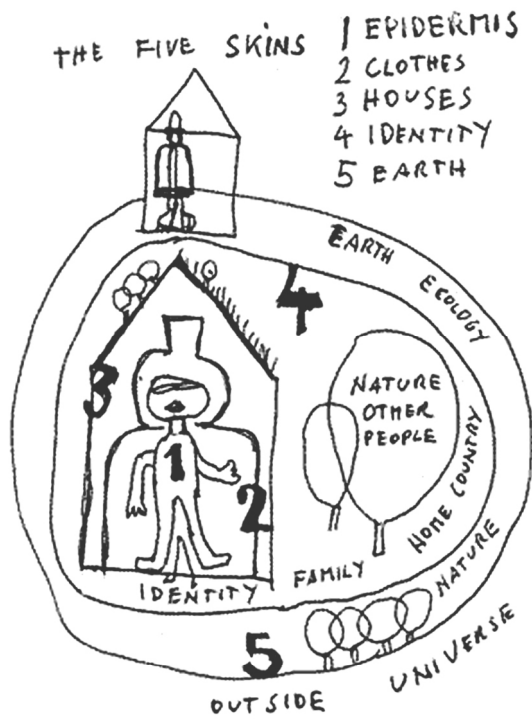


Fig.1_ The Five Skins por Hundertwasser.

1 – HABITAR COM A PAREDE-PNEU

Ao longo deste capítulo é traçado um caminho que pretende defender a pertinência da utilização da técnica da parede-pneu como ferramenta da arquitetura para que esta se relacione com os elementos que fazem parte do nosso conhecimento, nomeadamente a utilização de recursos renováveis e a eficiência energética através de métodos passivos, do custo financeiro controlado e da expressão e qualidade arquitetónicas.

A arquitetura faz parte da relação que o ser humano estabelece com o tempo e o mundo em que vive. A análise da história da arquitetura (teórica e prática) permite definir um esquema composto por fatores, pelo Homem enquanto indivíduo, pelo seu conhecimento acumulado e por aquilo que é entendido ao longo desta dissertação como a tradução dessa relação: o habitat.

Como se processa essa relação? Qual a relação específica contemporânea que procuramos hoje em dia? Que soluções se apresentam disponíveis? De que forma a sua utilização contribui para essa relação? As respostas a estas perguntas são identificadas, sempre tendo em conta a aplicação da técnica da parede-pneu na arquitetura, ao longo do capítulo que se segue.

Para tal, é feita no subcapítulo 1.1 uma abordagem ao lugar que a arquitetura ocupa enquanto matéria teórica e prática no habitat.

Passando por uma contextualização histórica onde se pretendem identificar quais as variantes e as ações que revelam a composição do esquema acima referido, até às consequências que derivam dos diversos modos de ver a arquitetura enquanto componente desse esquema, pretende-se aqui clarificar a importância que tem nos dias de hoje, assim como em momentos do passado, o entender do habitat como uma ferramenta que deve ser propensa a qualquer mudança que tenha em vista a continuidade da evolução da própria humanidade.

Esta clarificação é particularmente útil para o passo seguinte, o subcapítulo 1.2, onde se identificam as novas variáveis com que hoje em dia a humanidade se tem de relacionar:

-as alterações climáticas e a noção de finidade de certos recursos naturais de que hoje faz uso;

-as consequências da continuidade da construção enquanto sistema-linear;

-a necessidade de reinterpretção de determinados fatores para que se alcance um habitat que assente num sistema dinâmico.

No seguimento desta abordagem, é feita no subcapítulo 1.3 uma contextualização do conceito de massa térmica (utilizado pelas paredes-pesadas) nas soluções do desenho solar passivo, que dão resposta às variáveis mencionadas anteriormente.

Classificada como parede-pesada, a parede-pneu é, no subcapítulo 1.4, comparada com outras técnicas e materiais que constituem paredes-pesadas. Esta comparação é feita sobre as características, potencialidades e resultados recolhidos para cada caso de estudo. Através dela podemos perceber qual o contexto em que a utilização da parede-pneu é uma alternativa que apresenta mais vantagens em relação à utilização das outras técnicas em análise.

Finalmente são esclarecidos, no subcapítulo 1.5, alguns pontos-chave em relação às características da técnica construtiva da parede-pneu, como a disponibilidade de materiais e o seu *modus operandi*, que visam complementar a conclusão retirada anteriormente sobre o contexto mais favorável à sua aplicação.

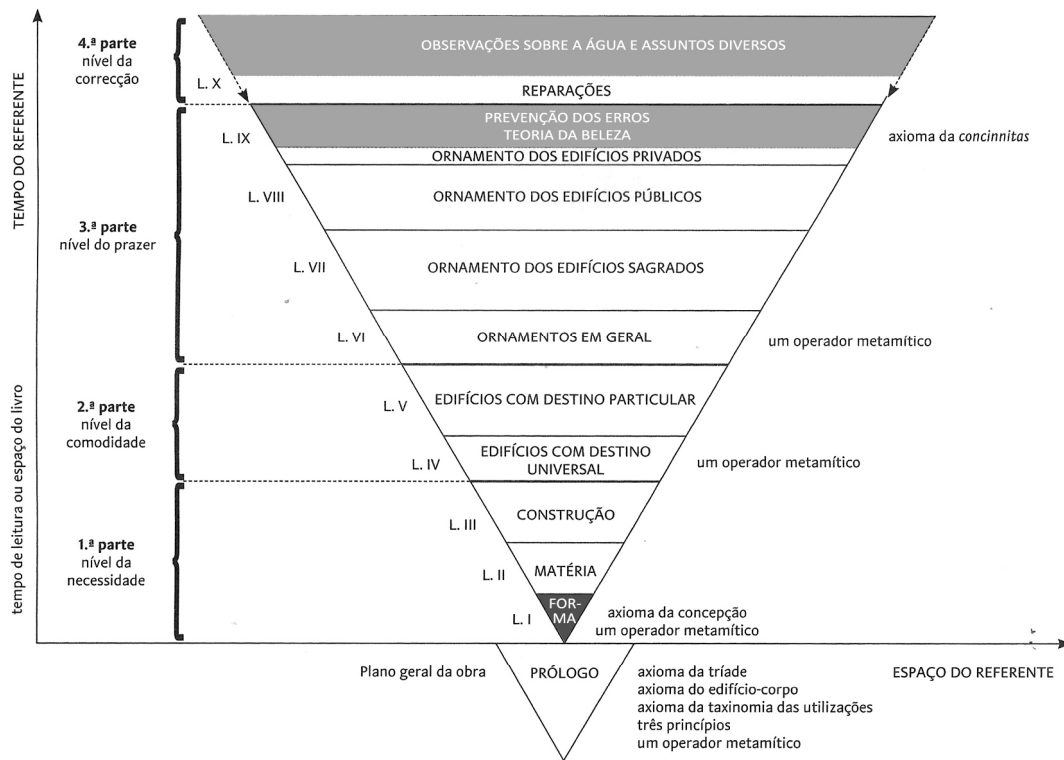


Fig.2_ Estrutura do *De Re Aedificatoria* de Alberti, por F.Choay.

1.1 - HABITAT – A RELAÇÃO HUMANA COM O MUNDO

Ainda antes da revolução neolítica¹ o ser humano entendia a habitação como ferramenta para alcançar o seu “meio apropriado para a vida normal”², ou seja, o seu habitat. A técnica sempre fez parte desse entendimento, sempre existiu lado a lado com as relações que o habitat foi traduzindo.

Desde que se supõe a sua existência, há um propósito funcional que sempre se manteve no conceito da habitação. O primeiro objetivo da habitação é hoje, como sempre foi, “ajudar o ser humano a combater melhor as inconstâncias do meio ambiente e a proteger-se das condições climáticas adversas”³.

Este propósito é, em *De Re Aedificatoria*, disposto no início da base da toda a estrutura da edificação (fig.2), definida como nível de necessidade (*necessitas*) “onde a construção oferece uma garantia contra os agentes naturais e responde às necessidades base”⁴.

Alberti faz sobre uma *parte da forma do ato construtivo* (ou conceção da edificação), o seguinte “juízo de valor: a cobertura é a parte *mais útil* do edifício. Entenda-se: ela é a parte que [...] responde às necessidades base dos humanos ao protegê-los contra a noite, o sol, a chuva e os seus diversos inimigos”⁵.

Embora estas afirmações se refiram à base onde assenta um processo de edificação que progride sobre os níveis de comodidade (*utilitas*) e do prazer estético (ou nível do prazer), a forma do ato construtivo “consagra em si, um valor universal e pode

¹ CHILDE, Vere Gordon. *A Evolução Cultural do Homem*, Zahar, 1978

² COSTA, J. Almeida, MELO, A. Sampaio e, *Dicionário da língua portuguesa*, Porto Editora, 1994, p.940

³ MOITA, Francisco, *Energia solar passiva*, Argumentum, 2010, p.14

⁴ CHOAY, Françoise, *A regra e o modelo: sobre a teoria da arquitectura e do urbanismo*, Caleidoscópio, 2007, p.80

⁵ *Ibidem*, p.85

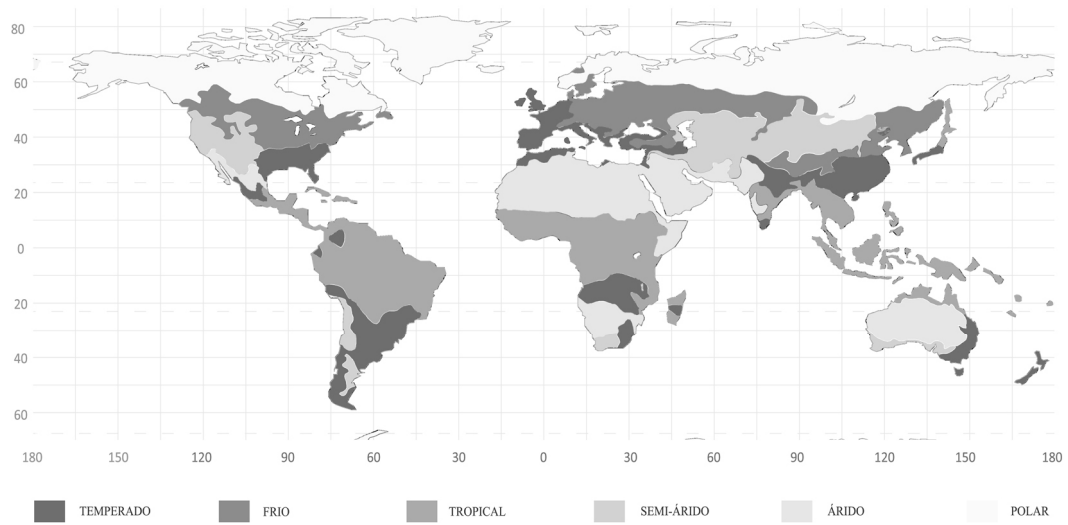


Fig.3_ Mapa síntese das zonas climáticas elaborado segundo a classificação de Köppen.

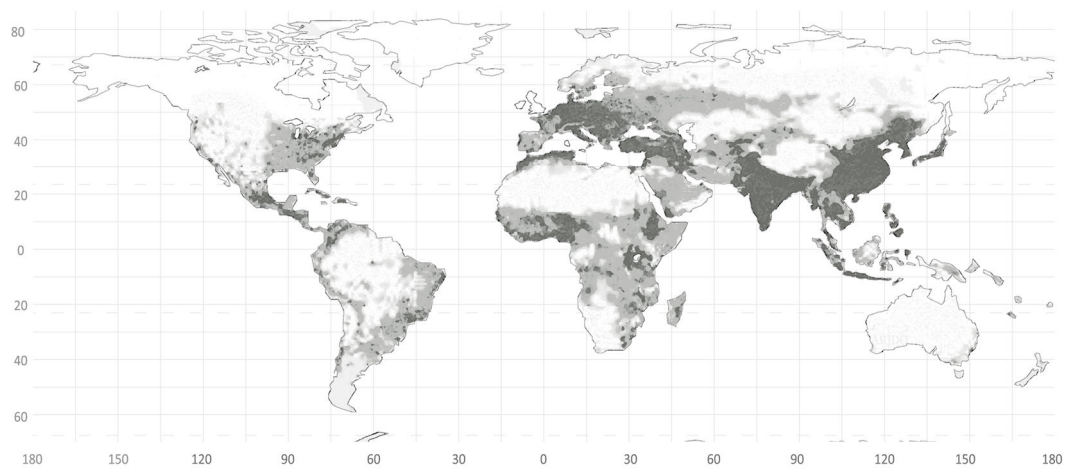


Fig.4_ Mapa da densidade populacional de 2015 elaborado segundo os dados da UNFPA *United Nations Population Fund*.

ser separado de qualquer materialização”⁶.

Este método de encarar a sua sobrevivência e ultrapassar as barreiras fisiológicas que tinha comparado com outros animais serviu então, desde o início, como base para o intermediário construído que estipulou a relação que o Homem estabelecia com o mundo natural. Desde muito antes da arquitetura, ou se quisermos, da “construção que implica um processo premeditado de desenho com uma dependência ideológica”⁷, o habitat enquanto sistema de relações foi tendo a sua evolução ao longo de gerações por via da criação, experimentação e transmissão do conhecimento acumulado. Dessa evolução surgiram expressões e características próprias do habitat, relacionadas, para além dos planos sociais, culturais, económicos e técnicos das civilizações, com os diferentes tipos de clima e com as diversas características geográficas. Ellsworth Huntintong defendia que o ser humano podia sobreviver em qualquer sítio do planeta onde pudesse obter alimento, mas o desenvolvimento máximo da sua energia física e mental, incluindo do seu carácter moral, apenas poderia ser alcançado mediante condições climáticas estritamente limitadas⁸. O plano climático é colocado, com a sua teoria, acima das características civilizacionais numa lógica de dependência, propondo assim que a evolução do ser humano esteja diretamente condicionada pelas condições climáticas em que esta acontece. Esta analogia pode ser verificada, ainda que não linearmente, quando a transpomos para a comparação entre as zonas climáticas e a densidade populacional (figs.3 e 4). Huntintong foi mais longe e defendeu através da teoria do determinismo climático que uma grande percentagem do desenvolvimento económico futuro de uma população específica pode ser determinado numa relação direta com a distância a que esta se encontra da linha do

⁶ CHOAY, Françoise, *A regra e o modelo: sobre a teoria da arquitectura e do urbanismo*, Caleidoscópio, 2007, p.84

⁷ RICHARDSON, Vicky, *Vanguardia y tradición: La reinterpretación de la arquitectura*, Blume, 2001, p.18. Tradução do autor.

⁸ HUNTINGTON, Ellsworth, *The human Habitat*, D. Van Nostrand Company, 1927

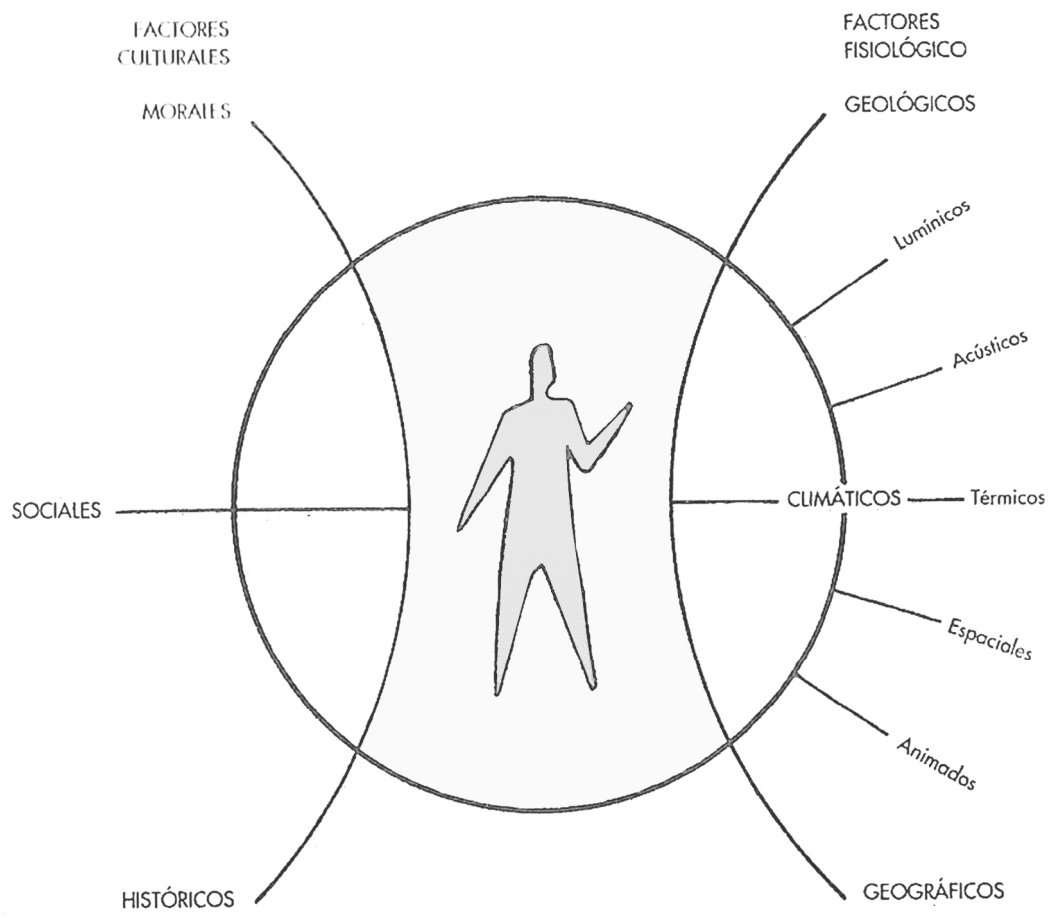


Fig.5_ Fatores de interpretação por Victor Olgyay.

Equador. Ou seja, quanto mais afastada a área de estudo se encontra simultaneamente das linhas do equador e dos círculos polares, mais desenvolvida economicamente esta tende a ser.

Esta visão tem consequências naturalmente no tema da arquitetura. Em *De Architectura*, Vitruvius escreveu que “o estilo dos edifícios deve ser manifestamente diferente no Egito e na Espanha, em Pontus ou em Roma, e em países e regiões de características diferentes”⁹. Os fatores que influenciam essa diferença na expressão arquitetônica são, segundo Olgyay, comuns e transversais ao longo do tempo e são passíveis de serem enumerados (fig.5). Distribuem-se eles por dois grupos, os fatores culturais, de origem moral, social e histórica e os fatores fisiológicos, de origem geológica, geográfica e climática (luminosidade, acústica, térmica, espacial e *animada*). Diretamente relacionados com estes argumentos, estão os resultados das análises do estudo de Jean Dollfus¹⁰, que demonstram que as tipologias construtivas tradicionais se encontram muito mais definidas devido à zona climática em que se encontram, do que pelas suas fronteiras territoriais.

Dependendo então da interpretação que é feita destes fatores e da maneira como são abordados na construção do nosso habitat, está subjacente o tipo, a qualidade e a validade da nossa relação com o mundo exterior a nós, enquanto indivíduos, também no plano da arquitetura.

Ao olharmos para certos momentos históricos, percebemos que para cada habitat, os fatores que Olgyay propõe compõem-se e interagem entre si segundo ordens, hierarquias e direções distintas.

⁹ Citado em OLGAY, Victor, *Arquitectura y clima: Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*, Gustavo Gili, 1963, referente a VITRUVIUS, *De Architectura: libro VI*, 1934. Tradução do autor.

¹⁰ DOLLFUS, Jean, *Les aspects de l'architecture populaire dans le monde*, 1954

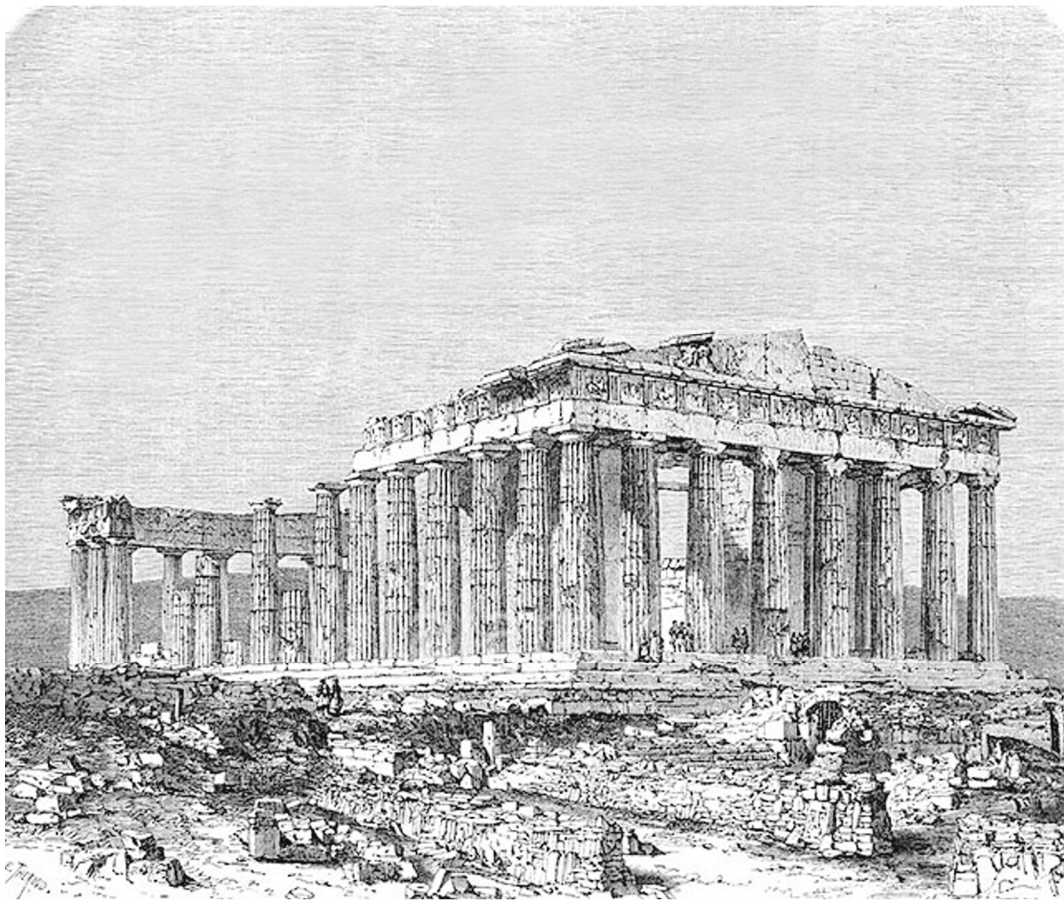


Fig.6_Vista do Parthenon. Figura talhada em madeira por E. Thernone em 1860.

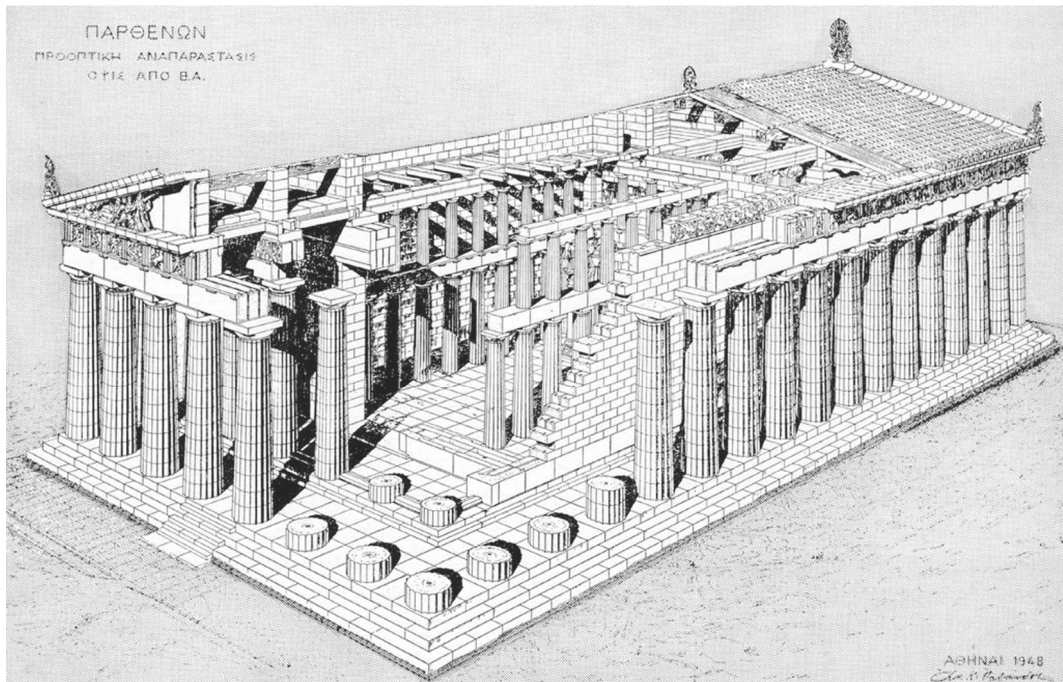


Fig.7_Síntese construtiva do Parthenon por A.K.Orlandos (em *The Architecture of Parthenon* - vol.1, 1976).

Se tomarmos como exemplo o classicismo grego segundo o valor da questão estética da arquitetura monumental que exerceu, e o cruzarmos com a relevância que tinha o consumo de recursos na construção vernacular até então, podemos afirmar que ambos adquiriram valores diferentes na sua maneira de pensar a arquitetura. Na arquitetura clássica grega, a ideia assumida de que “a pretensão da construção é a de impressionar e durar, ao invés de cumprir apenas a sua função”¹¹, trouxe uma mudança no seu esquema de relações, estabelecendo não só um divórcio da arquitetura com o “comum e ordinário”, mas também uma nova associação da arquitetura com o excedente económico necessário para uma produção arquitetónica particular, assente nos princípios da racionalidade, ordem, beleza e geometria. Os gregos conheciam o princípio do uso do arco que, funcionando apenas com cargas de compressão, permitia uma redução da quantidade de pedra utilizada e um maior espaçamento entre as colunas. No entanto, este foi por eles apenas utilizado em caves e construções no subsolo em detrimento da continuação do uso do lintel. Em *Greek Architects at Work*, Coulton sugere que “este conservadorismo estrutural está provavelmente inerente à conceção grega da arquitetura, mais preocupada com a forma exterior do que com o espaço interior”¹².

Embora a arquitetura clássica tivesse na sua base teórica o contraste entre a essência da natureza e a obra humana, com o objetivo de procurar o ponto de equilíbrio entre os dois e assim encontrar a ligação pretendida, esta era feita considerando a relação fundamental entre o trabalho humano e o uso de matérias-primas da natureza de uma forma particular, bastante diferente da de hoje em dia. A imagem do *Parthenon* (figs. 6 e 7) é exemplo disso, ao colocar a construção clássica de um modo isolado, mas posicionando-a de tal forma que a sua composição dependesse da existência da paisagem natural que o envolve e do próprio templo. O edifício, construído com

¹¹ COULTON, J. J. *Greek Architects at Work*, 1977, p.30. Tradução do autor.

¹² *Ibidem*, p140. Tradução do autor.



Fig.8_A “primeira cabana” (no paraíso). Capa do livro *Essai sur l'Architecture* de Marc Laugier. Desenho de Charles Eisen.



Fig.9_ *Landscape with the Rest on The Flight into Egypt* de Claude Lorrain.

recurso a mármore que se encontravam a dezasseis quilómetros do local implicou, propositadamente, uma logística de construção que na altura se sustentou num enorme consumo de energia, a nível económico, laboral e material. Assim, este relaciona-se com a natureza, mas fá-lo através de uma lógica de expressão arquitetónica que se sobrepõe à utilização racional dos recursos naturais de que é feito.

Um olhar atento à pintura *Landscape with the Rest on the Flight into Egypt* de Claude Lorrain (fig.9) é porventura útil à compreensão da comparação que se apresenta de seguida, pela forma extrema com que destaca o contraste entre a obra humana e a natureza, figurando para isso uma construção clássica desprovida de qualquer função e que apenas equilibra a composição artística da obra.

Por oposição, podemos encontrar na interpretação que Laugier faz acerca do mito fundador da arquitetura (a cabana primitiva), a ideia de que a essência da arquitetura tem lugar nos resultados de uma análise analítica e racional, que nos conduzem à extração de elementos sobretudo estruturais que se propõem a uma função. Na figuração deste argumento (fig.8), é possível reconhecer essencialmente uma estrutura que terá sido o ponto de partido para os elementos das ordens clássicas aliados à profusa utilização da gramática clássica.

Para compreendermos como é que o contraste que as diferentes composições dos fatores se reflete nas características dos habitats, passamos de seguida a uma síntese acerca da forma de entendimento que Henry David Thoreau tem destes mesmos fatores, tal como fizemos atrás para a antiguidade clássica grega.

Thoreau propõe por contraste, no século XIX, uma visão sobre estes fatores que coloca o Homem e a sua obra como partes integrantes da natureza.

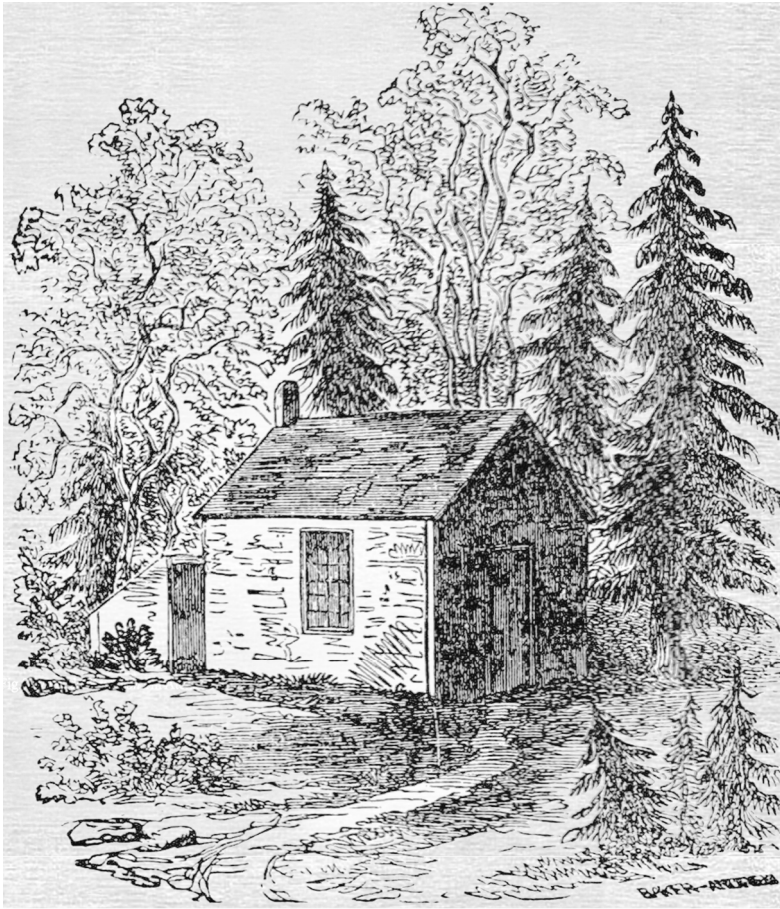


Fig.10_Habitação de Thoreau junto ao lago Walden. Desenho de Sophia Thoreau (185?).

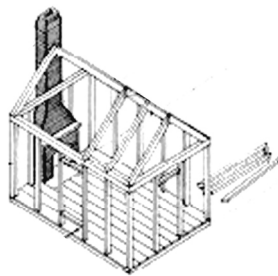


Fig.11_Síntese construtiva da habitação de Thoreau. Por Lester Walker (em *Tiny Tiny Houses: or How to get away from it all*, 1987).

Para ele, “a inteligência humana jamais pode ser separada do reconhecimento das leis da natureza”¹³. Essa consciência de que a prosperidade humana está diretamente ligada ao uso das propriedades naturais em que se desenvolve, e de que essa apropriação deve ser feita sem a destruição do mundo natural, demonstra a ideia de que existe um sistema do qual o ser humano faz parte. Em *Walden or the Life in the Woods*, Thoreau define o seu habitat com a reflexão que faz acerca desse sistema através do seu conhecimento empírico, onde inclui não só o ser humano enquanto indivíduo, como também tudo o que por ele é remotamente afetado. Não fazendo a abstração da arquitetura, Thoreau é claro na posição que, no seu entender, esta deve ocupar. Interpretando a construção vernacular segundo a terminologia da época, reconhece à expressão da arquitetura e da arte em geral um papel de subserviência em relação ao uso dos recursos naturais, e regressa assim à noção básica de um abrigo cuja função é apenas servir o modo de vida daqueles a quem afeta.

A cabana que construiu e onde viveu junto ao *Walden* (figs. 10 e 11) é examinada por Thoreau não de um ponto de vista da sua aparência exterior, antes pela quantidade de madeira e de outros materiais necessários à sua construção, pelo seu custo a nível económico e laboral (quanto mais reduzido, melhor no seu entender), pelo quão confortável é para se habitar e quão fácil é de manter. Para Thoreau, a expressão do seu edifício ocupa uma relevância completamente diminuída e mais do que isso, o autor gera-a a partir da sua negação dizendo “*they can do without architecture who have no olives nor wines in the cellar*”¹⁴. Brenda Vale defende, a respeito da visão de Thoreau, que “uma arquitetura manifestamente tão abrangente na sua subserviência é uma arquitetura que é mais, e nunca menos, difícil de alcançar.

¹³ THOREAU, Henry David, *A desobediência civil & Defesa de John Brown*, Antígona, 2005

¹⁴ THOREAU, Henry David, *Walden or the life in the woods*, Peter Pauper Press, 1966, p.90.

A proporção e o simbolismo são preocupações bem mais limitadas que as respostas que são precisas alcançar para que a arquitetura toque a Terra levemente”¹⁵.

Esta comparação feita sobre os fatores da expressão arquitetônica e do consumo de recursos entre o *Parthenon* e a cabana de Thoreau não pretende definir nenhum dos dois habitats em causa, nem dissociar ambas as análises do conjunto holístico que poderá suportar essa definição. Antes, tem como objetivo demonstrar que ao incidirmos sobre um determinado habitat uma análise feita a partir de fatores definidos e intemporais, é possível determinar a sua ação (do ponto de vista desses mesmos fatores), que é também nossa enquanto ser humano. Esta comparação mostra ainda que, para os mesmos fatores, as maneiras como o Homem os interpreta e organiza podem ser completamente distintas, e que é na base desse entendimento que se reflete o seu habitat.

No entanto, nesta comparação, podemos dizer que o conceito de arquitetura com que ambos se relacionam (nomeadamente a expressão arquitetônica) não tem variáveis significativas. Como já referido, os fatores são transversais temporalmente, mas sem embargo, os seus significados podem passar por uma reinterpretação. Vejamos dois casos que o exemplificam de maneiras distintas.

O caso de Rudofsky, que com *Architecture without Architects* transformou a maneira como se entendia a construção feita a partir do “trabalho espontâneo dos artesãos, baseado no conhecimento acumulado através de gerações”¹⁶, chamada construção vernacular. Para tal, atribui-lhe uma beleza e funcionalidade teóricas específicas que, embora tivessem já sido equacionadas pelo movimento Arts & Crafts ou pelas ações e pensamentos da SPAB de William Morris ou de Gropius,

¹⁵ VALE, Brenda and Robert, *Green Architecture: Design for a sustainable future*, Thames and Hudson, 1991, p.13. Tradução do autor

¹⁶ RICHARDSON, Vicky, *Vanguardia y tradición: La reinterpretación de la arquitectura*, Blume, 2001, p.27. Tradução do autor.

se encontravam fora do termo da arquitetura até então. “De algum modo o homem pré-histórico tinha uma inteligência prática superior em relação ao homem moderno, pois o que chamamos construções “primitivas” eram na verdade habitações dirigidas por fatores ecológicos”¹⁷, afirmou Rudofsky em *The Prodigious Builders* em 1977. A reformulação do significado de um dos fatores em análise (expressão arquitetônica) alterou a maneira como se passou a descrever o mesmo habitat.

Uma interpretação semelhante pode ser observada também em relação à expressão arquitetônica feita por Olgay em *Arquitectura y Clima*, onde este defende que “a interpretação do clima como fator principal é justificável, apenas, se o ambiente climático influenciar diretamente a expressão arquitetônica”¹⁸. Podemos ainda encontrar, a partir da década 70, este pensamento figurado nas *Earthships*, construções autossuficientes onde toda a sua forma é obtida dando primazia total à função. E a sua função primária é conectar-se com os elementos naturais. Aqui, a forma segue (radicalmente) o sol, a água, os ventos, a luz, a temperatura e o local.

Mais uma vez, mas de maneira diferente, é feita a reinterpretação do fator da expressão arquitetônica, construindo-a sob o argumento (em relação às *Earthships*) de “que a performance desta habitação contém já por si um valor estético e artístico, concentrando os valores da harmonia, do equilíbrio e da relação com o lugar onde se insere. Da mesma maneira, podemos argumentar que um edifício que assente em princípios de funcionamento totalmente insustentáveis e que como consequência contribui para a destruição do espaço em que se insere, ou seja, que existe divorciado do mundo natural, não possui qualidades estéticas”¹⁹.

¹⁷ RUDOVSKY, Bernard, *The prodigious builders*, Secker & Warburg, 1977

¹⁸ OLGAY, Victor, *Arquitectura y clima: Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*, Gustavo Gili, 1963, p.4. Tradução do autor.

¹⁹ HEWITT, Mischa, *Earthships: Building a zero carbon future for homes*, IHS BRE Press, 2007, p.21. Tradução do autor.



Fig.12_Esquema de relações entre o ser humano e o seu conhecimento acumulado.

Existe portanto uma evolução natural da arquitetura ao longo do tempo que se explica a partir da evolução paralela dos contextos culturais e fisiológicos, e que acontece exatamente porque existiram críticas e rebalanceamentos dos fatores em que se estabelece, permitindo assim a continuidade da sua evolução.

1.2 - HABITAT HODIERNO – O SISTEMA DINÂMICO

O habitat, onde se situa também a arquitetura é portanto um processo evolutivo que influi na relação entre o indivíduo e o espaço que este ocupa e afeta.

Os elementos com que o habitat estabelece as suas relações são também eles dinâmicos e evolutivos, e constituem o conhecimento acumulado. É sobre o que se pensa conhecer acerca de certos elementos que o ser humano se relaciona e que as relações propostas sofrem o seu progresso. Elementos como a religião, a natureza, o conhecimento científico, a filosofia, a tecnologia, a técnica, a sociedade ou no limite o próprio indivíduo.

Voltando ao exemplo anterior, na antiguidade grega não existia uma relação com a finitude dos recursos fósseis, pois não havendo a insustentabilidade desse elemento, logo esse conhecimento também não podia existir. Com o decorrer do tempo, esta situação alterou-se e com ela surgiram novos dados que implicam uma análise distinta feita a partir dos mesmos parâmetros e sobre o mesmo elemento.

Salvaguardando o argumento de que a verificação e validade desses elementos é diferente consoante o tempo em análise, é possível traçar linhas condutoras gerais, as mesmas que traçaram a história da humanidade.

Hoje em dia, o consumo de recursos energéticos e financeiros por parte das construções convencionais não é isento de consequências. Partindo desde dado, faremos uma reflexão acerca da relação entre o ser humano e o conhecimento atual e fatural da finitude dos recursos fósseis não renováveis de este que faz uso. Teremos ainda em conta a catástrofe ambiental com que se confronta, elemento com que a arquitetura contemporânea incondicionalmente tem de se relacionar.

Ao afirmar que as “estruturas que, em determinado ambiente, reduzem as tensões desnecessárias aproveitando os recursos naturais que favorecem o conforto

humano, podem catalogar-se como ‘climaticamente equilibradas’²⁰, Olgyay partilha a ideia de que a primazia do processo de projeto se deve situar na eficiência energética e numa relação com o meio natural realizada de forma a não esgotar os recursos naturais nem causar danos ambientais, visando o conforto do espaço e consequentemente do seu habitante. Embora o tenha feito já em 1952, é com a crise ecológica, ambiental e de recursos despoletada nos anos 70 que o Homem se vê obrigado a repensar a maneira como se relaciona com o mundo natural. A crise que levou a esta necessidade foi gerada, em grande parte, pelas consequências da segunda revolução industrial e por uma primeira metade do século XX onde a industrialização massificou a produção em larga escala sem ser acompanhada por um pensamento que tivesse em conta o consumo de recursos. Mas é no entanto interessante perceber como esta “emergência do ambientalismo” dos anos 70, encontrou as suas bases nas projeções das correntes de pensamento exatamente dos mesmos períodos que a causaram, no final do século XIX (W. Morris) e no início do século XX (K. Marx), compreendidas na visão de futuro para a sustentabilidade da sociedade apresentada pelo Ecosocialismo.

É então, após a crise dos anos 70, que se levantam no centro do debate da arquitetura as questões da necessidade de repensar a função da habitação e do reequacionar o processo pelo qual esta atinge os seus propósitos. A terminologia de arquitetura sustentável começava a ganhar contornos.

O arquiteto Michael Reynolds defende, acerca do conceito de habitação (que ele denomina de “compartimento”), que este “não mudou muito ao longo dos últimos séculos”²¹. Partindo da ideia primitiva segundo a qual o “compartimento” é um abrigo face aos elementos naturais, diz que se olharmos para o passado percebemos

²⁰ OLGAY, Victor, *Arquitectura y clima: Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*, Gustavo Gili, 1963, p10. Tradução do autor.

²¹ REYNOLDS, Michael, *Earthship: vol 1 – How to build your own*, Solar Survival Press, 1990, p.4. Tradução do autor.

que cedo este necessitou de estabelecer uma relação (por intermédio do Homem) com outros elementos para que respondesse às necessidades do habitante. Assim, o ato de habitar começou a requerer luz, fogo, água e conforto. No início, afirma Reynolds, ”começámos a trazer energia e água aos compartimentos à mão, e mais tarde por sistemas. Os sistemas evoluíram desde o transporte (manual ou animal) de madeira para um forno ou lareira, até às centrais de energia nuclear que hoje em dia distribuem enormes quantidades de energia através de fios para imensos compartimentos no planeta.”²². Na sua visão, “os sistemas evoluíram radicalmente, enquanto o compartimento ainda é apenas o compartimento”²³. Com esta observação, Reynolds parte para uma discussão em torno da arquitetura bioclimática, acerca do equilíbrio da relação entre os sistemas fornecedores de recursos energéticos e a habitação. Acusando a dependência desequilibrada e prejudicial do segundo para com o primeiro, conclui que “as habitações existentes não são funcionais sem os sistemas”²⁴. Segundo Michael Reynolds, destes sistemas fazem parte “a produção e distribuição de energia elétrica, os sistemas de águas, de esgotos, de gás, de alimentação, os sistemas de materiais e o sistema monetário”²⁵.

A esta relação de dependência, podemos associar o modelo de construção utilizado ao termo sistema-linear²⁶, ou seja, uma construção onde a interação da estrutura física na problemática acima abordada é feita através de “um edifício como uma coisa morta, que é apenas a soma de todas as suas partes. Estas partes são individualmente extraídas, fabricadas, montadas, mantidas, demolidas e, finalmente deitadas fora”²⁷.

²² REYNOLDS, Michael, *Earthship: vol 1 – How to build your own*, Solar Survival Press, 1990, p.4. Tradução do autor.

²³ ibidem

²⁴ ibidem

²⁵ ibidem

²⁶ Expressão definida para o plano da arquitetura por *GALA Architects*

²⁷ *A Green Vitruvius: princípios e práticas de projecto para uma arquitectura sustentável*, Ordem dos Arquitectos, 2001, p.39.

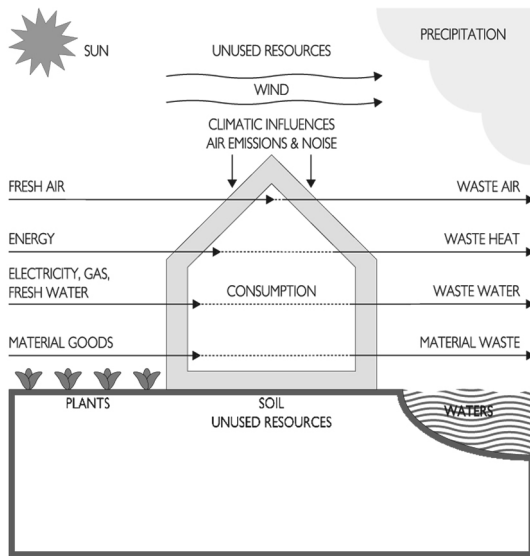


Fig.13 _Sistema linear.

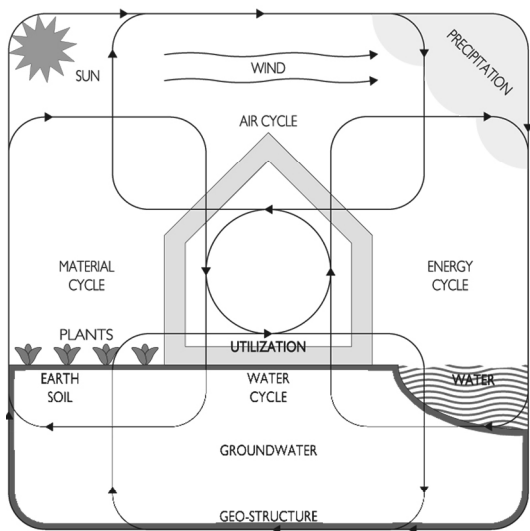


Fig.14 _Sistema dinâmico.

A manutenção deste sistema de funcionamento das construções é obtida com um grande custo a nível ecológico e ambiental. Desta forma, o modelo não é sustentável na medida em que não estabelece entre o Homem e a natureza e os seus recursos, uma relação sustentável. Para além de desprezar em parte os recursos naturais e as suas características, assimilados pelo novo conhecimento que lhe é atribuído, e assim desprezar igualmente um elemento fundamental na relação que estabelece, o conforto humano fica em grande parte vulnerável a condicionantes externas, dependendo de sistemas de distribuição energética totalmente fora do controlo direto do habitante.

Hoje em dia, em Portugal, embora o caminho percorrido até aqui tenha tido um sentido positivo e apesar de se verificar gradualmente uma transição no pensamento da construção, nomeadamente através da entrada em vigor de nova regulamentação do desempenho energético dos edifícios de habitação, esta acontece normalmente de forma residual. Grande parte do nosso legado construído ainda se encontra nestas condições. Mas mais grave ainda, acerca das novas construções convencionais de carácter permanente, continuamos sob o domínio da utilização do sistema-linear, que não apresenta mudanças nas suas estratégias suficientes para se tornarem significativas, mostrando que a arquitetura convencional continua a ser entendida praticamente da mesma maneira.

É urgente fazer acontecer uma mudança neste esquema de relações. É urgente que esta aconteça a uma velocidade diferente da que se tem verificado.

Como resposta à incapacidade do sistema linear (fig.13) de projetar um habitat contemporâneo bioclimaticamente responsável, foi definido um modelo alternativo – o sistema dinâmico (fig.14). Em *The Green Vitruvius*, este sistema é descrito

como “uma nova entidade, viva e saudável, [...] parte integral do local”²⁸. Assim, este modelo, ao tomar em linha de projeto fatores como os ciclos do sol, do ar, dos materiais, da água e de toda a energia que necessita para existir fisicamente, apresenta uma proposta de interação dinâmica com os recursos energéticos, naturais e materiais do local onde se insere.

Sobre este modelo, a arquitetura, par a par com a sociedade, procurou opções estratégicas que fizessem frente aos novos problemas ambientais e ecológicos que se apresentaram como novos elementos a ter em conta na relação do ser humano com o mundo e no conforto com que este o faz. Encontrou soluções técnicas que lhe permitiram responder às novas exigências desta matéria em diversos planos, tanto através da utilização do conhecimento encontrado no vernacular, como pelo avanço científico e tecnológico. O seu encontro resultou numa relação contemporânea entre a arquitetura e a ecologia, que chega até hoje conhecida como arquitetura bioclimática. Ao abordarmos as suas componentes projetuais, podemos claramente fazer a distinção entre dois modos de atuação: princípios ativos e princípios passivos.

Os princípios ativos são aqueles que resultam da ação de elementos mecânicos ou eletrónicos e que têm um funcionamento mais ou menos independente dos outros mecanismos da construção. A escolha da sua utilização pode ser feita individualmente estando assim a obtenção de níveis de otimização elevados dissociada das restantes opções de projeto. No entanto, convém salientar que mesmo estas práticas devem ser tomadas em consideração na fase projetual, lado a lado com todas as outras, para que possam resultar numa integração formal e propositada na construção, ao invés de constituírem uma mera adição.

²⁸ *A Green Vitruvius: princípios e práticas de projecto para uma arquitectura sustentável*, Ordem dos Arquitectos, 2001, 39.

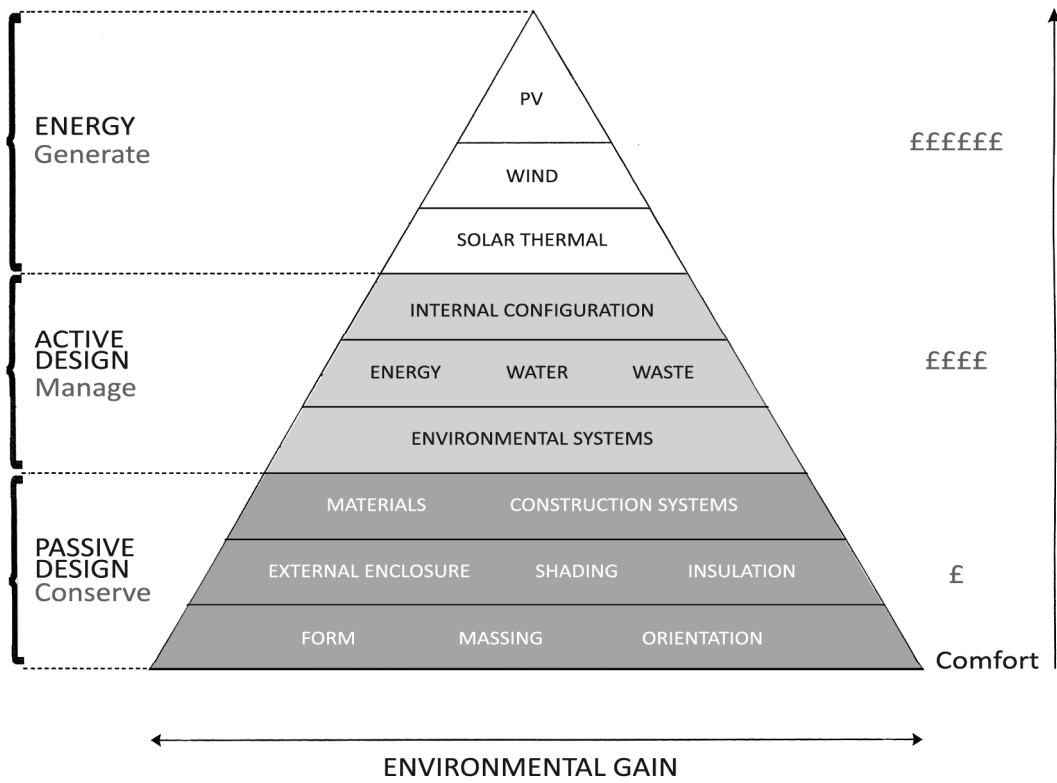


Fig.15_Criteria for Sustainable Design por Foster & Partners.

Estes princípios ativos dividem-se em dois grupos distintos (os que produzem energia e os que necessitam de energia para o seu funcionamento). Entre eles, podemos destacar a captação da energia solar através de painéis solares fotovoltaicos ou térmicos, sistemas de captação da energia eólica, sistemas de ventilação mecânica de recuperação de calor, sistemas de controlo térmico através da energia geotérmica e sistemas utilizadores de energia da biomassa.

Por outro lado, os princípios passivos, preveem a atribuição ao projeto de uma organização material e espacial que, em consonância com diversos fatores naturais, resulta numa maior eficiência energética (sem recurso a sistemas ativos) da construção têm como consequência um aumento do conforto do espaço interior e da sustentabilidade no cumprimento das suas funções. Assim, a utilização de sistemas passivos propõe a otimização da capacidade da construção de captar, armazenar e conservar a energia proveniente da luz natural solar de forma controlada, bem como do uso e aproveitamento do ar (dissipação, ventilação e renovação). Estes princípios são, segundo Norman Foster, aqueles que implicam um ganho ambiental mais elevado (menor pegada ecológica) e que simultaneamente representam um custo menor para a sua execução (fig.15).

Importa salientar que não existe uma só solução, capaz de dinamizar uma relação assente num sistema dinâmico entre a sociedade, a economia e o ambiente, e que é na conjugação de princípios ativos e passivos que se potencia o encontro desse resultado.

A parede-pneu enquadra-se precisamente nos sistemas passivos, nomeadamente do método de utilização da energia solar passiva através da massa térmica, proposto pelo desenho solar passivo, que analisaremos a seguir.



Fig.16_ Gráfico comparativo entre as variações da temperatura interior do quarto principal da *Earthship Brighton*, e da temperatura exterior. Esta construção está situada no Reino Unido e foi construída com materiais de elevada massa térmica sobre os princípios do desenho solar passivo. As temperaturas apresentadas foram obtidas sem recurso a qualquer mecanismo de aquecimento interior ativo.

1.3 - A MASSA TÉRMICA NO DESENHO SOLAR PASSIVO

Sendo a parede-pneu uma técnica que pode ser utilizada de acordo com os princípios do desenho solar passivo devido às suas características de comportamento térmico, é feita de seguida uma abordagem ao seu conceito.

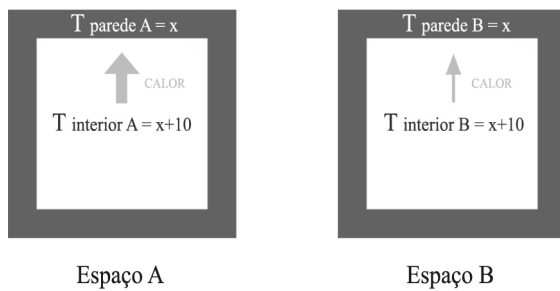
Na utilização da massa térmica através do desenho solar passivo, os elementos do projeto de arquitetura são orientados de maneira a captar, armazenar e a distribuir energia solar em forma de calor nos meses frios e a rejeitar essa energia nos meses quentes. De maneira a maximizar a sua eficiência, há que ter em conta diferentes pressupostos do projeto. São eles os pressupostos exteriores ao edifício (localização e implantação, forma, orientação e afastamento, e vegetação) e os pressupostos constituintes do edifício (fenestração e sombreamento, ventilação, massa térmica e o isolamento da construção).

Quando se consegue um equilíbrio destas estratégias, é possível alcançar um controlo térmico passivo do espaço interior, estabilizando a oscilação da temperatura anual entre limites muito próximos dos de conforto humano sem recorrer a meios ativos mecânicos ou elétricos. Um exemplo disso é a *Earthship Brighton*, construída com a técnica da parede-pneu (fig.16).

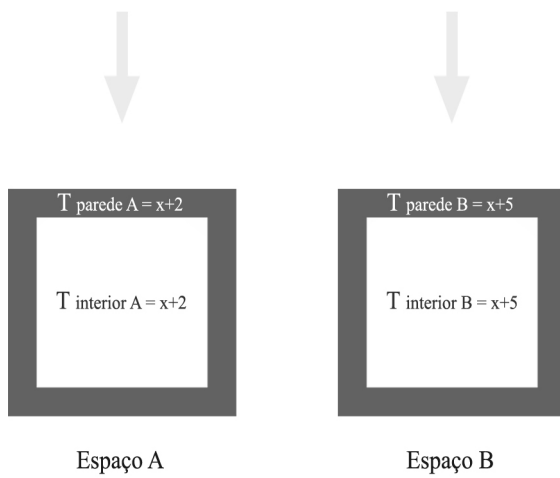
No caso de Portugal, com um clima mediterrânico, onde “as temperaturas médias são extremamente amenas (entre 18°C e 26°C) [...] e onde o clima oferece à sua população condições muito próximas das temperaturas e humidades relativas médias consideradas como confortáveis pelo ser humano”²⁹, grande parte do controlo térmico pode ser feito através da utilização de materiais com elevada

²⁹ TIRONE, Livia, NUNES, Ken, *Construção sustentável: soluções eficientes hoje, a nossa riqueza de amanhã*, Tirone Nunes, 2007, p.16.

massa térmica (técnicas e materiais pesados) segundo os princípios do desenho solar passivo. Para uma melhor compreensão da diferença de desempenho que os diversos materiais pesados têm, nomeadamente a parede-pneu, é necessário clarificarmos, como ponto de partida, o conceito de massa térmica e as suas variáveis.



Temperatura do espaço interior > Temperatura da parede
Capacidade calorífica Parede A > Capacidade calorífica Parede B



Temperatura do espaço interior = Temperatura da parede
 Valor equilíbrio térmico A < Valor equilíbrio térmico B

Fig.17_Esquema de comportamento da temperatura em duas paredes com valores de *capacidade calorífica* diferentes.

1.3.1 - O QUE É A MASSA TÉRMICA?

Ao analisarmos a relação entre a quantidade de calor transmitida a um determinado corpo e a variação da temperatura sofrida por esse corpo (*capacidade calorífica*)³⁰, percebemos que para a mesma variação de temperatura, dois corpos necessitam de receber ou libertar quantidades de energia diferentes. Transpunhamos esta relação para a arquitetura, e imaginemos dois espaços interiores iguais, A e B, onde a única diferença entre eles é que as paredes de A têm uma *capacidade calorífica* superior às de B; se a temperatura do espaço interior for superior à das paredes, o que acontece é que através da transferência de energia, ambas as temperaturas vão variar (a das paredes aumenta e a do espaço interior diminui), tendendo ambas para o ponto de *equilíbrio térmico* (para onde tendem as temperaturas da parede e do espaço). No entanto, no espaço A, a energia necessária para elevar a temperatura das suas paredes é, pela *capacidade calorífica*, superior à de B, o que resulta num valor de temperatura de *equilíbrio térmico* mais baixo do que em B. Ou seja, para as mesmas condições, a temperatura após a transferência energética do espaço interior em A é inferior à de B (fig.17). É este mesmo processo que se procura com a utilização de paredes-pesadas como a parede-pneu, onde se pretende que os ganhos de energia excessivos sejam armazenados durante o dia e, pelo processo inverso, libertados à noite.

No entanto, a *capacidade calorífica* (J/K) é uma variável extensiva³¹, e com ela podemos apenas caracterizar um corpo, o que não nos permite fazer uma comparação direta entre substâncias (materiais). Para tal, existem duas variáveis intensivas³² que o fazem através de unidades de massa: o *calor específico* (J/Kg.K) e a *capacidade calorífica volumétrica* (J/K.m³). Esta última (massa térmica), obtida

³⁰ CHANG, Raymond, *Química – 8ª edição*, McGraw-Hill, 2005, p.231.

³¹ *ibidem*

³² *ibidem*

através da multiplicação entre a *capacidade calorífica* e a *massa volumétrica* ou *densidade* (Kg/m^3) de um material é, pelas unidades que mede, é a que nos interessa utilizar como fator de análise.

Em Portugal, é mais comum ser utilizado o conceito de *inércia térmica* quando nos referimos às características de comportamento térmico dos materiais. No entanto, embora a *inércia térmica* tenha uma relação direta com a *massa térmica*, esta introduz a variável tempo nos seus valores (a *inércia térmica* é obtida através da multiplicação da *massa térmica* pela *condutividade térmica* – $\text{J/m}^2.\text{K}.\text{s}^{0,5}$).

No desenho solar passivo, para analisarmos uma parede-pesada segundo o seu comportamento térmico, é mais vantajoso fazê-lo analisando os seus parâmetros mais representativos separadamente, ao invés de fazê-lo sob um valor único. Para a capacidade que esta tem de receber e de armazenar calor são interpretados os valores da sua *massa térmica* e da sua *capacidade calorífica* calculada. Quanto ao seu ciclo térmico diário, a análise pode ser feita sobre o valor de *retardamento térmico* diário (*termal lag*), o qual depende do valor da *condutividade térmica*, garantindo-se assim a contabilização deste parâmetro.

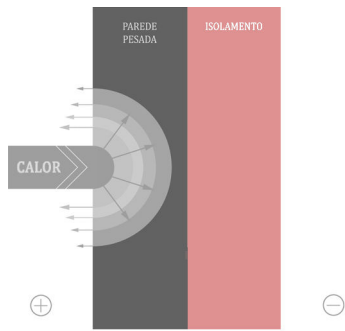


Fig.18_Esquema de parede pesada isolada pelo exterior.

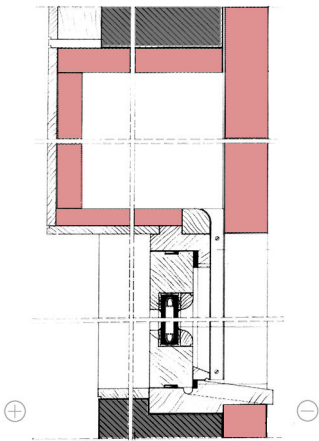


Fig.19_Corte da fachada da Casa Termicamente Optimizada no Porto.

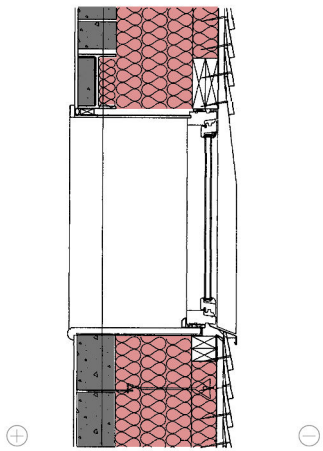


Fig.20_Corte da fachada da Comunidade Bedzed em Londres.

1.3.2 - MASSA TÉRMICA ASSOCIADA AO ISOLAMENTO PELO EXTERIOR

Do ponto de vista da otimização da performance da massa térmica em Portugal, esta acontece quando aliada a uma estratégia de isolamento pelo exterior, garantindo que as trocas energéticas sejam feitas praticamente apenas através de um dos lados da parede: o interior (figs.18, 19 e 20).

A ideia de utilização da massa térmica associada ao isolamento pelo exterior, embora tenha naturalmente ocorrido de forma empírica ao longo dos tempos e até de uma perspetiva da engenharia (como por exemplo em *Heat capacity and the distribution of mass in the design of buildings for hot climates*³³), surge documentada provavelmente pela primeira vez, de uma forma abrangente e fundamentada no contexto da relação entre a arquitetura e o clima, em *Arquitectura y Clima* (1963).

A partir das definições que faz de *construção leve* e *construção pesada*, Victor Olgyay demonstra, através de cálculos, que existe um *índice de peso* ideal que depende das características dos materiais utilizados, da variação da temperatura exterior e da orientação da construção, e afirma que “nos casos em que a inclinação da curva da temperatura (equivalente à amplitude) é muito pronunciada [...] e a temperatura máxima alcance os 29,4°C, uma construção pesada estabilizará a temperatura fora da margem de controlo”³⁴. Da mesma forma define um *índice de isolamento* ou *isolamento equilibrado* e defende que “diferentes graus de exposição produzem, como resultado da ação sol-ar, diferentes impactos na temperatura,

³³ De W. J. Drysdale, 1952.

³⁴ OLGAYAY, Victor, *Arquitectura y clima: Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*, Gustavo Gili, 1963, p.116. Tradução do autor.

fazendo aumentar ou diminuir a carga térmica calorífica. Se se utilizarem os valores de “isolamento equilibrado” para suavizar essas diferenças, é possível compensar as condições térmicas interiores”³⁵. Através do cruzamento de ambos, e introduzindo as variáveis zona climática e tipologia da construção, conclui que para cada zona climática existe uma resposta adequada. Para algumas dessas zonas, como a região temperada, Olgyay argumenta que “as edificações estarão caracterizadas por muros de construção pesada para manter o equilíbrio entre a temperatura, utilizando o isolamento exterior para reduzir as perdas de fluxo de calor”³⁶.

Quanto ao retardamento térmico, este é definido como o “tempo que leva uma diferença térmica num dos meios para se manifestar na superfície oposta do componente”³⁷. Esta característica depende da “capacidade térmica do componente construtivo e da ordem em que as camadas são dispostas”³⁸.

Um espaço interior isolado pelo exterior, permite-nos considerar que idealmente os valores do retardamento térmico atuam somente na temperatura interior. Através da característica de retardamento térmico da parede, as oscilações que a temperatura da parede sofre deixam de corresponder às oscilações do espaço interior e são deslocadas no tempo. Podemos dizer que esta característica faz com que o equilíbrio térmico entre a parede e o espaço interior seja (durante um ciclo diário) encontrado apenas pontualmente, e assim torne as paredes num mecanismo dinâmico de estabilização passiva da temperatura interior.

³⁵ OLGAY, Victor, *Arquitectura y clima: Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*, Gustavo Gili, 1963, p.119. Tradução do autor.

³⁶ ibidem

³⁷ RIVERO, R. *Arquitectura e clima: acondicionamento térmico natural*, D.C.Luzzato, 1986

³⁸ GHISI, E., LAMBERTS, R. *Desempenho térmico das edificações-Parte I: Definições, símbolos e unidade*,. Proposta de Norma, 1998

A partir daqui, podemos encontrar valores de referência para as necessidades de aquecimento e arrefecimento durante o ciclo diário de determinada região.

Olgay apresenta um caso de estudo de construção pesada na cidade de Phoenix (onde se registam grandes amplitudes térmicas diárias), e conclui que as fachadas oeste e sul, onde a seguir à cobertura são as que têm maiores cargas caloríficas brutas, devem ter o seu tempo de retardamento térmico situado entre um valor mínimo de 5 horas e um valor ideal de 10 horas. No caso específico de Portugal, Francisco Moita refere um valor de retardamento térmico ideal de 12 horas para o ciclo diário³⁹.

A relação que a característica do retardamento térmico tem com os valores de massa térmica é igualmente importante.

Como vimos no subcapítulo 1.3.1, para a mesma espessura de parede, quanto maior a massa térmica da parede-pesada, maior será a sua capacidade de acumulação e libertação de energia, logo, maior será a sua capacidade de ação passiva sobre a estabilização da temperatura do espaço interior. Ou seja, as oscilações entre os valores mínimos e máximos do espaço interior serão tanto menores quanto maior a massa térmica do material. Se quisermos comparar paredes com diferentes espessuras, deve ser calculado o valor de *capacidade calorífica* para cada parede e analisado de igual forma.

Associando esta característica ao retardamento térmico, podemos objetivar uma parede-pesada com a maior massa térmica possível (uma temperatura interior o mais constante possível) e com um tempo de retardamento que permita que as variações que existam correspondam aos períodos diários mais favoráveis (acumulação de energia durante o dia e libertação à noite).

³⁹ MOITA, Francisco, *Energia solar passiva*, Argumentum, 2010, p.75.

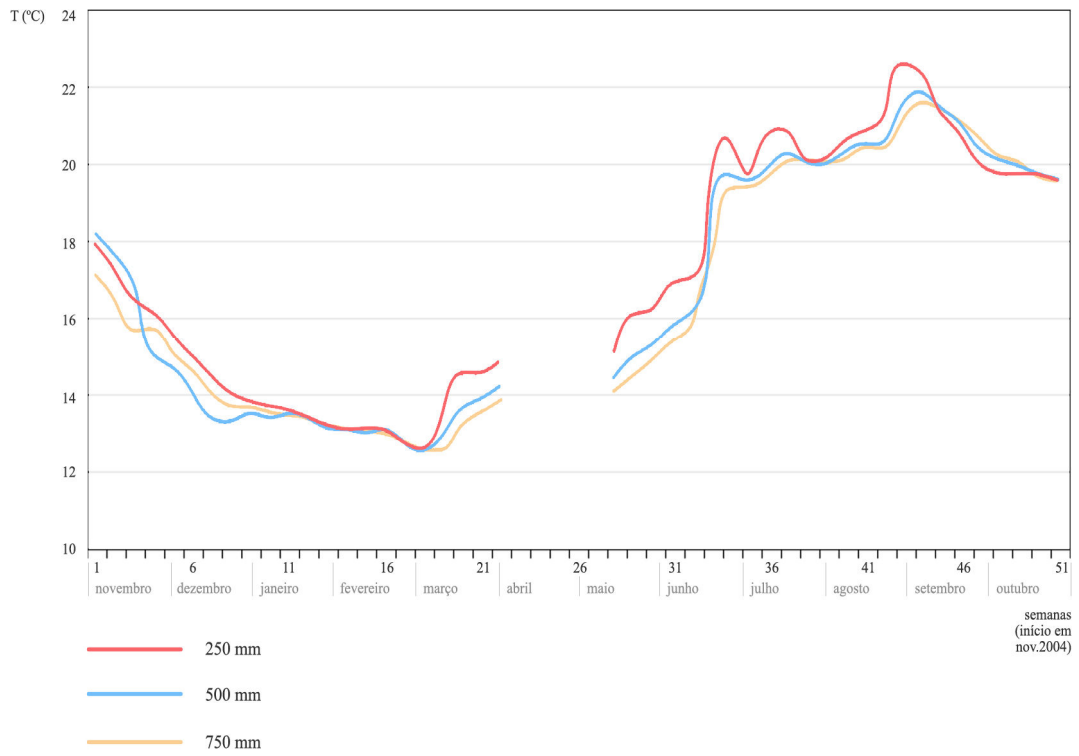


Fig.21_ Temperaturas registadas na parede-pneu da *Earthship Brighton* em diferentes níveis de profundidade.

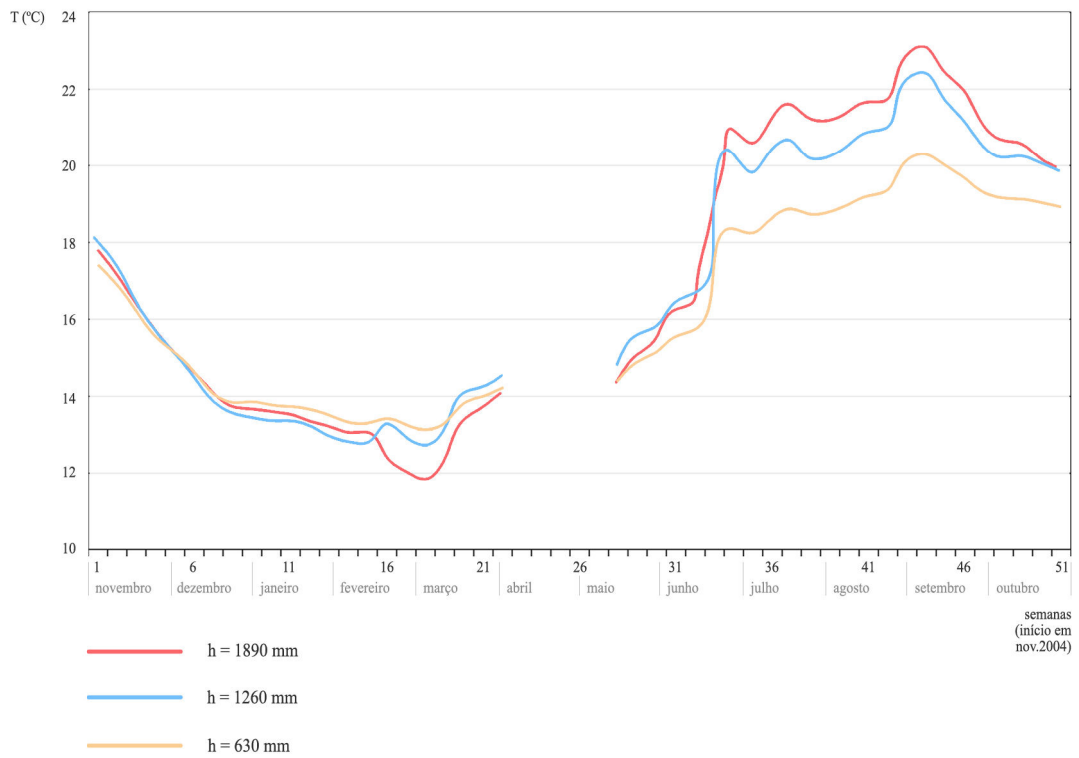


Fig.22_ Temperatura registadas no interior da *Earthship Brighton* em diferentes níveis de altura.

Existe ainda um fator a ter em conta em relação às características da parede. Da perspetiva da relação entre a quantidade de massa térmica e a espessura da parede, sabemos que quanto maior a densidade de um material, maior é o seu *decrement factor*, ou seja, maior é o tempo que a onda de calor demora a atravessá-lo. Sendo este valor variável entre 0 e 1 unidades, e sabendo que à superfície de contacto inicial entre o material em análise e a onda de calor o valor é de 1, e algures no interior do material é 0, concluímos que quanto mais espessa for a parede, mais dificilmente o seu limite oposto à superfície inicial de contacto é aquecida.

No entanto, esta transferência de calor acontece. Não em períodos curtos (diários), mas antes em períodos mais extensos (sazonais). Como defende Francisco Moita, “a carga térmica produzida num ciclo de vinte e quatro horas (com interrupção ao fim de doze!) não produz efeitos relevantes para além dos 10-12cm”⁴⁰. Ou seja, esta espessura produz efeitos apenas numa base diária. Mas em paredes mais espessas, acima dos 250mm, verificam-se longos períodos de armazenamento térmico.⁴¹ Isto significa que, para além do ciclo diário térmico, uma parede-pesada com determinada espessura pode ter uma ação sazonal no controlo passivo do espaço interior.

Este dado traz consequências diretas para a ação da parede nas épocas frias e quentes. Com uma espessura considerável, a ação de estabilização da parede-pesada tenderá para o valor da temperatura média anual num primeiro registo. Isto é, na época fria tenderá para estabilizar a temperatura interior acima do valor médio diário e na época quente, abaixo deste.

Um exemplo disso pode ser observado se cruzarmos os dados das figs.16, 21 e 22 relativos à *Earthship Brighton* (construída com uma parede-pneu de 750mm isolada

⁴⁰ MOITA, Francisco, *Energia solar passiva*, Argumentum, 2010, p.191.

⁴¹ SANTAMOURIS, M., ASIMAKOPOLOUS, D, *Passive Cooling of Building*, James & James (Science Publishers)

pelo exterior), que nos mostram que na época fria, o ciclo sazonal da parede leva a que a temperatura do espaço interior se estabilize bastante acima dos valores médios diários.

Através das afirmações que nos dizem que a ação dos primeiros 120mm da parede está mais associada ao comportamento diário da construção e que após 250mm a ação se relaciona com o comportamento sazonal, podemos concluir que para o ciclo diário é mais preponderante a área de superfície exposta aos ganhos solares diretos, enquanto que no ciclo sazonal, é a espessura da parede que tem maior importância.

Para proceder à análise sobre os valores do retardamento térmico, interessa-nos então relacionar as horas do dia correspondentes às temperaturas máximas, mínimas e a hora até à qual a parede potencialmente liberta a energia acumulada, tanto para o exterior como para o interior, distinguindo todos estes parâmetros no inverno e no verão.

No contexto do desenho solar passivo, ao longo deste capítulo, o fator de retardamento térmico será sempre analisado do ponto de vista da exposição solar a sul, ou seja, com a parede em estudo orientada sobre o eixo nascente-poente e com a radiação solar máxima proveniente sempre da fachada sul.

Tomando como referência os valores de Portugal, sabemos que a hora em que a temperatura exterior é máxima no verão é a hora solar que corresponde à radiação solar máxima (12h) mais quatro horas (pelo fator de retardamento térmico da terra), ou seja, às 16h. No caso do inverno, sabemos que a temperatura exterior máxima ocorre cerca de duas horas e meia após a radiação solar máxima (12h), ou seja, às 14h30m. Em relação às temperaturas mínimas exteriores, estas registam-se uma hora após o início da radiação solar, sendo 05h30m no verão e 08h30m no inverno.

Quanto aos valores (horas) de registo das temperaturas, considera-se desprezável para esta análise a capacidade de acumulação de energia do ar e considera-se apenas as características da parede e o seu comportamento face à radiação solar direta.

Assim, em relação à temperatura interior, podemos obter o seu valor máximo através da adição entre a hora de maior carga calorífica direta nas paredes (12h) e o valor do retardamento térmico de cada corpo (em horas). Por oposição, a temperatura interior mínima corresponde à adição entre o valor de início da radiação solar (04h30m no verão e 07h30m no inverno) e o tempo de retardamento.

Podemos ainda calcular a hora até à qual a parede potencialmente liberta energia e chega a um equilíbrio térmico do espaço interior, adicionando a hora solar correspondente ao pôr-do-sol (19h30m no verão e 16h30m no inverno) ao valor de retardamento térmico da parede.

Relacionando estes resultados conseguimos, sobre o parâmetro do retardamento térmico, perceber se determinado corpo possui as características que o levam a acumular e a libertar energia no verão e inverno nas alturas mais corretas, procedendo assim à otimização do controlo térmico passivo do espaço interior.

Há que ter em atenção que esta análise se centra apenas no comportamento da parede-pesada sobre determinados parâmetros e em condições específicas, e que todos estes cálculos e expectativas ficam, em condições reais, sujeitos à interferência de inúmeros outros fatores. Por exemplo, a humidade do ar, a utilização do espaço, a ventilação, o aquecimento por radiação ou o comportamento térmico de todos os materiais que formam o espaço interior, são alguns fatores externos que não são detalhados neste trabalho de análise de comportamento da parede-pesada, pois são transversais a todas as paredes-pesadas, mas que devem ser tidos se quisermos ter expectativas mais próximas da realidade em qualquer projeto.

Resta dizer que as pontes térmicas tornam-se preponderantes no resultado obtido através desta estratégia, devendo ser cuidadosamente tratadas de forma a eliminar quaisquer trocas de energia não intencionais com o exterior.

1.3.2 – MASSA TÉRMICA ASSOCIADA A OUTRAS ESTRATÉGIAS PASSIVAS

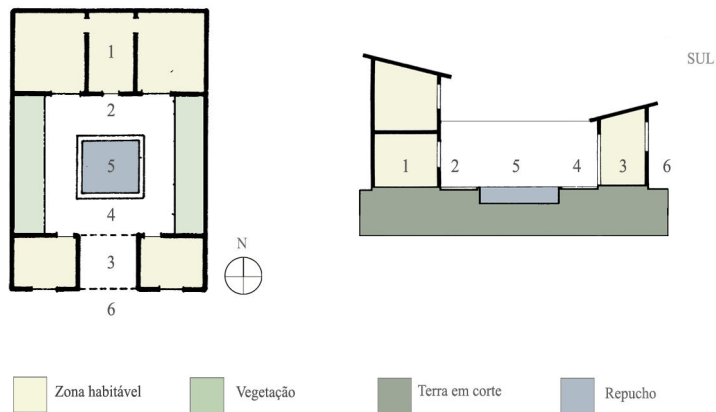
Para que o princípio da massa térmica funcione e contribua para a climatização passiva do espaço, libertando e retendo calor de forma cíclica e contínua, é necessário que este seja pensado em conjunto com outras técnicas do desenho solar passivo.

As técnicas solares passivas dividem-se em dois grupos distintos, as de ganho direto e as de ganho indireto. No entanto algumas técnicas podem fazer uma combinação entre os ganhos diretos e indiretos, como é o caso da estufa.

Nas técnicas solares passivas de ganho direto, a estratégia baseia-se, como o nome indica, na “captação da radiação solar para o interior do espaço habitado através dos vãos envidraçados. [...] A envolvente do espaço interior deve ser constituída por materiais compactos com grande capacidade de armazenamento térmico”⁴². A propriedade da massa térmica tem grande relevância nesta estratégia pois é a *massa térmica primária* (aquela cuja superfície fica exposta à radiação solar direta) que revela uma maior ação no processo de trocas de energia. Há que ter para isso em conta o correto dimensionamento e posicionamento da fenestração dos compartimentos considerando sempre o fator da iluminação natural, por forma a se evitar custos desnecessários de iluminação artificial.

Nas técnicas solares passivas de ganho indireto, a captação da energia solar dá-se por meio de uma parede coletora, também chamada parede-trombe, construída com materiais de elevada massa térmica, situada entre o espaço que se pretende aquecer e o plano envidraçado que forma o limite com o exterior. O calor, acumulado no material da parede, é posteriormente controlado para a condução ou não para o

⁴² MOITA, Francisco, *Energia solar passiva*, Argumentum, 2010, p.74.



1

Fig.23 Planta e corte esquemáticos da casa-átrio romana. “Os romanos [...] dispunham de uma prática notável no uso da energia solar e os seus edifícios obedeciam a regras de construção de acordo com a localização geográfica. A casa-átrio (cerca de 200 a.c.), é o reflexo dessa preocupação, contendo ensinamentos exemplares: o Sol, de Inverno e de Verão, é doseado através de janelas e sombreadores devidamente dimensionados; as funções mais privadas desenvolvem-se no edifício de dois pisos (1), recuado e protegido da rua, sem janelas a norte, e cuja fachada sul (2) é revestida de uma trepadeira de folha caduca, que regula sazonalmente a radiação no edifício; as funções principais desenvolvem-se no edifício anterior (3), próximo da rua (6); o átrio (4) é revestido de abundante vegetação, impedindo assim grandes amplitudes térmicas, e um pequeno lago com repuxo (5) cuida, nos dias quentes, da necessária refrigeração, por evaporação”. in MOITA, Francisco, *Energia solar passiva*, Argumentum, 2010

espaço interior, propagando-se por convecção e radiação.

Com a utilização da estufa, pode existir uma combinação entre os ganhos diretos e indiretos, dependendo da colocação ou não de uma parede de trombe na divisão entre o espaço habitado e o interior da estufa. A energia retida no espaço da estufa (devido sobretudo à reflexão das radiações infravermelhas pela vegetação) pode então ser transmitida diretamente por circulação de ar ao interior do compartimento ou pode ser retida e posteriormente transferida por radiação (com o uso da parede-trombe). A utilização da estufa feita apenas através de ganhos diretos tem a vantagem de não implicar uma barreira visual opaca ao espaço interior. “A sua utilização proporciona ainda, sobretudo nos dias de céu encoberto, ganhos consideráveis provenientes da radiação difusa”⁴³.

Num sistema de elevada massa térmica, a ventilação natural é decisiva para o seu comportamento energético, sobretudo em períodos de temperaturas elevadas, pois é maioritariamente através dela que se procede ao controlo da remoção da energia acumulada pela massa do material.

Ao analisarmos alguns exemplos históricos da arquitetura (incluindo a vernacular), percebemos que estas técnicas foram utilizadas durante séculos servindo os propósitos de conforto térmico reclamados em cada momento. “Embora não se possuíssem conhecimentos técnicos e científicos que hoje temos, existia uma noção muito exata, por via sensitiva, da relação existente entre o clima, a forma e o material de construção e o bem-estar físico”⁴⁴.

⁴³ MOITA, Francisco, *Energia solar passiva*, Argumentum, 2010, p.86.

⁴⁴ *ibidem*

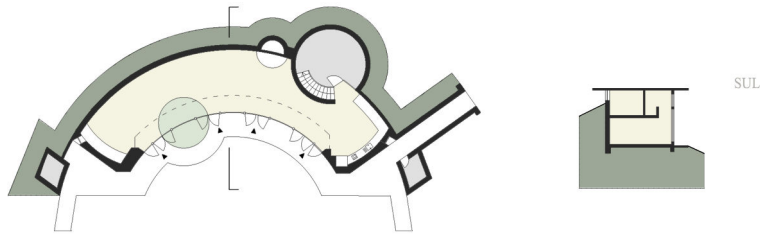


Fig. 24_Solar Hemicycle de Frank Lloyd Wright, 1948. Planta do piso térreo e corte.



Fig. 25_Solar Hemicycle.



Fig. 26_Autarkic House de Alexander Pike, 1970. Planta do piso térreo e corte.



Fig. 27_Autarkic House.

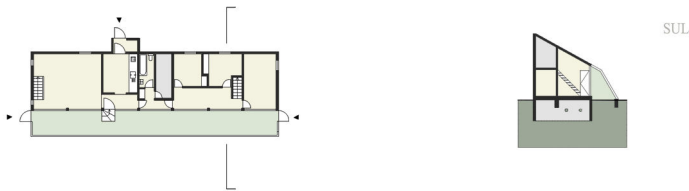


Fig.28_The Autonomous House de Brenda Vale e Robert Vale, 1975. Planta do piso térreo e corte.



Fig. 29_The New Autonomous House.

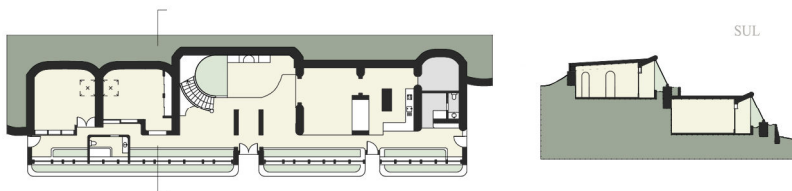
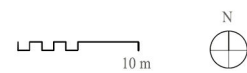


Fig. 30_Earthship Sunridge de Michael Reynolds, 1989. Planta do piso térreo e corte.



Fig. 31_Earthship Sunridge.



A *domus*, ou a “casa-átrio” (fig.23), residência particular dos Romanos (cerca de 200 a.C.), como exemplo localizado em clima mediterrânico, apresentava uma metodologia de desenho onde diversas estratégias passivas eram associadas de forma proporcionar o conforto no interior da construção.

Todos estes princípios sofreram uma evolução e adaptação natural ao longo do tempo e é em projetos mais recentes como a *Solar Hemicycle* (figs.24 e 25) de Frank Lloyd Wright (1948), a *Autarkic House* (figs.26 e 27) de Alexander Pike (1970) ou a *Autonomous House* (fig.28) de Brenda e Robert Vale (1975), que se encontram as referências de organização do espaço e orientação solar dos desenhos das *Earthships* (figs. 30 e 31), onde se integra a parede-pneu.

A massa térmica utilizada no desenho solar passivo participa, como princípio, da resposta que é dada pela arquitetura através do sistema dinâmico. Sendo responsável por uma otimização do controlo térmico passivo e fazendo para tal um uso de recursos renováveis que substituem o insustentável e desnecessário consumo de recursos fósseis, reduz assim o impacto ecológico e financeiro associado à manutenção da construção.

Assim como a parede-pneu, existem diversos materiais e técnicas construtivas que podem ser utilizados como paredes-pesadas seguindo o princípio de utilização da massa térmica. De seguida é feita a comparação entre os mais utilizados.



Fig.32_ Construção em betão armado. Minsk, Bielorrússia.



Fig.33_ Construção em tijolo maciço. Utrecht, Holanda.



Fig.34_ Construção em xisto. Mesão Frio, Portugal.



Fig.35_ Construção em blocos de adobe. Gando, Burkina Faso.



Fig.36_ Construção em taipa. Mértola, Portugal.



Fig.37_ Construção em sacos de areia. Cidade do Cabo, África do Sul.



Fig.38_ Construção em parede-pneu. Mértola, Portugal.

1.4 – PAREDES PESADAS – TÉCNICAS E MATERIAIS

Prosseguimos agora com uma abordagem às técnicas construtivas e materiais com elevada massa térmica mais recorrentes. A técnica da parede-pneu insere-se neste conjunto de soluções e pretende-se aqui fazer a comparação entre as diversas técnicas e materiais no sentido de perceber em que situação a parede-pneu pode constituir uma alternativa vantajosa em relação às restantes e qual o contexto que reúne as condições necessárias para que esta possa ser aplicada de forma mais favorável.

Os valores da massa térmica, da capacidade calorífica e da condutibilidade térmica da parede-pneu são muito próximos dos da taipa (o comportamento térmico dos materiais que constituem o pneu em si é reduzido e pode ser desprezado) e como tal, estes são utilizados como sua referência.

Esta comparação, condensada na figura 39, é feita do ponto de vista da eficiência energética, da relação que o processo de cada utilização estabelece com o consumo de recursos e com o meio natural, da disponibilidade local, do custo financeiro e da versatilidade de organização do espaço que cada técnica proporciona.

Devido à diferença significativa das espessuras de parede que normalmente são usadas em cada caso, optou-se por fazer a sua comparação sobre as espessuras que habitualmente são adotadas, assegurando assim que as comparações sejam feitas sobre opções das quais sabemos que existem condições para que se proceda à sua execução. Foram comparados os dados recolhidos dos seguintes casos de estudo: betão armado (200mm), alvenaria de tijolo maciço (340mm), pedra xisto (300mm), blocos de adobe sem palha (350mm), taipa (450mm), sacos de areia (300mm) e parede-pneu (700mm).

Desta maneira, os dados aqui apresentados podem variar se a análise for feita modificando sobretudo as espessuras dos casos de estudo. No entanto não deixa de ser importante salientar que os valores dos diferentes parâmetros são interdependentes e proporcionais entre si, devendo a escolha de cada técnica ou material ficar sujeita a uma decisão que reflita ao máximo o equilíbrio do seu conjunto.

Como alternativa às paredes-pesadas, começam a aparecer soluções tecnológicas que atuam termicamente também de forma passiva. Associado ao uso do tijolo alveolado, existem hoje em dia soluções como a introdução de PCMs (*Phase Change Materials*) no interior do material de construção, que permitem resultados bastante precisos e satisfatórios. No entanto, por ser esta uma tecnologia relativamente recente e utilizar materiais fabricados em laboratório, mesmo na categoria dos orgânicos, ainda representa custos bastante elevados para a sua aplicação, sendo também discutível o impacto ambiental que provém da sua produção.

Para cada caso de estudo foi feita uma análise sobre os seguintes parâmetros: massa térmica, capacidade calorífica, retardamento térmico, impacto ambiental, disponibilidade local, custo financeiro (fornecimento + aplicação), capacidade de organização do espaço e performance estrutural (associada ao número de pisos).

No que diz respeito à determinação do custo financeiro, apresentado em detalhe na figura 43, foi considerada a construção de apenas cada parede, excluindo valores associados à preparação do terreno, às fundações e aos acabamentos por se considerar que estes elementos são transversais a todas as técnicas em geral. Para o seu cálculo foram contabilizados os custos em relação à mão-de-obra, material e equipamento a alugar. Os valores apresentados pretendem apenas constituir uma referência aos valores do mercado em Portugal para que se possam tirar conclusões sobre este parâmetro, salvaguardando-se a noção de que na prática estes podem sofrer variações.

Parâmetro Material (espessura)	Massa térmica (J/K.m3)	Capacidade calorífica por 1m2 de superfície vertical (J/K)	Retardamento térmico (horas)	Impacto ambiental	Disponibilidade local	Custo fornecimento + aplicação	Capacidade organizativa do espaço	Performance estrutural	Condutibilidade térmica (W/m.K)
Betão armado (200mm)	2340	468	5,1	X	✓	✓	✓✓	✓✓	2,3
Tijolo maciço 1 ½ vez (340mm)	1490	507	8	✓	✓	X	✓	X	0,7
Pedra – Xisto (300)	2702	811	10,5	✓	✓	X	✓	✓	2,3
Adobe s/ palha 1 ½ vez (350mm)	1701	595	12,6	✓✓	X	✓	✓	X	0,56
Taipa (450mm)	2952	1330	9,5	✓✓	X	X	✓	✓	1,10
Sacos de areia (300mm)	1359	410	10,3	✓✓	✓	s/inf	X	X	0,27
Parede-pneu (700mm)	2952	2066	10,5	✓✓	✓✓	✓✓	X	X	1,10

Fig.39_Tabela comparativa dos materiais e técnicas de paredes-pesadas.

Tendo em conta as observações feitas no subcapítulo 1.3.2, os valores aqui apresentados relativos à condutibilidade térmica destinam-se apenas a servirem de complemento aos dados da massa térmica e retardamento térmico, ficando assim fora de uma comparação descritiva.

Por uma questão de síntese, optou-se por apresentar as análises ordenadas pelos parâmetros, onde são comparados apenas os casos mais relevantes, acentuando-se os aspetos mais e menos positivos que condicionam a viabilidade da sua opção.

Relativamente à massa térmica, embora todos os casos apresentem valores bastante elevados, o betão armado, o xisto, a taipa e a parede-pneu têm valores que superam largamente os dos restantes materiais. No entanto, quando analisamos cada caso de estudo do ponto de vista da sua capacidade calorífica (calculada em relação à espessura de cada parede), percebemos que a parede-pneu, e também a de taipa, têm para a mesma superfície vertical (1m^2), a capacidade de armazenar uma quantidade de calor muito maior para a mesma variação de temperatura. Esta característica implica uma maior capacidade de estabilização da temperatura interior ao longo do seu ciclo térmico diário (menor oscilação entre os valores mínimos e máximos diários), e valores de temperatura do equilíbrio térmico mais baixos no verão e maiores no inverno (como vimos no subcapítulo 1.3) quando comparados com as restantes técnicas. Sobre este parâmetro podemos concluir que a parede-pneu é a solução que apresenta uma maior eficiência, pois é aquela que tem uma capacidade maior de armazenar calor e que estabelece o ponto de equilíbrio térmico num valor mais baixo na época quente e mais alto na época fria.

Quanto ao retardamento térmico, embora os valores de todos os casos de estudo se situem dentro dos patamares de Olgyay, existem diferenças significativas entre eles. Como metodologia, foi feita a comparação entre três materiais representativos de cada patamar, o betão armado (5,1h), a parede-pneu (10,5h) e a taipa (12,6h). Salvaguarda-se na análise feita a interferência da variação dos valores de condutibilidade térmica para cada caso de estudo devido a esta ser bastante reduzida

	Verão			Inverno		
	Hora da temperatura mínima (h) Hora solar do nascer do sol (04h34m) + n ^o horas de retardamento térmico	Hora da temperatura máxima (h) Hora da radiação máxima (12h00m) + n ^o horas de retardamento térmico	Hora até à qual a parede liberta calor (h) Hora solar do pôr do sol (19h26m) + n ^o horas de retardamento térmico	Hora da temperatura mínima (h) Hora solar do nascer do sol (07h27m) + n ^o horas de retardamento térmico	Hora da temperatura máxima (h) Hora da radiação máxima (12h00m) + n ^o horas de retardamento térmico	Hora até à qual a parede liberta calor (h) Hora solar do pôr do sol (16h33m) + n ^o horas de retardamento térmico
Exterior	05h34m	16h00m	/	08h27m	14h30m	/
Interior com Parede-pneu Retardamento Te. = 10h30m	15h04m	22h30m	05h56m	17h57m	22h30m	03h03m
Interior com Betão armado Retardamento Te. = 05h06m	09h40m	17h06m	00h32m	12h33m	17h06m	21h39m
Interior com Adobe Retardamento Te. = 12h36m	17h10m	00h36m	08h02m	20h03m	00h36m	05h09m

Fig.40 Expectativa dos valores horários para as diversas temperaturas do solstício de Verão e de Inverno de diferentes paredes, tendo em consideração apenas os valores de retardamento térmico para cada parede. Valores de referência dos solstícios de verão e de inverno para a cidade de Espinho (Lat.N.41°).

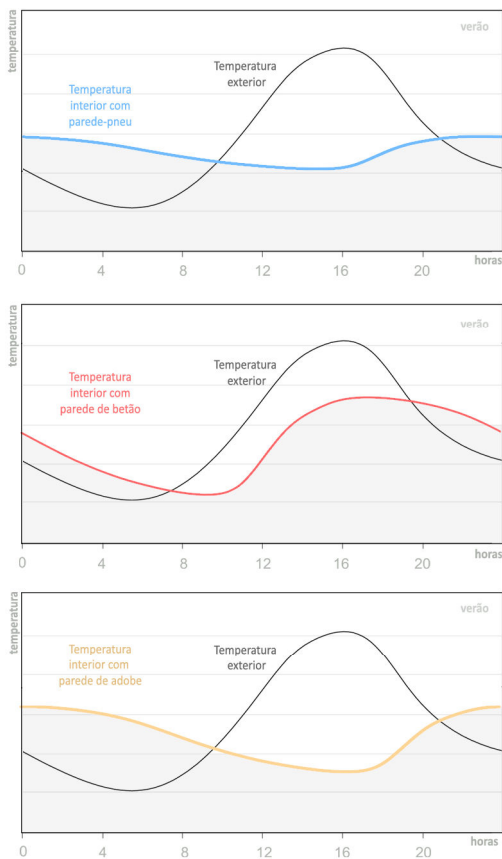


Fig.41 Representação esquemática da expectativa de variação da temperatura interior no verão tendo em conta apenas os valores de massa térmica e retardamento térmico da parede-pneu, do betão armado e do adobe no ciclo diário.

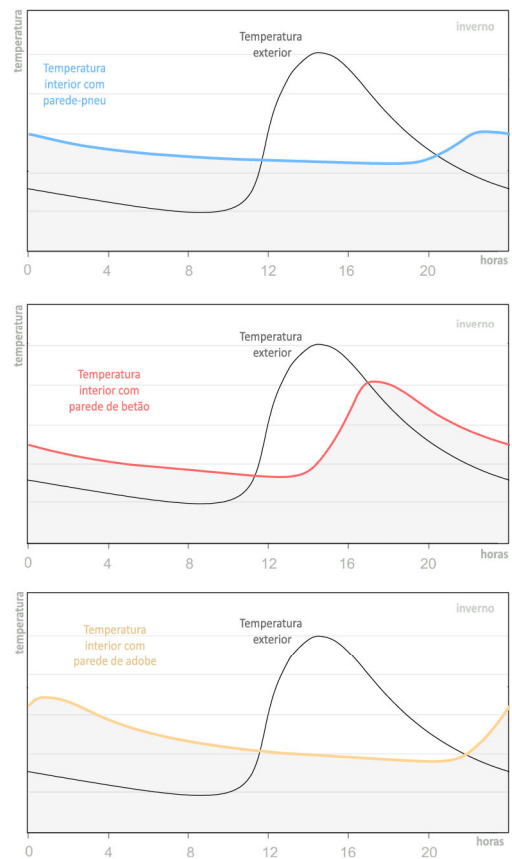


Fig.42 Representação esquemática da expectativa de variação da temperatura interior no inverno tendo em conta apenas os valores de massa térmica e retardamento térmico da parede-pneu, do betão armado e do adobe no ciclo diário.

em relação aos valores do panorama geral dos materiais. Esta análise é feita exclusivamente em relação ao comportamento do ciclo diário.

Tendo em conta que sem o fator de retardamento térmico, a temperatura interior tenderia para igualar o valor da temperatura exterior, é sobre a comparação entre os valores das temperaturas exteriores e interiores expectáveis que é feita a análise.

No caso do verão, o principal problema situa-se nas temperaturas altas que ocorrem durante o dia. Ao relacionarmos a hora solar na qual a temperatura exterior é máxima (16h) com a temperatura mínima expectável no interior de cada caso, percebemos que a parede-pneu e a parede em adobe são as que apresentam melhores resultados pois retardam as suas horas em que a temperatura interior é mínima (15h04m e 17h10m respetivamente) para um período bastante próximo da temperatura exterior máxima. No caso da parede em betão, o resultado previsto para a temperatura interior máxima (17h06m) situa-se bastante próximo da temperatura máxima exterior (16h00m), o que incorre no risco de potencial sobreaquecimento do espaço interior.

Relativamente ao inverno, é desejável que sobretudo as temperaturas baixas noturnas sejam tidas em conta. Relacionando então a hora a que a temperatura interior é mínima com as horas até às quais as paredes têm capacidade para libertar o calor acumulado durante o dia, concluímos que a parede-pneu e a parede em adobe mais uma vez apresentam os melhores resultados, pois as horas até às quais as paredes libertam energia (03h03m e 05h09m) são aquelas que se aproximam mais da temperatura exterior mínima (08h27m), cobrindo assim o período em que a temperatura interior é naturalmente mais fria (noturno) com a correspondência do seu período de libertação de calor. A diferença aproximada de duas horas entre a parede-pneu e a parede com blocos de adobe, embora não sendo crítica, torna-se significativa, o que nos leva a concluir que a parede com blocos de adobe, no período de inverno e tendo em conta apenas os valores de retardamento térmico, tem uma eficiência energética superior em relação à parede-pneu.

Quanto ao betão, os seus valores revelam-se mais uma vez insuficientes, pois a hora até à qual a parede liberta calor acontece demasiado cedo (21h39m), não atuando da forma desejada durante o período noturno, exatamente a altura crucial onde a temperatura exterior é mais baixa.

Em conjunto com os dados analisados no ponto anterior relativos à massa térmica, nomeadamente os da parede-pneu, o resultado do processo do retardamento térmico representa oscilações da temperatura expectavelmente suaves, tanto menores quanto maior a capacidade calorífica (figs.41 e 42). Neste ponto a parede-pneu é a que apresenta uma maior estabilização diária da temperatura.

Ao analisarmos os casos de estudo sobre o impacto ambiental, o betão armado surge com grande destaque. Este é talvez o aspeto mais negativo ao qual a sua utilização está associada, sendo a indústria de um dos seus componentes, o cimento, responsável por cerca de 4,8% das emissões de CO₂ no planeta⁴⁵, contabilizados apenas devido à combustão e ao processo de descarbonatação da matéria-prima. Apesar de todas as técnicas aqui apresentadas requererem o uso de um ligante (para as argamassas de assentamento ou para a estabilização do próprio material), a cal hidráulica substitui muitas vezes o cimento. Embora pudesse ter sido escolhido para a análise um betão com características mais ecológicas (com elevado volume de cinzas volantes), as suas aplicações são ainda muito restritas, apresentando nomeadamente reduzidas resistências iniciais, e carecem porventura de tempo, investigação e desenvolvimento até que se possam ser consideradas alternativas viáveis.

Quanto à disponibilidade local, os blocos de adobe e a taipa, estão de certa forma condicionados. Não obstante a sua produção já começar a ser industrializada em

⁴⁵ Dados relativos ao ano de 2013. in *Trends in Global CO₂ Emissions: 2014 Report*, PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, 2014

Parâmetro Material (espessura)	Por m ³							Por m ² (superfície vertical)	
	Mão-de-obra (eur)	Material (eur)	Equipamento (eur)	Tempo (horas)	Preço base (eur)	Margem (%)	Preço final (eur)	Volume (m ³)	Preço final (eur)
Betão armado (200mm)	113,84	208,78	23,65	13,84	346,27	24	429,37	0,2	85,87
Tijolo maciço 1 ½ vez (340mm)	93,69	188,27	0	11,22	281,97	24	349,64	0,34	118,88
Pedra – Xisto (400mm)	281,28	337,44	35,99	8,82	654,71	24	811,84	0,4	324,74
Adobe s/ palha 1 ½ vez (350mm)	s/inf	s/inf	s/inf	s/inf	s/inf	s/inf	128,57-200	0.35	45,00-70
Taipa (450mm)	s/inf	s/inf	s/inf	s/inf	s/inf	s/inf	200-300	0.45	90-135
Sacos de areia (300mm)	s/inf	s/inf	s/inf	s/inf	s/inf	s/inf	s/inf	s/inf	s/inf
Parede-pneu (700mm)	31,49	14,7	0	4,83	43,53	24	57,28	0,7	40,01

Fig.43 _Tabela comparativa dos custos dos materiais e técnicas de paredes-pesadas por m2 e m3.

Portugal, a sua produção é feita normalmente no local da construção e está dependente das características do solo. Relativo aos blocos de adobe, o solo utilizado deve conter idealmente certas características e proporções para a sua produção (até 50% de argila e no mínimo 50% de areia⁴⁶) e o mesmo se passa na construção em taipa (30 a 40% de argila e 60 a 70% de areia⁴⁷). Caso não se verifiquem estas composições do solo, a construção com estas técnicas implica a aquisição dos materiais naturais a partir de um fornecedor ou local externo ao local de construção, o que agrava tanto o custo financeiro como o impacto ambiental.

Contudo, se as características do solo no local da construção, responderem às necessidades destas técnicas, os custos dos materiais podem-se tornar mais vantajosos. Já o xisto, e falando da pedra em geral, tendo-se tornado num material nobre da construção, utilizado hoje em dia sobretudo com o objetivo de decoração, torna-se insustentável numa perspetiva de utilização da massa térmica.

Quanto ao custo de fornecimento e aplicação do material, ao analisarmos os dados da figura 43, percebemos que a parede-pneu representa tanto em custo por metro cúbico como por metro quadrado de superfície vertical, a opção mais viável. Este facto deriva em grande parte do tempo reduzido em que pode ser construída (associado à mão-de-obra não especializada que requiere) e ao custo dos materiais, custo este que se refere essencialmente aos materiais destinados ao enchimento dos espaços intersticiais dos seus blocos construtivos (pneus com terra).

No que respeita à organização do espaço, os aspetos que interessa abordar estão relacionados com a utilização da área de ocupação da parede no solo e a versatilidade de desenho que a construção da parede permite fazer (tanto a nível de

⁴⁶ LENGEN, John Van, *Manual do Arquitecto Descalço*, Dinalivro, 2010, p.301.

⁴⁷ *ibidem*

planta, como de corte, como também de esventramento da própria parede). Neste aspeto a parede-pneu e os sacos de areia são os casos que apresentam maiores desvantagens. Os blocos com que é construída a parede-pneu têm um mínimo de 660mm de diâmetro, o que, para além de implicar diretamente uma grande área de ocupação da parede no projeto, o facto de estes serem muito pouco modeláveis (no máximo dividem-se em duas partes), obriga a que o desenho de toda a parede seja feito partindo das dimensões dos seus blocos construtivos. O mesmo se aplica para os esventramentos, mas aqui o problema pode ser minimizado, pois a maior quantidade de massa térmica é, no desenho solar passivo, colocada na fachada norte, onde é suposto que se reduza ao máximo qualquer fenestração ou ligação com o exterior.

Um outro aspeto menos positivo da parede-pneu, que partilha com a construção em tijolo maciço, com os blocos de adobe, com a taipa e com os sacos de areia é a sua performance estrutural dado que, em todos os casos referidos, o seu *modus operandi* convencional do ponto de vista da engenharia não permite a construção em altura para além dos dois pisos.

Como exemplos de utilização destas técnicas e materiais, podemos referir a *Casa-Laboratório Termicamente Optimizada* (1984) dos arquitetos Carlos Araújo e Santiago Boissel, uma habitação unifamiliar construída em betão armado no Porto. Este projeto mantém uma oscilação anual da temperatura situada muito perto dos níveis de conforto térmico humano desejado. Como exemplos da utilização do tijolo maciço podemos referir o *Rocky Mountain Institute* (1984) dos donos e construtores Hunter Lovins e Amory Lovins, no Colorado, e a comunidade *BedZed* (2002), construído em Londres por Bill Dunster e *ZEDfactory*. Estes são projetos virtualmente independentes de sistemas mecânicos de controlo térmico. Para a construção em adobe, a *School Extension* (2008) na aldeia de Gando, Burkina Faso, de Diébédo Kéré. Como exemplo da construção em taipa temos a *Residence in Schlins* (2008), na Áustria, de *Boltshauser Architekten*. Finalmente o projeto de

habitação coletiva vencedor do *Design Indaba 10x10 Low-Cost Housing*, projetado para a Cidade do Cabo (2009) na África do Sul, por Luyanda Mpahlwa dos *MMA Architects*, pode servir como um bom exemplo da construção com sacos de areia.

Através desta análise comparativa, demonstrou-se ao longo deste capítulo que num contexto português de construção da arquitetura enquanto sistema dinâmico com elevada massa térmica, a parede-pneu pode representar a técnica construtiva que reúne um maior número de características favoráveis. Para tal é necessário:

- que uma maior utilização de área de implantação por parte da parede não represente condicionamentos significativos ao projeto;
- que a construção não ultrapasse os dois pisos em altura
- que todo o desenho da parede (em planta, em corte e nos seus esvencimentos) possa ser modelado de acordo com a dimensão pouco flexível dos seus blocos construtivos.

Por ser a parede-pneu uma técnica não convencional, é natural que se levantem questões acerca de outros aspetos da sua utilização, como por exemplo saber em que consiste o seu processo construtivo ou que nocividade representa para a saúde humana. É com o intuito de clarificar este tipo de questões, que se desenvolve o subcapítulo seguinte.

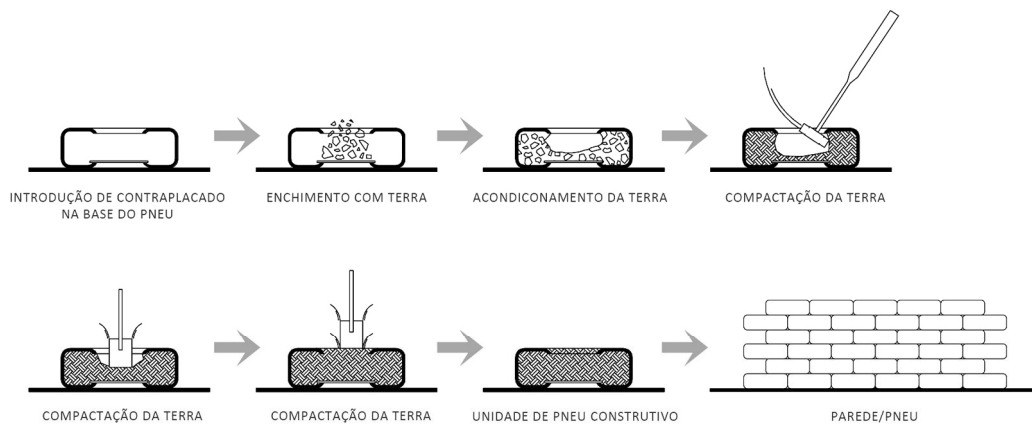


Fig.44_Esquema de preparação da unidade de pneu construtivo.



Fig.45_Parede-pneu. Mértola, Portugal. 2013.

1.5 – PAREDE-PNEU

Concluída a análise da parede-pneu em relação a outras técnicas e materiais capazes de constituir uma parede-pesada, e demonstrada assim a validade e vantagens que esta tem em relação às mesmas num determinado contexto específico, falta porém defendê-la “em relação a si mesma”. Como técnica que se situa fora dos métodos de construção convencional em Portugal, é natural que o conhecimento público acerca do seu funcionamento, vantagens e desvantagens, seja diminuto. Este subcapítulo pretende abordar algumas dessas questões e responder-lhes no sentido de consolidar a validade desta técnica construtiva permitindo que a investigação prossiga no próximo capítulo aproximando-se de outros temas, nomeadamente o melhoramento da sua eficiência através da relação com outras técnicas do desenho solar passivo, que contribuem para o progresso desta alternativa.

Todas as referências reunidas de seguida estão de acordo com o *Tire Building Code*, documento técnico que estipula a aplicação da parede-pneu.

Segundo o método mais convencional da sua construção (fig. 44), cada bloco construtivo da parede-pneu, constituído por um pneu compactado com terra, é construído no seu local definitivo. O pneu é colocado no sítio onde se pretende que fique, é inicialmente colocada uma placa de 5mm de contraplacado de madeira ou duas folhas de cartão no fundo do pneu para prevenir a saída da terra para fora deste, e é de seguida gradualmente enchido de terra, compactada manualmente através de batimentos radiais da terra com uma marreta. Depois de nivelado e preparado, cada bloco atinge em média 250mm de altura por 700mm de diâmetro e 50kg de peso.



Fig.46_ Técnica *Half-tire*.

Estes valores correspondem a um pneu com características 195/60/R16⁴⁸ e naturalmente variam conforme as dimensões originais do pneu.

Um bloco demora em média entre quinze a vinte minutos a ser construído por duas pessoas. A construção da parede é feita com os blocos contrafiados para maior travamento e resistência, obtendo-se a mesma estereotomia de uma parede de alvenaria. Para o acabamento vertical da extremidade da parede, é utilizada a técnica *half-tire pounding* (fig. 46), que consiste no corte de cerca de metade de pneu que é conectado através de ligações metálicas ao pneu anterior. Segundo o estudo *Testing and Analysis of Modified Rammed Earth Tire Walls*⁴⁹, de Aaron Zimmerman, esta técnica deve ser aplicada internamente, garantindo que o acabamento da parede é feito com uma coluna de pneus integrais, no sentido de se evitarem tensões adicionais desnecessárias no corte do pneu. Após a conclusão da estrutura da parede, os espaços intersticiais, que representam cerca de 20% da parede, são preenchidos com argamassa de terra normalmente misturada com um material ligante, como o cimento, e a parede é posteriormente rebocada segundo os métodos convencionais.

Existem atualmente métodos de experimentação de um novo processo de preparação do pneu construtivo que passam pelo corte da superfície horizontal superior do pneu. Ficando este com apenas duas faces (lateral e inferior), possibilita o seu enchimento e preparação num tempo reduzido entre cinco a sete minutos.

⁴⁸ O valor 195 corresponde à largura do pneu em mm. 60 é o rácio entre o tamanho da jante e o diâmetro do pneu. R16 corresponde ao valor da dimensão da jante em polegadas. Embora existam outras características nos pneus automóveis, estas são as únicas importantes, pois determinam as dimensões do bloco construtivo. Uma outra condição para o uso do pneu é não existir nenhuma rutura visível por forma a ser garantida a sua capacidade estrutural.

⁴⁹ ZIMMERMAN, Aaron, *Testing and Analysis of Modified Rammed Earth Tire Walls*, Swarthmore College, E90 Project 2011.

O processo de preparação do pneu construtivo é portanto de rápida aprendizagem e execução, que não necessita de mão-de-obra especializada ou de recurso a alta tecnologia para ser feito.

Em relação aos materiais de que faz uso, ao contrário de técnicas como a construção em taipa ou adobe (analisadas no subcapítulo 1.4), a terra utilizada na parede-pneu não necessita de ter características tão específicas. Ficando esta compactada no interior do pneu, não se torna significativa a composição do solo usado. Esta pode ser mais argilosa ou mais arenosa sem por isso comprometer as expectativas da parede.

Mas se a terra é um material natural e universal, que existe todo o lado, o mesmo não se pode dizer, à partida, do pneu. Para esta observação interessa aqui incluir uma abordagem genérica à temática do material local.

Podendo um material local ser de origem natural ou artificial, o facto de ser produzido ou captado localmente não implica diretamente a viabilidade ou capacidade da sua utilização. Por exemplo, retirando os custos de transporte, a utilização do cimento na zona onde haja a sua produção não torna, em linhas gerais, o material ambientalmente menos prejudicial, de custo mais reduzido ou arquitetonicamente mais adequado. Sem querermos ter uma visão redutora que comprometa as conclusões sobre o assunto, podemos dizer que existem diversos fatores que têm de ser ponderados hoje em dia para a perceção da sustentabilidade e viabilidade dos materiais, sendo que cada um deve ser analisado em particular.

O arquiteto M. Reynolds, referindo-se às latas de alumínio, garrafas de vidro e pneus automóveis, defende que os materiais desperdiçados em larga escala constituem hoje um dos principais materiais locais. Argumenta que a sua reutilização na construção é igualmente viável e sustentável na medida em que estes se encontram em abundância, podem ser adquiridos a custos bastante reduzidos e

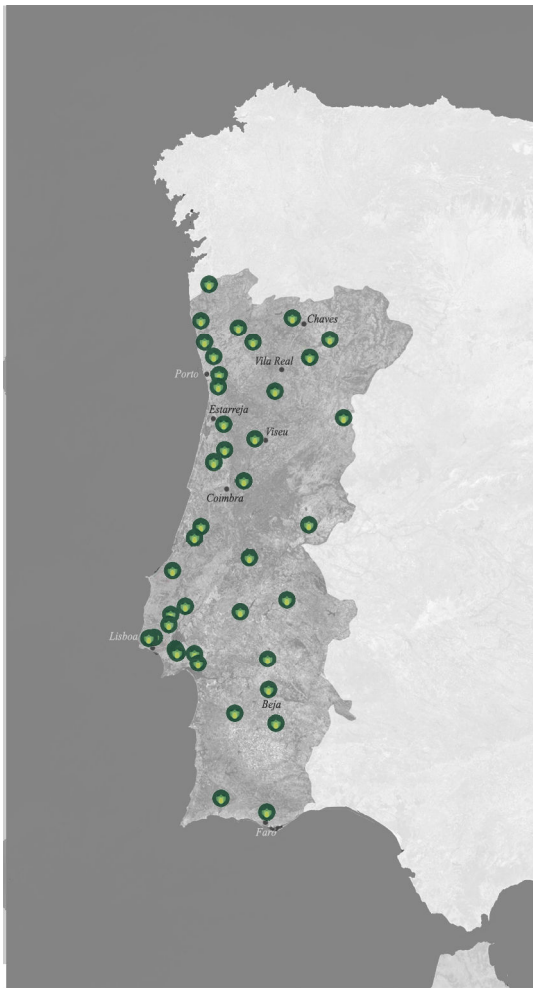


Fig.47_Mapa de distribuição dos 39 pontos de recolha da *Valorpneu* em Portugal continental.

uma determinada reutilização previne um consumo de energia e de recursos necessários para a sua reciclagem.⁵⁰

Acerca do pneu, e no contexto específico da situação portuguesa, o sistema de gestão pelo qual se faz a recolha e tratamento de pneus usados é o “da responsabilidade do produtor”. Como tal, existe uma estrutura reguladora, definida pelo Estado, responsável por gerir o processo de recolha e destino do material em fim de vida. Esta entidade é a *Valorpneu – Sociedade de Gestão de Pneus*. O destino do pneu usado está portanto definido. A *Valorpneu* conta com 39 pontos de recolha a nível do território continental (fig.47), o que faz do pneu em Portugal um material potencialmente disponível em todas as regiões, minimizando assim as condicionantes do transporte do material até à obra. Os pneus usados expedidos pelos Pontos de Recolha podem seguir quatro destinos: a Recauchutagem, a Reciclagem e a Valorização Energética e a Reutilização. Esta última contempla a aplicação do material em diversos fins, entre os quais “o aproveitamento do pneu, sem necessidade de qualquer pré-processamento, para utilização em fim diverso do qual foi concebido” como é o caso em análise nesta dissertação, o da construção.

A aquisição e a utilização do pneu em Portugal para construção estão assim previstas e podem constituir uma contribuição para uma outra reflexão acerca da pertinência do processo de gestão do ciclo de vida dos materiais e da maneira como estes processos são assegurados. No caso do pneu em Portugal, e segundo o sistema de gestão em vigor, o processo do ciclo de vida do pneu é garantido maioritariamente através de taxas específicas sobre o seu preço no ato de venda.

⁵⁰ Micahel Reynolds em seminário em Estocolmo, na Suécia em 2011.



Fig.48_Viga de amarração na parede-pneu.

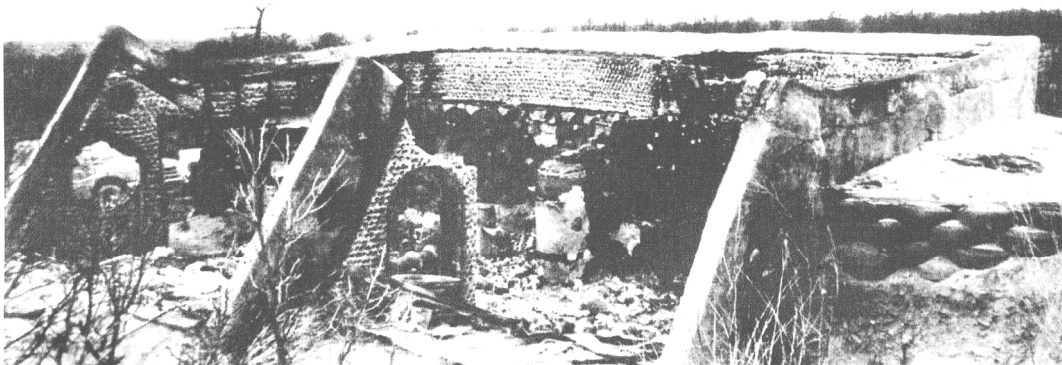


Fig.49_Earthship depois de um incêndio nos anos 80. Por entre os destroços, a parede-pneu ficou praticamente intacta.

No que diz respeito às fundações, estas são normalmente excluídas e a estabilidade da parede é resolvida também ela através do pneu. A primeira fila da parede-pneu é constituída por um pneu de maior diâmetro que os que a sobrepõem. Segundo o *Tire Building Code*, a espessura da parede-pneu é por si só maior do que as requeridas para as fundações, “a parede-pneu constitui um monólito que é simultaneamente parede e fundação”⁵¹, excluindo assim a necessidade de fundação. No entanto, em casos onde a estabilidade do solo não seja adequada, esta solução pode revelar problemas, como iremos ver mais à frente no subcapítulo 2.1.1.

Segundo as conclusões apresentadas pelo estudo *Engineering Evaluation of Earth-filled Tire Construction*⁵², a parede-pneu “providencia um suporte fiável e seguro à estrutura da construção [...], tendo na sua estrutura massiva e na fricção entre os blocos de pneu, força suficiente para resistir aos deslizamentos e forças aplicadas à parede pelo exterior. Adicionalmente, as cargas aplicadas no contacto entre a sua base e o solo apresentaram bons resultados em relação às estimativas da capacidade portante em segurança de um solo estável”. Da mesma maneira, no *Testing and Analysis of Modified Rammed Earth Tire Walls*⁵³, conclui-se de que a parede-pneu “tem a capacidade de providenciar um suporte em segurança e de confiança na construção de um piso”. No entanto, para que a parede-pneu ganhe a estabilidade requerida para a conexão da cobertura é necessária, segundo o *Tire Building Code*, uma ligação que percorra todo o topo da parede, funcionando como viga de amarração (fig. 48), construída normalmente com recurso a uma armação metálica conectada com cimento. Esta viga é amarrada à parede através da introdução de barras de aço de 12mm que fazem a ligação vertical entre a viga e as três primeiras filas de pneu a contar do topo.

⁵¹ Tire Building Code, Earthship Biotech. Tradução do autor.

⁵² *Engineering Evaluation of Earth-filled Tire Construction*, Luckhorn Geotech, 1990. Tradução do autor.

⁵³ ZIMMERMAN, Aaron, *Testing and Analysis of Modified Rammed Earth Tire Walls*, Swarthmore College, E90 Project 2011.

Esta técnica é ainda referida como altamente resistente a movimentações sísmicas. Diversos projetos foram construídos com sucesso e com recurso à parede-pneu após o *tsunami* que atingiu as ilhas Andamão e a Indonésia em 2004 e o terramoto do Haiti em 2010, e existem ainda outros registos de boa resistência a manifestações climáticas da mesma natureza, nomeadamente no Chile.

Há ainda outros fatores que merecem ser referidos. Tal como a parede em taipa, a parede-pneu funciona como uma barreira sonora, devido à compactação da terra no seu interior.

Essa compactação é responsável pelo facto de existir uma percentagem de oxigénio mínima no seu interior (perto de zero), o que anula as propriedades de combustão que o pneu contém, tornando a parede-pneu incombustível (fig.49).

Quanto à toxicidade do pneu, esta é uma questão que merece alguma atenção particular. O pneu em fim de vida é um material que apresenta enormes perigos ambientais e para a saúde do ser humano.

Segundo o relatório da *US EPA (US Environmental Protection Agency)*⁵⁴, os pneus depositados ao ar livre constituem “um problema ambiental significativo como resultado do processo de lixiviação, risco de incêndio e contaminação das águas”.

Os relatórios *Artificial Turf: Exposures to Ground Up Rubber Tires – Athletic Fields*⁵⁵, *Playgrounds, Garden Mulch*⁵⁶ e *Cal Recycles Report*⁵⁷ apontam os metais contidos nos pneus e as partículas de borracha como componentes que potencialmente apresentam elevados riscos para a saúde humana. Em declarações de profissionais da indústria que lidam diretamente com a decomposição do pneu,

⁵⁴ *State Scrap Tire Programs Report*, United States Environmental Protection Agency, 1999

⁵⁵ *Artificial Turf: Exposures to Ground Up Rubber Tires – Athletic Fields*, Environmental and Human Health, Inc.

⁵⁶ *Playgrounds, Garden Mulch*, Environmental and Human Health, Inc.

⁵⁷ *Cal Recycles Report*, California Department of Resources Recycling & Recovery (CallRecycle)

podemos ainda ler que “a libertação tóxica através de pavimentos de borracha feitos a partir da reciclagem de pneus é extremamente perigosa em espaços interiores”. Estas referências alarmantes conduzem obrigatoriamente a uma abordagem criteriosa da utilização do pneu automóvel, que deveria ultrapassar a temática da parede-pneu e ir de encontro a todas as variantes do seu ciclo de vida, que muitas vezes colidem, ingénuo ou demagógicamente, com o nosso quotidiano.

No que concerne à utilização do pneu automóvel na construção, nomeadamente na parede-pneu, em *The Offgassing Non-Issue*, é afirmado que “nunca existiu qualquer indício de doença ou até mesmo de alerta provocado pela intoxicação através dos pneus nos 30 anos de investigação e de desenvolvimento”⁵⁸. Esta conclusão deve-se ao facto de “a decomposição do pneu acontecer quando este está exposto a altas temperaturas, à luz solar direta ou a agentes oxidantes. Nenhum destes elementos está presente quando um pneu é compactado com terra e isolado com uma camada de reboco”⁵⁹. Assim, os pneus utilizados na parede-pneu apresentam “um risco mínimo para os seus habitantes devido à inexistência da capacidade de se decomporem”⁶⁰. De acordo com a posição do *New Mexico Environmental Department*, o risco para a saúde humana contido na utilização da parede-pneu num espaço interior é “em várias ordens de grandeza inferior ao risco obtido por atividades como viver numa casa com alcatifa”⁶¹ (referência ao componente químico formaldeído utilizado na fabricação de têxteis). Chris Kaiser afirma ainda que “os pneus são perigosos amontoados em depósitos, não na parede-pneu”.

⁵⁸ *The Offgassing Non-Issue*, Earthship Bioteclur. Tradução do autor.

⁵⁹ Humbolt State University Report. Tradução do autor.

⁶⁰ *ibidem*

⁶¹ Carta do New Mexico Environmental Department – Solid Waste Bureau à University of Wisconsin Study. Publicada em www.earthship.com/offgassing. Tradução do autor.

In Earthship Volume I we presented a method of building living modules from discarded automobile tires rammed with earth. Over the thirty years of research & development, we have come to the determination that this method far exceeds any other known building technique with regard to thermal, structural, environmental and availability aspects.

The Earthship Volumes are aimed at making this concept physically available to owner-builders. If the methods set forth in these books are followed, the result is a very "substantial living module." However, if the concept is used but not executed competently with appropriate respect to the nature of the material, an unsafe building can be the result. It is the purpose of this building code for bearing and retaining walls made from earth-rammed tires to provide criteria for an inspector to relate to in determining whether a building is being constructed safely or not. Any building technique can be executed in a safe or unsafe manner. This code assumes a good construction inspector and the builder as a clear example here in the beginning of the 21st century.

The walls are really the only aspect of a tire building that is significantly unconventional. The roof and floor use conventional materials and are covered by the existing Uniform Building Code. Therefore a thorough presentation of the standards for bearing and retaining walls made from automobile tire casings rammed with earth will be used as a guide to those whose job it is to inspect tire buildings for structural integrity, safety and quality.

1. TIRE SIZES USED IN BEARING AND RETAINING WALLS
 A. All bearing walls built from earth-rammed tires must follow articles 1 through 4 of this code.
 B. All retaining walls built from earth-rammed tires must follow articles 1 through 4 of this code.
 C. Specifications and construction drawings, certified by a licensed architect or engineer, must appear in the stamped construction drawings for all retaining walls built from earth-rammed automobile tire casings.

2. TIRE WALLS AS FOUNDATION
 A. In that a tire wall is already wider than its required foundation, it becomes a masonry wall which is both wall and foundation (see EARTHSHIP VOL. I pp. 65-66).
 B. The first course of tires must be as large in diameter or larger in diameter than any other tire in the wall. No tire may appear in a wall that is larger in diameter than the tires on the ground course of that wall.
 C. The walls over six courses high must have a ground course of tires #15 or larger exclusively.

3. COURSING
 A. All the walls must use staggered running bond coursing.
 B. Joints between tires on any given course must be aligned with the central axis of all tires on courses above and below. No joint between tires on any given course may align with any joint on the courses above or below.
 C. Half fire techniques as outlined in article 4 must be used to maintain running bond coursing.

4. HALF FIRE TECHNIQUES
 A. CONCRETE HALF TIRES
 Concrete half tires must use a mix of 3 parts cement/4 parts sand/5 parts gravel with engineering fibers. All tires adjacent to concrete half blocks must be precast (see EARTHSHIP VOL. III pp. 2-4) with 1/4" rebar and 1/2" steel mesh. In that concrete half tires are a substantial half fire method, they will be specified in some situations by the architect. All two story tire wall applications will use concrete half tires.
 B. RAMMED EARTH HALF TIRES
 Rammed earth half tires are made by cutting a tire in half and leaving tabs on the sides to be adjacent tires. This half tire is then pounded like a regular tire. Rammed earth half tires can be used only in the walls five courses high or less, and never at the end of a wall.
 C. BEARING WALLS
 All walls built from earth-rammed automobile tire casings must follow articles 1 through 4 of this code.
 D. All bearing walls built from earth-rammed automobile tire casings must have a continuous bond beam of wood or concrete as described in EARTHSHIP VOL. I pp. 101-103 or EARTHSHIP VOL. III pp. 6-9.
 E. All bearing walls eight courses or higher for their entire length built from earth-rammed automobile tire casings must have a continuous bond beam that connects to a continuous bond beam on adjacent non-bearing tire walls.

5. RETAINING WALLS
 A. All retaining walls built from earth-rammed automobile tires must follow articles 1 through 4 of this code.
 B. All retaining walls built from earth-rammed automobile tire casings must be stepped back or lean into the earth they are retaining.
 C. Specifications and construction drawings, certified by a licensed architect or engineer, must appear in the stamped construction drawings for the permitted building for all retaining walls built from earth-rammed automobile tire casings.

6. RETAINING WALLS
 A. All retaining walls built from earth-rammed automobile tires must follow articles 1 through 4 of this code.
 B. All retaining walls built from earth-rammed automobile tire casings must be stepped back or lean into the earth they are retaining.
 C. Specifications and construction drawings, certified by a licensed architect or engineer, must appear in the stamped construction drawings for the permitted building for all retaining walls built from earth-rammed automobile tire casings.

7. FREE STANDING WALLS
 A. All free standing walls built from earth-rammed automobile tire casings must follow articles 1 through 4 of this code.
 B. All free standing walls over 2 courses high built from earth-rammed automobile tire casings must have continuous area built into the design of the wall. These walls cannot be straight for any distance.
 C. Free standing walls built from earth-rammed automobile tire casings cannot be over 5 courses high unless designed by an architect and certified specifications and construction drawings are provided for that wall.

8. PLATES AND BOND BEAMS
 A. All tire walls that are part of the coded building shall have a continuous wood or concrete bond beam. This bond beam shall be anchored to the tire wall with 1/2" anchor bolts set in concrete every other tire or 1/2" rebar driven down through three courses of tires and bent over the top of the wood plate or set in the concrete bond beam.
 B. Wood bond beam plates shall be no less than four inches thick and twelve inches wide. Wood bond beam plates can be made up of (2) 2 x 12's with 6 mil plastic between the rammed earth tire wall and the wood bond beam plate. The bottom bond beam plate must be joined to the top by a joint in the center of the beam. The top and bottom plates must be laminated with (6) 1/4" nails per running foot.
 C. Concrete bond beams shall be a minimum of 8" deep x 8" wide and have two pieces of 1/2" rebar continuous.

9. OPENINGS IN WALLS
 A. All openings in walls made of earth-rammed automobile tires shall have concrete half blocks on either side of the opening.
 B. The wood or concrete bond beam spanning the opening shall be increased in thickness by a minimum of 2". This additional thickness shall extend on either side of the opening a thickness to the tire coursing height.
 C. All two story earth-rammed tire structures shall be designed by a licensed architect or engineer.

10. TWO STORY
 A. A continuous 2" deep x 2-0" wide concrete bond beam must occur at each floor level.
 B. All tires on the first level must be #15 or larger.
 C. All tires on the second level must be #14 or smaller.
 D. All blocking must be concrete.
 E. All blocking must be concrete.
 F. All void padding on the first floor level walls must be concrete.
 G. All earth-rammed tire work must follow articles 1 through 4 of this code.

11. LENGTH OF WALLS
 A. In that rammed earth tire walls are not made of a rigid material that is sensitive to expansion and contraction cracks, there is no limit on the length of a earth rammed tire wall.

12. HEIGHT OF WALLS
 A. The maximum height for a straight earth rammed tire wall which is an integral part of a structure with a roof or floor load is 10 feet. At this point a wood or concrete bond beam must be installed as per article 8 of this code.
 B. The maximum height for a circular earth rammed tire wall which is an integral part of a structure with a roof or floor load is 12 feet. At this point a wood or concrete bond beam must be installed as per article 8 of this code.
 C. The maximum height for a free-standing earth rammed tire wall that is not a curved or a tapered retaining wall or otherwise mechanically integrated into a building is 6 feet.

13. D. There is no maximum height for a tapered retaining wall constructed from earth rammed tires. All tapered retaining walls must be engineered by a licensed architect or engineer.

13. LOADING OF WALLS
 A. Loading on earth rammed tire walls must be distributed loading only from joists, beams or rafters setting on a continuous wood or concrete bond beam as per article 8 of this code.
 B. No point or collected loading is possible on earth-rammed tire walls unless special engineering is provided by a licensed engineer or architect.
 C. The limits of the evenly distributed load on earth-rammed tire wall can accept are determined by the bearing capacity of the soil and that the earth rammed tire wall is setting on. If the soil is not strong enough to support the load, the earth rammed tire wall is wider than the tire wall itself and the bearing capacity will be determined by a licensed architect or engineer.

14. FILL OF WALLS
 A. Earth rammed tire walls can be filled or rammed with any type of earth, city sand or rock fill.
 B. All tire casings must be packed tight to 90% compaction with a 6# or 9# sledge hammer. Soft epoxy fire padding is not acceptable.

15. VOID FILLING
 A. All voids between tires in earth rammed tire walls must be packed solid with mud in a four coat procedure described in Earthship Volume I pages 174-175 unless specific conditions require this padding to be done with concrete as per article 10 of this code.

16. EARTH CLIFFS
 A. All Earth cliffs shall be 12" minimum from an earth rammed tire wall.
 B. All earth cliffs shall be approved as a result of site and soil inspection by a licensed architect or engineer.
 C. Earth cliffs can only occur under non-bearing earth rammed tire walls or walls only loaded from one side such as east or west end walls.

17. JOINTS
 A. All joints and connections in earth rammed tire walls must be designed and assembled in such a way so that no voids occur within the earth rammed tire wall. These voids must be filled with concrete or 90% compacted earth contained in a double layer of metal lath or a rubber tire casing.
 B. All joints and connections in earth rammed tire walls must employ staggered joints and jacking methods so as not to result in stacked joints occurring over each other.

The regulations for earth rammed tire construction set forth in this code are a guideline relating to structure only and are subject to evolutionary refinements and additions.

Fig.50 The Building Tire Code

Podemos então concluir que, se devidamente utilizada, a parede-pneu não representa riscos de toxicidade para o ser humano, preservando assim todas as exigências a nível de saúde, do ambiente do conforto de habitar.

Ao longo deste subcapítulo pudemos perceber que esta técnica construtiva não se afasta das técnicas convencionais no que toca a determinados requisitos de qualidade que objetivamos para a construção de hoje em dia, e que certos aspetos que à partida podem parecer um entrave ou um limite à capacidade desta técnica construtiva acontecer, como a utilização do pneu automóvel na construção, podem trazer, quando observados de uma perspetiva diferente, mais-valias ao processo da arquitetura.

1.6 – CONSIDERAÇÕES SOBRE HABITAR COM A PAREDE-PNEU

Este capítulo permite identificar e contextualizar a pertinência da utilização da técnica construtiva da parede-pneu sob vários aspetos.

Podemos argumentar que todas as relações que o ser humano estabelece com o mundo e com aquilo que constitui o seu conhecimento acumulado são fruto de um processo evolutivo que reflete o estado da evolução humana.

No sentido de uma participação consciente na continuidade do progresso daquilo a que podemos chamar habitat, torna-se essencial para cada momento do presente, identificar quais os elementos com que nos queremos e devemos relacionar, que interpretação dispensamos aos fatores através dos quais o fazemos e, finalmente, como o construímos. Ou seja, para que se satisfaçam as exigências que objetivamos hoje, precisamos de perceber o habitat de amanhã. Este deve ser sempre o ponto de partida.

Sendo este um processo progressivo, ele é muitas vezes também moroso. Ao longo dos últimos quarenta anos, novos elementos surgiram e integraram o nosso conhecimento acumulado. Como tal, moldaram a maneira como nos relacionamos com o mundo.

Numa perspetiva histórica, foram identificados alguns desses elementos que se interligam e suportam o âmbito deste trabalho. São eles a insustentabilidade ambiental do consumo de recursos fósseis derivada da noção de finitude dos mesmos e o impacto ambiental resultante da quantidade e qualidade de recursos energéticos não naturais necessária para fazer face às nossas necessidades.

No plano da arquitetura em Portugal, se aliarmos estes fatores à insuficiente qualidade da construção convencional e à maneira como entendemos o sistema que nos permite habitar, observamos que a arquitetura participa desta forma de uma relação deficiente e comprometedora entre o ser humano e os elementos acima

referidos. Para além disso, verifica-se uma dependência direta entre a capacidade financeira do habitante e a qualidade do seu ato de habitar, pois não havendo uma maximização dos recursos que lhe chegam naturalmente, para que se respondam às exigências de conforto contemporâneas, é necessário adquirir os recursos energéticos por via de sistemas de distribuição externos. Estes sistemas não são de todo dispensáveis, pelo contrário, é no equilíbrio da utilização das duas fontes (natural e humana/artificial) que podemos encontrar estabelecer uma nova relação através do nosso habitat.

Sendo o habitat um conjunto no qual estratégias e opções estão interligadas, a responsabilidade de responder à mudança ambicionada tem de passar também pela arquitetura, pois é ela parte integrante deste sistema.

Torna-se imperativo a partir daqui proceder a um novo entendimento do conceito de habitação, e se possível estende-lo à construção em geral. É necessário deixar o sistema linear de lado, e perceber que através de um sistema dinâmico podemos diminuir a quantidade de recursos energéticos não naturais consumidos. Com esta diminuição equilibrar a dependência entre a capacidade financeira e o conforto e qualidade do ato de habitar e, simultaneamente, reduzir e dar resposta à insustentabilidade ambiental causada pelo consumo de recursos fósseis.

Como proposta de sistema dinâmico, encontramos o desenho solar passivo, que se divide entre princípios ativos e passivos. Estando o resultado obtido através dos princípios passivos dependente da sua organização espacial e da estratégia global do projeto que lhes é conferida, é por entre eles que prossegue a dissertação.

Para as condições climáticas que Portugal apresenta, o princípio passivo de utilização da massa térmica dos materiais através das paredes-pesadas isoladas pelo exterior tem, potencialmente, a capacidade de exercer um controlo térmico passivo do espaço interior.

A parede-pneu inclui-se precisamente neste tipo de paredes e, se utilizada num contexto específico (definido no subcapítulo 1.4), a parede-pneu representa a técnica construtiva que reúne um maior número de características mais favoráveis e constitui-se portanto na opção mais válida, tendo em conta o conjunto de parâmetros da eficiência energética, do impacto ambiental, da disponibilidade local e do custo financeiro.

Embora seja uma técnica não convencional, comprova-se que responde de forma irrepreensível às exigências técnicas e construtivas que existem hoje em dia, sendo talvez o fator cultural da sua aceitação o que poderá oferecer maior impasse à sua aplicação.

Demonstrado por fim que a parede-pneu reúne condições para se implementar como uma opção construtiva válida e para se inserir num contexto específico do circuito da arquitetura em Portugal, prosseguimos com a análise de dois casos de estudo que nos irão permitir perceber qual o estado de arte da sua utilização e quais os aspetos que podem ser melhorados no funcionamento e na relação entre esta técnica construtiva e outras estratégias do desenho solar passivo.

2 – CASOS DE ESTUDO

Com os casos de estudo apresentados neste capítulo pretende-se identificar um conjunto de elementos que podem ser melhorados de maneira a otimizar o funcionamento da parede-pneu inserida no sistema dinâmico.

Para tal, começaremos por contextualizar a utilização da parede-pneu no seu estado de arte. Com a análise crítica dos casos de estudo pretende-se ainda perceber qual a sua relação com outras estratégias passivas, como devem ser efetuadas e, finalmente, que melhoramentos são passíveis de serem feitos. A parede-pneu é um sistema que não pode ser visto isoladamente dos outros sistemas, e o seu desenvolvimento está diretamente associado ao desenvolvimento dos outros sistemas passivos a que está associado. Como tal, esta análise é feita sobre os seguintes parâmetros: a organização e distribuição do espaço, a orientação solar, o talude de terra, o uso e funcionamento da parede-pneu, as fundações, o pavimento, o isolamento, as paredes interiores, a estufa, os processos de aquecimento e de ventilação natural e por fim outros sistemas ativos e passivos do projeto e por fim a expressão arquitetónica.

Para tal, interessa perceber que, embora os primeiros registos da ideia de utilizar o pneu automóvel como material de construção datem dos anos 30 (para efeitos de pequenos muros de suporte exteriores), a origem da parede-pneu enquanto técnica construtiva integrada num sistema de desenho solar passivo encontra-se no conceito de construção das *Earthships* que se iniciou na década de 70, e desde então, a sua adaptação e evolução acompanhou paralelamente o desenvolvimento das *Earthships*. É por isso feita no subcapítulo 2.1 uma contextualização deste conceito através de uma síntese da sua evolução temporal, culminando na análise de um caso de estudo sobre os parâmetros acima referidos.

Quanto à escolha do caso de estudo, embora exista uma *Earthship* em construção em Portugal em Mértola (fig.45), esta foi projetada segundo o *U-Model*, que no

atual estado de arte se encontra desatualizado. Uma outra *Earthship*, construída em Valência (Espanha), é aquela onde condições climáticas se aproximam mais das de Portugal, o que, tendo em vista o trabalho visar fazer a adaptação da técnica da parede-pneu a Portugal, tornava o seu estudo potencialmente pertinente. No entanto, devido à informação ser bastante escassa e de difícil acesso, tornou-se impossível fazer sobre ela uma avaliação com a qualidade de informação necessária para este trabalho. Assim, foi selecionado uma outra construção para a análise do caso de estudo, a *Earthship Zwolle*, na Holanda.

Mais recentemente, a evolução da parede-pneu teve derivações noutros sentidos que se afastam do conceito das *Earthships*, como é o caso da sua utilização nas construções da comunidade de Oolst, na Holanda.

No subcapítulo 2.2 é então introduzida uma análise a este caso de estudo, como método de entendimento das alternativas que este propõe ao funcionamento da parede-pneu em relação a algumas técnicas passivas e ativas.

Em resumo, pretende-se com este capítulo fazer uma reflexão acerca do estado de arte da parede-pneu, procurando sobre ela os elementos indicadores da direção a tomar para a continuação do seu progresso.



Fig.51 *Thumb House* - A primeira construção do arquiteto M. Reynolds.



Fig.52 *Earthships* em Taos, Novo México.



Fig.53 *Vista aérea das Earthships* em Taos, Novo México.

2.1 – *EARTHSHIP GLOBAL MODEL*

As *Earthships* são construções que tiveram a sua origem na cidade de Taos, no Novo México, em 1971. No contexto de emergência ambiental da altura, estas surgiram como forma de participação na resolução do problema global da reciclagem de materiais e do problema local do elevado custo da habitação convencional.

Nos anos 40, no Novo México, foram designados dezenas de milhares de metros quadrados de terreno para o teste de armamento de destruição nuclear. Foi nesse espaço que foi detonada a primeira arma nuclear, um mês antes dos acontecimentos de Hiroshima e Nagasaki. O arquiteto Michael Reynolds, mentor do projeto das *Earthships* tinha a convicção de que, da mesma maneira que era atribuído espaço para a experimentação militar em prol da defesa contra ameaças inimigas, deveria ser atribuído igualmente um espaço de experimentação da arquitetura no sentido da melhoria do conforto humano no ato de habitar e de contribuição para a sustentabilidade da relação entre o ser humano e o meio ambiente. M. Reynolds consegue assim um lugar físico onde é autorizado a proceder à investigação e ao desenvolvimento do seu sistema construtivo durante vários anos, conhecido como *The Greater World Earthship Community*, no deserto do Novo México. Naquele local, as condições climáticas extremas obrigaram à projeção de um funcionamento também ele extremo no que concerne à sua eficiência energética.

Consciente de que o seu conceito inicial partia de uma visão que estava longe do resultado prático obtido, e que a sua visão teria de se aliar com a tecnologia e com o progresso científico, Reynolds faz em 1990, em *Earthships: How to Build Your Own - Vol.1*, uma analogia entre as *Earthships* e o automóvel que demonstra a consciência da necessidade de evolução a que o sistema se teria de submeter. “Os inventores do automóvel teriam porventura uma visão de um automóvel mais rápido, mais aerodinâmico, como os carros que temos hoje; no entanto, o melhor resultado possível de ser produzido pela indústria e tecnologia da altura foi o



Fig.54_Modelo Ford T, 1908.



Fig.55_Modelo Ford Fusion Hybrid, 2016.



Fig.56_Construção *Earthship* offgrid.

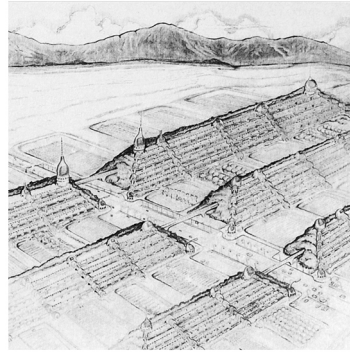


Fig.57_Desenho de M.Reynolds para possível comunidade de *Earthships*.

Modelo T. Também as Earthships se situam longe da visão do seu conceito. Estão apenas a um passo de distância da habitação convencional totalmente dependente. No entanto, este é um passo significativo⁶².

Reynolds ambicionava um conceito de habitação, onde a arquitetura estivesse em consonância total com os recursos naturais, de maneira a providenciar ao ser humano as condições de vida necessárias para a sua sobrevivência, respeitando os patamares de conforto exigidos, sem por isso descuidar da questão do impacto ambiental que esse processo produz, alcançando um modo de vida carbono-zero. Às construções, chamava-lhes *independent vessels*, capazes de proporcionar ao ser humano a independência dos sistemas criados pelo Homem, fazendo-o através de uma nova relação com a natureza. As *Earthships* propõem uma arquitetura capaz de fazer a conjugação entre a alta e a baixa tecnologia, entre os sistemas ativos e passivos, de maneira a não exceder os patamares financeiros da construção convencional, onde não haja contas de energia ou de recursos para pagar, que produza alimentos destinados à dieta do habitante, que proceda à reutilização de materiais em fim de vida na sua construção e que tenha um impacto zero de carbono no meio natural.

Aparecem então como construções autossuficientes, derivado das condições do local onde se implantavam (deserto) construídas com recurso a materiais naturais (como a terra) e a materiais desperdiçados (latas de alumínio, garrafas de vidro e pneus automóveis), totalmente *offgrid*, ausentes de qualquer ligação com os sistemas de distribuição de recursos.

⁶² REYNOLDS, Michael, *Earthship: vol 1 – How to build your own*, Solar Survival Press, 1990, p.31. Tradução do autor.

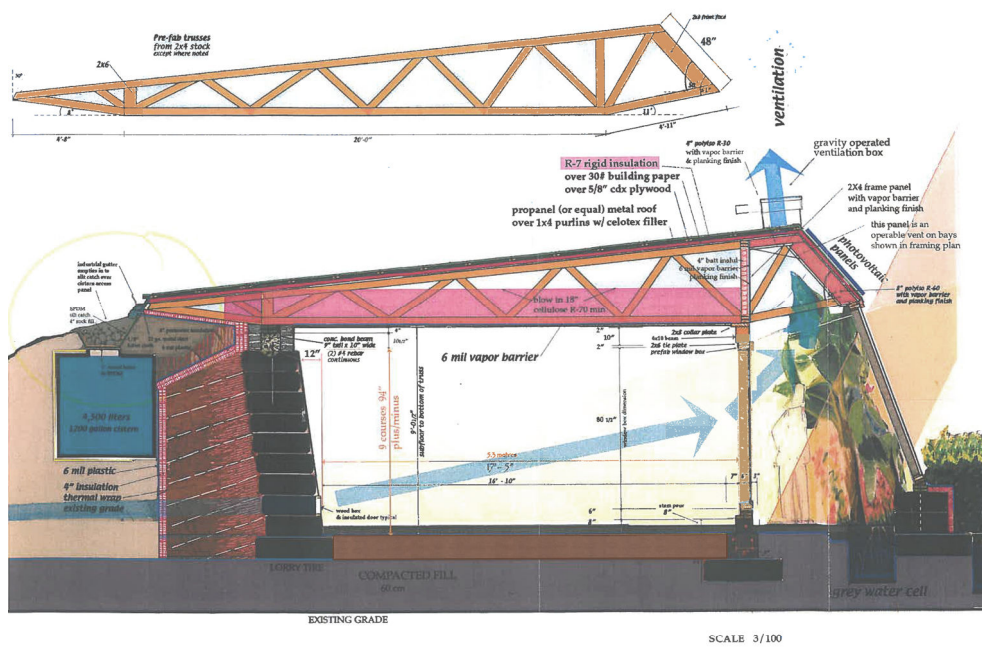


Fig.58_Corte original da Earthship Zwolle por Biotecture.

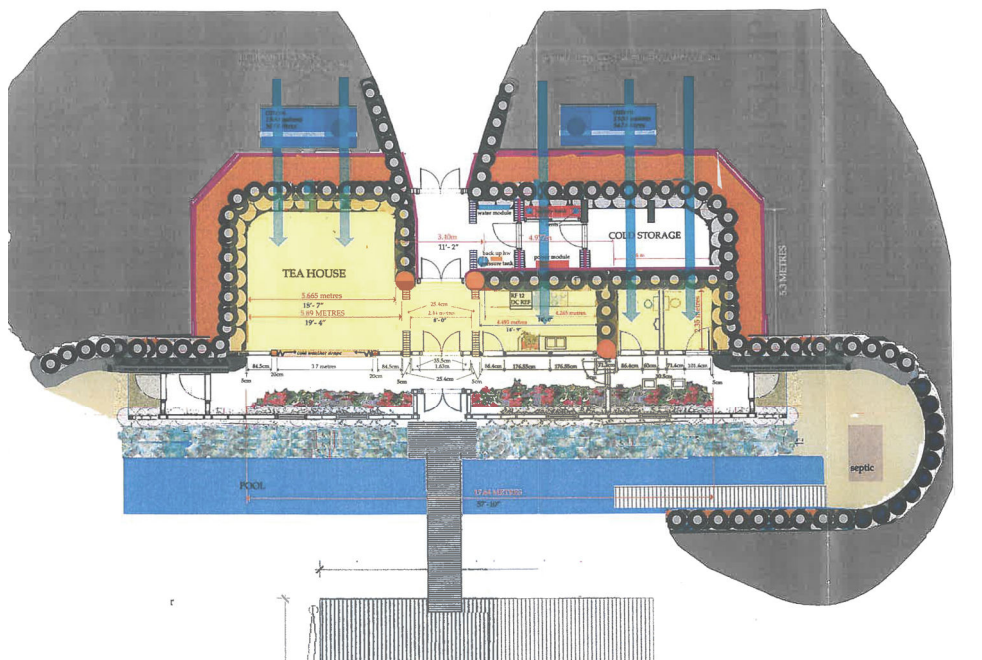


Fig.59_Planta original da Earthship Zwolle por Biotecture.

A sua construção baseia-se em seis princípios. A captação e utilização de energias renováveis (eólica e solar), a captação de águas pluviais, um ciclo de águas completo (água potável, cinzenta e preta), a reutilização de materiais para a construção, a produção de alimentos e por fim o controlo da climatização feito pela utilização da massa térmica (obtida maioritariamente através da parede-pneu) sobre um desenho solar passivo.

Numa fase inicial, a parede-pneu encontrava-se ausente do sistema construtivo e é com a necessidade de melhoramento da eficiência energética da construção através da introdução de uma enorme quantidade de massa térmica no espaço interior (e com custos controlados) que é associado o uso do pneu automóvel em fim de vida ao sistema construtivo.

As *Earthships* propõem a orientação de uma fachada envidraçada na frente sul (hemisfério norte) onde se encontra a estufa, garantindo através dela todos os ganhos solares diretos, a redução das frentes poente e nascente e o encerramento da fachada norte através do uso da parede-pneu. Baseando-se na ideia de que a Terra é uma massa termicamente estabilizada (ideia que permanece nos dias de hoje), a parede norte (parede-pneu) é associada a cerca de um metro de terra e só depois surge o isolamento vertical. Este princípio tem como objetivo incluir toda a terra que fica entre a parede e o isolamento no processo de retenção e libertação de calor. Segundo a mesma lógica, não existe qualquer isolamento na separação entre o pavimento e o solo. Posteriormente a parede e a terra a que está associada são incorporadas num talude em terra, que se estende para o lado norte, ficando assim o edifício semienterrado.

A composição resultante da disposição dos blocos de pneu que formavam a parede-pneu (fig.60) começou inicialmente por apresentar formas circulares conhecidas por *Hut-model* e *U-model*, que gradualmente evoluíram para a combinação de ambos. Tal coincidiu com o aparecimento da estufa na frente sul como mecanismo

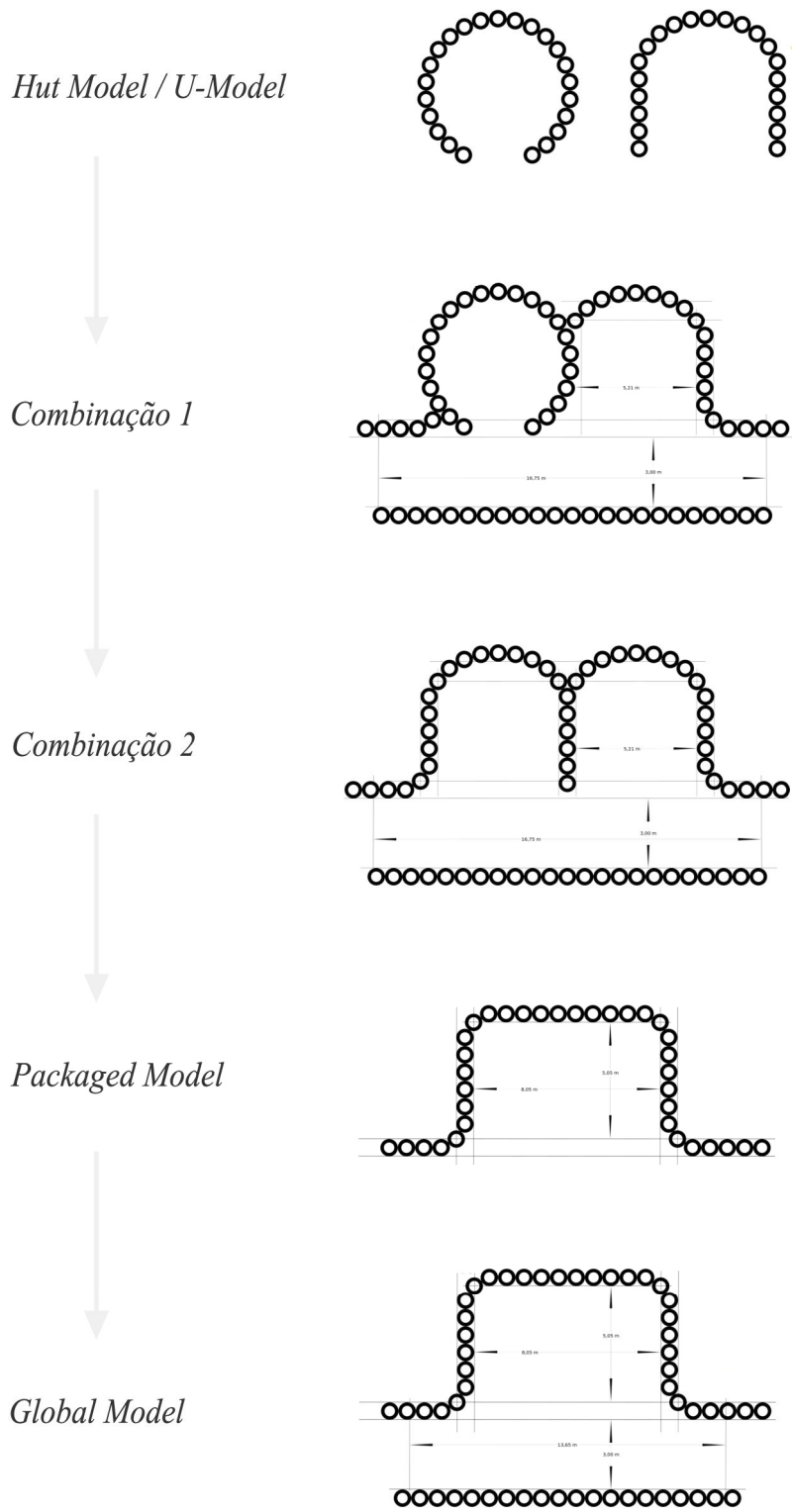


Fig.60_Evolução da disposição dos pneus na parede-pneu.

de controlo da ventilação natural do ar que por sua vez é responsável pela remoção da energia acumulada na massa térmica dos materiais, para além de introduzir com este elemento a produção de alimentos.

Mais tarde surge o *Packaged model*, que apresenta uma forma retangular e que, ao contrário dos modelos anteriores, orienta a estrutura da cobertura no sentido norte-sul, permitindo assim a substituição das paredes divisórias em pneu por outras soluções mais leves que permitiram um melhor aproveitamento e organização do espaço interior.

Por fim surge o modelo atual, chamado *Global model*, que projeta a estufa para a frente sul, permitindo que os acessos passem a ser feitos a partir do eixo poente-nascente. Este modelo tem sido, desde 2007, o mais utilizado por Michael Reynolds.

Hoje em dia as *Earthships* encontram-se espalhadas por todo o mundo, tendo sido construídas em condições climáticas opostas. *Earthships* é na verdade uma marca que pertence à empresa de Michael Reynolds chamada *Biotecture*, de onde derivou a *Earthship Europe*, responsável pela construção da *Earthship Zwolle* (caso de estudo), e que desenvolveu diversos setores de investigação, informação, prática e adaptação às condições europeias, como a *Flagship*, a *EECO (Everything Eco)*, a *EEBU (European Earthship Builders United)* e a *EECN (European Earthship Communities Network)*.

Recentemente foram criadas as plataformas oficiais *Earthship Biotecture Portugal* e a *Academia Earthship Biotecture Portugal*.

A evolução da ideia de Michael Reynolds de 1971 de um “espaço-laboratório” capaz de fazer proceder a investigação e experimentação de novas técnicas, sem serem condicionadas por códigos e leis, e à reinterpretação de fatores relacionados com o habitat, ganhou em 2007 um novo espaço. Foi criado no Novo México um projeto que conta também com apoio estatal e com um espaço onde essa vontade

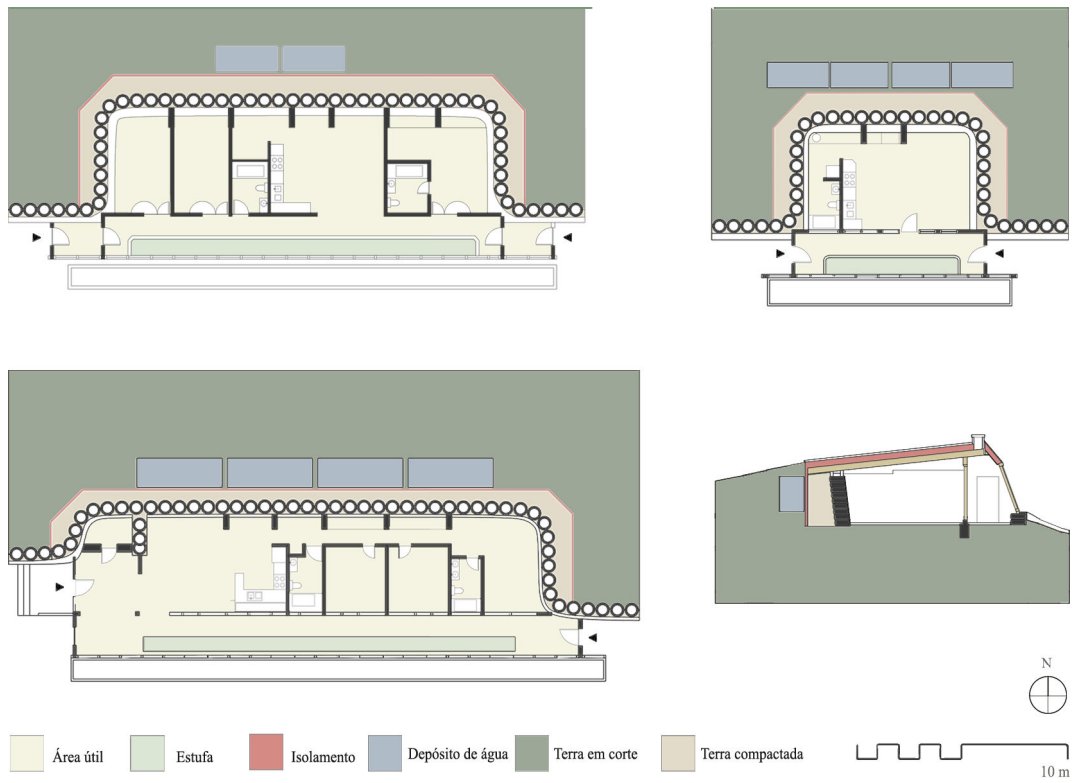


Fig.61_ Exemplos de habitações construídas segundo os princípios da *Earthship Global Model*. Plantas do piso térreo e corte.



Fig.62_ *Global Model - Earthship Montana*.



Fig.63_ *Global Model - Earthship Alberta*.



Fig.64_ *Global Model - Earthship Ithaca*.



Fig.65_ *Global Model - EVE Project*.

acontece, o *EVE Project (Earthship Village Ecology Project)*, um dos mais recentes e ambiciosos projetos da *Bioteecture* onde se pretende aprofundar a integração da construção em comunidade e introduzir o princípio da economia lado a lado com os seis já existentes. Este projeto tornou-se a nível mundial, no primeiro *Sustainable Development Testing Site* do mundo⁶³. Outros exemplos de *Earthships* construídas sobre o *Global Model* são a *Earthship Montana* (fig.62), a *Earthship Alberta* (fig.63), a *Freeville Earthship* em Ithaca (fig.64), o *EVE project* (fig.65) e a *Vaulted Earthship*, entre outros (fig. 61).

Em Portugal, embora a sua experimentação seja ainda diminuta, merece ser referenciado o projeto da casa *Ecofixe* (2014), em Trofa, que integrou a parede-pneu na sua construção, tendo sido para tal dado início, pela primeira vez em Portugal, tanto a nível de construtoras e fornecedores dos materiais, como de licenciamentos, à criação de condições indispensáveis para que esta ideia faça sentido no nosso país.

Existem ainda três modelos *Earthship* em construção em Portugal. Um em Mértola, e outros dois, mais recentes, em Guimarães e no Funchal.

De seguida é analisada a relação entre a parede pneu e outros aspetos do projeto no caso de estudo da *Earthship Zwolle* (2010), construído em apenas cinco semanas em Zwolle, na Holanda. Tendo sido projetado segundo os princípios do *Global Model*, a análise é feita paralelamente com os princípios do modelo. Esta construção foi escolhida por ter sido feita na Europa, apresentando por conseguinte uma proximidade com as condicionantes climáticas, sociais e legislativas de Portugal. A escolha assenta ainda no facto de ser o único projeto construído que apresenta uma tipologia variante da habitação, na medida em que se trata de uma casa de chá.

⁶³ 2014 *New Mexico Statutes*, Justia US Law



Fig.66_Vista aérea sudeste do Doepark Nooterhof. Ao centro a casa de chá *Earthship Zwolle* .



Fig.67_Vista da fachada sul da *Earthship Zwolle*.

2.1.1 – A PAREDE-PNEU NA *EARTHSHIP ZWOLLE*

A *Earthship Zwolle* (fig.67) é um projeto situado no *Doepark Nooterhof* (fig.66), na cidade de Zwolle na Holanda, construído com cerca de 140 m². Relativamente à sua tipologia, funciona como uma casa de chá aberta ao público. Como tal, a divisão do seu espaço interior faz-se entre as zonas de cafeteria, a cozinha, os sanitários, as zonas técnicas e de serviços, o espaço tampão para a entrada a norte, a zona de circulação e a estufa.

É orientado transversalmente sobre o eixo norte-sul e as fachadas poente, nascente e norte encontram-se encerradas por um talude de terra com exceção de uma entrada feita através do lado norte. A cobertura metálica tem, assim como o talude, uma inclinação sul-norte de maneira a minimizar a incidência solar direta no verão e a direcionar as águas pluviais captadas para os tanques de armazenamento que se encontram a norte, cobertos por terra. A estrutura de suporte da cobertura é orientada também de sul para norte, sendo na parede-pneu a norte que é feita a sua conexão estrutural.

A parede-pneu é utilizada nas confrontações com o talude de terra, fazendo assim o invólucro da maioria do espaço interior. É através da frente sul, onde é projetada a estufa associada ao espaço de circulação, que é obtido todo o ganho solar direto.

À parede-pneu exterior é associado um metro de terra e só depois é feito o isolamento. Esta é uma ideia antiga de Reynolds que argumenta que quando o isolamento é feito a um metro da parede-pneu, a profundidade da parede que se obtém é na verdade equivalente à soma da distância do bloco de pneu mais um metro. Este argumento é feito no sentido de atribuir o máximo valor de massa térmica à parede. No entanto, esta estratégia é válida em condições como o deserto Novo México, onde as temperaturas são extremas e as estações de calor são bastante intensas mas no caso europeu esta necessidade não se verifica.

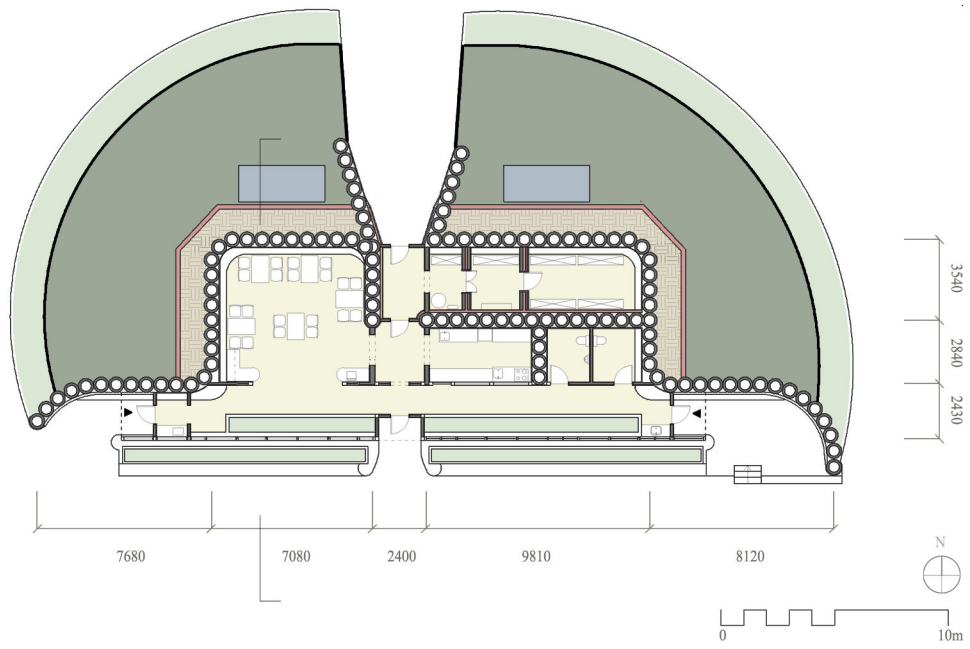


Fig.68_Planta do piso térreo.

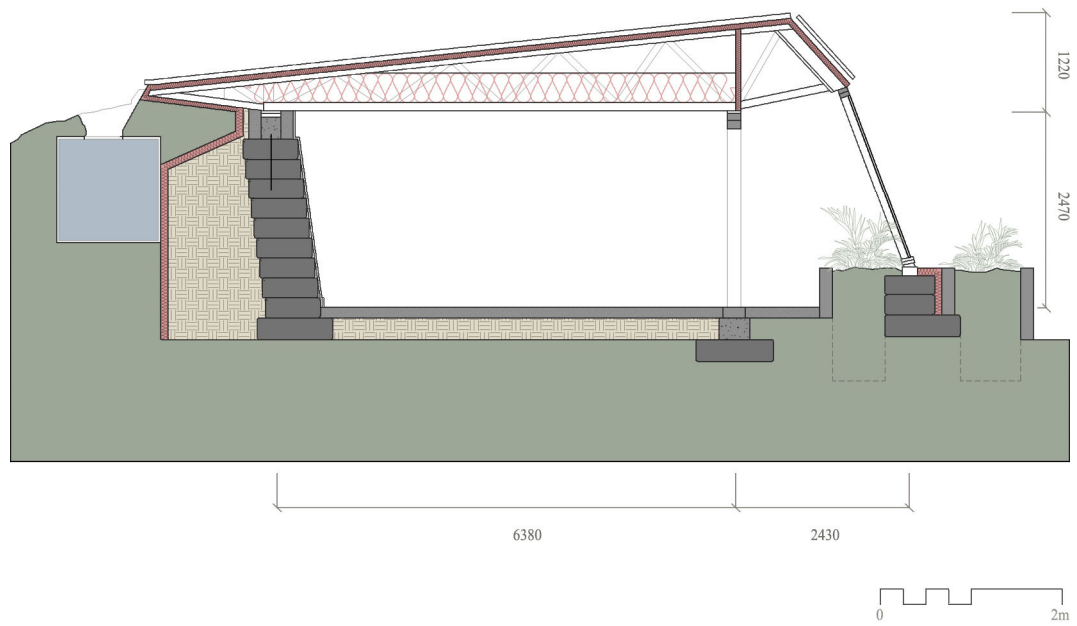
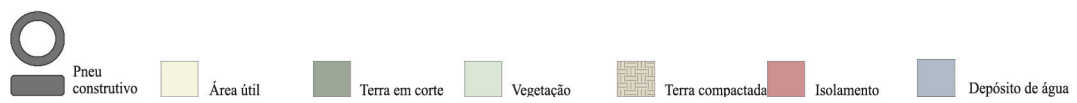


Fig.69_Corte.



Esta estratégia implica, devido à função de muro de sustentação que a parede-pneu tem de exercer, que esta seja construída de forma inclinada, na direção da terra que a sustenta, o que para além de condicionar a organização do espaço interior, ocupa uma área no solo desnecessária. Para além disso cria a necessidade de se sustentar a terra no lado oposto à parede-pneu, o que se consegue com uma das duas opções, ou através da construção de uma nova parede-pneu ou muro de suporte (duplicando assim os recursos utilizados) ou através da aplicação de um talude de terra que faça gradualmente o declive até ao nível do solo na parte norte (o que requer uma grande área sem utilização) como podemos observar neste modelo.

A utilização do talude implica também, que para qualquer acesso ou esventramento que se faça na parede-pneu (caso da entrada a norte), esta prossiga com a função de muro de suporte até ao exterior e apareçam assim pontes térmicas não desejadas.

Embora o talude possa ter uma função de elemento tampão que faz a separação entre a energia térmica acumulada na massa térmica das paredes do espaço interior e a temperatura exterior, uma solução para este problema seria a construção sem talude de terra, com a construção vertical da parede-pneu e o isolamento diretamente associado aos blocos de pneu, como se pode observar no método de construção das paredes interiores. Quanto ao posicionamento dos tanques de armazenamento de água pluvial, caso fosse pretendido, estes poderiam ser transferidos para uma outra zona do projeto, podendo a canalização das águas pluviais ser feita através do solo ou diretamente do acabamento da cobertura.

No *Global model*, a parede-pneu apresenta-se ainda como parede estrutural, e é na confrontação a norte que é feita a conexão das vigas dispostas no sentido norte-sul que sustentam a cobertura (no caso de Zwolle através de um sistema treliçado em madeira).

Esta parede, devido ao seu enorme peso e largura, não foi construída assentando em fundações. Estas foram substituídas por um pneu com dimensões maiores que os

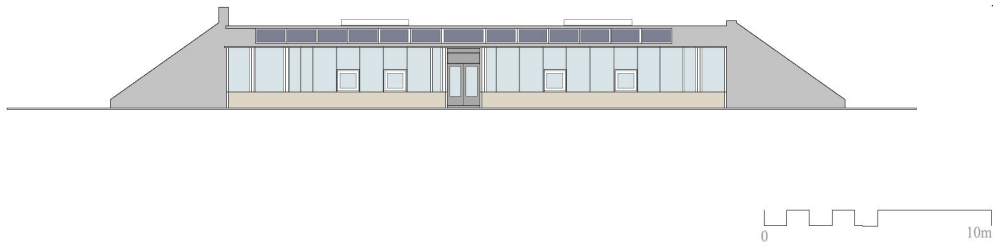


Fig.70_Alçado sul.

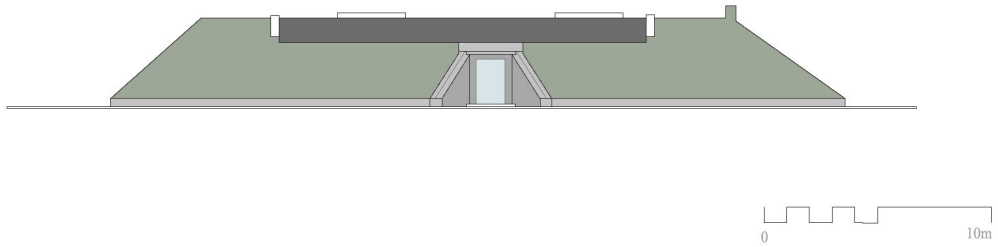


Fig.71_Alçado norte.



Fig.72_Incidência solar às 12h na estação fria.
 14° - ângulo no solstício de inverno
 26° - ângulo intermédio entre o solstício de inverno e o equinócio

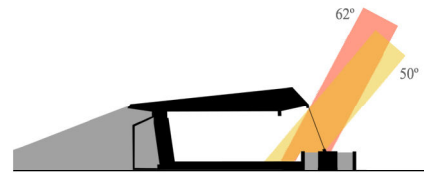


Fig.73_Incidência solar às 12h na estação quente.
 62° - ângulo no solstício de verão
 50° - ângulo intermédio entre o solstício de verão e o equinócio

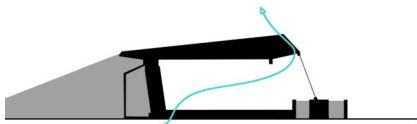


Fig.74_Ventilação natural.

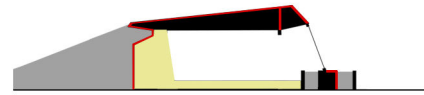


Fig.75_Isolamento e Massa térmica.

utilizados para a construção da parede. No entanto, este caso de estudo foi construído sobre um solo que apresentava características de composição específicas. O solo em Zwolle, como na maior parte da Holanda, é bastante arenoso, o que gera grandes movimentações no local de assentamento. A não construção de fundações sólidas levou ao aparecimento de fendas na parede (fig.87).

Outro dado acerca da ligação com o solo é o não isolamento do contacto entre a base da parede-pneu e o solo. Este método provém mais uma vez do argumento de que a temperatura da terra é estável e que a sua massa pode funcionar como uma enorme “bateria” que atua passivamente em prol do conforto interior durante o verão e o inverno. No entanto, quando analisamos os registos de temperatura⁶⁴ de diversas regiões, percebemos que existem variações significativas da temperatura até um metro e meio de profundidade no solo, nomeadamente entre Portugal e na Europa, o que faz com que esta estratégia resulte numa enorme ponte térmica (a temperatura média do solo em Zwolle é de 9,8°C). Para além disso, dado a parede-pneu ser feita com terra, expõe-se o risco de humidade ascensional, intolerável no que diz respeito à garantia da sua não-toxicidade. O mesmo se pode dizer em relação ao não isolamento do pavimento.

As paredes divisórias interiores estão divididas entre a utilização da técnica da parede-pneu, de vãos envidraçados e de paredes construídas com técnicas de utilização de materiais desperdiçados (garrafas de vidro e latas de alumínio). A utilização da parede-pneu como divisão de espaços acontece neste projeto devido ao posicionamento da zona técnica e de armazenamento. Tendo este espaço de ser obrigatoriamente dissociado da luz solar direta, se fosse encerrado através de um elemento construído com outra técnica construtiva mais leve, seria perdida cerca de

⁶⁴ Apresentados no estudo *Repeated temperature logs from Czech, Slovenian and Portuguese borehole climate observatories*, conduzido pela *Climate of the Past* em 2007.



Fig.76_Fachada sul.



Fig.77_Vista de nascente.



Fig.78_Vista de noroeste.



Fig 79_Fachada norte.

metade da capacidade de armazenamento térmico das paredes-pesadas da construção.

No que concerne a utilização do alumínio e do vidro para a construção de paredes divisórias interiores, as vantagens apontadas são a reutilização dos materiais em fim de vida e a poupança de recursos. Estando hoje em dia os processos de reciclagem do vidro e do alumínio assentes em indústrias limpas, capazes de atingir taxas de reciclagem com valores superiores a 90% e 100% respetivamente, são assim capazes de gerar um saldo energeticamente positivo quando reciclam, mas não quando produzem⁶⁵, não é sustentável a sua utilização para efeitos de construção. Existem assim outras soluções que se podem apresentar como soluções mais viáveis, nomeadamente a parede de alvenaria no caso de Portugal.

Assim, foi sobre esta necessidade que se projetou uma parede-pneu que faz a divisão entre a cozinha e os sanitários, e a zona técnica.

A parede-pneu, tendo uma profundidade de 700mm, quando introduzida no espaço interior, implica uma grande ocupação de espaço que poderia ser útil, para além de ser desperdiçada a sua característica estrutural. Uma outra organização dos espaços interiores poderia apresentar uma solução que não implicasse a construção de uma parede-pneu na divisão de espaços habitáveis, e que assim ponderasse de maneira mais racional o uso de recursos, nomeadamente o isolamento, e o aproveitamento do espaço.

Esta questão da organização do espaço estende-se, no caso da *Earthship Zwolle* em específico, à funcionalidade dos espaços para o uso de uma cafeteria. Jean Jacques Jouret, dono da obra em questão, afirma que “é difícil trabalhar aqui, a separação

⁶⁵ KUIL, Elena, *The sustainability of conventional houses, passive houses and earthships, based on legislation, environmental impact energy and operating energy*, University of Groningen



Fig 80_Vista da estufa e corredor.

entre as zonas de funcionários e de clientes não está suficientemente clara”⁶⁶. Jean, continua referindo que este problema pode estar relacionado com a enorme afluência de visitantes, sobretudo no verão onde é utilizada uma zona de esplanada ao ar livre, que colide com a capacidade de utilização da *Earthship*. Como já referido, o facto de este ter sido o primeiro projeto a experimentar um programa público, e ainda a maneira como foi feito, leva-nos a concluir que a adaptação do programa de habitação para a casa de chá poderia, a nível da organização do espaço, ter sido melhor sucedida.

No sistema do *Global Model* das *Earthships*, a estufa representa um papel fundamental para o processo de ventilação natural. Este elemento é normalmente associado diretamente ao corredor de distribuição, lido em termos energéticos como se fosse um espaço único, e delimitado por dois planos envidraçados, um exterior (que forma a fachada sul) e outro interior (que distingue o espaço habitável).

Situada na frente sul da construção, a inclinação do plano envidraçado exterior é feita segundo o ângulo de incidência dos raios solares às 12h no solstício de inverno (14° para a orientação a sul em Zwolle). Numa orientação a sul, o valor dos ângulos solares às 12h corresponde sempre ao ângulo de incidência perpendicular no objeto segundo o seu azimute. A estufa garante assim, que durante a estação quente (o ângulo solar às 12h no solstício de verão é de 62°), os ganhos solares diretos não ultrapassem a sua zona e a da circulação (fig.73) e que, na estação fria, inundem o espaço interior com a menor perda de energia possível, atingindo a massa térmica contida na parede-pneu (fig.72), que pelo ciclo térmico da terra compactada dos blocos, retém a energia durante o dia e liberta-a à noite, estabilizando a temperatura durante as vinte e quatro horas.

⁶⁶ Em entrevista concedida ao autor em Abril de 2013.



Fig 81_Vista da sala da cafeteria da *Earthship Zwolle*.



Figs.82, 83, 84_Construção da *Earthship Zwolle*.

Funcionando como uma zona-tampão entre o exterior e o interior, a estufa associada ao corredor garante que o ponto que regista a temperatura mais elevada da construção se situe no topo desse espaço. Este dado permite proceder a uma contribuição da climatização de forma direta. Na estação fria, abrindo a ligação do plano de vidro divisório interior, faz-se a transferência do calor produzido pelos elementos vegetais para o espaço habitável.

Na estação quente, o procedimento é o oposto. Procede-se à abertura dessa mesma ligação e de uma segunda situada no plano envidraçado exterior. A existência de canais de ventilação que surgem no pavimento do espaço interior junto à parede-pneu, ao atravessarem o talude de terra no lado norte (fig.85), garantem que o ar que chega ao interior regista uma temperatura bastante mais reduzida do que a do ar exterior exposta ao sol. Assim, a diferença de temperaturas do ar registadas no ponto interior de chegada do ar (junto à parede-pneu) e no topo da estufa é maximizada, o que gera o atravessamento do ar por convecção e pelo interior (fig.74). Este movimento do ar, recolhe o calor retido na massa térmica de forma rápida e eficiente, arrefece a temperatura e faz a renovação do ar.

No entanto, no caso de Zwolle, devido à organização e funcionamento do espaço, a estufa e o corredor estão apenas parcialmente delimitados da zona habitável (fig.80). Esta separação acontece apenas da zona da cozinha e da zona dos sanitários. Fica assim a zona de cafeteria conectada à estufa e corredor, sem nenhum plano que distinga energeticamente os dois espaços, o que por um lado, faz com que a energia produzida pela vegetação se disperse por toda a área útil, e por outro lado, implica a redução da eficácia do movimento de convecção do ar entre as grelhas de entrada de ar do pavimento (fig.86) e as grelhas situadas no topo do corredor que conduzem à saída do ar através de duas grandes chaminés de ar. Neste caso de estudo acontece que, se se abrirem as chaminés de ar em tempos de chuva, entra água para o interior da construção, o que resulta num entrave a um processo eficaz de ventilação.



Fig 85_Canais exteriores de entrada do ar para ventilação (a norte).



Fig 86_Grelhas de ventilação no pavimento da cozinha.



Fig 87_Fendas provocadas pela instabilidade do solo.

Em outras *Earthships* com programa de habitação, este sistema do *Global Model* admite um funcionamento mais correto pois existe um plano envidraçado entre os quartos e o espaço comum da estufa e corredor. No entanto, a eficácia da ventilação é muitas vezes questionada devido à profundidade resultante do espaço da estufa e circulação implicar um volume de ar muitas vezes imenso e desproporcionado, o que torna difícil de conseguir uma diferenciação das temperaturas (ou pelo menos a maximização dessa diferença). Outra consequência desta estratégia é a possibilidade de ligação direta entre os quartos (e a zona habitável) só poder ser feita através de janelas zenitais, pois a norte encontra-se a parede-pneu e a sul a zona de circulação.

Para uma maior eficiência e controlo energético, o espaço da estufa deveria, na *Earthship Zwolle*, ser diferenciado do corredor, assegurando assim um maior controlo sobre a sua eficiência, resultando num melhor processo de climatização e ventilação.

A estufa, através dos elementos vegetais, tem ainda a opção de produção de alimentos. Neste projeto é utilizada para o cultivo de algumas plantas de chá que são posteriormente confeccionadas e fazem parte do serviço prestado pela casa de chá.

Quanto à ventilação dos espaços intersticiais, como a cozinha, esta revela-se difícil de conseguir e Jean Jacques Jouret dá conta de um sobreaquecimento⁶⁷. Em primeiro lugar porque o atravessamento do ar em direção à frente sul é dificultado pelos planos que a separam do corredor pois estes não possuem as ligações adequadas, e ainda devido ao facto dos equipamentos de cozinha produzirem bastante calor no seu funcionamento, o que numa fase projetual, deveria requerer

⁶⁷ Em entrevista concedida ao autor em 2013.

uma atenção extraordinária às condições de ventilação e arrefecimento.

Em relação aos canais de ventilação que fazem a entrada de ar através do talude a norte, numa possível construção sem talude de terra, como sugerido anteriormente, a canalização do ar poderia ser feita diretamente através da parede-pneu. Estando esta situada a norte, todo o ar que circula no seu exterior estaria à sua sombra, o que garantiria igualmente a diferença de temperaturas necessária à convecção do ar. A diferença do ar poderia ainda ser aumentada com estratégias de colocação de canais de água (visto a água da chuva ser coletada nesta direção) junto à ligação do ar exterior na parede norte para efeitos de arrefecimento evaporativo. No entanto, o sucesso desta solução dependeria das condições climáticas específicas do local como os valores da humidade do ar.

É ainda de salientar o esquema de funcionamento geral proposto pelo *Global Model* bem como nas *Earthships* em geral. A água pluvial coletada nos depósitos de água através da cobertura é, depois de filtrada e preparada para o uso de consumo humano, distribuída e usada para todas as finalidades domésticas exceto nas descargas sanitárias. Depois desta utilização, tornando-se água cinzenta, é novamente filtrada e dirigida através de um canal que atravessa a parte inferior da estufa e diversas camadas de materiais rochosos. Aqui, pela ação das plantas e bactérias a água é oxigenada e filtrada reduzindo a sua carga nutricional, alimentando os elementos vegetais que fazem a estufa funcionar. Sendo direcionada para um tanque de armazenamento, esta água é utilizada para as descargas sanitárias, tornando-se finalmente água preta. O modelo propõe ainda a construção de um tanque cético que, através de processos anaeróbicos, prepara a utilização da água para irrigação de vegetação no exterior. Este sistema consegue um efeito notável de redução em 80% do consumo de água de uma habitação quando



Figs. 88, 89, 90, 91_Pormenores de composição de materiais em paredes e pavimentos.

comparado a um sistema sem aproveitamento de águas pluviais⁶⁸, sem contar com a irrigação de todos os elementos vegetais que acontece nas *Earthships*. Este sistema foi construído em Zwolle. No entanto, devido à legislação holandesa, de todo este sistema, apenas o uso destinado à rega das estufas e às descargas sanitárias é permitido, o que leva a reponderar, tanto a viabilidade de instalação deste sistema, como a própria legislação.

A casa de chá está ainda equipada com um painel solar térmico e doze painéis fotovoltaicos que fornecem a energia elétrica necessária a toda a iluminação e a alguns equipamentos elétricos.

Por fim, considerando a expressão arquitetónica das *Earthships*, não existem propriamente regras ou dogmas instituídos. Pelo menos teoricamente. Segundo a *Biotecture*, a expressão arquitetónica que o modelo procura resume-se em grande parte às consequências do pleno funcionamento de todos os elementos que a compõem, e que permitem que seja feita uma nova proposta de relação entre o homem e o mundo natural através da arquitetura das *Earthships*. No entanto, quando analisamos os diversos projetos construídos sobre o modelo *Earthship*, encontramos uma expressão comum, certamente devido a partirem quase sempre dos mesmos arquitetos criadores. Essa expressão é muitas vezes excessivamente complexa e exaustiva, pela quantidade de emoções diferentes que transmite. Em diversos elementos, sobretudo decorativos, encontra-se uma vontade de atribuir uma identidade própria a cada conjunto (individualmente muitas vezes interessante), mas sem no geral existir uma ligação entre as suas expressões que reflita o espaço como um todo. Isto acontece desde as cores escolhidas, às proporções, à maneira como são pensados e à natureza dos materiais. Esta visão de

⁶⁸ Micahel Reynolds em seminário em Estocolmo, na Suécia em 2011.



Fig 92_Pneus deixados à vista na “janela da verdade”.

composição do espaço é acentuada quando se utilizam os materiais não convencionais. Há uma necessidade de exibir a sua utilização, que ultrapassa muitas vezes justificações estéticas. Da mesma maneira que parece haver uma renúncia obstinada para com os materiais convencionais; os vidros, alumínio, pneus e azulejos partidos são muitas vezes deixados à vista não por motivos de opção do valor estético neles encontrado, mas por um desejo de serem dizerem ali por um ato de rebeldia, enquadrando toda esta coerência numa corrente de contracultura, quase como se de uma questão de orgulho se tratasse.

Nas *Earthships*, como acontece ao longo da maioria dos projetos construídos com materiais naturais ou não convencionais, é deixada (por mera opção de expressão) uma “janela da verdade” onde se pode observar parte da composição da parede (fig.92). Na *Earthship Zwolle* esta “janela” é central no espaço de cafeteria interior e em parte resume o significado encontrado no valor da expressão arquitetônica das *Earthships*.

2.1.2 – CONSIDERAÇÕES SOBRE O *EARTHSHIP GLOBAL MODEL*

A análise crítica feita sobre este caso permitiu-nos perceber o enquadramento da técnica construtiva da parede-pneu na sua prática. Partindo dos bons resultados obtidos pelo *Global Model*, neste subcapítulo procurou-se identificar e sintetizar os pontos menos positivos do funcionamento da parede-pneu e das estratégias que estão associadas ao seu funcionamento. Através deles, podemos retirar diversas conclusões sobre quais os fatores que podem ser alterados no sentido de abrir o leque de opções em que esta técnica pode intervir e da maneira como o faz, bem como do desenvolvimento dos padrões a que a sua eficiência se propõe responder.

Podemos ainda afirmar que muitas destas alterações passíveis de serem feitas, têm a sua origem no próprio conceito de universalidade que este modelo propõe. A ideia de M. Reynolds de que “precisamos de conceber uma habitação global”, capaz de apresentar uma solução universal para o modo de habitar, colide com toda a lógica de entendimento do lugar físico enquanto local específico, onde as condições climáticas, são também elas específicas. É no transporte linear de uma só ideia que o modelo falha e que acumula problemas característicos de cada lugar. Sobre este fator de análise, as *Earthships* falham exatamente nos mesmos pontos em que o *International Style* falhou, agora por outros motivos, por sinal os mesmos que, maioritariamente e ironicamente, estão na base da sua criação – os climáticos.

No que diz respeito aos parâmetros analisados da relação entre os princípios passivos do *Global Model* e o funcionamento da parede-pneu, podemos concluir que os seguintes aspetos podem ser melhorados:

- o talude de terra situado a norte e a terra compactada entre a parede-pneu e o isolamento podem ser excluídos, sem prejuízo maior da eficiência energética, pois representam uma enorme ocupação de área útil e;

- a construção da parede-pneu deve ser feita, no caso de Portugal, sem inclinação (na vertical) e o isolamento associado diretamente à parede;
- a entrada do ar para a ventilação passiva e remoção do calor acumulado na parede-pneu deve ser feita junto à parede, a norte;
- a utilização da parede-pneu no espaço interior levanta problemas a nível de organização do espaço e do aumento do consumo de recursos materiais (nomeadamente o isolamento) e laborais;
- para efeitos de melhoria do controlo térmico direto e da ventilação, o espaço da estufa associada à parede-pneu pode ser fisicamente limitado do espaço do corredor, permitindo assim uma maior contenção e manejo da energia processada dentro e através da estufa;
- os espaços interiores sem conexão direta com a estufa não devem ser estanques, e permitir ao máximo a movimentação do ar entre as grelhas de entrada de ar e a estufa;
- como prevenção de instabilidade estrutural e da criação de pontes térmicas indesejadas, a parede-pneu deve ser assente em fundações contínuas de betão devidamente isoladas, bem como o pavimento.

Por fim, resta dizer que nenhuma decisão relativa à expressão arquitetónica se deve sobrepor à questão da salubridade crítica do espaço e que nem a maior das paixões pelo pneu enquanto material reutilizado pode justificar que este fique à vista no espaço interior (fig.92) e se imponha assim à garantia de salvaguardar a saúde humana.

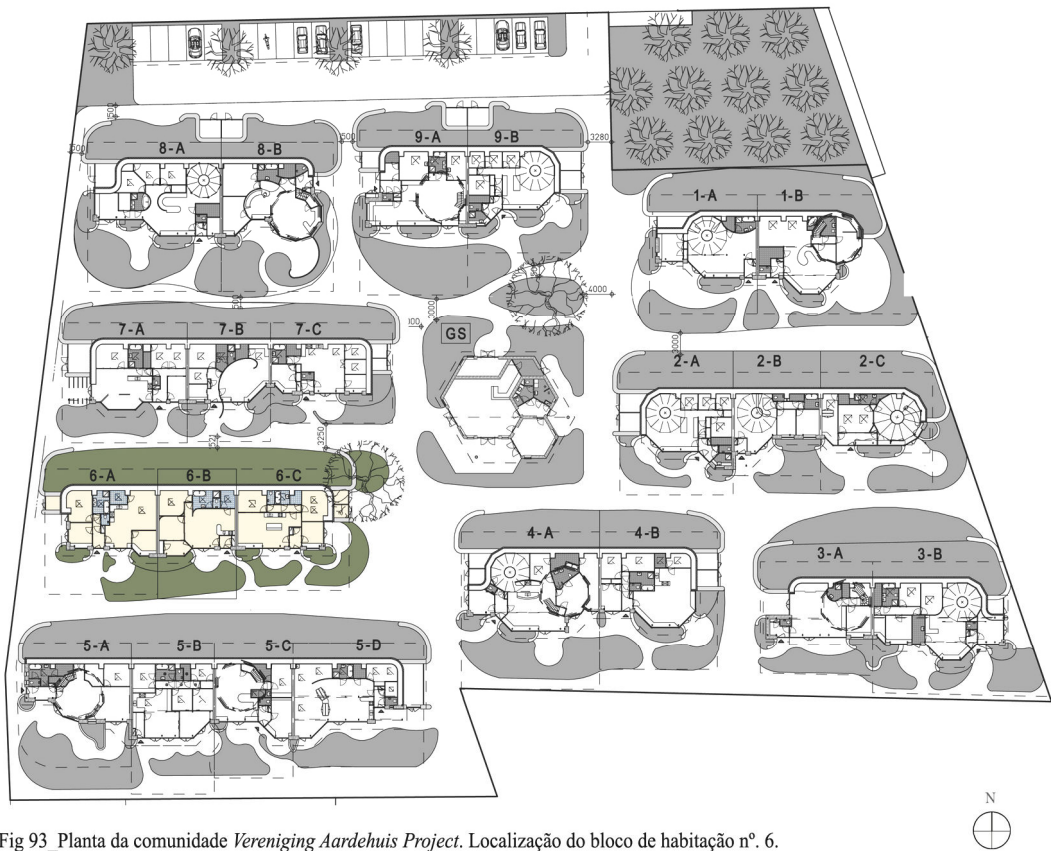


Fig 93_Planta da comunidade *Vereniging Aardehuis Project*. Localização do bloco de habitação nº. 6.



Fig 94_Visualização. Vista aérea sudoeste da comunidade *Vereniging Aardehuis Project*.

2.2 – EARTHSHIP HÍBRIDA

O *Vereniging Aardehuis Project* (2012-), desenhado pelo *atelier ORIO Architecten*, é um projeto de um complexo residencial ainda em construção em Olst, na Holanda e é constituído por um centro comunitário e por 23 habitações unifamiliares, distribuídos em 9 blocos de habitação. A escolha deste projeto como caso de estudo deve-se à variação da aplicação da parede-pneu como técnica construtiva e à nova relação que esta estabelece com outras estratégias do desenho solar passivo. Pela maneira como este projeto apresenta as suas estratégias, repensa e põe em causa parte da metodologia utilizada no *Global Model* da *Biotecture* e sugere novos expedientes, podemos encontrar algumas variações nas relações entre a parede-pneu e algumas opções passivas e ativas.

Trata-se de um projeto que, à data de elaboração deste trabalho, está em fase de conclusão (apenas falta concluir dois dos dez blocos projetados) e, nesta medida, reflete o mais recente estado de arte da alternativa à proposta de utilização da parede-pneu dada pelas *Earthships*.

Todo o complexo foi desenhado utilizando o mesmo sistema construtivo e as mesmas soluções de projeto com exceção do centro comunitário onde não foi seguido o princípio da massa térmica nas paredes (as paredes exteriores foram construídas com a técnica *straw-bale*). Como tal, é apresentado o estudo de apenas um bloco de habitação, que serve de referência a todos os outros. De seguida é apresentada uma análise às opções de projeto que deram origem às alterações mais significativas ao funcionamento da parede-pneu. Esta análise é feita, numa lógica não só de comparação, mas também de complemento da informação retirada da análise do caso de estudo anterior, segundo os mesmos parâmetros de análise.

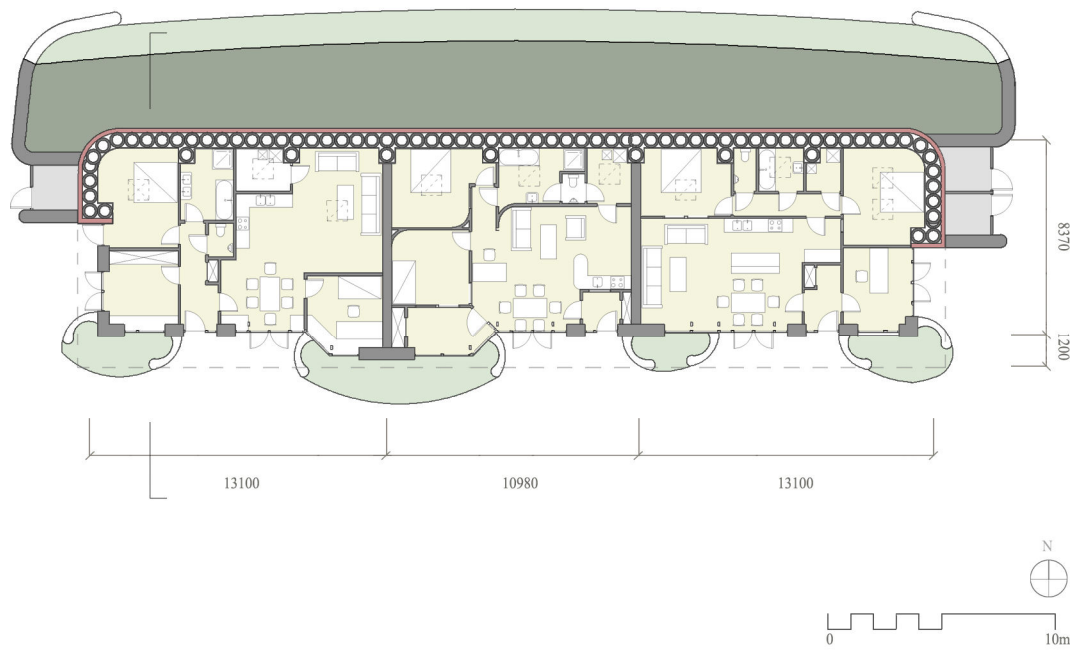


Fig.95_Aardehuis Veerniging Project - Planta do piso térreo.

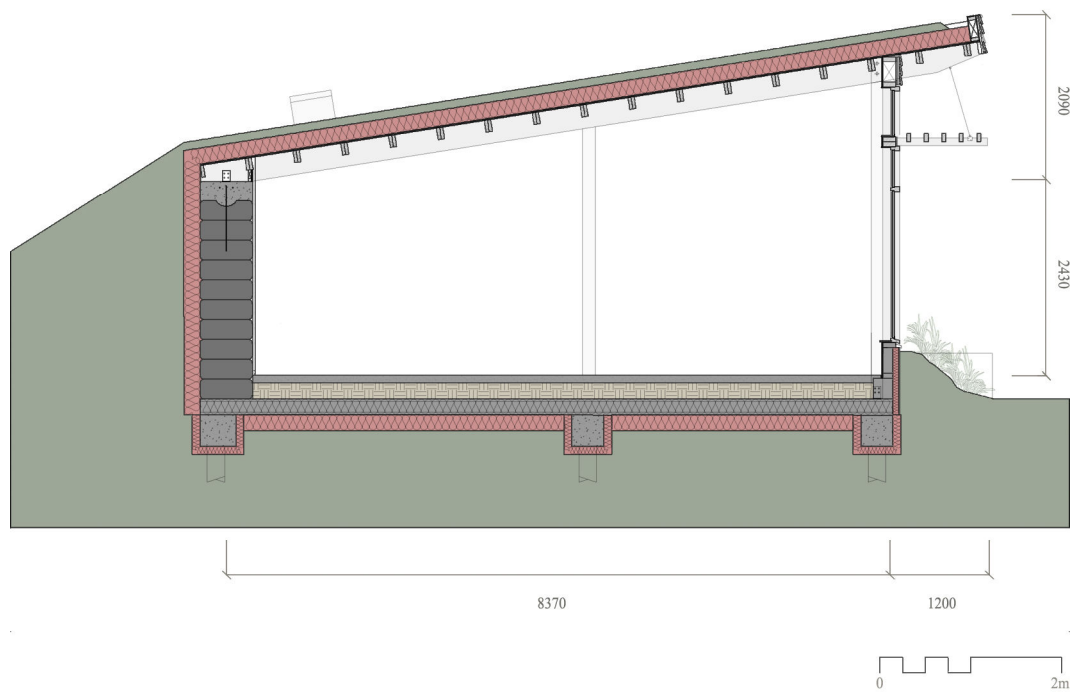
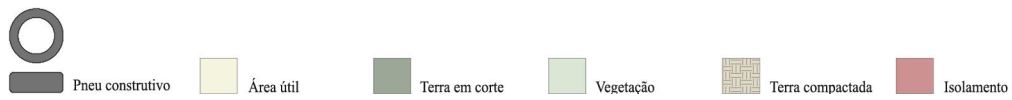


Fig.96_Aardehuis Veerniging Project - Corte.



2.2.1 - A PAREDE-PNEU NO *VERENIGING AARDEHUIS PROJECT*

O bloco em análise ao longo deste subcapítulo é o Bloco 6, com cerca de 330 m², que compreende três habitações unifamiliares distintas (6A, 6B e 6C). A organização do espaço interior de cada habitação compreende o *hall* de entrada, quartos, sala comum e cozinha, casa de banho, escritório e zona técnica. Existem ainda três zonas exteriores destinadas a zonas técnicas (armazém de baterias solares).

O bloco é orientado transversalmente sobre o eixo norte-sul e a fachada norte encontra-se totalmente encerrada por um talude de terra. A cobertura ajardinada acompanha o declive do talude e nela encontram-se três chaminés de extração de ar (associadas às cozinhas) e onze janelas zenitais responsáveis pela iluminação e ventilação natural dos espaços interiores situados a norte (quartos, casas de banho e zonas técnicas). Os restantes espaços (*hall* de entrada, sala e cozinha e escritório) encontram-se associados à fachada sul. A maioria do ganho solar é feito através da fachada sul, embora as fachadas nascente e poente possuam uma ligação com o exterior que permite também algum ganho solar direto.

Não existindo um corredor principal de distribuição dos espaços, e sendo este um projeto de habitação, a profundidade adotada neste projeto (8370mm e 9370mm) implica que haja inúmeros planos divisórios interiores. Embora alguns desses planos sejam envidraçados com possibilidade de abertura, este facto resulta em espaços (quartos e casas de banho) que têm a sua ventilação e iluminação dependente em grande parte da janela zenital a que estão associados, o que poderá levantar questões acerca da salubridade e qualidade dos mesmos.

Neste projeto, a parede-pneu faz a confrontação com o talude terra sem interrupções e é utilizada como muro de sustentação. No entanto, esta é construída verticalmente. Como solução para a compensação das cargas exercidas pelo talude na parede, foram dispostas “colunas” de pneus construtivos associadas à parede-pneu, que se



Fig.97_Alçado sul.

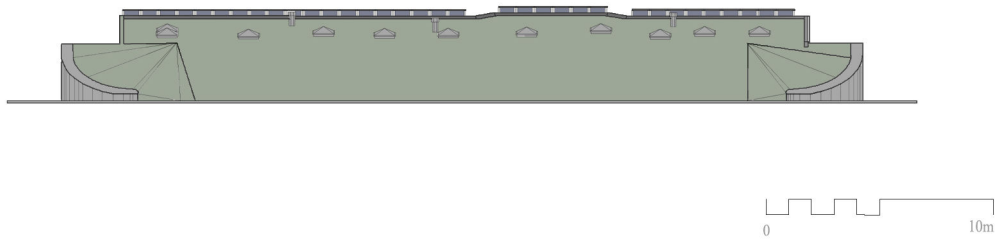


Fig.98_Alçado norte.



Fig.99_Incidência solar às 12h na estação fria.
 14° - ângulo no solstício de inverno
 26° - ângulo intermédio entre o solstício de inverno e o equinócio

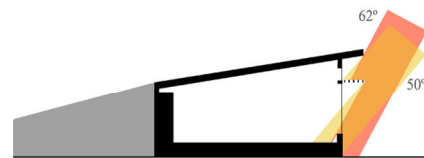


Fig.100_Incidência solar às 12h na estação quente.
 62° - ângulo no solstício de verão
 50° - ângulo intermédio entre o solstício de verão e o equinócio

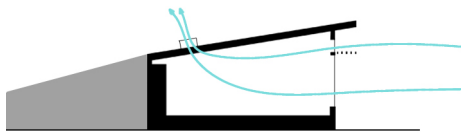


Fig.101_Ventilação natural.

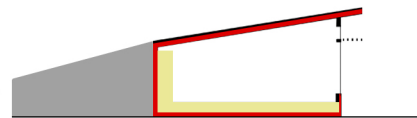


Fig.102_Isolamento e Massa térmica.

posicionam no espaço interior. Em outros projetos de *Earthships Híbridas*, esta estabilização é feita segundo a mesma lógica mas utilizando o betão armado.

Esta opção, aliada a um posicionamento dos depósitos de água que não se situa enterrado no talude, reduz assim a importância da função do talude de terra, passando esta a ser unicamente um método de evitar o contacto direto entre a parede-pneu (e o respetivo isolamento) e o espaço interior. Torna-se então plausível concluir que, mediante outras condições de projeto, do ponto de vista do equilíbrio entre o aproveitamento do espaço e a função térmica que o talude de terra exerce, este pode ser considerado um elemento dispensável do projeto.

A viga de amarração da parede pneu é, neste projeto, feita em toda a profundidade da parede e é nela que são conectadas as rótulas de ligação das vigas de madeira que sustentam a cobertura.

Devido à instabilidade e ao elevado nível freático do solo, o assentamento da parede-pneu e de toda a construção foi feito segundo uma abordagem diferente do caso de estudo anterior. Foram construídas fundações contínuas de betão armado ao longo de todo o perímetro da construção e das paredes divisórias interiores. Sobre as fundações foi utilizado um sistema construtivo chamado *Combinatievloer*, que se assemelha às lajes aligeiradas. Este sistema consiste na disposição de vigotas de betão armado que vencem todo o vão da construção (dispostas paralelamente segundo o eixo norte-sul). Nos espaços intersticiais são colocadas peças de EPS (com o topo côncavo) semelhantes às abobadilhas cerâmicas na sua forma, mas que fazem também o contorno da vigota pela parte inferior, eliminando assim as pontes térmicas. Sobre o EPS é armada uma camada de betão numa rede do tipo *malhasol*. Este sistema permite o isolamento completo da construção, sem quaisquer pontes térmicas ou pontos que possibilitem a humidade ascensional. A parede-pneu foi construída sobre a camada de betão armado e o isolamento foi feito pelo exterior diretamente associado à parede. Na zona do pavimento foi utilizado um enchimento com terra compactada para efeitos de densificação mássica, onde posteriormente



Fig. 103_ Fundações do bloco nº4.



Fig. 104_ Parede-pneu em construção.



Fig. 105_ Fachada sul em construção.



Fig. 106_ Interior em construção.



Fig. 107_ Visualização do bloco nº7.

assenta uma camada de betonilha armada e sobre esta finalmente o pavimento.

A abordagem construtiva é então diferente do caso de estudo anterior, tendo sido teoricamente resolvidos os problemas de instabilidade do solo e de transferências térmicas não desejadas derivadas da conexão sem isolamento entre o espaço interior e o solo.

Quanto às paredes que dividem as habitações entre si, estas foram construídas recorrendo à construção em taipa. Segundo Niels Kloppenburg⁶⁹, supervisor da obra, a não utilização da parede-pneu em substituição da parede em taipa deveu-se à altura elevada que a parede precisaria de vencer, cerca de três metros sem apoios nem interrupções. Devido à falta de experimentação da técnica nestas situações, para tal acontecer, teriam sido obrigatórios uma investigação e um cálculo extraordinários.

Quanto aos restantes elementos divisórios, estes foram construídos segundo técnicas de construção distintas. Para o isolamento e preenchimento dos segmentos opacos que complementam o grande plano envidraçado a sul foi utilizada a construção em straw-bale, que garantem uma troca de energia mínima entre o exterior e o interior. Nas restantes divisões foram utilizadas paredes-leves com estruturas e revestimentos convencionais em madeira, que permitiram uma flexibilização e organização do espaço de maneira mais autónoma.

A razão da não utilização da estufa prende-se sobretudo com uma opção de controlo dos custos da obra. Niels refere-se a ela dizendo que “é cara não tenho a certeza de que ela funcione tão bem como Reynolds diz funcionar”⁷⁰. Assim, a estratégia de ventilação e climatização da estufa é repensada e substituída. O sombreamento dos

⁶⁹ Em entrevista concedida ao autor em 2013.

⁷⁰ Em entrevista concedida ao autor em 2013.

ganhos solares diretos de verão é garantido através do prolongamento de um metro da cobertura (em balanço) e de uma pérgola em madeira situada um pouco mais abaixo.

A ventilação, que é feita de sul para norte, é feita diretamente através do único plano envidraçado (vertical) situado na fachada sul, que estabelece assim ligação com as janelas zenitais e com as chaminés de ventilação da cobertura.

As paredes divisórias dos quartos e casas de banho paralelas à fachada sul, têm no seu topo um plano envidraçado que garante que os raios solares na época fria incidam diretamente sobre a parede-pneu, fazendo assim um uso da massa térmica através de ganhos diretos. No entanto, a profundidade escolhida para este desenho, a introdução de divisões interiores isoladas e a organização dos espaços, parece resultar numa não maximização do efeito de controlo térmico passivo possível de alcançar. Sendo a incidência solar direta na parede-pneu bastante diminuída devido a estas opções, podemos concluir que grande parte da massa térmica que atuará no controlo térmico passivo será a massa térmica secundária, bastante menos eficaz quando comparada com a primária.

Relativamente ao sistema energético ativo do bloco, este conta com painéis solares fotovoltaicos para a produção de energia elétrica, instalados e a funcionar no local desde o início e para a obra. A extração e purificação da água é feita através de um equipamento comum da comunidade (furo), a partir do qual é tratada e distribuída a água potável para cada bloco residencial. O projeto encontra-se no entanto conectado com a rede pública de distribuição de águas, salvaguardando um eventual período de emergência. O mesmo acontece com a rede elétrica pela produção no local de energia elétrica através de painéis fotovoltaicos.

Quanto à expressão arquitetónica, é de salientar no projeto, do ponto de vista da coerência, a proposta feita ao conjunto enquanto elemento urbano e a capacidade de utilização dos materiais do ponto de vista do seu comportamento energético e impacto ambiental.

2.2.2 – CONSIDERAÇÕES SOBRE A *EARTHSHIP HÍBRIDA*

A análise feita sobre este caso de estudo permitiu-nos entender qual a alternativa no estado de arte da aplicação da parede-pneu à proposta que domina a sua utilização atualmente, o *Global Model*, apresentado no primeiro caso de estudo. A partir dela, é possível retirar alguns aspetos da lógica com que é utilizada, como melhoramentos construtivos que podem ser feitos à parede-pneu que refletem novas possibilidades de organização do espaço, de utilização em simultâneo com outras técnicas e materiais, assim como das estratégias a que esta se associa para a utilização da sua massa térmica. Estas possibilidades são na verdade ferramentas capazes de abrir novas direções para o desenvolvimento da utilização da técnica em estudo no desenho solar passivo.

Embora fosse vantajoso obter resultados concretos do comportamento térmico da parede-pneu para este projeto, nomeadamente registos de temperaturas interiores, podemos ainda assim concluir que:

- é possível integrar a técnica da parede-pneu em sistema com diferentes estratégias, técnicas e materiais construtivos;
- se for eliminado o talude de terra, a parede-pneu for construída na vertical e o isolamento pelo exterior lhe for diretamente associado, podem ser retiradas as colunas de compensação das cargas do talude. O resultado é o aproveitamento máximo da área útil do solo, minimizando-se assim uma das condicionantes do contexto favorável à aplicação da parede-pneu;
- se a construção for assente em fundações contínuas e o pavimento dissociado por isolamento do solo, alcança-se uma maior estabilização da construção e um maior controlo sobre o comportamento térmico do espaço interior,

- o dimensionamento da profundidade do edifício deve ser tido em conta com o programa a que está associado para que se obtenham uma correta exposição solar e uma correta ventilação natural;
- a inserção de elementos divisórios no espaço interior necessita de uma estratégia adequada para a correta obtenção da energia solar por ganhos diretos;
- a inserção de janelas zenitais deve ser evitada, pois conduz potencialmente a trocas de energia não desejáveis;
- se o elemento estufa não for utilizado, pode ser obtido um ganho solar correto através de balanceamentos da cobertura sobre a fachada sul e à inserção de elementos de sombreamento exteriores. Sendo para isso necessária uma atenção especial dada aos graus de incidência solar nos solstícios;

Por fim podemos ainda referir que a ventilação pode ser feita de norte para sul através da fachada e de janelas ou grelhas zenitais, embora neste caso a eficácia seja menor tendo em conta a temperatura mais elevada de entrada do ar da direção dos ventos dominantes no verão e no inverno;

2.3 – CONSIDERAÇÕES SOBRE OS CASOS DE ESTUDO

Através da contextualização da origem e evolução da parede-pneu na primeira parte do capítulo, criaram-se condições para se proceder às análises realizadas sobre os casos de estudo.

Sendo os dois projetos diferentes, ambos têm em comum o entendimento do projeto de arquitetura como sistema dinâmico, fazendo uso o desenho solar passivo como método e integrando como estratégia passiva a utilização de massa térmica através da parede-pneu. No entanto, fazem-no de maneira diferente, o que nos permite afirmar que a metodologia do desenho da parede-pneu não é, nem deve ser, um elemento estático e definido do projeto. Estas análises são úteis na medida em que identificam, sobre parâmetros definidos à partida, os pontos suscetíveis de serem modificados, apresentados nas conclusões de cada caso de estudo, para que se possa proceder ao desenvolvimento da técnica da parede-pneu.

É ainda de salientar a aproximação dos valores da proporção que ambos os projetos apresentam da relação entre o vão a sul por onde são feitos os ganhos solares e a profundidade do objeto. Esta proporção (1:2,4 na *Earthship Zwolle* e 1:2,3 no *Vereniging Aardehuis Project*) estabelece uma altura de incidência solar às 12h do solstício de inverno na parede-pneu, que é tomada como referência para o Projeto da Pousada da Juventude em Salreu no capítulo seguinte.

Não obstante estes projetos utilizarem a parede-pneu, as conclusões retiradas ao longo deste capítulo podem potencialmente ser utilizadas para o desenvolvimento do desenho solar passivo com aplicação de outras técnicas construtivas.

No sentido de melhorar o funcionamento e a eficiência da técnica da parede-pneu através de alterações concretas no seu funcionamento e nas estratégias que lhe estão associadas, estão agora reunidas as condições para se testar de forma prática a investigação que até aqui se desenvolveu.

3 – PROJETO DA POUSADA DA JUVENTUDE EM SALREU

O projeto de arquitetura presente neste capítulo surge como resposta aos objetivos e questões equacionados e explorados ao longo da dissertação. Como referido anteriormente, este projeto insere-se no Plano de Reordenamento do Território da Ria de Aveiro, desenvolvido em âmbito académico na disciplina de Projeto V do Mestrado Integrado em Arquitetura da Universidade de Coimbra em 2013, que serve de contexto ao projeto da Pousada da Juventude e que é de seguida brevemente apresentado.

O concelho de Estarreja, ao qual Salreu pertence e onde se situa o projeto, encontra-se, quanto às características económicas, posicionado de forma estratégica no quadro de desenvolvimento nacional, contribuindo para o desenvolvimento do setor secundário e consequentemente do setor terciário. A nível de mobilidade, o concelho localiza-se no ponto de convergência dos eixos norte-sul (A1e A29) com o eixo que estabelece a ligação a Espanha (A25), e é ainda atravessado pela estrada nacional N109 que faz a ligação a Aveiro. A linha ferroviária que atravessa o concelho (Linha do Norte) e que faz a ligação entre Lisboa e Porto, foi um importante fator de crescimento do concelho e faz uma divisão clara entre o espaço urbano e o biótopo da Ria de Aveiro.

A estratégia deste plano parte da consolidação da linha de comboio como limite entre a zona urbana e a zona húmida. Assim, pretende-se simultaneamente proteger e fazer um melhor aproveitamento da zona húmida da Ria, espaço de riqueza e diversidade biológica únicas e reconhecidas, tornando-a no espaço legítimo de atenção principal da região.

Tal é conseguido por um lado através de programas pontuais de âmbito de exploração ambiental, agrícola e cultural que se articulam com os pontos de atravessamento da linha férrea, definidas como “Portas da Ria” e que coincidem com os esteiros e inícios dos percursos pedonais da zona húmida já existentes,

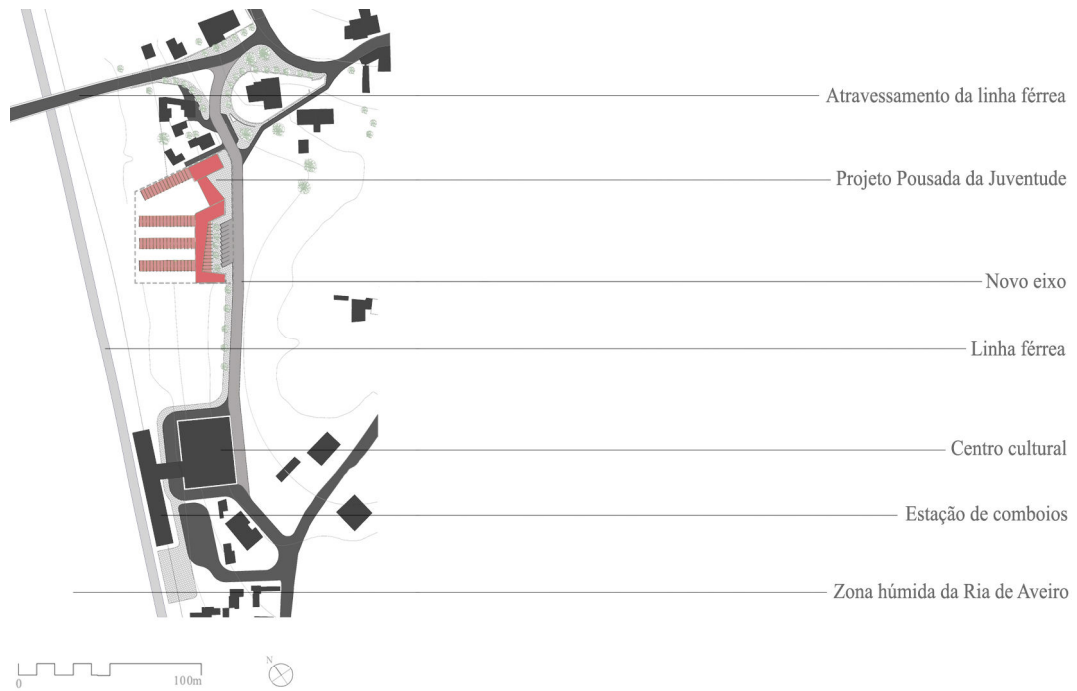


Fig.108_Planta de implantação.

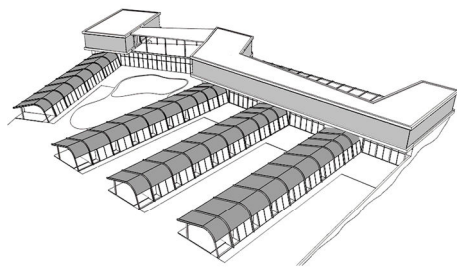


Fig.109_Comportamento solar anual e ventos dominantes.

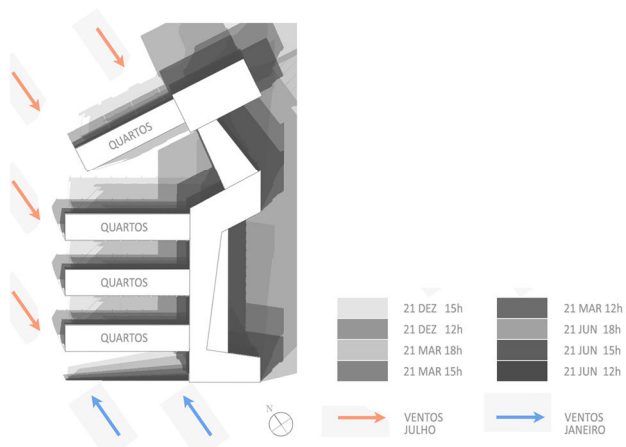


Fig.110_Comportamento solar anual e ventos dominantes.

denominados percursos da *Bioria*. Por outro lado o plano prevê a densificação e consolidação da malha urbana existente de forma controlada, numa lógica de continuidade e que assenta no desenvolvimento e melhoramento das infraestruturas de mobilidade.

Junto ao esteiro de Salreu, onde se situa o projeto desta dissertação, foi identificado um problema na ligação entre a estação de comboios (potencial ponto de chegada dos visitantes da Ria) e a “Porta da Ria de Salreu”. Embora situadas apenas a 700 metros uma da outra, a sua ligação é feita de forma indireta, obrigando a subida ao centro de Salreu (onde passa a N109) para posteriormente se fazer a descida até ao ponto pretendido. De forma a resolver esta situação, foi traçado um novo eixo viário que reduz a distância da ligação para mais de metade, fazendo-o a uma cota constante. O eixo tem a direção norte-sul e é no lado poente que é prevista a Pousada da Juventude, que vem responder à necessidade de criação de capacidade hoteleira do plano. O projeto foi desenhado num terreno com funções pré-existentes agrícolas e os seus limites foram estabelecidos pelas confrontações pré-existentes da parcela.

O projeto funciona essencialmente em duas cotas distintas. É composto por um volume principal de dois pisos que faz a ligação entre as duas cotas e onde se situam serviços e espaços comuns. O primeiro piso (térreo) faz a confrontação com a rua e o piso inferior (semienterrado) estabelece a ligação entre os quatro volumes de um piso que se projetam na direção da Ria de Aveiro e onde se situam os quartos. No piso inferior existe ainda uma piscina natural exterior.

Para os efeitos de utilização da energia solar pretendidos, a disposição feita dos volumes dos quartos prevê a não obstrução dos ganhos solares entre os volumes, garantindo que no solstício de inverno as sombras se projetem apenas nos espaços intersticiais exteriores, como mostra a figura X.

A parede-pneu é utilizada no piso inferior do volume principal como parede de sustentação e nos volumes dos quartos.

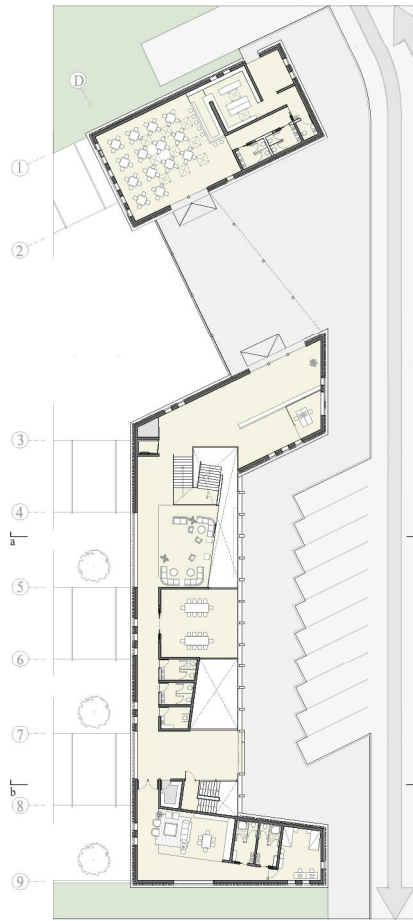


Fig.111_Planta do piso térreo.

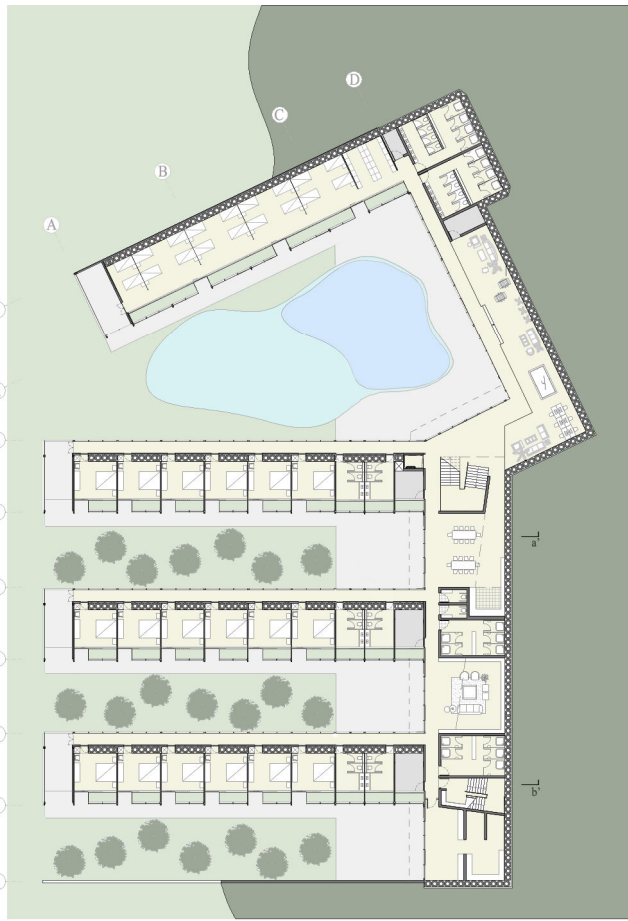


Fig.112_Planta do piso -1.

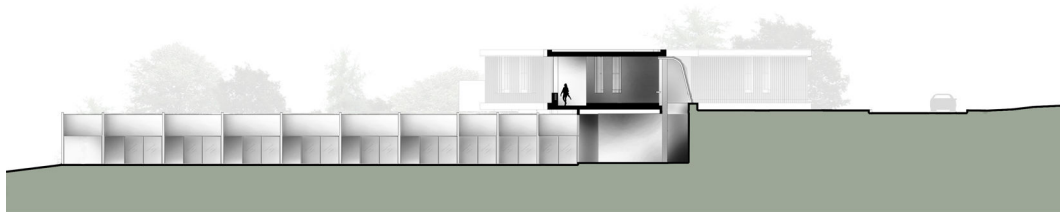


Fig.113_Corte aa'.

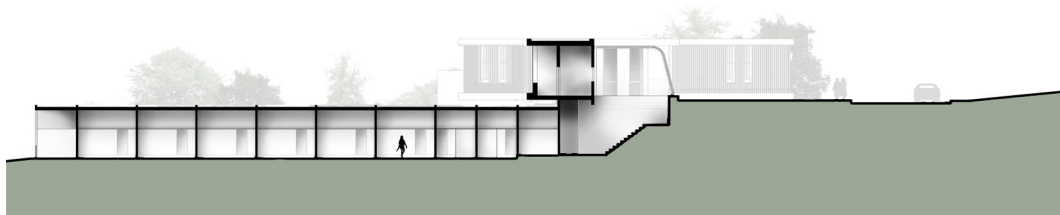


Fig.114_Corte bb'.

O local onde se insere o projeto permite uma maior utilização de área de implantação por parte da parede-pesada sem que isso represente condicionamentos significativos ao projeto. A construção do projeto não ultrapassa os dois pisos em altura e todo o desenho da parede (em planta, em corte e nos seus esvencimentos) é modelado de acordo com a dimensão dos seus blocos construtivos da parede-pneu. Este projeto reúne portanto as condições definidas no Capítulo 1 para o contexto específico onde a utilização da parede-pneu é, de entre as técnicas e materiais que constituem o conjunto de paredes-pesadas, a mais vantajosa.

Para a análise do seu funcionamento e das restantes opções de projeto que se apresentam de seguida, é dada especial atenção aos volumes dos quartos, tendo sido para isso selecionado um dos volumes, que serve de referência para os restantes.

Esta análise é feita de acordo com os mesmos parâmetros estipulados para os casos de estudo. São eles: a organização e distribuição do espaço, a orientação solar, o uso e funcionamento da parede-pneu, as fundações, o pavimento, o isolamento, as paredes interiores, a estufa, os processos de aquecimento e de ventilação natural e por fim outros sistemas ativos e passivos do projeto.

3.1 – A PAREDE-PNEU NA POUSADA DA JUVENTUDE DE SALREU

O volume em análise ocupa uma área de cerca de 285 m² e é composto por módulos definidos pelo ritmo da estrutura. O seu espaço interior está organizado segundo a zona do corredor de circulação e distribuição, por seis quartos duplos, zona de vegetação interior (estufas), zona de sanitários, zona técnica e no topo um terraço exterior.

Ao contrário do que vimos no modelo das *Earthships*, o espaço de circulação não foi colocado a norte. Esta opção permite por um lado uma conexão direta entre os quartos e o exterior, e por outro, funciona como uma zona térmica intermédia entre a parede-pneu e o espaço exterior, substituindo assim o talude de terra no que diz respeito a essa função, aproveitando assim o espaço através de área útil.

Em relação à orientação do volume, pela adaptação que é feita às condições de exposição solar de Portugal, este aspeto merece algumas considerações.

Como vimos anteriormente, no processo de captação de energia segundo os métodos do desenho solar passivo com a utilização de paredes-pesadas, é essencial que haja ganhos diretos na parede (na estação fria) para que possa ser maximizada a sua ação. Com uma orientação a sul, a proporção entre a altura do vão por onde entram os ganhos solares e a profundidade do espaço torna-se um dado fundamental. Nos exemplos dos casos de estudo, esta proporção é de 1:2,4 na *Earthship Zwolle* e de 1:2,3 no *Verniging Aardehuis Project*. Do ponto de vista da exposição solar, a utilização destas proporções é correta na cidade de Zwolle, na Holanda, para a latitude N.52°.

No caso de Portugal, esta proporção altera-se significativamente. Para a latitude N.41° (Estarreja), o ângulo de incidência solar às 12h no solstício de inverno (27°) é bastante superior quando comparado com Zwolle (14°). Isto significa que se admitirmos a mesma altura de incidência solar na parede no solstício de inverno utilizada pelos casos de estudo, a proporção em Estarreja (entre a altura do vão por

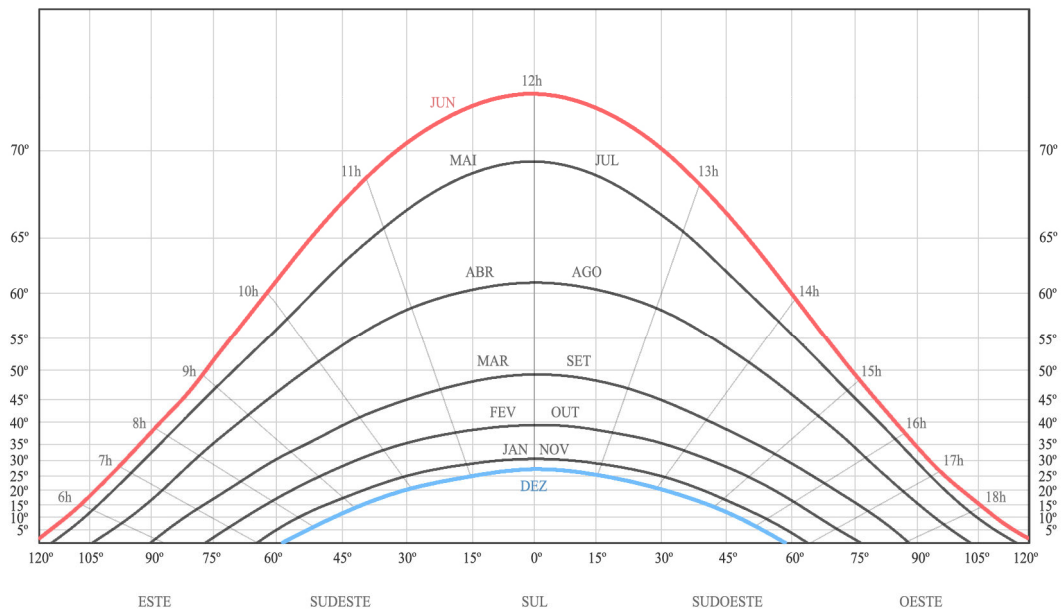


Fig.115_Diagrama de alturas solares para a latitude N.41° (Estarreja).

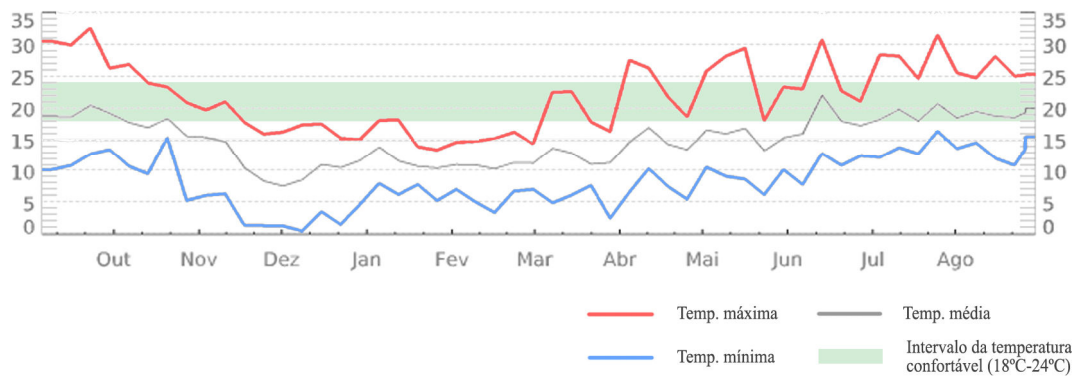


Fig.116_Registo anual da temperatura em Estarreja no ano 2014.

onde entram os ganhos solares e a profundidade do espaço) teria de ser de 1:1,1. Assim, em Estarreja, para uma altura de um vão envidraçado orientado pelo azimute sul (180°) de, por exemplo, 2m, teríamos de ter uma profundidade do espaço de 2,2m. O valor desta proporção torna-se claramente uma condicionante crítica para a organização do espaço.

A proposta que é feita com o Projeto da Pousada da Juventude de Salreu parte do balanceamento entre a rotação do azimute pelo qual o projeto se orienta e as necessidades de aquecimento e arrefecimento dadas pelos registos de temperaturas exteriores anuais da região na qual se insere.

Ao fazermos uma rotação de um projeto orientado a sul, reduzimos o ângulo de incidência solar perpendicular ao objeto, ou seja, alteramos a proporção acima descrita. No entanto, a hora a que tal acontece (incidência perpendicular) deixa de se situar estaticamente às 12h durante todo o ano, e deixa também de corresponder à penetração máxima (como acontece na orientação a sul).

O clima de Estarreja, onde se insere o projeto, tem forte influência Atlântica. O verão caracteriza-se por ser moderado e no inverno, bastante ameno, raramente se registam temperaturas com valores negativos. A temperatura média anual é de aproximadamente 13,47°C⁷¹. Ao analisarmos os dados da figura 116 percebemos que a necessidade de aquecimento (logo de captação de energia solar) na época fria é superior à de arrefecimento na estação quente.

Como tal, se fizermos a rotação do objeto no sentido poente, garantimos primeiro, que a incidência solar perpendicular seja feita a partir de um ângulo solar inferior,

⁷¹ *Plano Diretor Municipal de Estarreja: Relatório de Caracterização Física do Concelho de Estarreja, 2012*

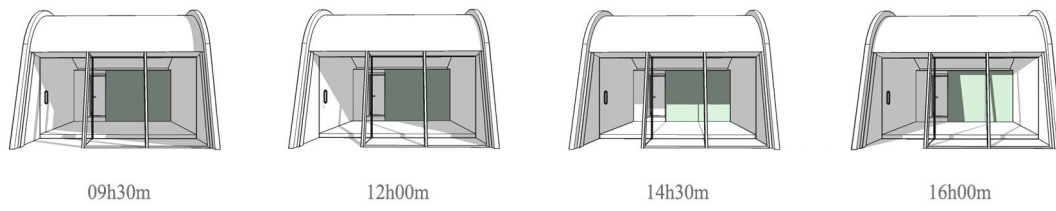


Fig.117_Comportamento solar em 21 de dezembro com rotação de 35° (azimute 215°).

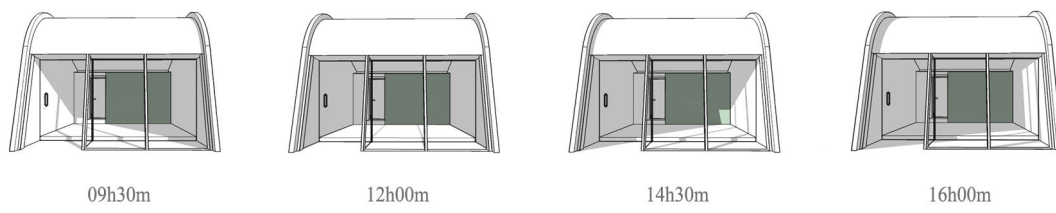


Fig.118_Comportamento solar em 21 de dezembro sem rotação (azimute 180°).

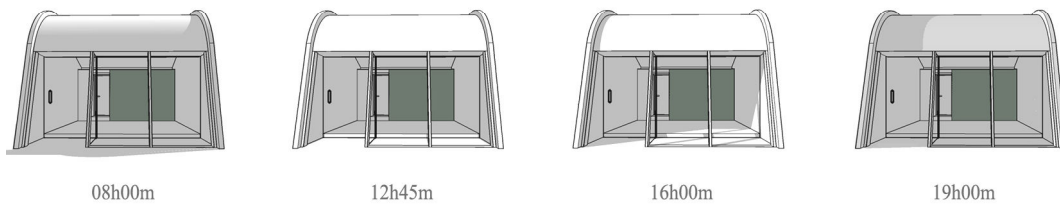


Fig.119_Comportamento solar em 21 de junho com rotação de 35° (azimute 215°).

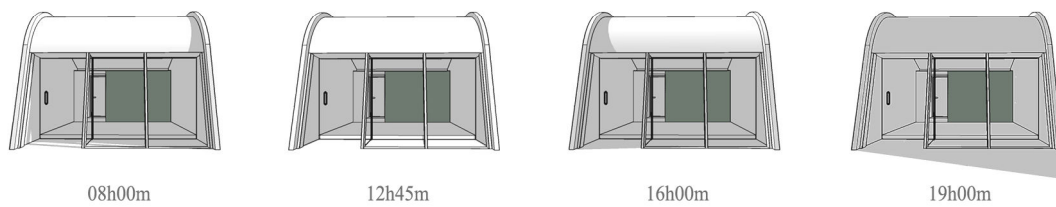


Fig.120_Comportamento solar em 21 de junho sem rotação (azimute 180°).



e em segundo, que a penetração máxima ocorre depois da hora de incidência perpendicular. Ou seja, no caso da estação fria, fazemos com que a incidência solar no interior do espaço se prolongue no período da tarde, permitindo assim uma maior quantidade de energia acumulada, que será libertada no período noturno (no caso da parede-pneu) e durante um período de tempo maior.

O valor desta rotação deve ser encontrado no equilíbrio entre os parâmetros de dimensionamento do espaço (proporção ideal entre a altura do vão por onde entram os ganhos solares e a profundidade do espaço) e as horas solares e ângulos solares nos quais a incidência é perpendicular nos dias de solstício.

No projeto aqui apresentado foi feita uma rotação de 35° no sentido poente, orientando assim o volume em análise pelo azimute 215° situado entre sul e sudoeste. Para facilitar a compreensão das descrições feitas a partir deste ponto, este valor passa a ser referido como “su-sudoeste” e o seu oposto por “nor-nordeste”.

Segundo esta rotação, obtemos um grau de incidência perpendicular de 17° às 14h30m no solstício de inverno e de 69° às 12h45m solstício de verão. Se compararmos estes valores com os dos solstícios às 12h00m numa orientação a sul (27° e 72° respetivamente) podemos concluir que a variação do ganho obtido no inverno (figs.117 e 118) é largamente superior à do obtido no verão (figs. 119 e 120), o que vai de encontro às necessidades de aquecimento/arrefecimento da região. Esta conclusão é feita salvaguardando a variação do fator da radiação solar (W/m^2), pois sabemos que uma rotação no sentido poente implica o decréscimo do valor da radiação solar no inverno e o aumento do mesmo relativamente ao verão. No entanto, sendo a rotação mínima e existindo outros fatores de compensação, a alteração deste fator não foi considerado um dado significativo. Estes valores de ângulos solares permitem-nos ainda aproximar a proporção a que nos referimos neste capítulo dos valores apontados para os casos de estudo, estabelecendo-a em 1:2,1.

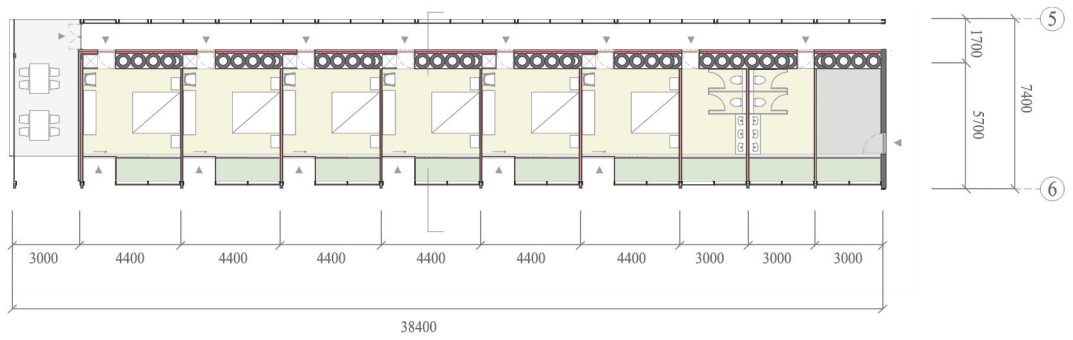


Fig.121_Planta do piso térreo.

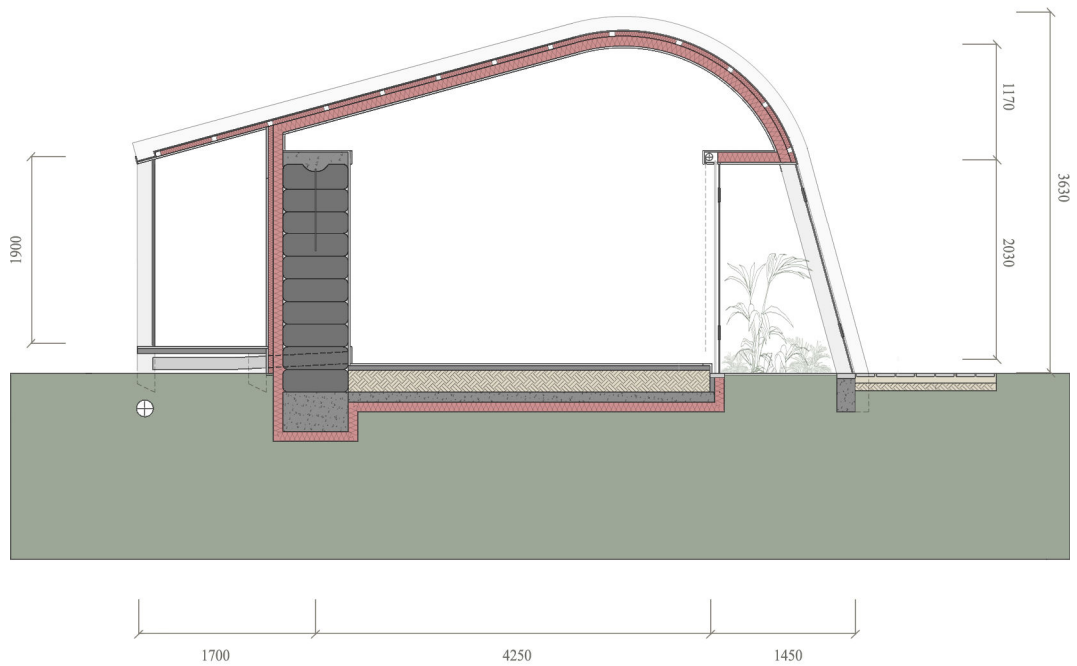
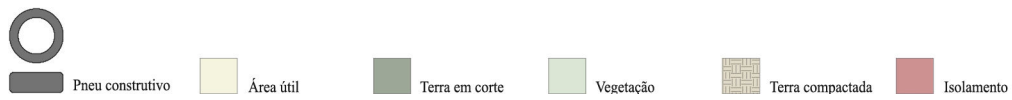


Fig.122_Corte.



O facto de se alterar a hora da incidência perpendicular traz alterações também a nível do retardamento térmico da parede pesada quando comparada com os valores da orientação a sul (fig.40). Com esta rotação, no caso da parede-pneu, é feita uma otimização dos resultados expectáveis. No inverno, a hora até à qual a parede liberta calor desloca-se duas horas e meia, ou seja, fá-lo até às 05h38m (em vez das 03h08m). No verão, a hora a que a temperatura interior atinge o seu valor máximo desloca-se para quarenta e cinco minutos depois, ou seja, acontece às 23h15m (em vez das 22h30m). A otimização destes resultados faz com que a parede-pneu supere os da parede de adobe (melhores resultados), apresentados anteriormente na análise comparativa do retardamento térmico no subcapítulo 1.4.

Simultaneamente, a penetração máxima ocorre em algumas superfícies interiores numa hora posterior à da incidência perpendicular (quando comparada com a orientação a sul). Podemos afirmar que durante a época fria este é um dado vantajoso e que no verão, pela sua diferença (de penetração quando comparada com a orientação a sul) ser mínima, não se torna significativo. Estes dados vão novamente de encontro às necessidades de controlo térmico passivo da região.

Os módulos com que compõem o volume foram então desenhados com uma largura de 4200mm e com um comprimento de 7400mm. Para o vão envidraçado sudoeste foi definida uma altura de 2030mm, a profundidade da estufa foi estabelecida a partir do grau de incidência perpendicular solar correspondente às 12h45m no solstício de verão e a profundidade a que se encontra a parede-pneu através da proporção acima dimensionada, garantindo que a altura a que este atinge a parede-pneu corresponde assim à de referência.

Quanto ao esquema estrutural, devido aos materiais que compõem o solo derivarem maioritariamente de depósitos de areias finas a grosseiras e argilas, como nos

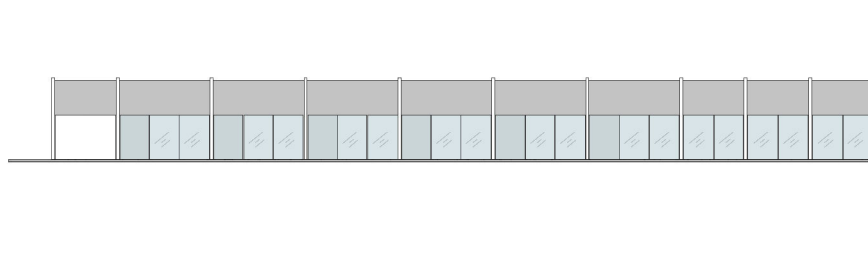


Fig.123_Alçado su-sudoeste.

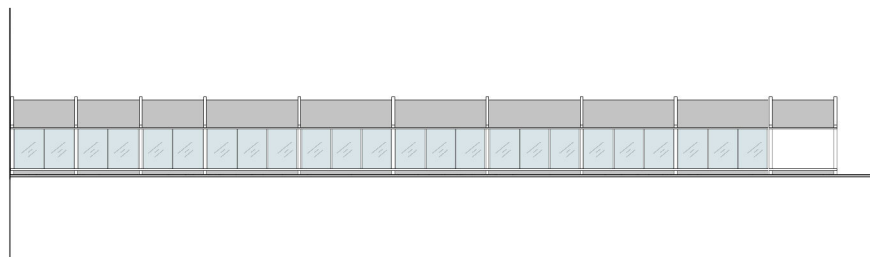
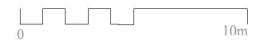


Fig.124_Alçado nor-nordeste.

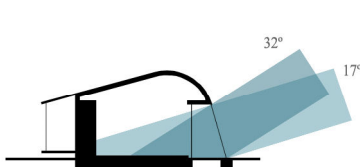


Fig.125
Incidência solar às 12h na estação fria.
17° - ângulo no solstício de inverno
58° - ângulo intermédio entre o solstício de inverno e o equinócio

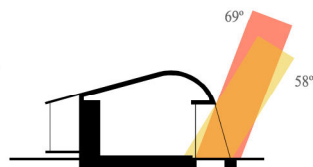


Fig.126
Incidência solar às 12h na estação quente.
69° - ângulo no solstício de verão
58° - ângulo intermédio entre o solstício de verão e o equinócio

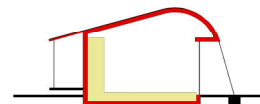


Fig.127
Isolamento e Massa térmica.



Fig.128
Ventilação natural.



Fig.129
Aquecimento passivo pela estufa.



Fig.130
Libertação de calor da estufa.

mostram as principais formações geológicas da região⁷², e prevendo assim a instabilidade do solo, foi definido o assentamento da construção em fundações sólidas e contínuas de betão.

A parede-pneu assenta então sobre uma fundação contínua de betão. A parede é amarrada no seu topo por uma viga de amarração onde é conectada uma rótula que faz a ligação com a viga de suporte da cobertura em madeira lamelada. Esta viga, posicionada no exterior da construção, é lançada no sentido da fachada su-sudoeste e conectada à fundação que se encontra no seu extremo oposto através de uma segunda rótula metálica, que se situa junto ao pavimento. O corredor de distribuição é tratado como um elemento leve e independente sendo a sua fixação ao solo feita de forma também ela independente.

O pavimento interior é composto por terreno natural regularizado e compactado, camada de enrocamento, tela de impermeabilização, isolamento térmico, camada de massame flutuante, terra compactada para a densificação mássica do pavimento, camada de betonilha armada e finalmente pavimento flutuante laminado.

A escolha da técnica de massame flutuante prende-se com a lógica de adaptação ao contexto da construção em Portugal, tendo sido neste caso usada a referência construtiva da *Casa Termicamente Optimizada*.

A parede-pneu, construída verticalmente com dez filas de pneus, é isolada continuamente pelo lado do corredor para que a transmissão de calor seja feita praticamente apenas com o espaço do quarto.

⁷² Plano Diretor Municipal de Estarreja: Relatório de Caracterização Física do Concelho de Estarreja, 2012

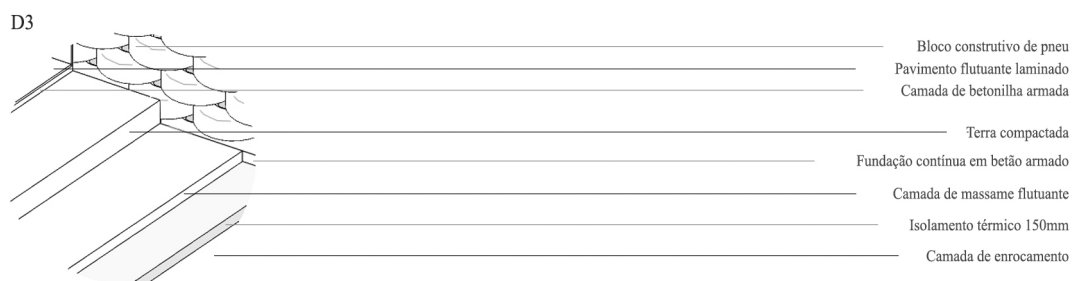
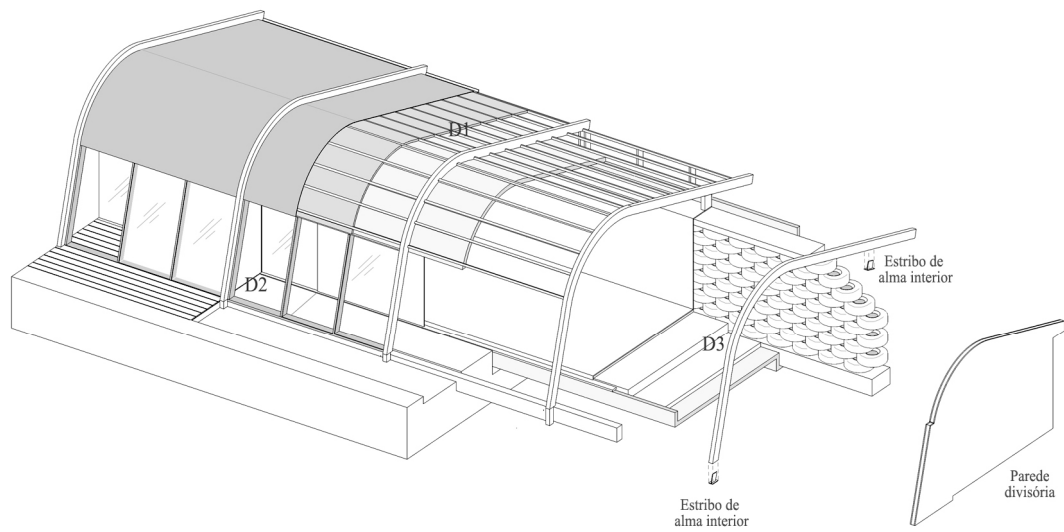


Fig.131_Sintese construtiva.

O isolamento do espaço do quarto (cobertura, parede-pneu e pavimento) é feito com uma espessura de 150mm, valor de referência de isolamento atribuído a Portugal pela *Passivhaus*⁷³.

As restantes paredes divisórias interiores são paredes leves e delgadas que permitem um maior aproveitamento do espaço, compostas por dois painéis de madeira com isolamento acústico entre eles.

Todos os limites do quarto são então percorridos por isolamento, com exceção do vão envidraçado. A delimitação entre a laje do pavimento e a terra da estufa através do isolamento, garante a estanquicidade térmica máxima do quarto ao mesmo tempo que permite que os elementos vegetais estejam diretamente conectados ao solo e assim aos seus minerais e propriedades naturais. O quarto é assim o elemento central da construção, ao qual é atribuída a primazia de comportamento térmico, ficando para isso protegido pelos elementos corredor e estufa, que funcionam como zonas-tampão entre o quarto e o espaço exterior.

Pretende-se que a estufa funcione também como mecanismo passivo de aquecimento, arrefecimento e ventilação. No sentido de se proceder ao controlo pleno da temperatura gerada no interior da estufa, esta foi delimitada do espaço do quarto por um plano envidraçado vertical e no seu topo por uma placagem devidamente isolada, de modo a prevenir a transmissão do calor gerado na estufa (a maior parte situa-se no seu espaço superior) para o interior do quarto de forma não intencional. O limite do espaço exterior é feito por um plano envidraçado inclinado de acordo com o ângulo de incidência perpendicular correspondente às 14h30m no solstício de inverno. O acesso à vegetação da estufa é feito pelo exterior junto à porta de entrada do quarto.

⁷³ Valor correspondente a $\lambda=0,039$ W/m.K, calculado para o valor de referência para Portugal de $U=0,26$ W/m²K (retirado de *Sistema construtivo CLT – Passivhaus*).

Na estufa foram instaladas grelhas de ventilação dispostas por quatro formas lineares. Duas filas nos planos envidraçados exteriores e duas nos interiores, sendo dispostas para cada plano, uma no topo e outra no fundo. Isto permite três composições distintas (grelhas abertas e fechadas) para diferentes propósitos.

No processo de aquecimento, particularmente útil na estação fria, podemos utilizar a energia produzida pela estufa para proceder ao aquecimento passivo do quarto. Abrindo apenas as grelhas interiores da estufa, o ar frio do quarto entra pela grelha inferior enquanto o ar quente que se situa no topo da estufa é transmitido para o quarto através da grelha de ventilação superior (fig.129). O movimento do ar que provoca o aquecimento do espaço interior é assim semelhante ao do utilizado numa parede de trombe.

No caso da estação quente, de forma a libertar o calor não desejado e a reduzir a temperatura da estufa, podem ser abertas ambas as grelhas de ventilação exteriores. Nesta situação, o movimento do ar é semelhante ao do caso interior (fig.130).

Quanto à ventilação natural, sabemos que esta tem capacidade para gerar o conforto necessário se os limites da velocidade do ar se estabelecerem entre 1,5 m/s e 2 m/s para regiões ou estações onde a temperatura exterior máxima não exceda os 32°C⁷⁴. Considerando que a temperatura máxima de Estarreja raramente atinge os 32°C (fig.116) e que a velocidade média anual dos ventos se situa entre os 5 km/h e os 7km/h⁷⁵, ou seja, 1,39 m/s e 1,95 m/s respetivamente, podemos concluir que este é um recurso natural favorável ao projeto.

De maneira a tirar partido dos ventos dominantes da região, nomeadamente os da estação quente (com origem predominante no quadrante norte), foram instalados

⁷⁴ GIVONI, Baruch. *Passive and low energy cooling of buildings*, Van Nostrand Reinhold, 1994.

⁷⁵ *Plano Diretor Municipal de Estarreja: Relatório de Caracterização Física do Concelho de Estarreja*, 2012

tubos de passagem de ar que partem do espaço exterior a nor-nordeste, passam por baixo do pavimento do corredor de circulação, atravessam a parede-pneu e desembocam em grelhas de ventilação situadas ao fundo da parede-pneu (junto ao pavimento), permitindo assim a entrada de ar para dentro do quarto a partir do lado nor-nordeste.

Para percebermos como pode ser feita a otimização do processo de ventilação, consideremos que junto ao plano envidraçado nor-nordeste no exterior, onde o ar entra nos tubos de ventilação, o ar se encontra à sombra e por isso imediatamente a uma temperatura mais baixa que ao sol. Se abrirmos as grelhas de ventilação da parede-pneu e simultaneamente as dos topos da estufa (interiores e exteriores), o ar que entra no quarto é, pela diferença de temperatura que tem em relação ao do topo da estufa, conduzido por convecção através do espaço interior (fig.128). Este movimento, que completa o conjunto de composições que podemos fazer das grelhas (abertas e fechadas), faz com que a energia acumulada no pavimento e na parede-pneu seja removida, permitindo assim que estes continuem a proceder à acumulação da energia desnecessária, prevenindo-se assim na época quente, o sobreaquecimento do espaço.

De maneira a assegurar que a entrada de ar nos tubos de ventilação da parede-pneu ocorra sempre que necessário e não dependa exclusivamente das condições climáticas (da intensidade e direção dos ventos e das diferenças de temperatura do ar ao sol e à sombra), é instalado um sistema mecânico de ventilação. É assim utilizada a ventilação natural sempre que possível, e um sistema de compensação mecânico para as restantes ocasiões. Este sistema de ventilação natural assistida é instalado, no caso dos módulos dos quartos, na parte superior do guarda-roupa junto à porta de entrada, que é acedido pelo corredor.

De forma a proporcionar e a preencher os requisitos de conforto do ato de habitar que se apresentam hoje em dia, todos estes processos passivos de ventilação e controlo térmico do espaço (diferentes aberturas das grelhas de ventilação) são feitos através de um mecanismo ativo instalado das grelhas de ventilação, controlado através de um comando remoto ou de interruptores.

Como método alternativo de ventilação, existe ainda uma porta de correr que dá acesso direto ao exterior. Esta porta é também responsável pela ligação física dos espaços interior e exterior, permitindo a fruição dos vazios que se situam à frente dos quartos e que se projetam para uma vista sobre a zona húmida da Ria de Aveiro. Para estes espaços foi prevista a arborização com espécies de folha caduca, que naturalmente participam do sombreamento natural dos volumes dos quartos.

Uma última consideração em relação à ventilação natural, nomeadamente a entrada de ar a partir do lado nor-nordeste, é a de que o ar é tratado de forma convencional e sem alterações previstas. Isto é, foi posta de lado um eventual desenho de um sistema que permitisse a ação térmica sobre a temperatura do ar através do fenómeno do arrefecimento evaporativo, como sugerido anteriormente. Esta opção derivou da análise dos valores de humidade relativa média do ar, que em Estarreja se situam em níveis próximos dos 80%⁷⁶, o que condicionaria a eficácia desta estratégia.

Em relação à cobertura metálica, esta prevê a condução de águas pluviais e a sua coleção na extremidade da cobertura, de onde são encaminhadas por caleiras até a um canal subterrâneo que as conduz até ao módulo da zona técnica situado no topo do volume junto ao edifício de serviços, onde são armazenadas e processadas.

⁷⁶ *Plano Diretor Municipal de Estarreja: Relatório de Caracterização Física do Concelho de Estarreja*, 2012

Para esta estratégia tomou-se em atenção a precipitação média anual da região (cerca de 1148mm⁷⁷). Com uma área de cobertura por módulo (com inclinação capaz de coletar as águas pluviais) de 22m², podemos dizer que por módulo são potencialmente coletáveis 25256 litros por ano, ou seja, em média 2105 litros de água por mês.

Se tivermos em conta que a estufa de cada módulo tem uma área de 2,8m² e que o valor de referência das necessidades hídricas diárias da vegetação de jardim para a zona centro é de 6,0 litros/m² ⁷⁸, podemos concluir que são necessários cerca de 504 litros de água por mês para sua rega.

Se subtrairmos estes valores ao total coletado por módulo, concluímos que existe um excedente mensal de cerca de 76% (1601 litros), que se pretende que seja utilizado como auxílio para as descargas sanitárias e/ou da rega da vegetação exterior.

Estes valores são apenas representações médias e como tal são apenas um ponto de partida para a produção dos dados necessários que nos levam a perceber se esta é ou não uma opção válida. Não querendo fugir do âmbito deste trabalho e prosseguir com esse estudo, partimos da aparente motivação de que sim. Sabemos que a pluviosidade na região ocorre essencialmente entre os meses de outubro e maio, sendo julho e agosto os meses mais secos. Como estratégia de compensação destas diferenças, foi incluída uma zona técnica no topo de cada volume que permite fazer o armazenamento da água pluvial e assim possibilitar a gestão anual deste recurso.

Para efeitos de iluminação artificial dos quartos, são colocadas duas fitas de led, uma sobre a parede-pneu e outra sobre a estufa, que refletem a sua luz através do

⁷⁷ *ibidem*

⁷⁸ CUDELL, Gustavo, *Manual de Instalação de Rega*, 2000



Fig.132_Visualização da estufa em 21 de dezembro às 14h45m.



Fig.133_Visualização da parede-pneu em 21 de dezembro às 14h45m.

teto, acentuando as sombras existentes entre o ripado de madeira que a cobre pelo interior, e fazendo assim com que este adquira um destaque maior durante o período da noite ou quando os estores de rolo *blackout* estiverem estendidos.

Por fim, resta dizer que na representação visual apresentada (fig.133), a parede-pneu foi pintada com uma cor (RGB:166,193,165), aumentando assim a sua capacidade de recolher a energia proveniente dos ganhos diretos em relação à cor branca.

3.2 - CONSIDERAÇÕES SOBRE A PAREDE-PNEU NA POUSADA DA JUVENTUDE DE SALREU

O Projeto da Pousada da Juventude de Salreu permitiu-nos testar a experimentação da técnica da parede-pneu mediante alguns melhoramentos que visam consagrar a validade da sua aplicação em Portugal.

Não existindo uma resposta universal, do ponto de vista do comportamento térmico, todos os valores relativos ao dimensionamento e orientação dos espaços e materiais, bem como da influência das estratégias apresentadas, são passíveis de serem alterados. O que é de facto indispensável é perceber que todos os parâmetros devem ser tidos em conta simultaneamente, pois a sua ação é interdependente.

Pela experiência realizada, podemos afirmar que, no contexto em que este projeto acontece, as seguintes alterações podem ser feitas na adaptação do uso da técnica da parede-pneu enquanto parede-pesada integrada no desenho solar passivo em Portugal:

- se necessário, o espaço de circulação pode ser posicionado junto à parede-pneu, pelo lado oposto ao do espaço útil interior, garantindo assim uma melhor utilização e qualidade desse espaço,
- a orientação a sul em Portugal sobre os princípios do desenho solar passivo em estudo apresenta condicionantes críticas ao desenho do projeto. Uma rotação do azimute pelo qual este se orienta permite uma maior versatilidade no seu desenho e pode ainda trazer otimizações à sua performance energética (retardamento térmico e exposição solar),
- a laje do pavimento pode ser feita através de massame, mantendo-se a densificação mássica do pavimento através de terra compactada,

- a estufa e o corredor podem ser lidos em projeto como elementos autónomos e constituírem-se como zonas-tampão que funcionam termicamente como elementos intermediários entre o espaço interior e exterior. O talude de terra deixa assim de ser necessário,

- o grau de incidência perpendicular solar no solstício de verão em Portugal permite um dimensionamento plausível da profundidade da estufa. Logo, esta deve ser delimitada por dois planos envidraçados (um interior e um exterior) para que se possa maximizar o controlo da ação sobre a temperatura no seu interior,

E finalmente, podemos referir que a introdução do conceito de ventilação natural assistida pode maximizar e garantir a eficiência energética do edifício, sem para isso depender na totalidade das condicionantes naturais,

O conjunto de conclusões acima descritas serve de complemento às conclusões retiradas nos capítulos anteriores. Como tal, para um correto entendimento do resultado de todo o processo de projeto, este conjunto deve ser interpretado segundo a linha progressiva a que pertence.

Com este capítulo podemos finalmente concluir que, mediante a adaptação da parede-pneu e a sua conjugação com outras técnicas utilizadas em Portugal num contexto específico, a sua integração pode ser feita de maneira a propor uma melhoria no conforto do ato de habitar, reduzindo as necessidades energéticas do edifício e fazendo assim com que o conforto não dependa exclusivamente da capacidade financeira do habitante e, simultaneamente, a propor uma contribuição para a gestão de recursos energéticos fósseis, substituindo-os por recursos naturais.

CONCLUSÃO

É na análise sobre momentos e acontecimentos da história da humanidade que encontramos o ponto de partida que no permite desenhar o esquema de relações entre o ser humano e o seu conhecimento acumulado. Esta relação processa-se através do habitat. Ao posicionarmos a arquitetura neste esquema e lhe associarmos todas as relações que o habitat norteia, clarificamos o seu papel enquanto ferramenta de expressão e de modelação daquilo que somos.

Para a definição daquele que é ou deve ser o habitat contemporâneo, necessitamos de identificar as variáveis com que este se tem de relacionar.

Nos dias de hoje, é essencial que o habitat em Portugal se relacione, entre inúmeros elementos, com os problemas atuais da ineficiência energética da construção convencional, com a dependência financeira a que o habitante está sujeito para que garanta o conforto no ato de habitar (equilibrando as necessidades energéticas do edificado) e por fim com a insustentabilidade dos recursos fósseis de que fazemos uso no ato de habitar.

Como proposta de estabelecimento dessa nova relação, encontramos o sistema dinâmico, que repensa a atitude da arquitetura em relação a estes elementos. Este propõe uma abordagem do edifício que o integra no sistema de recursos naturais, propondo assim uma otimização do aproveitamento das condições climáticas, visando para tal o conforto do habitante.

Desta proposta faz parte o método de desenho solar passivo, que se divide entre princípios ativos e passivos. Sendo os princípios passivos aqueles que dependem mais da arquitetura para que a sua eficácia aconteça, torna-se pertinente que estes sejam objeto de investigação.

No caso de Portugal, o uso do princípio da massa térmica através das paredes-pesadas revela-se uma estratégia de enorme potencial. A parede-pneu, que se inclui

nesta categoria de paredes, é a técnica construtiva que, quando comparada com a parede de betão armado, com a de tijolo maciço, com a de pedra de xisto, com a de blocos de adobe sem palha, com a de taipa e com a de sacos de areia, aquela que, num contexto específico, reúne as categorias mais favoráveis à sua aplicação. A parede-pneu é a técnica que tem uma maior eficiência energética e eficácia de controlo passivo do espaço interior, tem um impacto ambiental reduzido e tem o custo financeiro de construção mais competitivo. No entanto, é necessário que o contexto em que se introduz permita que uma maior utilização de área de implantação por parte da parede não represente condicionamentos significativos ao projeto, que a construção não ultrapasse os dois pisos em altura e que todo o desenho da parede (em planta, em corte e nos seus esventramentos) possa ser modelado de acordo com a dimensão pouco flexível dos seus blocos construtivos.

Os materiais de que esta técnica faz uso podem ser considerados materiais com disponibilidade local e não comprometem a viabilidade desta solução.

Para além de tudo isto, a parede-pneu cumpre, mediante o seu uso correto, todos os requisitos a nível de exigência técnica, construtiva e de não-toxicidade para a saúde humana.

Das análises dos casos de estudo e da experiência do projeto da Pousada da Juventude em Salreu, podemos reunir o conjunto de todas as conclusões feitas neste trabalho acerca das modificações que se propõem serem feitas para a adaptação da utilização da parede-pneu em Portugal. São elas:

- a parede pneu deve ser construída na vertical, com o isolamento diretamente associado pelo exterior e assente em fundações maciças e contínuas de betão,
- a laje do pavimento pode ser feita através de massame flutuante, mantendo-se a densificação mássica do pavimento através de terra compactada. Esta deve ser isolada pelo lado inferior,

- o espaço de circulação (quando necessário) deve ser posicionado junto à parede-pneu, pelo lado oposto ao do espaço útil interior, garantindo assim uma melhor utilização e qualidade desse espaço,
- a parede-pneu deve ficar ausente da organização do espaço interior, permanecendo apenas no limite norte do edifício,
- o isolamento deve percorrer todo o espaço útil interior sem interrupções, com exceção dos vãos envidraçados. Nenhuma conexão entre o espaço interior e o solo deve ser conduzida pela ideia errada de que a massa da terra até um metro de profundidade é termicamente estável,
- a orientação a sul em Portugal sobre os princípios do desenho solar passivo em estudo apresenta condicionantes críticas ao desenho do projeto. Uma rotação do azimute pelo qual este se orienta permite uma maior versatilidade no seu desenho e pode ainda trazer otimizações à sua performance energética (retardamento térmico e exposição solar),
- caso existam espaços interiores sem conexão direta com a fachada exterior, estes não devem ser estanques, e permitir ao máximo a movimentação do ar. Estes espaços necessitam ainda de uma estratégia adequada para a correta obtenção da energia solar por ganhos diretos na parede-pneu,
- preferencialmente a ventilação natural deve acontecer de norte para sul. Os tubos de ventilação devem ser instalados diretamente na parede-pneu,
- o grau de incidência perpendicular solar no solstício de verão em Portugal permite um dimensionamento plausível da profundidade da estufa. Logo, esta deve ser delimitada por dois planos envidraçados (um interior e um exterior) para que se possa maximizar o controlo da ação sobre a temperatura no seu interior,

- a estufa e o corredor podem ser lidos em projeto como elementos autónomos e constituírem-se como zonas-tampão que funcionam termicamente como elementos intermediários entre o espaço interior e exterior. O talude de terra e as colunas de sustentação da parede-pneu deixam assim de ser necessários,

- as ligações existentes nos planos envidraçados da estufa não necessitam de ser através de janelas. Estas podem ser substituídas por elementos individuais que cumpram a mesma função,

- se a estufa não for utilizada, o ganho solar da parede-pneu pode ser feito através do balanceamento da cobertura sobre a fachada sul e/ou de elementos de sombreamento posicionados estrategicamente,

- a introdução do conceito de ventilação natural assistida pode maximizar e garantir a eficiência energética do edifício, sem para isso depender na totalidade das condicionantes naturais,

- o edifício deve estar conectado com a rede elétrica e de distribuição de águas. Mesmo maximizada a sua capacidade de autossuficiência em relação a estes recursos, deve ser sempre salvaguardada qualquer situação de emergência. Em condições normais o edifício *offgrid* não deve portanto acontecer,

E finalmente, podemos referir que nenhuma decisão relativa à expressão arquitetónica se deve sobrepor à questão da salubridade crítica do espaço. A “janela da verdade” não pode acontecer nas condições em que normalmente é feita.

Esta dissertação cumpre assim os objetivos a que se propôs inicialmente. A conclusão deste processo permitiu testar a conjugação da técnica com os restantes parâmetros da arquitetura no contexto específico delimitado na dissertação, e a partir dessa experiência retirar conclusões acerca da capacidade de utilização da técnica da parede-pneu com vista à inserção nas técnicas de paredes-pesada para a arquitetura solar passiva em Portugal.

Verificou-se ainda que uma análise da sua integração com outras estratégias e opções do projeto, ainda que centrada nos aspetos da técnica construtiva em particular, potenciou e reforçou a qualidade das conclusões obtidas.

Com a introdução que faz da técnica à arquitetura em Portugal, este trabalho permite-nos concluir que esta é uma técnica que reúne condições para integrar o desenho solar passivo, por forma a melhorá-lo, enquanto parede-pesada na arquitetura em Portugal. E que sobre essa integração, a utilização da parede-pneu pode responder aos problemas atuais da ineficiência energética da construção convencional, da dependência financeira a que o habitante está sujeito para que garanta o conforto no ato de habitar (equilibrando as necessidades energéticas do edificado) e por fim à insustentabilidade dos recursos fósseis de que fazemos uso no ato de habitar.

Este processo não pretende ser encerrado com este trabalho, antes pelo contrário, tem como objetivo a produção de elementos capazes de gerar a motivação necessária para que o seu progresso aconteça.

Mas fechada esta porta, muitas outras se abriram.

Relativamente a aspetos técnicos do Projeto da Pousada, no sentido da eficiência térmica a que se propõe, seria vantajoso para a consolidação de determinadas opções e para a sua definição cirúrgica que se prosseguisse com um estudo no âmbito da engenharia, de elementos que contabilizassem todos os cálculos relativos à radiação solar e ao comportamento energético, sendo eles a máscara-panorama do sombreamento, o coeficiente global de perdas térmicas por transmissão e ventilação, o perfil das necessidades térmica, o perfil do contributo térmico solar e aquecimento suplementar necessário e o cálculo da massa de acumulação térmica tendo em conta todos os materiais.

Num âmbito geral, a parede-pneu carece de experimentação no que diz respeito à sua construção em altura. O desenvolvimento deste estudo contribuiria potencialmente em grande parte para o alargamento do contexto específico delimitado na dissertação em que a técnica tem uma utilização favorável.

Não podendo ignorar o nosso edificado existente, existe a consciência de que o tema da sua reabilitação é central nos dias de hoje. Como tal, seria interessante dar seguimento ao estudo da parede-pneu enquanto técnica construtiva capaz de integrar soluções de paredes-pesadas na reabilitação.

Num outro sentido, existe um estudo cultural e social que fica por fazer. Embora o estudo aqui apresentado contribua no sentido de esclarecer o público em relação a questões relacionadas com o uso do pneu automóvel na construção, o processo de aceitação desta técnica estará longe de reunir um consenso. Não que tenham de existir consensos, mas o caminho certo certamente passará pela sua procura. Um estudo com este carácter permitiria que se ultrapassassem as ideias preconcebidas de “adoração” de uma material apenas porque este é reutilizado e serviria de ponto de partida para o alargamento do espaço de utilização da técnica construtiva da parede-pneu.

Bibliografia

- BENEVOLO, Leonardo, *Introdução à arquitectura*, Edições 70, 1960
- BERMAN, Alan, *Green Design: A healthy home handbook*, Frances Lincoln Limited Publishers, 2008
- CARVALHO, Benjamin de A., *Ecologia e Poluição*, Freitas Bastos S.A., 1975
- CHANG, Raymond, *Química – 8ª edição*, McGraw-Hill, 2005
- CHILDE, Vere Gordon. *A Evolução Cultural do Homem*, Zahar, 1978
- CHOAY, Françoise, *A regra e o modelo: sobre a teoria da arquitectura e do urbanismo*, Caleidoscópio, 2007
- COOK, Martin Godfrey, *The zero-carbon house*, The crowood press, 2011
- CUDELL, Gustavo, *Manual de Instalação de Rega*, 2000
- COSTA, J. Almeida, MELO, A. Sampaio, *Dicionário da língua portuguesa*, Porto Editora, 1994
- DOLLFUS, Jean, *Les aspects de l'architecture populaire dans le monde*, 1954
- FERNANDES, E. de Oliveira, *Casa-laboratório Termicamente Optimizada*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1983
- GHISI, E., LAMBERTS, R. *Desempenho térmico das edificações-Parte I: Definições, símbolos e unidade.*. Proposta de Norma, 1998
- GIVONI, Baruch. *Passive and low energy cooling of buildings*, Van Nostrand Reinhold, 1994.
- HEWITT, Mischa, *Earthships: Building a zero carbon future for homes*, IHS BRE Press, 2007
- HUNTINGTON, Ellsworth, *The human Habitat*, D. Van Nostrand Company, 1927
- FILHO, Américo Pellegrini, *Ecologia, cultura e turismo*, Papirus editor, 1993
- KIBERT, Charles J., *Sustainable construction: green building design and delivery*, John Wiley & Sons, 2005
- KUIL, Elena, *The sustainability of conventional houses, passive houses and earthships, based on legislation, environmental impact energy and operating energy*, University of Gronunge

- LENGEN, John Van, *Manual do arquiteto descalço*, Dinalivro, 2010
- LEOD, Virginia, *Detail in Contemporary Timber Architecture*, Laurence King Publishing, 2009
- LINZ, Barbara, *Eco-Houses*, H.F.Ullmann, 2010
- MEIJS, Maarten, KNAACK, Ulrich, *Components and connections: Principles of Construction*, Birkhauser, 2009
- MILIADIS, Jean, *Athènes ancienne*, M. Pechlivanidis & Cie, 196?
- MOITA, Francisco, *Energia solar passiva*, Argumentum, 2010
- NEETER, Mark, *Green Homes*, Homebuilding & Renovating Magazine, 2008
- NUNAN, Jon, *The complete guide to alternative home building: Materials & Methods*, Atlantic Publishing Group, 2010
- OLGYAY, Victor, *Arquitectura y clima: Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*, Gustavo Gili, 1963
- OWEN, David, *Green metropolis: why living smaller, living closer, and driving less are the keys to sustainability*, Riverhead Books, 2009
- PAPST, Ana Lúcia, *Uso de Inércia térmica no Clima Subtropical*, 1999
- PORTOGHESI, Paolo, *Depois da arquitetura moderna*, Edições 70, 1980
- REYNOLDS, Michael, *Comfort in any climate*, Solar Survival Press, 2000
- REYNOLDS, Michael, *Earthship: vol 1 – How to build your own*, Solar Survival Press, 1990
- REYNOLDS, Michael, *Earthship: vol 2 – Systems and components*, Solar Survival Press, 1991
- REYNOLDS, Michael, *Earthship: vol 3 – Evolution beyond economics*, Solar Survival Press, 1991
- RICH, Sarah, *Ecological Houses*, teNeues, 2008
- RICHARDSON, Vicky, *Vanguardia y tradición: La reinterpretación de la arquitectura*, Blume, 2001
- RIVERO, R. *Arquitectura e Clima: acondicionamento térmico natural*, D. C. Luzzato, 1986

- ROGERS, Heather, *Green gone wrong: How our economy is undermining the environmental revolution*, Scribner, 2010
- RUDOY, W., and DOUGALL, R.S., *Effects of the Thermal Mass on Heating and Cooling Load in Residences*, ASHRAE Transactions, 1979
- RUDOVSKY, Bernard, *The prodigious builders*, Secker & Warburg, 1977
- SANTAMOURIS, M., ASIMAKOPOLOUS, D, *Passive Cooling of Building*, James & James (Science Publishers), 1997
- THOREAU, Henry David, *A desobediência civil & Defesa de John Brown*, Antígona, 2005
- THOREAU, Henry David, *Walden or the life in the woods*, Peter Pauper Press, 1966
- TIRONE, Livia, NUNES, Ken, *Construção sustentável: soluções eficientes hoje, a nossa riqueza de amanhã*, Tirone Nunes, 2007
- TULY, Peggy, *From the ground up: Innovative green homes*, Princeton Architectural Press, 2012
- VALE, Brenda and Robert, *Green Architecture: Design for a sustainable future*, Thames and Hudson, 1991
- WANEK, Catherine, *The hybrid house: Designing with sun, wind, water, and earth*, Gibbs Smith, 2010
- WILSON, Alex, *Your green home: A guide to planning a healthy, environmentally friendly new home*, New society publishers, 2006
- WINES, James, *Green Architecture*, Taschen, 2008
- WRIGHT, David, *Arquitectura solar natural: Un texto pasivo*, G.Gili, 1983
- YUDELSON, Jerry, *The green building revolution*, Island Press, 2008
- ZIMMERMAN, Aaron, *Testing and Analysis of Modified Rammed Earth Tire Walls*, Swarthmore College, E90 Project, 2011.
- A Green Vitruvius: princípios e práticas de projecto para uma arquitectura sustentável*, Ordem dos Arquitectos, 2001

Outras publicações consultadas:

Artificial Turf: Exposures to Ground Up Rubber Tires – Athletic Fields, Environmental and Human Health, Inc.

Cal Recycles Report, California Department of Resources Recycling & Recovery (CallRecycle), 2013

Engineering Evaluation of Earth-filled Tire Construction. Luckhorn Geotech, 1990

Playgrounds, Garden Mulch, Environmental and Human Health, Inc.

Plano Diretor Municipal de Estarreja: Relatório de Caracterização Física do Concelho de Estarreja, Câmara Municipal de Estarreja, 2012

Repeated temperature logs from Czeeg, Slovenian and Portuguese borehole climate observatories, Climate of the Past, 2007

Report from New Mexico Environmental Department – Solid Waste Bureau to University of Wisconsin Study. Publicado em www.earthship.com/offgassing

State Scrap Tire Programs Report, United States Environmental Protection Agency, 1999

The Offgassing Non-Issue, Earthship Biotecture

Trends in Global CO² Emissions: 2014 Report, PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, 2014

2014 New Mexico Statutes, Justia US Law, 2014

Multimédia:

HODGE, Oliver, *Garbage Warrior*, 2007

Michael Reynold at KTH in Sweden, 2011, www.youtube.com/watch?v=JzK7eVV6CdM

Fontes das imagens

1. www.hundertwasser.com
2. Desenho do autor com base no original de: CHOAY, Françoise, *A regra e o modelo: sobre a teoria da arquitectura e do urbanismo*, Caleidoscópio, 2007
3. Desenho do autor com base na classificação climática de Köppen-Geiger
4. Desenho do autor com base nos dados de www.unfpa.org
5. OLGAY, Victor, *Arquitectura y clima: Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*, Gustavo Gili, 1963
6. www.architecture.about.com/od/ideasapproaches/g/primitive-hut.htm
7. wikiart.org/en/claude-lorrain/landscape-with-the-rest-on-the-flight-into-egypt-1666
8. <http://www.alamy.com/stock-photo-geography-travel-greece-athens-acropolis-parthenon-exterior-view-wood-47891096.html>
9. http://www.goddess-athena.org/Museum/Temples/Parthenon/Parthenon_inside_NE_from_NE_rec.html
10. THOREAU, Henry David, *Walden or the life in the woods*, Peter Pauper Press, 1966
11. WALKER, Lester, *Tiny Tiny Houses: or How to get away from it all*, Overlook Hardcover 1987
12. Desenho do autor
- 13 e 14. Desenhos do autor com base nos originais de: *A Green Vitruvius: princípios e práticas de projecto para uma arquitectura sustentável*, Ordem dos Arquitectos, 2001
15. Desenho do autor com base no original de: *Performance* – Norman Foster. RIBA talk, 2010. <https://www.youtube.com/watch?v=PEa6Cl2vfz8>
16. Desenho do autor com base no original de: HEWITT, Mischa, *Earthships: Building a zero carbon future for homes*, IHS BRE Press, 2007
17. Desenho do autor
18. Desenho do autor com base no original de: REYNOLDS, Michael, *Earthship: vol 1 – How to build your own*, Solar Survival Press, 1990
19. Desenho do autor com base no original de: FERNANDES, E. de Oliveira, *Casa-laboratório Termicamente Optimizada*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1983

20. Desenho do autor com base no original de: LAZARUS, Nicole, *Beddington Zero (Fossil) Energy Development – Construction materials report: Toolkit for carbon neutral developments – Part 1*, BioRegional
- 21 e 22. Desenhos do autor com base nos originais de: HEWITT, Mischa, *Earthships: Building a zero carbon future for homes*, IHS BRE Press, 2007
23. Desenho do autor com base no original de: MOITA, Francisco, *Energia solar passiva*, Argumentum, 2010
24. Desenho do autor com base no original de:
www.flwfoundation.tumblr.com/post/32740401293/the-solar-hemicycle-design-by-frank-lloyd-wright
25. www.pinterest.com/pin/328481366548016777/
26. Desenho do autor com base no original de: COOK, Martin Godfrey, *The zero-carbon house*, The crowood press, 2011
27. *Housing and Climate: Local Responses*, Cambridge Association of Architects
28. Desenho do autor com base no original de: COOK, Martin Godfrey, *The zero-carbon house*, The crowood press, 2011
29. www.dreamationworks.com/post/the-new-autonomous-house-appreciation/
30. Desenho do autor com base no original de: COOK, Martin Godfrey, *The zero-carbon house*, The crowood press, 2011
31. www.dennisweaver.com/sunridge/
- 32 a 34 Fotografias do autor
35. www.x.sights.de/kere/projects/public-library-gando1/
36. Fotografia do autor
37. www.inhabitat.com/sandbag-house-mma-architects/
38. Fotografia do autor
39. Desenho do autor com base nos dados de: MOITA, Francisco, *Energia solar passiva*, Argumentum, 2010 e OLGAYAY, Victor, *Arquitectura y clima: Manual de diseno bioclimático para arquitectos y urbanistas*, Gustavo Gili, 1963
- 40 a 42. Desenhos do autor
43. Desenho do autor com base nos dados de: www.orcamentos.eu/ e www.geradordeprecos.info/

44. Desenho do autor com base no original de: REYNOLDS, Michael, *Earthship: vol 1 – How to build your own*, Solar Survival Press, 1990
45. Fotografia do autor
46. Fotografia retirada de www.youtube.com/watch?v=v5CRISJ46M8
47. Desenho do autor com base no original de:
www.valorpneu.pt/mapa_localizacao.aspx?lang=pt&id_object=52&name=Rede-de-Pontos-de-Recolha
48. www.earthshipar.com/dreamcatcher-earthship-project.php
49. REYNOLDS, Michael, *Comfort in any climate*, Solar Survival Press, 2000
50. Documento retirado do Caderno de desenhos do projeto da Earthship Zwolle, cedido por Jean Jacques Jouret
51. www.en.wikipedia.org/wiki/Earthship
52. www.besidethestream.com/?tag=earthship-walls
53. Fotografia retirada do Google Earth
54. www.adamsclassiccars.nl/catalog/index.php?language=en
55. www.ford.com/cars/fusion
56. REYNOLDS, Michael, *Earthship: vol 2 – Systems and components*, Solar Survival Press, 1991
57. REYNOLDS, Michael, *Earthship: vol 3 – Evolution beyond economics*, Solar Survival Press, 1991
- 58 e 59. Documentos retirados do Caderno de desenhos do projeto da Earthship Zwolle, cedidos por Jean Jacques Jouret
60. www.earthship europe.org/index.php/earthships/evolutions
61. Desenho do autor
62. www.offgridworld.com/big-sky-solar-powered-stone-earthship-is-off-grid-living-perfection-in-montana/
63. www.thewestcoastreader.com/an-earthship-lands-in-alberta/
64. www.google.pt/search?q=earthship+ithaca&espv=2&biw=1309&bih=723&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0CAYQ_AUoAWoVChMIyrWY5_7ExwIVRlSaCh0cVAOK#imgre=LXAU3dqi-RghFM%3A

65. www.letusbehuman.wordpress.com/earthship-biotecture-academy/
66. Fotografia cedida por Jean Jacques Jouret
- 67 a 71. Desenhos do autor com base nos originais do Caderno de desenhos do projeto da Earthship Zwolle, cedidos por Jean Jacques Jouret
- 72 a 75. Desenhos do autor
- 76 a 81. Fotografias do autor
- 82 a 84. Fotografias cedidas por Jean Jacques Jouret
- 85 a 92. Fotografias do autor
93. Desenho do autor com base no original do Caderno de desenhos do Verniging Aardehuis Project, cedido por Niels Kloppenburg
94. Visualização cedida por Niels Kloppenburg
- 95 a 98. Desenhos do autor com base nos originais do Caderno de desenhos do Verniging Aardehuis Project, cedidos por Niels Kloppenburg
- 99 a 102. Desenhos do autor
- 103 a 106. www.flickrhivemind.net/Tags/aardehuis,olst/
107. Visualização cedida por Niels Kloppenburg
- 108 a 114. Desenhos do autor
115. Desenho do autor com base no original de: MOITA, Francisco, *Energia solar passiva*, Argumentum, 2010
116. Desenho do autor com base no original de:
www.meteoblue.com/pt/tempo/previsao/archive/estarreja_portugal_2739837
- 117 a 133. Desenhos do autor