



FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Avaliação do Ciclo de Vida de uma casa flutuante

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente na Especialidade Território e Gestão do Ambiente

Autor

Noela Kesline Vieira de Pina

Orientadores

Professor Doutor Fernando Seabra Santos

Professor Doutor Fausto Miguel Seixas Freire



Esta dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor, não tendo sofrido correções após a defesa em provas públicas. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade pelo uso da informação apresentada

Coimbra, fevereiro, 2016

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é mais do que uma dissertação, representa o final de uma etapa. Há cinco anos deixei os meus para alcançar um sonho e quero prestar os meus sinceros agradecimentos a todos que de alguma forma me ajudaram a concretizá-lo.

Ao Professor Doutor Fernando Seabra Santos pela proposta deste desafio, pelas críticas e pelo apoio e orientação prestada, deixo o meu especial agradecimento.

Também sou muito grata ao Professor Fausto Miguel Freire por toda a disponibilidade manifestada, pelos conhecimentos transmitidos, pelo apoio e simpatia demonstrados.

Aos colegas de trabalho do Centro para a Ecologia Industrial no Departamento de Engenharia Mecânica e aos meus professores da disciplina Ecologia Industrial, queria prestar os meus agradecimentos, mais concretamente, ao Pedro Marques e à Joana Bastos por todo o carinho e entusiasmo demonstrados ao longo do desenvolvimento desta dissertação.

À entidade do Sistema Científico e Tecnológico, ITeCons, queria agradecer pelos dados disponibilizados e qualidade de informação sem os quais seria impossível a realização deste trabalho, bem como pela cordialidade e simpatia despendidas, principalmente na pessoa da Engenheira Maria Inês Santos e do Engenheiro João Almeida.

A esta casa maravilhosa que é a Universidade de Coimbra por todas as pessoas que conheci e de alguma forma me ajudaram nesta caminhada, especialmente à Julia, Carmen, Andreia, Natacha, Filipa, Ana Isabel, Eliana, Liliana, Elisabete e Lenira, pelo companheirismo e amizade incondicional.

Ao pessoal da residência por todos os momentos de descontração e às minhas maluquinhas prediletas: Márcia, Raquel e Joana.

Queria deixar o meu profundo agradecimento à minha companheira nesta aventura final Joana Gouveia por me aturar em todas as minhas chatices e, ao Hugo por todo o carinho, paciência e companheirismo.

Por fim, tendo consciência que sozinha não seria possível, agradeço aos meus queridos irmãos e aos meus pais. Aos meus pais por acreditarem sempre em mim, pela força, amor e apoio incondicional nos momentos mais difíceis da minha vida, por serem sempre o meu pilar independentemente da distância, muito obrigada.

RESUMO

O sector da construção é um dos principais responsáveis pela degradação ambiental corrente, neste sentido, em projetos de construção civil são crescentemente acatadas estratégias ecoeficientes de modo a promover um desenvolvimento sustentável deste sector.

Neste prisma, esta dissertação apresenta um estudo de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) aplicado à casa flutuante resultante do projeto *FloatWing* para apoiar decisões que minimizem os impactes ambientais. Foram quantificadas e analisadas as emissões de gases de efeito de estufa e as necessidades energéticas em termos primários, para diferentes cenários da casa flutuante em termos de ciclo de vida (CV).

Os cenários analisados têm em conta que para além da casa flutuante servir de habitação, também se pode locomover. Esta funcionalidade lhe exige uma maior autonomia energética (incorporação de painéis solares fotovoltaicos e térmicos, salamandra a *pellets* e gerador a gasolina) e tratamento de águas de abastecimento e águas residuais (incorporação de mini-estações), os quais são classificados em quatro níveis. Numa análise comparativa são estudados estes quatro níveis da casa pré-fabricada de forma modular, a sua instalação em climas alternativos (Portugal, Grécia e Holanda) e a variação das tipologias da mesma (T0 a T3). Além disso, é feita uma análise que considera cenários em relação à manutenção e tratamento adequado dos acabamentos em madeira por estarem expostos à humidade.

Dos resultados conclui-se que ao aumentar a autonomia da casa flutuante, a etapa de construção aumenta a sua contribuição em termos de impacte face às outras etapas do CV, podendo representar mais de 50% dos impactes. Ademais, as condições climáticas influenciam significativamente os impactes do CV da moradia, sendo preferível ser atracada à margem quando inserida em Amsterdão (consumo de eletricidade da rede nacional) se não houver o aquecimento através do consumo de *pellets* e, a utilização dos painéis fotovoltaicos quando instalada no Alqueva ou em Atenas.

Palavras-chave: casa flutuante, Avaliação de Ciclo de Vida, autonomia, impacte ambiental.

ABSTRACT

The construction sector is a major contributor to the current degradation of the environment. Increasingly, new projects follow eco-efficient strategies to promote sustainable development.

With this perspective, this work presents a Life Cycle Assessment (LCA) applied to the floating house of the FloatWing project which uses pre-fabricated modular construction to support decisions that minimize environmental impacts. Different scenarios have been considered to study the floating house's Life Cycle (LC), in order to quantify and analyze emissions of greenhouse gases and primary energy consumption.

These scenarios consider the habitability and mobility of this floating house. The mobility function requires a greater energy autonomy, incorporating photovoltaic and thermal solar panels, a pellet stove and an electric generator, as well as drinking and wastewater treatment incorporating micro water treatment systems, which are classified into four levels. These four levels are compared and the installation in alternative climates (Portugal, Greece and the Netherlands) and FloatWing type variation (T0 to T3), are also evaluated. In addition, an analysis that considers a scenario regarding the maintenance and treatment of the wood finishes exposed to humidity is conducted.

It is concluded that by increasing the autonomy of the floating house the construction stage increases its environmental contribution against other stages, which may represent more than 50% of the LC's impacts. Furthermore, weather conditions significantly influence the LC's impacts. It is preferable to be moored on the sidelines when the floating house is inserted into Amsterdam (consumption of the national electric grid) if the heating is not done by a pellet stove and to use photovoltaic panels when it is installed on Alqueva lagoon or in Athens.

Keywords: floating house, Life Cycle Assessment, energy autonomy, environmental impacts.

ÍNDICE

Índice de Figuras	vi
Índice de Quadros	viii
Abreviaturas.....	ix
1 Introdução.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.1.1 Casas flutuantes	1
1.1.2 O projeto <i>FloatWing</i>	6
1.2 Objetivos da dissertação	8
1.3 Estrutura da dissertação.....	9
2 ACV: metodologia e estado de arte.....	10
2.1 ACV de habitações.....	11
2.2 ACV aplicada a transportes marítimos	16
3 Modelo e inventário da casa flutuante <i>FloatWing</i>	19
3.1 ICV do cenário base	21
3.1.1 Função habitação	23
3.1.2 Função mobilidade	32
3.2 ICV dos cenários alternativos	33
3.2.1 Variação da tipologia da casa flutuante (cenário A)	34
3.2.2 Variação do clima (cenário B)	35
3.2.3 Tratamento dado aos acabamentos da casa flutuante (cenário C).....	35
4 Resultados e discussão.....	37
4.1 Função habitação	37
4.1.1 Construção	40
4.1.2 Uso	41
4.1.3 Reabilitação	42
4.2 Função mobilidade	44

4.3	Cenários alternativos.....	44
4.3.1	Variação da tipologia da casa flutuante (cenário A)	44
4.3.2	Variação do clima (cenário B)	48
4.3.3	Tratamento dado aos acabamentos da casa flutuante (cenário C).....	49
4.4	Comparação das bases de dados.....	49
4.5	Pressupostos e incertezas	52
5	Conclusões	53
5.1	Conclusões do estudo de ACV	53
5.2	Limitações do estudo e sugestões para trabalhos futuros	55
	Referências Bibliográficas	57
	Anexo A - Requisitos de energia primária e emissões de GEES	A - 1
	Anexo B - Tempo de vida dos componentes/equipamentos da casa flutuante	B - 1

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Vila flutuante em Tonle Sap, Camboja. Fonte: Koekoek (2010).....	2
Figura 1.2 - Vila flutuante no porto de <i>Aberdeen</i> , Hong Kong. Fonte: Koekoek (2010).....	2
Figura 1.3 - Arcas na baía de Belvedere em 1892. Fonte: Frank (2008).	3
Figura 1.4 - Barco casa construído a partir de barçaça. Fonte: Anderson (2014).	3
Figura 1.5 - <i>The Lighthouse</i> no porto de <i>Hoorn</i> . Fonte: Koekoek (2010).....	4
Figura 1.6 - Projeto <i>IJburg</i> . Fonte: Koekoek (2010).	4
Figura 1.7 - Barco casa, Amieira Marina (http://www.amieiramarina.com/pt/houseboats).	5
Figura 1.8 - Projeto HOBO, Marina do Douro. Fonte: Visão (2012).	6
Figura 1.9 - Projeto <i>FloatWing</i> (protótipo da casa flutuante na albufeira do Alqueva).....	6
Figura 2.1 - Etapas do CV de um edifício (adaptado da norma EN 15643-2 do CEN/TC 350).	10
Figura 3.1 - Unidade funcional 1 da ACV.	20
Figura 3.2 - Unidade funcional 2 da ACV.	20
Figura 3.3 - Fluxograma do modelo de CV da casa flutuante.	21
Figura 3.4 - Planta do caso de estudo, tipologia T1.	22
Figura 3.5 - Ciclo de vida da casa flutuante <i>FloatWing</i> , tendo em conta as duas funções desempenhadas.	23
Figura 3.6 - Esquema dos sistemas de produção de eletricidade e calor consumidos.	28
Figura 3.7 - Cenários do estudo de ACV de uma casa flutuante, função habitação.	34
Figura 4.1 - Comparação do desempenho ambiental do CV da casa flutuante tendo em conta a função habitação do cenário base: a) Emissões de GEE; b) Energia primária consumida; c) Energia primária de recursos fósseis; N1 a N4 – níveis de autonomia.	38
Figura 4.2 - Análise da produção dos materiais (estrutura/acabamentos) da casa flutuante, cenário base.....	40
Figura 4.3 - Análise da produção de equipamentos, cenário base (nível N4).....	41
Figura 4.4 - Análise da etapa de uso, cenário base: a) Emissões de GEE; b) Energia primária consumida; c) Energia primária de recursos fósseis; N1 a N4 – níveis de autonomia.	42
Figura 4.5 - Análise do tratamento de águas residuais e águas de abastecimento: a)Emissões de GEE; b) Energia primária consumida; N1 a N4 – níveis de autonomia.	43
Figura 4.6 - Substituição de todos os equipamentos da casa flutuante (N4) em 20 anos.	43
Figura 4.7 – Comparação do desempenho ambiental do CV da casa flutuante do cenário base com o cenário A, tendo em conta a função habitação: a) e d) Emissões de GEE; b) e e) Energia primária consumida; c) e f) Energia primária de recursos fósseis; N1 a N4 – níveis de autonomia; T0 a T1 – tipologias da casa flutuante.	45

Figura 4.8 – Comparação do cenário base com o cenário A, etapa de ocupação, cenário base: a) e d) Emissões de GEE; b) e e) Energia primária consumida; c) e f) Energia primária de recursos fósseis; N1 a N4 – níveis de autonomia; T0 a T1 – tipologias da casa flutuante.	47
Figura 4.9 - Comparação do cenário base com o cenário B, transporte dos componentes: a) Emissões de GEE; b) Energia primária consumida; c) Energia primária de recursos fósseis; N1 a N4 – níveis de autonomia; PT – Alqueva, Portugal; GR – Atenas, Grécia; HO – Amsterdão, Holanda.	48
Figura 4.10 - Comparação do cenário base com o cenário B, etapa de uso: a) Emissões de GEE; b) Energia primária consumida; c) Energia primária de recursos fósseis; PT – Alqueva, Portugal; GR – Atenas, Grécia; HO – Amsterdão, Holanda.	49

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Exemplos de estudos de ACV de habitações.	13
Quadro 2.2 - Estudos de ACV de barcos.	17
Quadro 3.1 - Descrição dos quatro níveis de autonomia da casa flutuante.	19
Quadro 3.2 - Descrição quantitativa dos componentes da tipologia T1 (adaptado de Constálica <i>et al.</i> , 2015).	25
Quadro 3.3 - Fluxos de entrada para a produção dos materiais da casa flutuante.	26
Quadro 3.4 - Descrição dos sistemas auxiliares da casa flutuante.	26
Quadro 3.5 - Fluxos de entrada para os cenários de produção dos equipamentos.	27
Quadro 3.6 - Fluxos de entrada do transporte dos materiais/equipamentos e dos componentes da tipologia T1.	27
Quadro 3.7 - Dados utilizados para calcular os consumos de energia devido ao uso da casa flutuante.	29
Quadro 3.8 - Consumo elétrico diário para equipamentos com consumo homogéneo durante o ano (Branco, 2014; Constálica <i>et al.</i> , 2015).	29
Quadro 3.9 - Fluxos de entrada associados ao uso da casa flutuante durante um ano.	30
Quadro 3.10 - Volumes de água a ser tratada de acordo com o nível de equipamento incorporado na casa (cenários de tratamento de águas).	31
Quadro 3.11 - Características do motor (adaptado de Mercury, <i>s.d</i>).	32
Quadro 3.12 – Características de óleos lubrificantes.	33
Quadro 3.13 - Cálculo da potência nominal necessária para cada tipologia e características do motor escolhido.	35
Quadro 3.14 - Fluxos de entrada para a função mobilidade dada a variação da tipologia.	35
Quadro 4.1 - Impactes devido à reabilitação da casa flutuante, cenário base.	43
Quadro 4.2 - Impactes ambientais devido à função mobilidade, cenário base.	44
Quadro 4.3 Impactes ambientais devido à função mobilidade, cenário A.	48
Quadro 4.4 - Impactes devido à reabilitação da casa flutuante, cenário C.	49
Quadro 4.5 - Comparação das bases de dados ICE e ecoinvent.	50
Quadro A.5.1 - Requisitos energéticos e de emissão de GEE por unidade de fluxo de entrada da produção dos módulos (estrutura e acabamentos), base de dados ICE e ecoinvent.	1
Quadro A.5.2 - Requisitos energéticos e de emissão de GEE por unidade de fluxo de entrada, base de dados ecoinvent.	2

ABREVIATURAS

ACV- Avaliação do Ciclo de Vida

AICV – Avaliação dos Impactes do Ciclo de Vida

AQS – Águas quentes sanitárias

CV – Ciclo de Vida

CED – *Cumulative Energy Demand*

ETA – Estação de tratamento de águas de abastecimento

ETAR – Estação de tratamento de águas residuais

GEE – Gases de efeito de estufa

GR – Grécia, Atenas

HO – Holanda, Amsterdão

ICV – Inventário do Ciclo de Vida

IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*

N1 a N4 – nível de autonomia ou nível de equipamento 1 a 4

PT – Portugal, Alqueva

T0 a T3 – tipologia da casa flutuante T0 a T3

UF – Unidade funcional

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

O setor da construção é um dos grandes responsáveis pela degradação ambiental (UNEP, 2003; Anderson e Thornback, 2012; Neiva *et al.*, 2012; Zabalza *et al.*, 2012). Segundo a UNEP (2003), este setor é responsável por aproximadamente 40% da carga ambiental global. Além disso, a construção de edifícios faz uso de 40% dos materiais que entram no mercado global (Khasreen *et al.*, 2009), consome 25 a 40% da energia total produzida no mundo, e produz 30 a 40% dos resíduos e das emissões de gases de efeito de estufa, GEE (Taipale, 2012; UNEP, 2015). Importa salientar que estes impactes têm repercussões tanto nas gerações presentes como nas futuras, daí ser necessário que qualquer posição tomada vise a sustentabilidade. Todavia, a tomada de decisões ambientalmente sustentáveis em projetos de construção exigem estudos que permitam determinar possíveis melhorias e em que etapas do ciclo de vida (CV) de uma infraestrutura, estas devem ser implementadas (Zabalza *et al.*, 2009).

De acordo com a Comissão Europeia (Zabalza *et al.*, 2012), a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) destaca-se como uma ferramenta de excelência de análise e escolha de alternativas, constituindo o melhor enquadramento disponível para avaliar os potenciais impactes ambientais de qualquer tipo de atividade, produto ou serviço.

Neste âmbito, esta dissertação tem como objetivo a aplicação de um estudo de ACV ao novo projeto, denominado *FloatWing*, que visa o desenvolvimento de casas flutuantes e é executado pelo consórcio constituído por uma entidade do Sistema Científico e Tecnológico, ITeCons, e por três empresas, Constálica, Friday e Amorim Isolamentos (AISOL).

1.1.1 Casas flutuantes

Antes de mais é fundamental perceber a importância que as casas flutuantes têm desempenhado na história antropogénica e a sua relação com a atividade turística e desenvolvimento da economia do mar.

Koekoek (2010) refere que o homem desafia a água como habitat desde a antiguidade, sendo que as primeiras vilas flutuantes foram construídas nas margens ou mesmo no meio do lago *Tonle Sap* em Camboja (Figura 1.1). Ainda no sudeste asiático podem ser encontradas outras vilas flutuantes em Vietnam, na Tailândia, na Indonésia e na China. As vilas flutuantes chinesas já existiram há mais de um milénio e, ao contrário de Camboja, as suas moradias aparentam a

pequenos barcos, os quais podem ser vistos na vila flutuante situada no porto *Aberdeen*, Hong Kong (Figura 1.2).



Figura 1.1 - Vila flutuante em Tonle Sap, Camboja. Fonte: Koekoek (2010).



Figura 1.2 - Vila flutuante no porto de *Aberdeen*, Hong Kong. Fonte: Koekoek (2010).

Uma das razões que impulsionou o desenvolvimento destas vilas flutuantes é o risco de inundação, por exemplo durante as monções o rio *Tonle Sap* aumenta mais de dez vezes o seu caudal, fenómeno este que incrementa a atividade piscatória da região, deste modo o perigo e a necessidade geraram as vilas flutuantes nesse rio.

Com as mudanças climáticas esta situação só se tem agravado, sendo que, apesar da construção de estruturas como diques, barragens e comportas, não tem sido possível em alguns casos conter o aumento do nível das águas. Aliando esse défice de controlo à carência de fertilização dos solos, tem-se verificado que, ao invés de simplesmente tentar controlar os rios, deve-se adaptar às características individuais dos fluxos dos mesmos. Visão adotada desde a antiguidade pelos povos das margens dos rios Nilo e *Tonle Sap* (Takeuchi, 2002; Koekoek, 2010), a qual atualmente ganhou interesse por países desenvolvidos, como a Holanda (Middlemis-Brown, 2011; Mutia, 2013; Anderson, 2014).

Segundo Anderson (2014), com o aumento das populações e o crescente fenómeno de urbanização, nomeadamente nas grandes metrópoles situadas na orla costeira, o espaço disponível torna-se cada vez mais escasso. Em consequência, este pode igualmente encarecer o preço do terreno para habitação, fazendo com que seja, por vezes, mais viável a construção de moradias à superfície da água, a qual constitui uma prática barata em regiões como Makoko, Bangkok e a Amazônia, nas quais as populações construíram bairros flutuantes sobre palafitas ou jangadas (Agsorn, 1995; Junior, 2009; Riise e Adeyemi, 2015).

O facto de constituir uma prática barata foi uma das principais razões que impulsionou o desenvolvimento de bairros flutuantes em regiões como a baía de Sausalito, Califórnia e em

Amsterdão após a crise de 1930 e a Segunda Guerra Mundial (Frank, 2008; Anderson, 2014 e Koekoek, 2010).

Nos Estados Unidos já havia registos de barcos casa (*houseboats*) desde os finais do século XIX denominados na altura por arcas (Figura 1.3). De acordo com Anderson (2014) após o terramoto de 1906, vários habitantes ficaram sem as suas residências, acabando muitos por decidir residir permanentemente em suas moradias de verão, este movimento de emigração foi agravado com a Segunda Guerra Mundial ao ser promovida muita atividade na baía de Sausalito com a construção de barcos casa a partir das carcaças dos barcos de guerra (Figura 1.4).



Figura 1.3 - Arcas na baía de Belvedere em 1892. Fonte: Frank (2008).



Figura 1.4 - Barco casa construído a partir de barcaça. Fonte: Anderson (2014).

No século XVII já existiam pessoas a viver em barcos em Amsterdão, o qual foi intensificado com o mercado marítimo crescente em estruturas de aço no final do século XIX, que implicou os barcos com estrutura em madeira serem destinados para a construção de barcos casa. Em 1922 foram construídas as primeiras moradias flutuantes do oeste da Europa que não eram barcos, desenvolvidas sobre uma fundação em betão leve, consistindo num sistema barato e tecnicamente robusto. Tanto o desenvolvimento dos barcos casa como das casas flutuantes em Holanda foram drasticamente impulsionados com a crise de 1930 e a Segunda Guerra Mundial, sendo que no século XX existiam aproximadamente 10 000 barcos casa no país (Koekoek, 2010).

Em 1999 na Holanda (Koekoek, 2010), foi construída a primeira casa flutuante com finalidade habitacional e que realmente flutuava, *The Lighthouse* (Figura 1.5), na qual foi aplicada a tecnologia canadiana IMF (*International Marine Floatation Systems Inc.*). Esta tecnologia, desenvolvida na década de 80, permite a flutuação da casa ao incorporar uma plataforma com núcleo de espuma de poliestireno expandido (EPS) e uma caixa em betão. Com o sucesso desta casa flutuante a construção flutuante foi encarada como uma medida governamental holandesa de adaptação face às adversidades climáticas, sendo que em 2002 foi desenvolvido o projeto de *IJburg* (Figura 1.6). Este projeto, elaborado pelo arquiteto Marlies Rohmer, consiste num

conjunto de apartamentos que flutuam no lago *IJ*, os quais foram pré-fabricados a 48 km de *IJburg*, tendo sido depois transportados até ao lago (Golebiewski, 2013; Anderson, 2014; Daglio, 2014). Para além destes projetos, muitos outros foram levados a cabo no país, o qual constitui o líder europeu em termos de arquitetura aquática, exemplificando a *Watervila* (em *Middelburg*), o Complexo *Sphinx* (em *Huissen*), o bairro flutuante (em *Maasbommel*), entre outros (Pasternack, 2009; Koekoek, 2010 e Anderson, 2014).



Figura 1.5 - *The Lighthouse* no porto de *Hoorn*. Fonte: Koekoek (2010).



Figura 1.6 - Projeto *IJburg*. Fonte: Koekoek (2010).

Atualmente, a arquitetura flutuante tem sido alvo de curiosidade por muitos turistas, os quais tem à sua disposição casas, restaurantes, hotéis, saunas ou mesmo cinemas flutuantes. Estas construções vão aparecendo por todo o mundo, como a sauna flutuante *Jalolautta* na Finlândia, as casas flutuantes no lago *Geieswalde* na Grécia ou ainda o restaurante *Jumbo* na China. Estes projetos servem de atração aos turistas pelo seu cariz inovador, impulsionando assim a economia desses países.

Quanto a Portugal, o turismo é uma das atividades que foi abalada pela crise económica, mas além disso as chegadas internacionais dependem de um leque reduzido de países, representado as chegadas de Alemanha, Espanha, França e Reino Unido 57% das receitas turísticas nacionais (INE, 2014). Ademais, é indispensável referir que a maior concorrente, Espanha, ocupa o terceiro lugar no ranking mundial, enquanto Portugal não é listado entre os dez destinos mundiais mais procurados (UNWTO, 2014). Todavia, independentemente destas adversidades, o saldo contabilístico turístico em 2013 aumentou 8.3% em relação ao ano anterior, constituindo o sexto maior da União Europeia (INE, 2014).

Posto isto, constata-se a necessidade do desenvolvimento do turismo, realçando a sua importância para a economia nacional visto que, para além de afetar diretamente o Produto Interno Bruto, gera novos postos de emprego e potencia outras atividades económicas (Maricato, 2012).

Uma oportunidade de desenvolvimento deste sector poderá residir numa das grandes riquezas do país: a sua diversidade de planos de água, tanto fluviais como marítimos. Estes planos de água, quando aliados a um elevado grau de competências técnicas, permitem a expansão da Economia do Mar, a qual constitui um potencial estratégico para o desenvolvimento da economia do país ao conjugar as condições naturais com atividades como: a Náutica de Recreio; indústria turística, de hotelaria e de restauração (SaeR, 2009; Grupo de Trabalho da Náutica de Recreio, 2012). Esta visão é amplamente justificada no PENT 2013/2015, ao aliar o desenvolvimento turístico a outras atividades económicas. Aliás, o grande sucesso comercial que o aluguer dos barcos casa na albufeira do Alqueva (Figura 1.7) tem tido, na sequência da entrada em vigor do Decreto-lei nº 289/2007 (que dá abertura à utilização de embarcações para a exploração comercial e atividades culturais e de lazer), reforça este potencial (Constância *et al.*, 2014).



Figura 1.7 - Barco casa, Amieira Marina (<http://www.amieiramarina.com/pt/houseboats>).

Neste sentido, torna-se crucial o desenvolvimento da Economia do Mar, o qual pode ser alcançado pela reengenharia de produtos náuticos, qualificando-os e permitindo experiências singulares aos interessados, para o qual projetos como casas flutuantes adequam-se perfeitamente.

Portugal só muito recentemente entrou neste mercado turístico com apenas dois projetos de casas flutuantes e barcos casa para aluguer. Sendo ainda um novo conceito, para além do projeto *FloatWing* (pormenorizado no subcapítulo seguinte), há apenas um projeto de uma casa flutuante denominado HOB0, que foi construída no Rio Douro (Visão, 2012). O protótipo (Figura 1.8), desenvolvido pela empresa *Modular System* e inaugurado em junho de 2012 na Douro Marina, foi concebido como um modelo modular pelos arquitetos Alexandre Teixeira da Silva e Miguel Ribeiro de Sousa, tendo sido construído em madeira de abetos nórdicos, à qual se juntou uma estrutura metálica para ter maior durabilidade e resistência. O protótipo tem

cerca de 120 m², sendo constituído por três quartos, uma sala, uma cozinha e uma zona para festas, além de apresentar alguma mobilidade proporcionada por um motor incorporado à moradia.



Figura 1.8 - Projeto HOBO, Marina do Douro. Fonte: Visão (2012).

1.1.2 O projeto *FloatWing*

O projeto *FloatWing* visa o desenvolvimento de uma casa flutuante pré-fabricada construída de forma modular, do qual já resultou o Protótipo representado na Figura 1.9, que foi projetado para ser instalado apenas em meios fluviais e aluvionares.



Figura 1.9 - Projeto *FloatWing* (protótipo da casa flutuante na albufeira do Alqueva).

Segundo Constância *et al.* (2014), a casa flutuante deste projeto pode ser construída sobre uma plataforma flutuante de 6 m de largura e 10 a 18 m de comprimento, com incrementos de 2 em 2 para as diferentes tipologias (T0 a T3). Sendo que a moradia pode ter em todas as suas configurações, uma sala com cozinha incorporada e, pelo menos, uma casa de banho e um quarto. Além disso, na cave, ao nível dos flutuadores, situam-se os espaços técnicos que albergam os equipamentos eletromecânicos, bem como os depósitos de águas de abastecimento

e de águas residuais. Na cobertura existe um solário, uma bancada de equipamentos e uma bateria de painéis solares térmicos e fotovoltaicos.

Em termos de equipamentos, esta pode ter quatro níveis diferentes, dependendo da sua autonomia energética:

- **Nível N1** - a casa flutuante não apresenta qualquer mobilidade, estando amarrada à margem e ligada às redes municipais. Os painéis fotovoltaicos não são imprescindíveis, embora possam existir como em qualquer outra habitação;
- **Nível N2** – a casa flutuante apresenta alguma mobilidade ao ser-lhe incorporada dois motores a gasolina, fora de bordo. Além disso, a casa ganha alguma autonomia energética de origem solar (5 m² de painéis solares e 23 m² de painéis fotovoltaicos). Dada a mobilidade, ela dispõe de tanques próprios de armazenamento de águas de abastecimento e águas residuais;
- **Nível N3** – a casa flutuante é dotada de uma bateria mais consistente de painéis solares fotovoltaicos (31 m²), bem como uma salamandra a *pellets*. Neste nível, além dos tanques, a casa possui uma mini Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) para realizar o tratamento primário e secundário das águas residuais por lamas ativadas;
- **Nível N4** – para além dos equipamentos do nível N3, a casa flutuante inclui tratamento terciário de águas residuais por filtração em membrana cerâmica, e uma mini Estação de Tratamento de Águas de Abastecimento responsável pelo tratamento da água captada diretamente da albufeira (onde se encontra instalada a casa), que será usada para todas as atividades que não sejam alimentação e higiene pessoal.

Além desses equipamentos, existe um sistema de aquecimento/arrefecimento por piso radiante incorporado na casa. Neste sistema, a água circula no pavimento radiante e é aquecida por meio de uma bomba de calor, de modo a haver aquecimento do ar interior. Em relação ao arrefecimento, apenas é circulada a água no teto arrefecido da casa flutuante e no pavimento radiante (Branco, 2014). Este sistema de piso radiante permite o alcance de um nível de conforto desejável, o qual é associado à parcela envidraçada da casa, não sendo necessário a instalação de equipamentos de ventilação mecânica.

Em relação aos materiais a integrar a casa, o protótipo, com a tipologia T1, de 16 m de comprimento (o único construído até o momento), tem uma infraestrutura em aço inoxidável (A316L) constituída por duas treliças longitudinais e seis transversais. A esta infraestrutura são associados três depósitos, também em aço inoxidável, e flutuadores em EPS revestidos de fibra de vidro. Os elementos da supraestrutura são em aço de carbono (S275), com tratamento anticorrosivo por galvanização a quente, à exceção das caleiras em aço inox (A316L), uma vez que, estão em contacto com a água. Em termos da envolvente externa, existem dois tipos de soluções: parede opaca e portadas de vidro transparente. No primeiro caso, trata-se de um

aglomerado de madeira tipo sanduíche, com um isolamento em aglomerado de cortiça expandido (ICB) e placas de painel tricapa pelo interior e exterior, enquanto a envolvente transparente é constituída por caixilharia de alumínio de corte térmico, com vidro duplo e caixa-de-ar. A cobertura tem um acabamento interior em painéis tricapa, um revestimento exterior em *Deck Thermowood* (pinho), placas de isolamento ICB e um painel sanduíche do tipo Hairisol (ArcelorMittal, 2011). O *Deck Thermowood* (pinho) também é utilizado no solário e pavimento exterior. Por sua vez, o pavimento interior tem placas de isolamento ICB e soalho maciço (riga).

A seleção dos materiais da casa foi baseada, entre outros parâmetros, nas suas características térmicas. Para o estudo do desempenho térmico foi realizada uma simulação numérica na qual se utilizou o programa Bisco, da Physibel. Ademais, foram determinados, pelo método da “Hot Box”, coeficientes de transmissão térmica dos elementos da caixilharia externa e da parede externa a aplicar no projeto, segundo a norma ISO 12567-1:2010 (citado em Constállica *et al.*, 2014).

Do enunciado anteriormente pode verificar-se que houve uma preocupação na seleção dos materiais, de modo a obter o seu melhor desempenho energético, conciliando-os com os equipamentos de produção de energia renovável, a qual poderá permitir a minimização dos impactes ambientais, no entanto, este tipo de conclusão só poderá ser tirado após um estudo de desempenho ambiental da casa flutuante.

1.2 Objetivos da dissertação

Esta dissertação tem como principal objetivo a avaliação do desempenho ambiental da casa flutuante *FloatWing*, aplicando a ferramenta de ACV para analisar quantitativamente os impactes ambientais, mais especificamente as emissões de gases de efeito de estufa (GEE), e os impactes energéticos em termos primários, considerando as seguintes etapas do CV da casa flutuante: construção; uso (consumos energéticos) e reabilitação da casa flutuante. Ademais, a análise tem em consideração o facto de o sistema desempenhar duas funções na sua etapa de utilização: habitação e mobilidade

Tendo em conta o objetivo principal deste estudo, esta dissertação subdivide-se nos seguintes objetivos específicos:

- Desenvolver um modelo de Inventário para as duas funções da casa flutuante, nas diferentes etapas do CV da mesma;
- Comparar diferentes bases de dados (*Inventory of Carbon and Energy* (ICE) e ecoinvent) utilizadas para a elaboração do modelo de Inventário e cálculo dos impactes;
- Avaliar a casa flutuante tendo em conta a variação da tipologia da casa (T0 a T3), os quatro níveis de autonomia explicados na secção anterior, o local de implantação da

mesma (Portugal, Grécia e Holanda) e, a manutenção e o tratamento adequado dado aos acabamentos em madeira;

- Caracterizar os impactes ambientais e energéticos com base nos métodos *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) e *Cumulative energy demand* (CED);
- Identificar as etapas críticas do CV da casa flutuante e os processos e fluxos materiais ou energéticos mais relevantes, de modo a identificar melhorias do sistema *FloatWing*;
- Por fim, comparar os resultados com a literatura, avaliar as suposições e incertezas e indicar as principais limitações e simplificações do estudo.

1.3 Estrutura da dissertação

A dissertação está organizada em 5 capítulos, incluindo o presente introdutório. No capítulo seguinte é feita a revisão bibliográfica, concentrando-se em estudos de ACV. Após a contextualização do tema, o capítulo 3 apresenta o objetivo e âmbito do estudo de ACV e o Inventário do CV da casa flutuante. O capítulo 4 remete aos resultados do estudo e à discussão dos mesmos e por fim o capítulo 5 salienta as principais conclusões do estudo e sugestões de trabalhos futuros de investigação.

2 ACV: METODOLOGIA E ESTADO DE ARTE

As casas flutuantes são muito conhecidas globalmente, contudo, desconhece-se a existência de algum estudo de ACV para este tipo de construção. Em Portugal, além de só existirem dois casos de casas flutuantes, também não há conhecimento de nenhum estudo de ACV neste âmbito. Todavia, o estudo de ACV a ser elaborado pode ser comparado com os de habitações, mais especificamente as pré-fabricadas.

Atualmente, é de conhecimento geral que as residências acarretam um elevado impacto energético e ambiental na sua etapa de uso, daí que muitos são os estudos e tecnologias desenvolvidos para a diminuição deste, na medida que a própria legislação tem ido de encontro a este objetivo. No entanto, torna-se imprescindível analisar as restantes etapas do seu CV (Figura 2.1), dado que o peso relativo dos seus impactos aumenta com a diminuição do contributo da etapa de uso, essencialmente no que compete à produção dos materiais de construção utilizados (Zalbatza *et al.*, 2012).

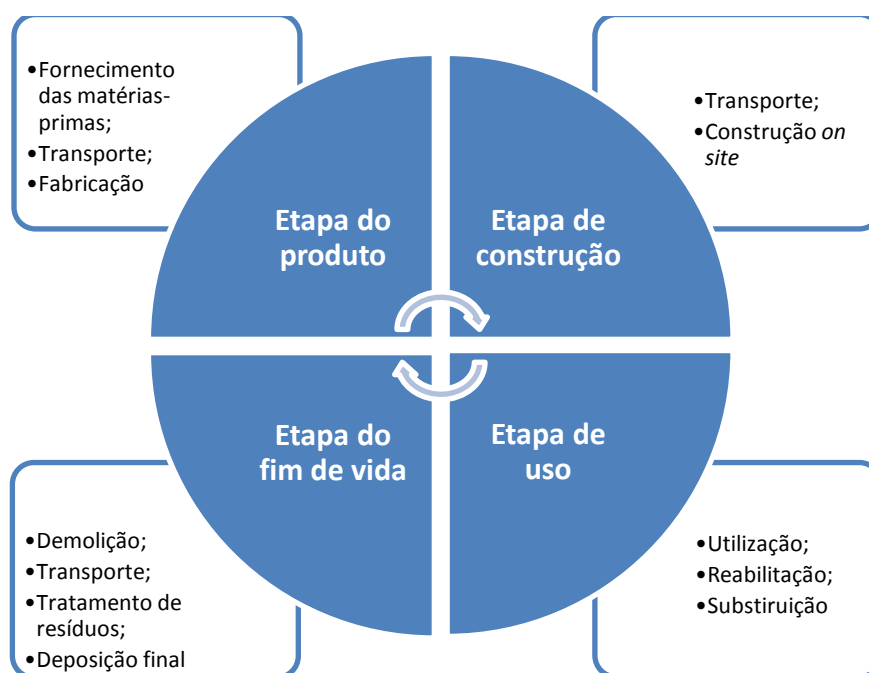


Figura 2.1 - Etapas do CV de um edifício (adaptado da norma EN 15643-2 do CEN/TC 350).

A abordagem de CV implica uma visão holística do produto, de modo a contemplar os potenciais impactes ambientais que sucedem de cada etapa de vida deste, ou seja, desde a extração das matérias-primas ou transformação dos recursos naturais até ao seu fim de vida (*cradle-to-grave*). Estando definido na ISO (*International Organization for Standardization*) 14040:2006 como a “compilação dos fluxos de entradas e saídas dos impactes ambientais associados a um produto ao longo do seu CV”, a ACV permite quantificar os impactes ambientais referentes aos processos decorrentes dentro das fronteiras do sistema de produto previamente definido, de modo a perceber quais as etapas-chave (as mais impactantes) e se as possíveis melhorias a serem propostas num dado projeto podem realmente ser consideradas melhorias no CV do produto.

Esta ferramenta assenta nas leis da Termodinâmica tendo em conta a conservação da energia e a inexistência de processos completamente reversíveis, o que permite a fundamentação dos cálculos e a justificação das necessidades da técnica (Ferrão, 2009). Além disso, está estandardizada nas normas ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006, sendo que quando aplicada a edifícios existem, de acordo com Zabalza *et al.* (2012), um conjunto de normas publicadas pela Comissão Técnica 350 - *Sustainability of construction works*, do Comité Europeu de Normalização: EN 15643-1,-2,-3 e -4; EN 15804; EN 15978. Segundo a ISO 14040: 2006, um estudo de ACV é um processo iterativo, que se divide em quatro fases distintas:

- ✓ Definição do objetivo e âmbito, onde se estabelece a finalidade do estudo, bem como se descreve o sistema e as suas fronteiras, a unidade funcional, os dados necessários e os critérios de avaliação a considerar;
- ✓ Inventário de CV (ICV), fase que envolve a compilação, quantificação e validação das entradas e saídas relevantes do sistema de CV do produto;
- ✓ Avaliação de Impacte do CV (AICV), fase de avaliação da significância e magnitude dos potenciais impactes ambientais do CV do produto em estudo. Consiste essencialmente na associação dos dados do Inventário a diferentes categorias de impacte ambiental, e obtenção de indicadores de categoria. Para além disso, estes indicadores podem ser normalizados, agregados ou ponderados. Contudo, estes elementos de avaliação podem implicar alguma subjetividade ao estudo, daí ser preferível apenas obter os indicadores de categoria.
- ✓ Interpretação do CV, nesta fase são interpretados os resultados obtidos, de modo a identificar se existe coerência com os objetivos traçados e com os dados da bibliografia. Além disso, são elucidadas as limitações do estudo e sugeridas recomendações.

2.1 ACV de habitações

Durante as últimas décadas, uma série de autores têm destacado a importância da compreensão do CV de um edifício (Stephan *et al.*, 2012; Bastos *et al.*, 2014; Chau *et al.*, 2015). Da literatura

advém uma variedade de resultados difíceis de comparar, dado que cada projeto estudado tem características específicas. Todavia, mesmo que varie o tipo de edifício, o clima onde está inserido, a metodologia e a unidade funcional do estudo (ver Quadro 2.1), existem algumas conclusões comuns.

Para construções convencionais a etapa de uso tem maior peso no CV de um edifício (Chau *et al.*, 2015). Na área da habitação, Bastos *et al.* (2014) contabilizou que o uso de três tipos de edifícios multifamiliares, localizados em Lisboa, corresponde a 69 – 83% das necessidades totais de energia e das emissões totais de gases de efeito estufa (GEE), durante 75 anos. Conclusões semelhantes foram obtidas em vários estudos, exemplificando: Idon e Firth (2013) no Reino Unido; Adalberth (1997a; 2001) na Suécia; e Blengini (2009) na Itália. No entanto, quando se tratam de edifícios de baixo consumo energético (arquitetura passiva ou bioclimática), como uma *Passive house*, esta etapa pode deixar de ser dominante e, por sua vez, a etapa de produção tem a capacidade de atingir 50% dos impactes ambientais do CV do edifício (Stephan *et al.*, 2012; Chau *et al.*, 2015).

Os edifícios de baixo consumo energético apresentam uma maior parcela em termos de impacto incorporado, dado o investimento em materiais de isolamento de qualidade e tecnologias de elevada eficiência energética. De acordo com Lützkendorf *et al.* (2014), a energia incorporada de uma *Passive House* com painéis fotovoltaicos é 44% maior do que a consumida na etapa de uso para um tempo de vida de 60 anos. Os impactes ambientais devido à produção de materiais e à construção dos edifícios dependem do seu design, dos componentes estruturais e acabamentos, e do tempo de vida. O tempo de vida definido para os estudos de ACV em habitações varia geralmente entre 50 a 100 anos, sendo muito comum estudos com um período de referência de 50 anos. Desta variação de tempo de vida percebe-se que quanto maior o tempo de vida, menor o peso relativo atribuído aos impactes incorporados da habitação, dado que a um período de uso mais longo, correspondem mais impactes na totalidade do CV (Chau *et al.*, 2015).

Os impactes devido ao transporte dos materiais de construção podem ser pouco expressivos quando os quilómetros percorridos não são significativos (Adalberth, 1997a). No entanto, se a maior parte dos materiais de construção forem importados, o transporte tem maior significância, tal como acontece na construção de edifícios em Hong Kong (Chen *et al.*, 2001; Chau *et al.*, 2007). Por sua vez, a etapa de final de vida é frequentemente excluída dos estudos, visto que, o consumo de energia e os impactes ambientais resultantes podem ser considerados redundantes e menosprezáveis, tendo em conta o CV completo de um edifício, (Chau *et al.*, 2015). Além disso, o final de vida de um edifício poderá ser difícil de prever, estando por isso associado a uma elevada incerteza.

Quadro 2.1 – Exemplos de estudos de ACV de habitações.

Referência	Análise	Local	Fases do CV	UF	Resultados
Adalberth, 1997a	CV energético de três habitações unifamiliares pré-fabricadas	Suécia	1. Construção; 2. Uso; 3. Final de vida	1 m ² × 50 anos	Energia consumida em 50 anos: 7600 - 8500 kWh/m ² . Produção: 10 - 11 %; Uso: 83 - 85%.
Peuportier, 2001	ACV três tipos de habitações unifamiliares francesas	França	1. Construção; 2. Uso; 3. Final de vida	1 m ² × 80 anos	As emissões de GEE são maiores na etapa de uso. Uma estrutura em madeira reduz a emissão de GEE e o desperdício produzido na etapa de demolição.
Monahan e Powell, 2011	CV da energia/ carbono em habitações de baixo consumo energético	Reino Unido	1. Construção; 2. Uso; 3. Final de vida	1 m ²	Energia incorporada (GJ/m ²): 5.7 - 8.2; Carbono incorporado (kg CO ₂ /m ²): 405 - 612
Coelho <i>et al.</i> , 2002	ACV de uma habitação unifamiliar pré-fabricada, com estrutura em madeira	Portugal e Paris	1. Construção; 2. Uso; 3. Final de vida	1 casa	Madeira revelou-se um produto de construção adequado para a redução do potencial de aquecimento global
Aye <i>et al.</i> , 2012	CV carbono/energia de diferentes tipos de construções para habitação: convencional em betão; modular pré-fabricada em aço e outra em madeira	Austrália	1. Construção; 2. Uso; 3. Reutilização dos materiais	1 m ²	A construção em aço apresenta um impacto incorporado maior em relação às outras construções, contudo, a parcela de reutilização do aço no seu final de vida, pode reduzir estes impactos em 81.3%.
Rossi <i>et al.</i> , 2012	Comparação entre a energia/ carbono incorporado e a energia/ carbono operacional de um edifício habitacional. Análise do tipo de estrutura e clima inserido	Bélgica (BE); Portugal (PT) e Suécia (SE)	1. Construção; 2. Uso; 3. Final de vida	1 m ² × ano	O aço impacta menos. Energia incorporada (kWh/m ² .ano): 24 (BE e PT); 26 (SE). Carbono Incorporado (kg CO ₂ /m ² .ano): 5. Energia Operacional (kWh/m ² .ano): 274 (BE); 175 (PT); 328 (SE). Carbono Operacional (kg CO ₂ /m ² .ano): 24 (BE); 39 (PT); 3 (SE).
Stephan <i>et al.</i> , 2012	Avaliação dos requisitos energéticos de dois tipos de casas de baixo consumo energético	Bélgica e Austrália	1. Construção; 2. Uso; 3. Transporte	1 m ²	Construção (GJ/m ²): 23 - 26; Uso (GJ/m ²): 18 - 28. Quando os impactos incorporados são maiores, o impacto operacional tende a decrescer.
Iddon e Firth, 2013	CV do carbono de uma habitação unifamiliar isolada, avaliação de diferentes métodos de construção.	Reino Unido	1. Construção; 2. Uso; 3. Reabilitação	1 m ² × 60 anos	O carbono operacional corresponde a 74 - 80% do emitido em todo o ciclo de vida do edifício, sendo a maior parte devido à climatização da residência.
Tavares <i>et al.</i> , 2013	Avaliação da energia/ carbono incorporado de uma habitação pré-fabricada de forma modular (Moby)	-	1. Construção; 2. Uso; 3. Final de vida	1 m ²	Energia incorporada (GJ/m ²): 7.53; Carbono incorporado (kg CO ₂ /m ²): 411.
Bastos <i>et al.</i> , 2014	CV de energia/ carbono de três edifícios habitacionais	Lisboa, Portugal	1. Construção; 2. Uso; 3. Reabilitação	1 m ² × ano; 1 pessoa × ano	Energia primária total: 189 - 324 MJ/(m ² .ano); 10 - 13 MJ/(pessoa.ano). Carbono total: 10 - 18 kg CO ₂ eq/(m ² .ano); 556 - 731 kg CO ₂ eq/(pessoa.ano).

Para além do tempo de vida de um edifício e das diferentes etapas do seu CV, a unidade funcional (UF) escolhida é crucial. Esta permite quantificar o desempenho de um sistema de produto, de modo a possibilitar o seu uso como referência em comparações entre resultados de estudos de ACV com a mesma unidade funcional (ISO 14040:2006). Dos estudos apresentados no Quadro 2.1, a UF de ACV de habitações varia entre um metro quadrado de área útil, a área total da habitação e um habitante ao longo de um ano ou do tempo de vida total considerado no estudo.

Ainda sobre os estudos apresentados no Quadro 2.1, passam a ser especificados os estudos sobre casas pré-fabricadas, na medida em que, à casa flutuante analisada nesta dissertação é aplicado o conceito de pré-fabricação. Conceito este de tendência crescente, pois permite a redução do tempo de produção, o custo, os impactes ambientais e o consumo de energia na etapa de construção da casa (Aye *et al.*, 2012).

Adalberth (1997a) quantificou a energia utilizada desde a extração de matérias-primas até a demolição (“*cradle-to-grave*”) de três moradias unifamiliares pré-fabricadas na Suécia. Estas casas possuíam fachadas cobertas de painéis de madeira, material de isolamento de lã de vidro e telhado em betão. Tendo como unidade funcional 1 m² de área útil de uma habitação com tempo de vida de 50 anos, Adalberth concluiu que a etapa de utilização consome 85% da energia total e a etapa de construção cerca de 15%. Além disso, verificou que a energia requerida nos processos de transporte dos materiais, ereção e demolição das casas era pouco significativa.

Em 2012, também foi desenvolvido um estudo de ACV, “*cradle-to-grave*”, para uma habitação unifamiliar de madeira pré-fabricada em Vila Nova de Cerveira, a qual seria posteriormente montada em Paris (Coelho *et al.*, 2012). Os resultados do estudo destacaram a necessidade de redução das distâncias de transporte, favorecendo a utilização de fontes e fabricantes locais, para uma construção amiga do ambiente. Além disso, a madeira revelou-se um produto de construção sustentável, porque permite reduzir o potencial de aquecimento global devido à sua capacidade de armazenamento de carbono.

O sistema de construção de madeira comum permite a substituição parcial dos módulos ou elementos danificados, sem comprometer toda a estrutura. O uso da madeira enquanto material de construção também tem vantagens do ponto de vista da eficiência energética, pois esta matéria-prima tem baixa condutibilidade térmica. Mesmo exigindo manutenção ao longo do uso do edificado, a madeira é uma boa opção que tem suscitado interesse para construções sustentáveis devido à sua baixa contribuição para os impactes da etapa de construção de uma infraestrutura (Coelho *et al.*, 2012; Frenette *et al.*, 2010).

Aye *et al.* (2012) realizaram um estudo comparativo de ACV de três alternativas, comparando diferentes materiais e tipos de construção: uma estrutura comum em betão armado; uma pré-fabricada em madeira; e uma pré-fabricada em aço. Neste estudo, a preocupação foi avaliar a pré-fabricação modular de um edifício de habitação coletiva, de modo a perceber se este tipo

de conceção de edifícios traz benefícios em termos de energia consumida e GEE emitidos. Os resultados obtidos indicaram que a conceção pré-fabricada requer mais gastos de energia e conseqüentemente mais emissões de GEE. Além disso, verificou-se que em termos de utilização da casa, a variação da energia consumida e dos GEE é pouco significativa em relação ao tipo de estrutura, recaindo a preocupação do design sobre os impactes incorporados na habitação. Neste sentido, foi avaliada a reutilização dos materiais da estrutura (etapa de final de vida), concluindo-se que a construção pré-fabricada permite uma melhor reutilização dos materiais da estrutura em edifícios novos. Ademais, o aço é um material que tem facilidade em ser reutilizado, daí que, em relação ao edifício em estudo, a sua reutilização reduziu em 81.3% a energia consumida na etapa de produção. A madeira permitiu uma redução de 35.6%, enquanto para o betão só foi possível 2.2% de redução dessa energia. Em suma, mesmo que a fabricação e transformação do aço requeira uma grande quantidade de energia, o facto de estar associado a uma conceção pré-fabricada, permite-lhe reduzir o seu mau desempenho ambiental inicial, se for reutilizado em novas construções.

Ainda em termos de elementos construtivos, Tavares *et al.* (2013) avaliaram a produção de 56 m² de uma casa pré-fabricada de forma modular, denominada *Moby*, quanto ao consumo de energia primária e emissão de GEE. Os resultados do estudo mostraram que tanto a energia consumida como a emissão de GEE devido à produção da estrutura da casa (79%) são mais significativos que a referente aos acabamentos (21%). No total a energia primária consumida na produção da casa é 7.53 GJ/m² e o carbono emitido é 411 kg CO₂ eq/m².

Rossi *et al.* (2012) apresentaram resultados comparativos da ACV de um edifício habitacional com dois sistemas construtivos (aço e alvenaria tradicional (em blocos de tijolo e betão)) em Bruxelas, e uma casa com estrutura em aço localizada em três cidades: Bruxelas (Bélgica), Coimbra (Portugal) e Luleå (Suécia). O estudo visou comparar a energia e o carbono incorporado com o operacional de 1 m² de área útil ao longo de 50 anos. Para ambas as estruturas, o aquecimento da moradia trata-se da operação que exige mais energia, sendo necessários 44.85 kWh/m² anualmente para a moradia em alvenaria e 32.38 kWh/m² para a em aço. Verifica-se ainda que a procura energética total é maior para a moradia em alvenaria, 102.26 kWh/m²·ano, do que para a de aço, 90.77 kWh/m²·ano. Em termos de carbono, verificou-se que quando uma parcela da estrutura de aço é reciclada no final de vida, esta conduz a impactes incorporados menos significativos do que a alvenaria tradicional. Além disso, constatou-se que o clima influencia bastante a procura energética, na medida em que a Suécia apresenta uma necessidade de aquecimento de 62.57 kWh/m²·ano, enquanto a Bélgica e Portugal, 32.38 kWh/m²·ano e 11.77 kWh/m²·ano, respetivamente. Em todas as localizações, a energia operacional é mais significativa do que a incorporada. Todavia, o carbono operacional só é mais significativo para Portugal e Bélgica, pois a produção de eletricidade na Suécia tem um baixo teor de emissões de GEE.

2.2 ACV aplicada a transportes marítimos

A casa flutuante estudada, para além de desempenhar a função de habitação, também pode permitir a viagem dos ocupantes pela albufeira, sendo que foi desenvolvida de acordo com a perspectiva de barco casa. Desta forma, ela apresentará duas funcionalidades: a habitação e a mobilidade. Tendo em conta esta realidade, tornou-se necessário a análise de estudos de ACV aplicados a transportes marítimos (barcos).

A expansão da indústria do transporte marítimo condiciona o desenvolvimento da economia global, sendo que, segundo a UNEP (2012), o transporte marítimo é responsável por 90% do comércio mundial. Esta expansão impacta diretamente o ambiente com as emissões de GEE associadas ao trabalho dos motores.

O Quadro 2.2 apresenta exemplos de estudos de ACV no âmbito do transporte marinho. Dos vários estudos apresentados no Quadro 2.2, a etapa de uso dos barcos foi sempre a mais significativa, independentemente do tipo de transporte marítimo ou do tipo de estudo: CV do transporte marítimo; ou CV do combustível utilizado nestes transportes.

Fet (2002) realizou um dos primeiros estudos de ACV de barcos, e mostrou a importância da seleção das fronteiras do sistema, a qual é subjetiva, e cujas divergências podem conduzir a resultados contraditórios. Além disso, no projeto foi utilizado o conceito de divisão do barco em vários subsistemas, desenvolvido pelo *The Ship Research Institute of Norway*, e analisaram-se dois subsistemas: casco (*hull*) – materiais e proteção do barco; maquinaria – motores, bombas e propulsores. Deste estudo conclui-se que, para além da etapa de uso do barco ser a mais significativa, o uso das tintas anti-crustantes ou antivegetativas para a proteção do barco deve ser uma das preocupações na construção dos barcos, dado os impactes ambientais associados à sua manutenção.

A variação da magnitude dos resultados nos estudos é devida: à hora de navegação estipulada; ao tempo inativo; ao tipo de combustível; à eficiência dos motores; à carga do barco; ao tempo de vida estipulado; e à unidade funcional selecionada. Quanto ao tempo de vida, conclui-se a partir do Quadro 2.2 e de Teeter (2014) que um barco dura em média 20 – 25 anos. No caso de barcos em aço, este tempo pode ser otimizado se o fator de corrosão do aço for tido em conta na fase de construção, podendo atingir 30 anos ou mais (Gratsos *et al.*, 2010). Em relação à unidade funcional, esta pode ter em conta tanto a carga transportada e os quilómetros percorridos (tkm), como as horas de navegação ou o próprio transporte marítimo como unidade. Dos combustíveis analisados, normalmente o *heavy fuel oil* (HFO), o combustível mais utilizado na área marítima (Teeter, 2014), é o que apresenta maiores impactes ambientais. Em relação à gasolina utilizada em barcos (*Marine Gasoline Oil* - MGO), um navio de carga *roll-on roll-off* (ro-ro) consome na etapa de utilização 11.53 g MGO/tkm e emite 37 g CO₂/tkm (Bengtsson *et al.*, 2011).

Quadro 2.2 - Estudos de ACV de barcos.

Referência	Análise	Local	Fases do CV	UF	Resultados
LEITAT, 2012	ACV de três tipos de barcos recreativos: barco à vela; iate; e barco inflável	Espanha e Itália	<i>Cradle-to-grave</i>	1 hora de navegação	A etapa de uso é a mais significativa, para qualquer um dos transportes. O barco à vela é o que menos energia consome e menos GEE emite, nesta etapa.
Fet, 2002	ACV simplificada de um navio ro-pax.	Uso (entre Oslo e Hirtshals)	<i>Cradle-to-grave</i>	1 tkm por um navio ro - pax,	Dos impactes estudados, a depleção de ozono ocorre principalmente devido à construção do navio enquanto, as restantes categorias de impactes são mais significativas na fase de uso, devido ao consumo de combustível. Os aspetos ambientais mais importantes são: o consumo de combustível; a pintura antivegetativa; e os materiais não reciclados no final de vida.
Gratsois <i>et al.</i> , 2010	Comparação de 2 tipos de design, tendo em conta o fator de corrosão do aço estrutural	Global	<i>Cradle-to-grave</i>	1 navio graneleiro; 1 tkm por um a frota de navios	Quanto maior a preocupação com a corrosão dos barcos, no design destes, menores serão as emissões de CO ₂ ao longo do seu CV. Contudo, o barco que está suscetível a maior corrosão emite menos CO ₂ na etapa de operação.
Hou, 2011	Comparação de duas alternativas de design de um cruzeiro: tradicional (aço e alumínio); e compósito sandwich	Uso (Oceano Atlântico e Mar das	<i>Cradle-to-grave</i>	1 cabine do cruzeiro	O CV do cruzeiro com design tradicional tem um desempenho ambiental pior. A fase de operação é a mais significativa, cerca de 90% dos impactes do CV do cruzeiro.
Bengtsson <i>et al.</i> , 2011	Estudo comparativo do CV de diferentes combustíveis fósseis: LNG; MGO; HFO; e GTL	-	<i>Cradle-to-grave</i>	1 tkm por um navio ro - ro	O HFO é energeticamente mais eficiente que o LNG, contudo, os impactes ambientais resultantes do seu CV são mais significativos. O GTL é o combustível com maior pegada de carbono e menos eficiência energética.
Laugen, 2013	Estudo comparativo do CV de diferentes combustíveis fósseis: LNG e HFO	Europa do norte	<i>Cradle-to-grave</i>	1 tkm por um navio ro - pax,	O LNG é energeticamente mais eficiente que o HFO, além disso os impactes ambientais resultantes do seu CV são menos significativos. Em relação à categoria GWP, para qualquer um dos combustíveis, as emissões de CO ₂ têm uma discrepância enorme em comparação com CH ₄ e N ₂ O, sendo bem maior.
Chatziniakola ou e Ventikos, 2015	ACV de um tanque de óleo (Panamax), tendo em conta as emissões de gases e partículas: CO ₂ ; CO; CH ₄ ; NOX; PM; SO ₂ ; VOC	-	<i>Cradle-to-grave</i>	1 navio graneleiro	A etapa de produção é responsável por 71 - 99 % das emissões de poluentes para a atmosfera do CV total do tanque. Os gases com maior relevância nesta etapa são: CO ₂ (96% do CV); PM (99%); e SO ₂ (99%). No entanto, nesta etapa não existem emissões de VOC.
Combustíveis fósseis - HFO: Heavy fuel oil; GTL: Gas-to-liquid; LNG: Liquefied Natural Gas; MGO: Marine Gasoline Oil.					

Por fim, no âmbito do projeto europeu BoatCycle, foi realizado um estudo de ACV de três barcos recreativos: barco à vela, iate, e barco inflável (LEITAT; 2012). Deste estudo concluiu-se que a energia requerida ao longo do CV varia entre 47 – 175 MJ/h de navegação e as emissões de GEE entre 3.04 – 25.47 kg CO₂ eq/h de navegação. Além disso, a percentagem de emissões de GEE associadas à manutenção dos barcos varia entre 2 – 19%, e a de uso entre 45 – 87% do CV total, realçando que o barco à vela é o que tem melhor desempenho ambiental, pois requer menos uso dos motores para a navegação.

3 MODELO E INVENTÁRIO DA CASA FLUTUANTE *FLOATWING*

Este estudo de ACV tem como objetivo avaliar o desempenho ambiental da casa flutuante do projeto *FloatWing* através da quantificação dos requisitos de energia primária e emissão de GEE ao longo do seu CV, sendo comparados os quatro níveis de autonomia em que a casa flutuante pode ser construída, os quais estão representados no Quadro 3.1.

Quadro 3.1 - Descrição dos quatro níveis de autonomia da casa flutuante.

Níveis de autonomia	Características
1	<ul style="list-style-type: none"> • Não apresenta mobilidade; • Consumo da eletricidade da rede elétrica nacional (REN); • Uso de painéis solares térmicos (5 m²) na produção de águas sanitárias quentes (AQS).
2	<ul style="list-style-type: none"> • Apresenta mobilidade; • Uso de painéis solares térmicos (5 m²); • Uso de painéis fotovoltaicos (23 m²) para a produção de eletricidade, sendo o sistema auxiliar um gerador elétrico a gasolina.
3	<ul style="list-style-type: none"> • Apresenta mobilidade; • Uso de painéis solares térmicos (5 m²); • Uso de painéis fotovoltaicos (31 m²) e gerador a gasolina como auxiliar do sistema fotovoltaico; • Uso de salamandra a <i>pellets</i> para o aquecimento do ar interior; • Existência de uma mini ETAR de tratamento primário e secundário.
4	<ul style="list-style-type: none"> • Apresenta mobilidade; • Uso de painéis solares térmicos (5 m²), painéis fotovoltaicos (31 m²), salamandra a <i>pellets</i> e gerador a gasolina; • Existência de uma mini ETA e mini ETAR de tratamento terciário.

Estes quatro níveis de autonomia são comparados no cenário base definido para o estudo, no qual é analisada a tipologia T1 da casa flutuante, quando esta é ocupada por 4 pessoas e se encontra instalada na barragem do Alqueva (Portugal – PT).

Adicionalmente, foram analisados cenários alternativos os quais consideram:

- (A) Alteração das tipologias da casa flutuante – são estudadas 4 tipologias da casa, sendo que para o estudo os únicos parâmetros que variam de tipologia para tipologia são o comprimento da casa flutuante (T0 – 10 m; T2 – 14 m; T3 – 18 m) e o número de habitantes (T0 – 2 pessoas; T2 – 6 pessoas; T3 – 8 pessoas);
- (B) Condições climáticas – foram escolhidas como localizações alternativas as seguintes cidades: Amsterdão, Holanda (HO) e Atenas, Grécia (GR). Uma maior discrepância em termos de irradiação solar não foi possível, visto que, a simulação energética da casa flutuante (Branco, 2014) não foi baseada de forma exaustiva neste parâmetro;
- (C) Tratamento dado à madeira utilizada nos acabamentos da casa flutuante – este cenário alternativo é pertinente pois o facto dos acabamentos da casa flutuante serem em madeira e estarem expostos à humidade facilita o ataque de térmitas e fungos caso não receba o devido tratamento.

Quanto à unidade funcional, a definida tem em conta, de acordo com a ISO 14040:2006, as funções da casa flutuante na perspectiva do utilizador, isto é, ela abrange o facto da casa flutuante servir de habitação e ter a capacidade de se locomover:

Unidade funcional 1: 1 m^2 de área útil.ano + 1000 km percorrido
(habitação) + (mobilidade)
*Tendo em conta 20 anos de tempo de vida

Figura 3.1 - Unidade funcional 1 da ACV.

Os 20 anos de tempo de vida assumidos têm em consideração a aceleração do processo de deterioração dos materiais de construção da casa flutuante devido à humidade e o tempo médio de vida útil dos transportes marítimos.

No entanto, de acordo com Bastos *et al* (2014) as habitações nem sempre possuem a mesma ocupação e dada a demanda de energia não depender somente da área, mas também do número de ocupantes, conclui-se que este parâmetro também deve ser contabilizado na UF, permitindo assim uma análise mais robusta dos resultados. Neste caso a UF da função habitação é pessoa e não m^2 :

Unidade funcional 2: 1 pessoa.ano + 1000 km percorrido
(habitação) + (mobilidade)

Figura 3.2 - Unidade funcional 2 da ACV.

O sistema de estudo selecionado engloba todas as etapas do CV da casa, desde a extração de matérias-primas e produção dos materiais, até à reabilitação e uso da casa flutuante. A etapa de final de vida não foi considerada por ser subjetiva e pouco relevante em habitações, pois de acordo com o estudo de uma casa pré-fabricada de Adalberth (1997a) a fração de impactes devido a esta etapa tende a não ultrapassar 1% dos impactes do CV completo, além disso, no artigo de revisão de estudos de ACV em habitações, Chau *et al.* (2015), também conclui-se o mesmo. A Figura 3.3 representa as fronteiras do sistema estudado, na qual está incluída a produção dos equipamentos que garantem a autonomia da casa.

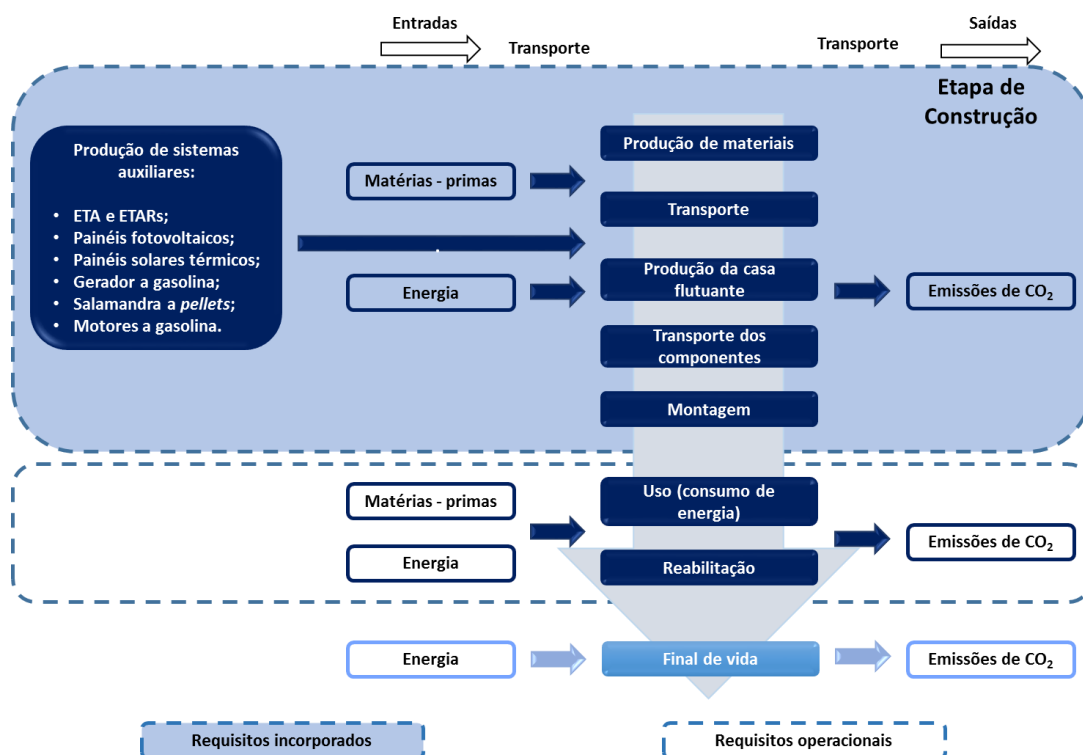


Figura 3.3 - Fluxograma do modelo de CV da casa flutuante.

3.1 ICV do cenário base

O inventário do CV foi elaborado com base no estudo do desempenho energético da casa flutuante de Branco (2014) e no relatório de Constância *et al.* (2015). Estes estudos juntamente com outros documentos complementares (detalhados de seguida) permitiram criar o modelo da casa flutuante *FloatWing*. Ademais, foi necessário a utilização de bases de dados comerciais como o ICE (*Inventory of Carbon and Energy*) versão 2.0 (disponível em Hammond e Jones, 2011) e o ecoinvent versão 2.1 (disponível no programa Simapro versão 7).

O ICE trata-se de uma base de dados direcionada para a quantificação da energia e carbono incorporado nos materiais de construção, isto é, permite analisar e quantificar a energia e GEE associados à produção dos materiais e módulos da casa flutuante. Enquanto a base de dados

ecoinvent inclui processos relativos a uma extensa diversidade de produtos e serviços, incluindo edifícios, transportes, e alimentos, entre outros.

Para a quantificação dos fluxos de entrada de material e energia do cenário base, teve-se em conta que neste cenário a casa flutuante *FloatWing* de tipologia T1 (Figura 3.4) tem uma conceção modular, ou seja, é construída por justaposição de módulos de 6×1 m ou 6×2 m, com uma plataforma de 16 m de comprimento e 6 m de largura, totalizando uma área de implantação igual a 96 m^2 . Esta plataforma tem um amplo espaço aberto e a área de habitação em si. O espaço habitacional tem um piso com 2.40 m de pé direito e uma área útil de 47 m^2 , para além de uma área técnica na cave, onde são instaladas as maquinarias utilizadas na casa e, de um solário.

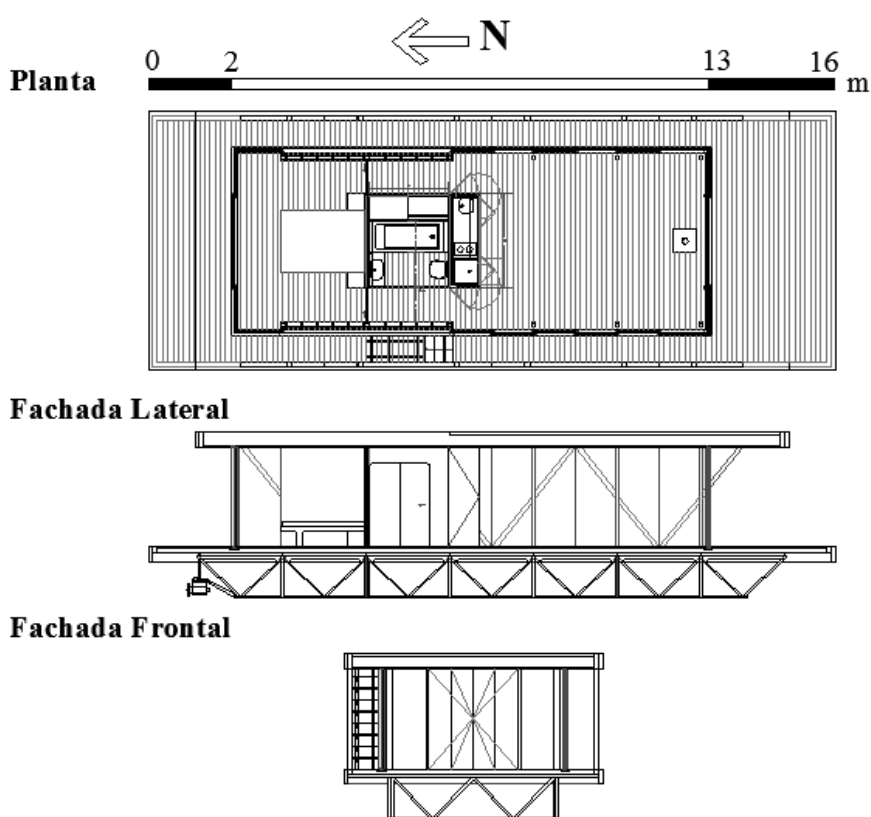


Figura 3.4 - Planta do caso de estudo, tipologia T1.

Além disso, a casa flutuante *FloatWing* desempenha duas funções, como representado na Figura 3.5, onde são demonstradas as etapas e especificações de cada uma destas funções quando a casa se encontra inserida na albufeira do Alqueva, para as quais são apresentadas detalhadamente os inventários.

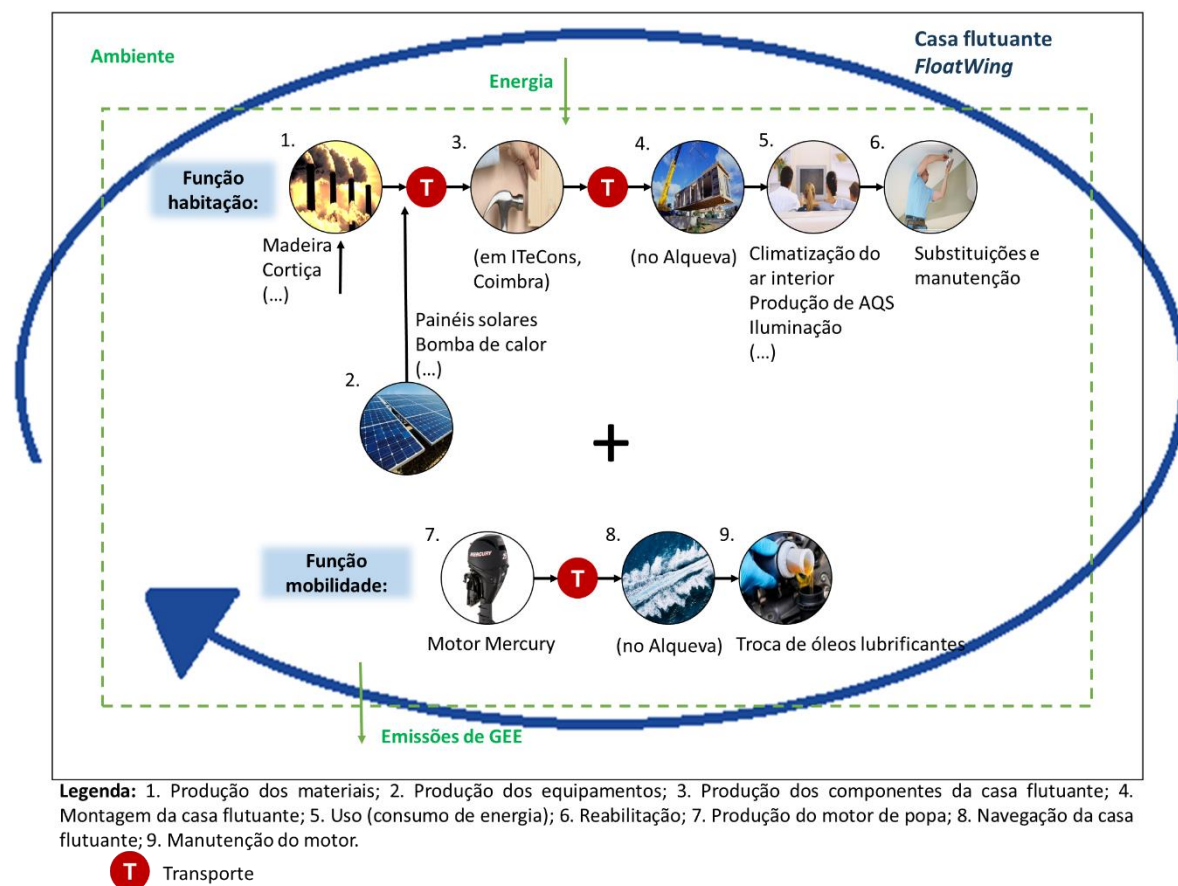


Figura 3.5 - Ciclo de vida da casa flutuante *FloatWing*, tendo em conta as duas funções desempenhadas.

3.1.1 Função habitação

Quanto à função habitação, de acordo com a Figura 3.5, remete-se à construção da casa flutuante (etapas 1. a 4.), uso (5.) e reabilitação (6.) da mesma. Dado que esta moradia é pré-fabricada, a sua construção divide-se nas seguintes etapas:

✓ Produção da casa flutuante:

A construção modular implica que antes da montagem *in site*, exista pré-fabricação dos módulos, por exemplo dos pavimentos, deste modo para a produção da casa flutuante foi considerada: a produção dos materiais de construção da casa (englobando a extração e transporte das matérias-primas, os processos de produção e desperdícios de materiais referentes à produção das componentes da casa flutuante) e a produção dos equipamentos dos sistemas auxiliares (englobando a extração e transporte das matérias-primas e os processos de produção).

Os fluxos de entrada foram estimados tendo em conta o protótipo da casa flutuante *FloatWing*, a única materialização do projeto até o momento, com 16 m de comprimento e de nível de

autonomia N3, de modo a calcular a energia primária consumida e as emissões de GEE a partir da seguinte equação (Adalberth, 1997b):

$$E_p \text{ ou } C_p = \sum_{i=1}^n m_i \cdot \left(1 + \frac{D_i}{100}\right) \cdot R_i \quad (1)$$

Em que:

i – material ou equipamento;

n – número de materiais ou de equipamentos;

E_p – energia primária requerida na produção da casa flutuante (MJ);

C_p – carbono emitido na produção da casa flutuante (kg CO₂ eq);

m_i – quantidade do material ou do equipamento i (kg ou m³);

D_i – desperdício do material i na produção da casa flutuante(%), sendo que não há qualquer desperdício dos equipamentos auxiliares;

R_i – energia ou carbono requerido na produção do material ou equipamento (MJ/kg ou MJ/m³; kg CO₂ eq/kg ou kg CO₂ eq/m³), ver Anexo A.

No Quadro 3.2 apresentam-se as características da produção dos materiais (estrutura e acabamentos) da casa flutuante, os quais foram tidos em consideração para a obtenção dos fluxos de entrada do Quadro 3.3. Em relação às características da produção dos equipamentos, estão apresentados no Quadro 3.4, os quais foram utilizados no cálculo dos fluxos de entrada do Quadro 3.5.

O estudo não inclui a produção dos eletrodomésticos (e.g. frigorífico; forno; etc.), cuja exclusão não é significativa, pois os fluxos de entrada desta produção permanecem iguais, independentemente do nível de autonomia. Além disso, a produção das mini-estações de tratamento de águas também não foram incluídas, pois estas não se encontravam modeladas na base de dados, bem como havia falta de informação suficiente para a sua modelação.

✓ Transporte:

O cálculo do transporte das matérias-primas não é apresentado nesta secção, pois é inerente à produção dos materiais e dos equipamentos (avaliação *cradle-to-gate*). Ademais, assumiu-se que não há qualquer desperdício nesta atividade.

Nos Quadros 3.2 e 3.4 são apresentadas as distâncias e os pesos utilizados para o cálculo dos fluxos de entrada do transporte dos materiais e dos equipamentos, quanto ao transporte dos componentes a distância rodoviária foi obtida a partir do Google Maps (de Coimbra, ITeCons à albufeira do Alqueva). Os fluxos de entrada encontram-se no Quadro 3.6, no qual se destaca a diferença entre o transporte dos componentes da casa flutuante do nível de autonomia N1 com o N2. Esta discrepância dos valores deve-se à adição dos painéis fotovoltaicos no N2, cuja fabricação ocorre na China.

Quadro 3.2 - Descrição quantitativa dos componentes da tipologia T1 (adaptado de Constância *et al.*, 2015).

Elemento	Componente	Massa (kg)	Volume (10 ⁻³ m ³)	Desperdício (%)	Distância (km)
Cobertura	Aço Carbono	2 577.6	-	3%	96
	Madeira pinho, ripas	34.0	63.0	10%	33
	Madeira casquinha, teto falso	474.2	912.0	10%	422
	Madeira pinho, teto falso	418.3	1 008.0	10%	422
	Painel sanduiche	97.4	-	0%	96
	Isolamento (cortiça)	649.0	-	5%	62
Solário	Aço Carbono	82.9	-	3%	96
	Madeira pinho, pavimento	522.9	1 260.0	10%	422
	Madeira riga, ripas	46.8	90.0	10%	33
Pavimento	Aço Carbono S275	2 362.2	-	3%	96
	Madeira riga, ripas	739.9	1 422.8	10%	33
	Madeira pinho, ripas	102.1	189.0	10%	33
	Madeira pinho, pavimento interior	597.6	1 440.0	10%	422
	Madeira riga, pavimento interior	499.6	960.8	10%	422
	Madeira tali	1 417.5	1 575.0	10%	33
	Isolamento (cortiça)	440.0	-	5%	103
Fachada	Aço Carbono	932.1	-	3%	96
	Madeira casquinha, revestimento da parede exterior	350.6	674.2	10%	422
	Isolamento (cortiça)	200.6	-	5%	103
	Calhas de correr (alumínio)	774.8	-	0%	133
	Vidro duplo	1 966.3	56.2*	0%	36
Parede interior	Madeira casquinha, revestimento da parede interior	416.9	801.8	10%	422
	Madeira casquinha, portas	142.3	273.6	10%	422
Estrutura submersa	Aço inox	733.3	-	3%	54
	EPS, flutuadores	280.0	-	0%	62
	Fibra de vidro, flutuadores	8.0	-	0%	62
Pintura					
Elemento	Componente	Massa (kg)	Volume (10 ⁻³ m ³)	Desperdício (%)	Distância (km)
Cobertura	Verniz	0.3	-	2%	1 976
Solário	Verniz	0.2	-	2%	1 976
Pavimento	Primário e tinta com poliuretano e bicomponente	1.6	-	2%	1 976
Fachada	Primário e tinta com poliuretano e bicomponente ou Verniz	2.6	-	2%	1 976
Parede interior	Verniz	1.0	-	2%	1 976
Estrutura submersa	Primário e tinta antivejetativa	11.9	-	2%	1 976
* - O vidro é calculado em m ²					
** - Fonte: Navis Marine Paints					

Quadro 3.3 - Fluxos de entrada para a produção dos materiais da casa flutuante.

Elemento	Descrição	T1 (47 m ²)	Elemento	Descrição	T1 (47 m ²)
		Total/m ²			Total/m ²
Cobertura	Aço Carbono (kg)	56.49	Pavimento	Isolamento, cortiça (kg)	9.83
	Madeira pinho, ripas e teto falso (m ³)	25.07	Fachadas	Aço Carbono (kg)	20.43
	Madeira casquinha, teto falso (m ³)	21.34		Madeira casquinha, revestimento da parede (m ³)	15.78
	Painel sanduiche (kg)	2.07		Isolamento, cortiça (kg)	4.48
	Isolamento, cortiça (kg)	14.50		Calhas de correr, alumínio (kg)	16.48
		Vidro duplo (m ²)		1.20	
Solário	Aço Carbono (kg)	1.82	Paredes interior	Madeira casquinha, revestimento da parede e portas (m ³)	25.17
	Madeira pinho, pavimento (m ³)	29.49			
	Madeira riga, ripas (m ³)	2.11	Estrutura submersa	Aço inox (kg)	81.21
Pavimento	Aço Carbono S275 (kg)	51.77		EPS, flutuadores (kg)	5.96
	Madeira riga, ripas e pavimento (m ³)	33.30		Fibra de vidro, flutuadores (kg)	0.17
	Madeira pinho, ripas e pavimento (m ³)	38.13	Pintura	De todos os elementos (kg)	0.38
Madeira tali (m ³)	36.86				

Quadro 3.4 - Descrição dos sistemas auxiliares da casa flutuante.

Equipamento	Massa (kg)	Distância rodoviária (km)	Distância marítima (km)	Referências
Sistema de fotovoltaico	429.6	2 874.0	2 1600.0	Jungbluth <i>et al.</i> , 2009; Constálica <i>et al.</i> , 2015
Sistema de solar térmico	138.0	1 212.5	4310.0	Jungbluth, 2007 a; Constálica <i>et al.</i> , 2015
Bomba de calor	142.0	2 328.0	0.0	Dimplex (<i>s.d.</i>); Heck, 2007; Constálica <i>et al.</i> , 2015
Permutador	50.0	0.0	0.0	Heck, 2007; Constálica <i>et al.</i> , 2015
Salamandra a pellets	100.0	677.0	0.0	Leroy (<i>s.d.</i>); Bauer, 2007
Gerador	155.0	2 302.0	0.0	Heck, 2007; Constálica <i>et al.</i> , 2015; MOSA (2015)
Consola	0.5	2 817.0	0.0	Hischier <i>et al.</i> , 2007; Constálica <i>et al.</i> , 2015
Autómato	3.0	208.0	0.0	Hischier <i>et al.</i> , 2007; Constálica <i>et al.</i> , 2015
Bateria	696.0	300.0	6 693.0	Rolls, 2011; Constálica <i>et al.</i> , 2015; Spanos <i>et al.</i> , 2015

Quadro 3.5 - Fluxos de entrada para os cenários de produção dos equipamentos.

Equipamento	Níveis de autonomia			
	N1	N2	N3	N4
Sistema fotovoltaico [unidade]	-	1 (3.6 kW)	1 (3.6 kW)	1 (4.8 kW)
Sistema solar térmico [unidade]	1 (5 m ²)	1 (5 m ²)	1 (5 m ²)	1 (5 m ²)
Bomba de calor [unidade]	1.0	1.0	1.0	1.0
Permutador [unidade]	-	5.6	5.6	5.6
Salamandra a <i>pellets</i> [unidade]	-	696.0	696.0	696.0
Gerador [unidade]	-	1.0	1.0	1.0
Consola [unidade]	1.0	1.0	1.0	1.0
Autómato [unidade]	1.0	1.0	1.0	1.0
Bateria [kg]	-	696.0	696.0	696.0

Quadro 3.6 - Fluxos de entrada do transporte dos materiais/equipamentos e dos componentes da tipologia T1.

Níveis de autonomia	Transporte dos materiais/ equipamentos		Transporte dos componentes	
	Camião ou barco		Camião	
	tkm	tkm/m ²	tkm	tkm/m ²
N1	4030	86	10 819	230
N2	13 074	278	11 298	240
N3	14 379	306	11 403	243
N4	14 379	306	11 417	243

✓ Montagem:

A operação de montagem consiste no encaixe e ligação dos módulos por parafusos e instalação da casa flutuante na albufeira. Para a obtenção dos fluxos de entrada desta operação foi calculado o consumo de energia dos equipamentos utilizados nesta, o qual depende da potência e do tempo de operação dos equipamentos (15 dias, quando a casa tem 16 m de comprimento).

O consumo devido ao encaixe e ligação dos módulos é suprido pelo funcionamento de um gerador elétrico a gasóleo e uma grua com capacidade de 2 t. Admitiu-se que estes dois equipamentos têm um tempo de operação de 50% do tempo total de montagem e operam a 50% da sua potência nominal (5 kW (gerador); 12 kW (grua de 2t)).

A instalação da casa é feita recorrendo a uma grua de capacidade 220t, cuja utilização é feita à sua potência nominal (180 kW) durante uma hora.

Tendo em conta que tanto o gerador como as gruas consomem gasóleo, para os cálculos foram usados os seguintes dados do combustível: 0.84 kg/l de massa específica; 42.8 MJ/kg de poder calorífico inferior (PCI); 30% de eficiência do motor a gasolina (Jungbluth, 2007 b; Edwards *et al.*, 2013). Sendo assim, a partir do consumo de energia, no valor de 3 588 MJ, obtém-se a quantidade de gasóleo necessário para suprir esses consumos, 7.1 l/m².

Após a instalação da casa flutuante na albufeira, esta fica apta para o seu devido uso. Para o uso da casa flutuante são contabilizados os consumos energéticos (energia térmica e elétrica) devidos: à climatização; à produção de águas quentes sanitárias (AQS); à iluminação; ao uso de eletrodomésticos; e ao tratamento de águas de sanitárias (AS) e águas residuais (AR).

Para o cálculo destes consumos obtiveram-se as necessidades energéticas, ao considerar o funcionamento dos sistemas representados na Figura 3.6. Dependendo do nível de autonomia da casa flutuante, o aquecimento do ar interior da casa é dado pela queima de *pellets* ou pelo aquecimento, a partir da bomba de calor, da água da albufeira que circula no piso radiante. Esta bomba também apoia o sistema solar térmico, o qual é responsável pela produção de AQS. O arrefecimento, por sua vez, é obtido pela circulação da água no piso radiante, exigindo apenas o consumo das bombas de circulação instaladas no sistema de piso radiante, o qual é homogéneo ao longo do ano. As necessidades de eletricidade são supridas pela REN quando a casa está fixa à margem, ou pelo sistema fotovoltaico apoiado pelo gerador elétrico (a gasolina) quando a casa flutuante possui mobilidade.

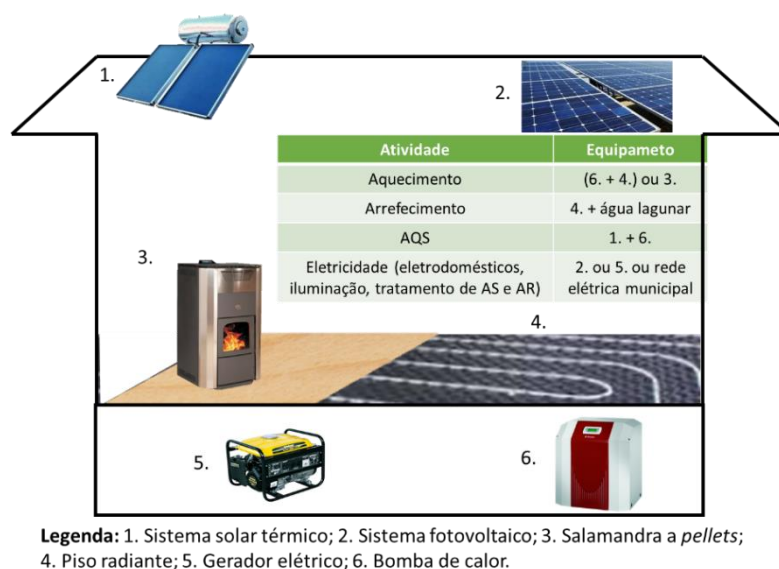


Figura 3.6 - Esquema dos sistemas de produção de eletricidade e calor consumidos.

As necessidades energéticas foram obtidas a partir dos dados do Quadro 3.7, referindo que se assumiu o consumo da mini ETAR de tratamento primário e secundário ser igual à de tratamento terciário, dada a falta de dados relativos ao consumo energético desta ETAR. As necessidades elétricas à exceção da bomba de calor e das mini-estações de tratamento de água foram obtidas a partir do Quadro 3.8.

Quadro 3.7 - Dados utilizados para calcular os consumos de energia devido ao uso da casa flutuante.

Dados	Valor	Referência
Necessidade anual de aquecimento em PT (MJ/m ²)	92	Branco, 2014
COP da bomba de calor	5	Branco, 2014
Eficiência da salamandra a <i>pellets</i> (%)	89	Leroy, <i>s.d.</i>
Necessidade anual de iluminação (MJ/m ²)	7	Branco, 2014
Necessidade diária de AQS (l/pessoa)	75	Branco, 2014
Necessidade de tratamento de águas (l/pessoa)	125	-
Consumo de eletricidade da ETA (MJ/10 ³ l)	1.8	Likuid, <i>s.d.a</i>
Consumo de eletricidade das ETARs (MJ/10 ³ l)	3.6	Likuid, <i>s.d.b</i>

Quadro 3.8 - Consumo elétrico diário para equipamentos com consumo homogêneo durante o ano (Branco, 2014; Constância *et al.*, 2015).

Aparelho	Potência (W)	Tempo de funcionamento diário (h)	Energia (kWh/d)
Placa de Fogão	3 200	1.5	4.8
Forno	1 000	1.5	1.5
Micro-Ondas	800	1	0.8
Televisão	100	8	0.8
Máquina de lavar loiça	1 000	1	1.0
Hidropressor	700	2	1.4
Frigorífico	100	4	0.4
Exaustor	100	2	0.2
Triturador	500	1	0.5
Ventilador WC	25	1.5	0.0
Secador	1 500	1.5	2.3
Bomba de circulação	200	6	1.2
Total			14.9

Tendo as necessidades foram obtidos os consumos de eletricidade da rede nacional, gasolina e *pellets* (Quadro 3.9), não contabilizando a eletricidade e a energia térmica produzida pelos painéis solares, pois convertem energia solar em elétrica e em energia térmica e os impactos do seu CV são considerados no modelo (produção dos painéis). Quanto ao *pellets*, durante a sua combustão a madeira liberta o dióxido de carbono que extraiu do ar enquanto material biogénico, que será absorvido posteriormente por outras árvores independentemente do local de queima da madeira (ciclo de carbono neutro). Contudo, a produção de *pellets* requer consumo de energia e emissão de GEE, os quais foram englobados na fronteira do sistema de CV da casa flutuante.

O consumo de *pellets* (N3 e N4) foi calculado a partir das necessidades de aquecimento dadas pela salamandra e as características deste combustível: 0.65 kg/l de massa específica; 17.3 MJ/kg de poder calorífico (Pinewells, *s.d.*).

Quadro 3.9 - Fluxos de entrada associados ao uso da casa flutuante durante um ano.

Níveis de autonomia	Consumos anuais					
	Eletricidade da rede		<i>Pellets</i>		Gasolina	
	kWh	kWh/m ²	10 ⁻³ m ³	10 ⁻³ m ³ /m ²	l	l/m ²
N1	6 357.7	135.3	0.0	0.0	0.0	0.0
N2	0.0	0.0	0.0	0.0	900.0	19.2
N3	0.0	0.0	868.0	18.5	517.8	11.0
N4	0.0	0.0	868.0	18.5	562.17	12.0

Quanto ao consumo de eletricidade da rede nacional (N1) foi obtida a partir das necessidades de todos os equipamentos elétricos, para o qual foi imprescindível determinar o consumo da bomba de calor. Em relação à energia elétrica consumida pela bomba de calor (nível de autonomia 1 a 4) devido ao apoio dado ao sistema solar térmico, utilizou-se a aplicação *online* Thermal Solar (TECSOL), que permitiu obter a produção de energia térmica pelo painel solar (5 m²) e o respetivo apoio dado ao aquecer 75 l de água por pessoa.

Além desta aplicação, foram realizadas simulações dinâmicas a partir do programa *Photovoltaic Geographical Information System* (PVGIS) tendo em consideração as condições de simulação admitidas na dissertação de Branco (2014), a partir das quais se obteve a produção de eletricidade do sistema fotovoltaico de acordo com a localização (Alqueva) e as potências nominais do sistema, sendo que a potência nominal depende da quantidade de painéis selecionados, 12 ou 16 painéis (23 m² e 31 m², respetivamente).

Subtraindo a produção elétrica a partir do sistema fotovoltaico ao consumo dos equipamentos elétricos, resulta o apoio dado pelo gerador elétrico a gasolina (nível de autonomia 2 a 4). O consumo de gasolina foi obtido do produto entre este apoio e as características da gasolina: 0.75 kg/l de massa específica; 42.5 MJ/kg de PCI; 24% de eficiência do motor (Jungbluth, 2007 b; Edwards *et al.*, 2013).

Para além destes consumos, existe o consumo de eletricidade e combustível devido ao tratamento de águas por estações de tratamento municipais. Nas fronteiras do sistema foi necessário englobar estes consumos, pois existem cenários de uso onde não estão incorporadas estações de tratamento próprias. Além disso, a mini ETA foi definida apenas para as necessidades de água de abastecimento não destinadas à alimentação e higiene pessoal, cerca de 50% da água de abastecimento total utilizada pelos ocupantes (Sá Marques e Sousa, 2011; Constância *et al.*, 2015). Na situação de N4, a mini ETAR de tratamento terciário avançado permite a disposição final na própria albufeira (Diretiva EEC 91/271). Porém, na situação N3 o tratamento dado às águas residuais não lhes concerne a qualidade suficiente para a disposição final na albufeira, devendo ser tratada numa ETAR municipal. O tratamento primário e secundário (N3) por lamas ativadas reduz a carga orgânica presente nas águas residuais, daí que o tratamento destas águas constituirá menores custos para a ETAR municipal. Sendo assim,

assumiu-se que após o tratamento secundário à ETAR municipal competem apenas 10% dos consumos em condições padrão para tratar as águas residuais. De acordo com o exposto anteriormente, foram definidos os cenários de tratamento de AS e AR, sendo que no Quadro 3.10 são apresentados os volumes de água para um.

Quadro 3.10 - Volumes de água a ser tratada de acordo com o nível de equipamento incorporado na casa (cenários de tratamento de águas).

Cenários de tratamento de águas	V _{ETA CF}	V _{ETAR CF}	V _{ETA MUN}	V _{ETAR MUN}
Sem tratamento incorporado (N1 e N2)	0.0	0.0	125.0	125.0
Existe ETAR de tratamento primário e secundário (N3)	0.0	125.0	125.0	12.5
Existe ETA e ETAR de tratamento primário a terciário (N4)	62.5	125.0	62.5	0.0

V_{ETA CF} – volume diário de água tratada na estação de tratamento de águas de abastecimento da casa flutuante (l/pessoa); V_{ETAR CF} – volume diário de água tratada na estação de tratamento de águas de residuais da casa flutuante (l/pessoa); V_{ETA MUN} – volume diário de água tratada na estação de tratamento de águas de abastecimento do município (l/pessoa); V_{ETAR MUN} – volume diário de água tratada na estação de tratamento de águas de residuais do município (l/pessoa).

Em relação à reabilitação da casa, esta etapa engloba a manutenção e substituição dos elementos e equipamentos da casa flutuante. De acordo com a EN 15804, a manutenção de uma habitação refere-se a todas as atividades destinadas a manter um item no estado ideal de funcionamento, exemplificando, a pintura da casa e mudança de óleo nas bombas, enquanto a substituição é definida como a mudança de um dado elemento de construção quando atinge o seu final de vida. Para os cálculos dos fluxos de entrada foi considerado o seguinte fator a multiplicar pela equação (1) (Adalberth, 1997b; Chau *et al.*, 2015):

$$F_{m,s} = t_{CF}/t_i \quad (2)$$

Em que:

$F_{m,s}$ – fator de manutenção ou substituição;

t_{CF} – tempo de vida da casa flutuante (20 anos);

t_i – tempo de vida do material/ equipamento i (anos).

Para a reabilitação não foram considerados os transportes dos materiais, baseando-se na grande possibilidade dos habitantes recorrerem a materiais encontrados na localidade onde está instalada a casa flutuante, tornando este transporte pouco relevante. O tempo de vida dos materiais e dos equipamentos foi alicerçado em várias fontes, conforme o Anexo B. Contudo, devido à casa estar exposta à humidade, considerou-se uma redução no tempo de vida médio dos materiais (CES EduPack, 2014; Level, *s.d*). Para o caso dos equipamentos, dada a insipiência desta afetação, assumiu-se que o tempo de vida corresponde a 70% da sua longevidade de referência, à exceção dos painéis solares e equipamentos de tratamento de água, que geralmente já são protegidos da humidade.

3.1.2 Função mobilidade

No que diz respeito à função mobilidade, primeiro é considerado a produção e o transporte dos dois motores fora de bordo. O modelo de Inventário de produção dos dois motores considera o CV de cada um, bem como dos seus componentes, desde a extração das matérias-primas à montagem do produto final na fábrica (*cradle-to-gate*). Estes motores, cujas características são apresentadas no Quadro 3.11, são classificados como motores de combustão interna a gasolina, trabalhando a 4 tempos (admissão de ar e gasolina; compressão; combustão; e expansão). A modelação teve como base as suas características (peso e o tipo de motor) e os dados disponíveis noecoinvent, obtendo-se os requisitos de energia primária e emissões de GEE por peso de motor produzido (no Anexo A).

Quadro 3.11 - Características do motor (adaptado de Mercury, *s.d*).

Tipo motor	3 cilindros em linha, 4 tempos
Fabricante	Mercury Marine
Potência nominal (HP / kW)	25/18.6
RPM de aceleração máxima	5000-6000
Cilindrada (CID/CC)	32.1 / 526
Diâmetro e curso (mm)	61 × 60
Peso seco (kg)	71
Combustível recomendado	Mínimo de 90 RON sem chumbo
Óleo recomendado	Mercury 4 Tempos Óleo 10W-30
Ignição	CDI com avanço de ignição eletrónico
Padrão de tanque de combustível remoto (l)	25

Em relação ao transporte, os motores provêm da empresa Mercury Marine, na China. A distância percorrida devido ao transporte destes motores trata-se da maior distância para o transporte de componentes/ equipamentos da casa flutuante. São transportados desde a fabricação até à albufeira do Alqueva 41 tkm de motor por 1000 km de viagem.

Os impactes devido ao uso destes motores estão associados ao consumo de combustível utilizado para a navegação da casa flutuante na albufeira, durante os 20 anos de tempo de vida. De acordo com Boat fuel economy (*s.d*), o modelo de motor Mercury de 25 hp consome 9.05 l de gasolina/h quando funciona a plena aceleração, isto é, para o protótipo da casa flutuante (T1 de nível de autonomia N3) com dois motores (50 hp) o consumo será 18.1 l/h. Todavia, tipicamente os motores trabalham a 72% da sua potência nominal, consumindo cerca de 55% do consumo à potência nominal (Johnson, 2011).

Estima-se que em média os motores trabalhem cerca de 10 horas por semana percorrendo 5.6 km/h (3 nós), ou seja, em 20 anos, com um período anual de manutenção da casa flutuante de 1 mês, o deslocamento total é aproximadamente 54 000 km, consumindo assim 1 794 l/1000km.

A alteração dos níveis de autonomia, variam o peso e conseqüentemente o consumo, porém a variação do peso é insignificante, concluindo que independente do nível de autonomia da casa flutuante, o consumo será aproximadamente 1 800 l/1000km.

Espera-se que os motores de combustão interna a gasolina durem os 20 anos de tempo de vida da casa flutuante, todavia, só alcançarão este tempo em boas condições de desempenho caso, como em qualquer outro motor de popa, seja efetuada a sua manutenção regular. A manutenção de um motor de popa acarreta uma série de atividades desde a troca de óleos lubrificantes, a mudança do filtro e da hélice, o ajuste das válvulas do motor, limpezas periódicas, entre outros. Para a avaliação da manutenção dos motores fora de bordo associados à casa flutuante foram consideradas apenas a troca de óleos lubrificantes, do motor e da caixa de velocidades.

Os óleos lubrificantes desempenham funções importantes, permitindo, essencialmente, que a força de atrito sólido resultante do contacto entre duas superfícies metálicas, se transforme em atrito fluido, dado a sua interposição entre estas superfícies. Deste modo, o óleo lubrificante minimiza perdas de energia mecânica e o desgaste dos materiais metálicos que constituem um motor, ao reduzir as forças de atrito. Além disso, os lubrificantes protegem o motor contra a corrosão, são responsáveis pela limpeza dos resíduos carbonosos resultantes da combustão incompleta do combustível, e possuem a capacidade de dissipação de uma parte significativa da energia gerada pelo motor (CEPSA, 2011).

No Quadro 3.12 são apresentadas as quantidades necessárias para a manutenção de um motor fora de bordo da casa flutuante, o tempo entre manutenções e a massa específica a 15°C de cada um dos óleos lubrificantes (Environment Canada, *s.d.*; Exxon Mobil Corporation, 2011).

Quadro 3.12 – Características de óleos lubrificantes.

Óleo lubrificante	Consumo necessário para 1 manutenção (l)	Período de manutenção (h)	Massa específica (kg/l)
Motor	0.75	20 (1ªvez) + 100	0.885
Caixa de velocidades	0.25	20 (1ªvez) + 100	0.895

Nas fronteiras de manutenção dos motores não foi englobado o transporte dos óleos lubrificantes, dado a dificuldade de obtenção destes dados, sendo assim a manutenção só depende das horas de trabalho do motor. Posto isto, o consumo de óleo lubrificante para a manutenção dos dois motores fora de bordo, durante os 20 anos de tempo de vida da casa, é igual a 173 kg, o que equivale em termos de unidade funcional a 3.2 kg/1000 km de viagem.

3.2 ICV dos cenários alternativos

Os cenários alternativos selecionados focam-se principalmente na função habitação, à exceção da variação da tipologia da casa flutuante que também afeta os impactes resultantes da função

mobilidade. Na Figura 3.7 são apresentados estes cenários para a função habitação e as etapas que afetam. O modelo de inventário destes cenários é apresentado de seguida.

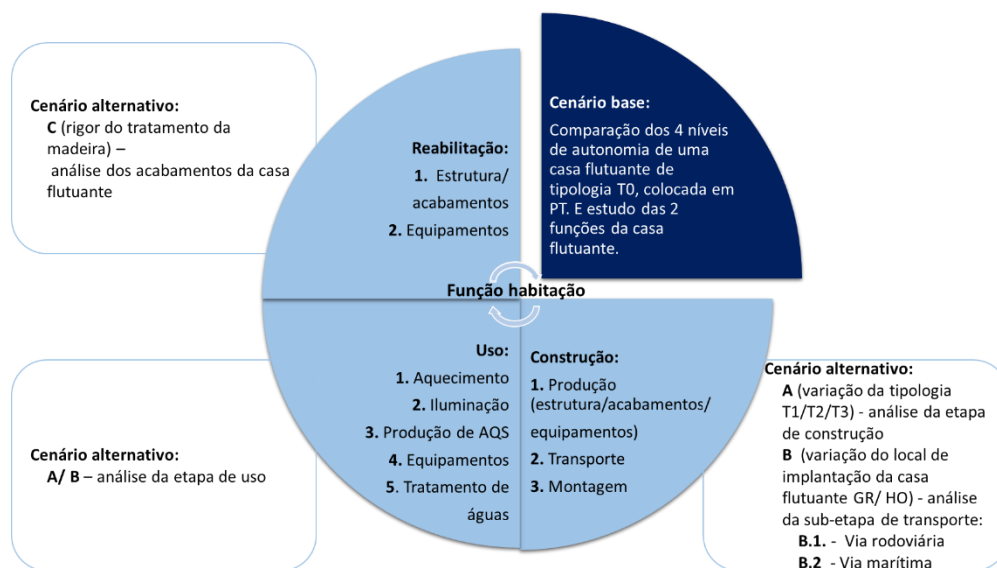


Figura 3.7 - Cenários do estudo de ACV de uma casa flutuante, função habitação.

3.2.1 Variação da tipologia da casa flutuante (cenário A)

No cenário A pretende-se comparar o CV das diferentes tipologias do projeto *FloatWing* com o cenário base (T1). A variação da tipologia da casa flutuante afeta todas as etapas do CV (função habitação) da casa flutuante, visto que a área varia (T0 – 30 m²; T2 – 47 m²; T3 – 64 m² de área útil), bem como o número de ocupantes (T0 – 2 pessoas; T2 – 6 pessoas; T3 – 8 pessoas). Para o Inventário foram utilizadas as mesmas hipóteses e programas do cenário base.

No que toca à contabilização dos impactes resultantes da função mobilidade devido à variação das tipologias da casa, foi necessário perceber que o peso desta altera a potência nominal necessária para a locomoção. Deste modo, primeiro determinou-se a potência nominal necessária utilizando o método de comparação estabelecido em Skene (2001), isto é, tendo em conta o Deslocamento (D) da casa flutuante (peso de água deslocada que equivalente ao peso da casa em toneladas) determinou-se a potência necessária a partir do protótipo da casa (ver Quadro 3.13), sabendo da referência anterior que a potência varia em função de $D^{7/6}$. De seguida foram escolhidos os modelos de motor Mercury existentes tendo como base essa potência. A partir destes modelos foram calculados os fluxos de entrada das diferentes etapas (produção, uso e manutenção) de acordo com as analogias do cenário base (ver Quadro 3.14).

Quadro 3.13 - Cálculo da potência nominal necessária para cada tipologia e características do motor escolhido.

Grandeza	Unidade	Tipologias			
		T1*	T0	T2	T3
Deslocamento (D)	t	31.5	22.1	28.8	36.4
Velocidade	nós / km/h	3.0 / 5.6	3.0 / 5.6	3.0 / 5.6	3.0 / 5.6
Potência útil**	HP	50.0	33.1	45.0	59.2
Potência nominal do motor	HP / kW	50.0 / 37.3	30.0 / 22.4	40.0 / 29.8	60.0 / 44.7
Peso	kg	142.0	104.0	112.0	196.0
Consumo a plena aceleração	l/h	18.1	10.2	14.7	21.8
Consumo a 72% da potência nominal	l/h	10.0	5.6	8.1	12.0

* - Protótipo, referência de cálculo para as outras tipologias.
** - Calculado a partir da relação $D^{7/6}$.

Quadro 3.14 - Fluxos de entrada para a função mobilidade dada a variação da tipologia.

Etapas	Unidade	Tipologias			
		T1	T0	T2	T3
Produção e transporte dos motores	kg/ 1000 km	3	1	2	4
	tkm /1000 km	45	33	35	62
Deslocação da casa flutuante	l/ 1000 km	1 794	1 011	1 457	2 160
Manutenção (troca de óleo)	kg/ 1000 km	3	3	3	3

3.2.2 Variação do clima (cenário B)

Este cenário pretende analisar a influência do clima em que se insere a casa flutuante, como detalhado na secção 4.3. A variação da localização da casa (entre o Alqueva (PT), no cenário base, Amesterdão (HO) e Atenas (GR)) influencia os impactes associados ao transporte dos componentes e o uso da casa. Posto isto, estas serão as únicas etapas analisadas para o cenário em causa. Ademais, para o transporte dos componentes foram considerados dois meios alternativos: o rodoviário e o marítimo. As distâncias percorridas neste transporte foram obtidas a partir do GoogleMaps e do Sea route & distance. No uso da casa flutuante, para além das simulações feitas nos programas TECSOL e PVGIS, o único parâmetro que varia em relação ao cenário base é a necessidade anual de aquecimento, cujos valores são: 91 MJ/m² para Grécia e 419 MJ/m² para Holanda (Branco, 2014).

3.2.3 Tratamento dado aos acabamentos da casa flutuante (cenário C)

O tempo de vida da madeira depende da sua espécie de origem, do tipo de tratamento que lhe é aplicado e da sua exposição à humidade e a térmitas (Wang *et al.*, 2009). Assim, para os acabamentos em madeira manterem-se em boas condições ao longo dos 20 anos de tempo de vida da casa flutuante, estes devem ter o devido tratamento e manutenção, de modo a resistir à

humidade a que estão expostos numa albufeira. Se não receberem o tratamento adequado, não durarão o tempo pressuposto, tendo que ser substituídos quando não desempenharem adequadamente as suas funções. Esta situação é representada neste cenário, para o qual se assume que a madeira não tratada durará o tempo de vida de referência da sua espécie de origem: 7 anos para o pinho, a riga ou a casquinha e mais de 40 anos para a madeira tali (Wang *et al.*, 2009).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos no estudo tendo em conta a unidade funcional selecionada, a qual engloba as duas funções desempenhadas pela casa flutuante. Sendo assim, primeiro deu-se destaque à função habitação e depois à função mobilidade.

Ademais, um dos objetivos da dissertação foi a comparação de duas bases de dados (ICE e ecoinvent), mas como a base de dados ICE é focada em materiais e elementos construtivos, o estudo da casa flutuante foi elaborado na sua íntegra apenas com a base de dados ecoinvent. A comparação é feita no final deste capítulo, a qual incide apenas sobre os impactes devido à produção da casa flutuante.

Relativamente às metodologias de AICV selecionadas para quantificar o consumo de energia primária e as emissões GEE (impactes *midpoint*) escolheram-se respetivamente a metodologia *Cumulative Energy Demand* (CED) e a *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC). De acordo com Hischier *et al.* (2010), a metodologia CED permite calcular o uso de energia primária direta e indiretamente ao longo do CV das matérias-primas, estando dividida em três categorias: fóssil, nuclear e renovável (biomassa, eólica, solar, geotérmica e hídrica). O IPCC caracteriza as emissões gasosas de acordo com o seu potencial de aquecimento global, tendo em conta um período de 100 anos e a sua devida agregação na categoria de impacto de mudanças climáticas segundo a publicação IPCC (2007, citado por Hischier *et al.*, 2010). Estas duas metodologias são utilizadas quando se recorre à base de dados ecoinvent. No caso do ICE, o consumo de energia primária é obtido tendo em conta uma diversidade de fontes bibliográficas sobre as quais a base foi construída e quanto às emissões de GEE estas são obtidas também para um período de 100 anos.

4.1 Função habitação

A partir do ICV procedeu-se à quantificação do desempenho ambiental da casa flutuante. Nesta secção são apresentados os resultados para o CV do cenário base quando a função é a habitação. Os impactes, emissões de GEE, energia primária total consumida e energia primária de recursos fósseis, podem ser observados na Figura 4.1.

A energia primária consumida em termos absolutos diminui com o aumento do nível de autonomia da casa flutuante (2 404 a 2 676 GJ, ao longo dos 20 anos), bem como as emissões de GEE (129 a 147 ton CO₂ eq, ao longo dos 20 anos), porém o nível de autonomia N4 tem maiores impactes ambientais em relação ao nível N3. A mesma tendência pode ser observada

quando os resultados são obtidos por m^2 de área útil (ver Figura 4.1) pois, embora não se trate especificamente de uma construção bioclimática (ou passiva) o aumento de autonomia implica a instalação de sistemas de energia renovável (painéis solares e salamandra a *pellets*) que garantem uma ampla redução das emissões de GEE na etapa de uso. No entanto, esta redução exige mais tecnologias, culminando no aumento da contribuição da produção dos equipamentos e da reabilitação da casa flutuante (substituição dos equipamentos).

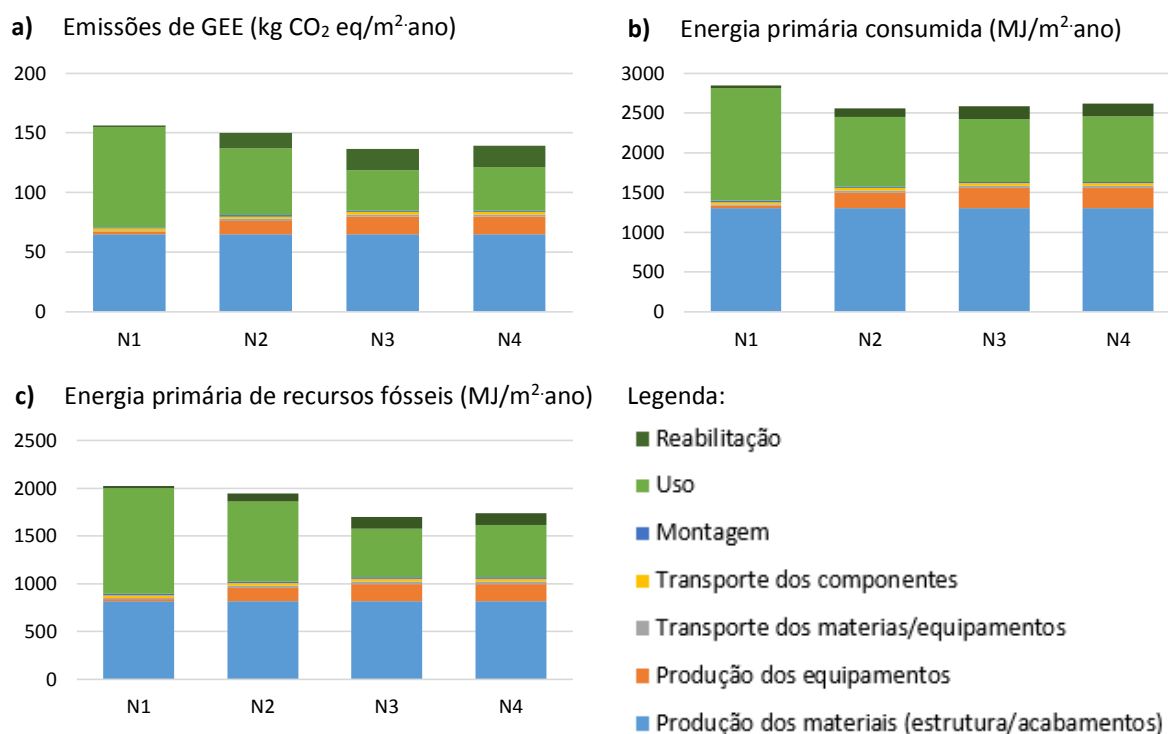


Figura 4.1 - Comparação do desempenho ambiental do CV da casa flutuante tendo em conta a função habitação do cenário base: a) Emissões de GEE; b) Energia primária consumida; c) Energia primária de recursos fósseis; N1 a N4 – níveis de autonomia.

Comparando o gráfico b) com o c) da Figura 4.1, observa-se que a maior parcela de energia utilizada na casa flutuante é de origem fóssil. Contudo, na etapa de uso existe um consumo de energia renovável (painéis solares e fotovoltaicos) que não está representado nestes gráficos, o qual permite a redução do consumo de combustível fóssil. Além disso, a produção dos materiais é responsável pelo consumo de cerca de 37% de energia primária de recursos não fósseis, os quais são maioritariamente renováveis devido à utilização da madeira nos acabamentos da casa flutuante.

De acordo com o capítulo 3, os impactes devido à construção da casa flutuante englobam os impactes desde a extração das matérias-primas à montagem da casa flutuante. Sendo assim, quanto maior a autonomia, maior a contribuição desta etapa (45 a 62% (emissões de GEE); 49

a 63% (energia primária total); 44 a 63% (energia primária fóssil)). O aumento de autonomia está associado a tecnologias “amigas do ambiente”, implicando uma menor contribuição da etapa de uso (25 a 54% (emissões de GEE); 31 a 50% (energia primária total); 30 a 55% (energia primária fóssil)). Em relação à etapa menos relevante, reabilitação, esta varia em 1 a 13% (emissões de GEE); 1 a 6% (energia primária total); 1 a 7% (energia primária fóssil).

Ainda de acordo com a Figura 4.1, o transporte dos materiais/equipamentos e o transporte dos componentes são insignificantes, visto que, o peso dos seus impactes é aproximadamente 2% dos impactes totais do CV da casa flutuante. A montagem também não tem grande relevância, visto também os seus impactes não ultrapassarem 1% dos impactes do CV da casa flutuante.

Se estes resultados forem comparados à literatura podem ser questionáveis, pois geralmente a etapa de uso é a mais significativa (cerca de 80% dos impactes do CV de uma habitação). No entanto, nos estudos anteriores, uma habitação é espectável durar 50 a 100 anos e não 20 anos como analisado no estudo. Se o tempo de vida selecionado fosse 75 anos, as percentagens seriam as seguintes, as quais principalmente para o nível de autonomia N1, correspondem a percentagens habituais para estudos de ACV de habitações:

- Emissões de GEE: 18 – 37% (construção); 55 – 81% (uso); 0.4 – 8% (reabilitação).
- Energia primária consumida: 21 – 34% (construção); 62 – 79% (uso); 0.4 – 3% (reabilitação).

Visto que a produção de equipamento, o uso e a reabilitação da casa flutuante são difíceis de serem comparadas com a literatura, dado a variedade de tecnologias aplicadas na casa flutuante, a comparação só será feita para a produção da estrutura/acabamentos. De acordo com Bastos *et al.* (2014), os impactes de energia primária e de carbono incorporado (*cradle-to-gate*) variam entre: 3.1 – 3.4 MJ/m² e 185 – 212 kg CO₂ eq/m². Contudo, para o cenário base estes impactes são: 26.1 GJ/m² e 1 305 kg CO₂ eq/m², sendo muito elevados face a esse estudo, mas as habitações em Bastos *et al.* (2014) tinham estrutura em betão e não em aço. De acordo com Aye *et al.* (2012), se no estudo não for considerado a reciclagem do aço, uma construção em betão tem muito menos impactes que uma construção em aço. Para Aye *et al.* (2012), a uma casa pré-fabricada com a sua estrutura em aço está associada 14.4 GJ/ m² de energia incorporada, 45% inferior ao do estudo. Esta diferença pode ser justificada pelo facto de se utilizarem base de dados diferentes e metodologias de estudo diferentes, embora, comparando a energia primária total consumida nestes estudos em GJ/t, percebe-se que a diferença não é assim tão significativa: 65 GJ/t para Aye *et al.* (2012) e 52 GJ/t para o cenário base. Concluindo que a maior diferença está na influência da área sobre os impactes, pois em Aye *et al.* (2012), a área é igual a 3 943 m², isto é, o seu desempenho ambiental por área é muito mais eficiente, dado que o peso dos materiais utilizados por área é menor.

Quanto aos níveis de autonomia do cenário base, conclui-se, de acordo com a Figura 4.1, que o melhor nível em termos de energia primária consumida é o nível N2 (2 555 MJ/m²-ano), e quanto às emissões de GEE é o N3 (137 kg CO₂ eq/m²-ano). Todavia, se estes níveis forem analisados para um tempo de vida de 75 anos, o melhor passa a ser o N3, pois a energia primária consumida para a produção dos equipamentos deixa de ter tanta relevância no CV total da casa flutuante. Quanto ao nível N4, este não é o mais “amigo do ambiente”, pois o facto do tratamento das águas residuais e de abastecimento serem feitos na casa flutuante e estas necessitarem de energia elétrica, intensifica o apoio do gerador elétrico e, conseqüentemente o consumo de gasolina.

4.1.1 Construção

De acordo com a secção anterior esta etapa é a mais expressiva, exceto no nível N1. Nesta secção serão analisadas apenas as piores sub-etapas da etapa de construção: produção dos materiais (estrutura/acabamentos) e a produção dos equipamentos.

Quanto à produção dos materiais da tipologia T1 (ver Figura 4.2), as componentes da casa flutuante que mais impactes acarretam são: as fachadas e a estrutura submersa, o que deve-se ao facto do alumínio ser utilizado apenas na caixilharia das portas das fachadas e a estrutura da casa flutuante ser em aço, material que também predomina a constituição da estrutura submersa. Dos sete tipos de materiais utilizados na casa flutuante o alumínio é o 3º menos utilizado (em termos de massa), no entanto, é o 2º material que mais contribui para os impactes desta sub-etapa, sendo apenas superado pelo aço, o material mais utilizado na casa flutuante., pois os processos que envolvem a obtenção destes dois materiais exigem um elevado consumo de energia fóssil. Ainda pode-se verificar que a cobertura acarreta mais energia que a fachada, no entanto, isto deve-se à parcela de energia renovável inerente ao uso da madeira na casa.

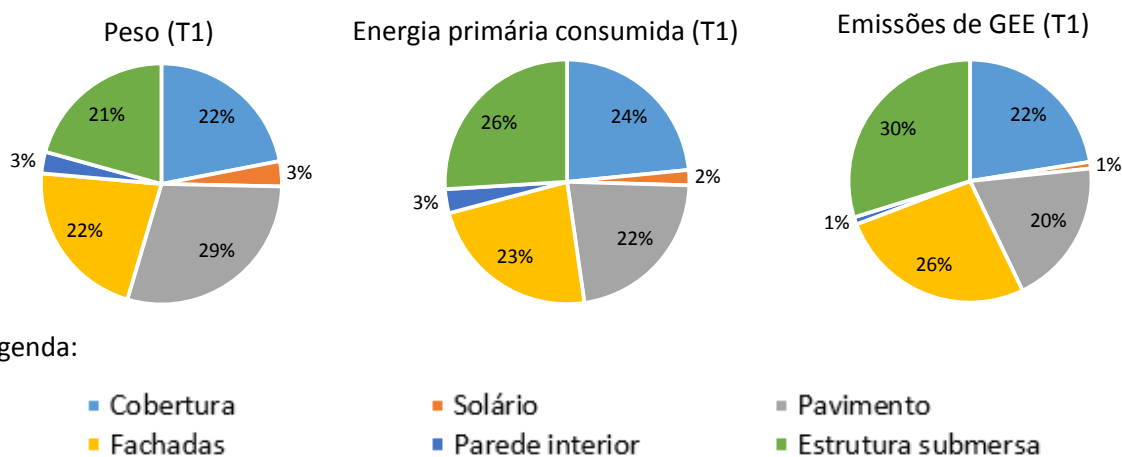


Figura 4.2 - Análise da produção dos materiais (estrutura/acabamentos) da casa flutuante, cenário base.

O solário e as paredes interiores tratam-se das componentes com menor contribuição nos impactes desta sub-etapa, pois para além de serem mais leves, são constituídos pelos materiais com menos impactes por unidade de massa, a madeira e a cortiça. O material que menos contribui para os impactes da produção dos materiais de construção é a tinta, o que se deve simplesmente ao seu peso reduzido, pois em relação aos outros materiais, a produção de tinta acarreta grandes consumos de energia e emissão de GEE (ver Anexo A).

Para a produção de equipamentos, de acordo com a Figura 4.3, o pior é o sistema fotovoltaico, que engloba a produção de 16 painéis solares, um inversor, um regulador e os materiais de montagem no telhado da casa flutuante. Existe alguma incerteza nestes resultados, dado que a sua modelação não foi baseada de modo exaustivo nos materiais que os constituem, pois não foi possível obter as quantidades dos materiais utilizados em cada equipamento, sendo baseada mais propriamente na sua potência nominal.

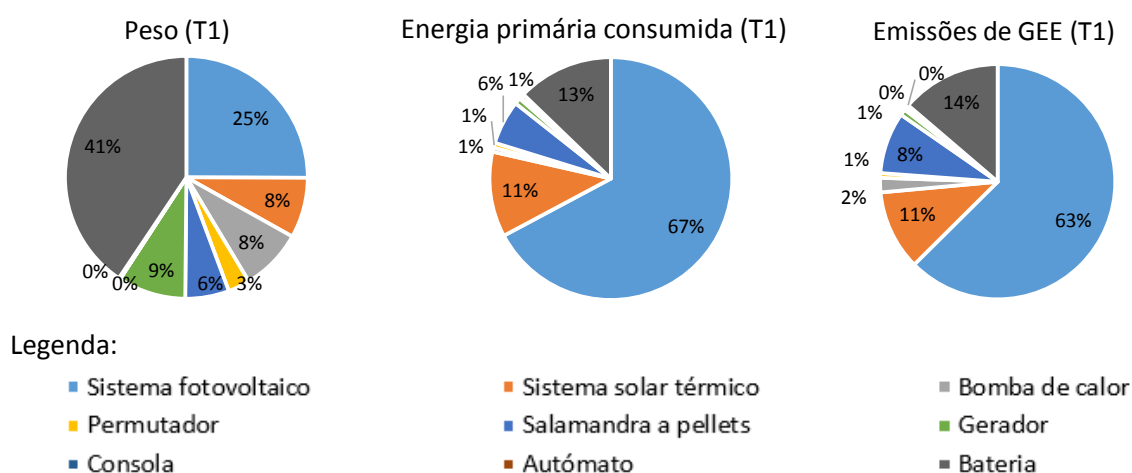


Figura 4.3 - Análise da produção de equipamentos, cenário base (nível N4).

4.1.2 Uso

Nesta secção apresentam-se os impactes da etapa de uso, tendo em conta as diferentes atividades como referido no capítulo anterior: uso de equipamentos ou eletrodomésticos; produção de AQS; climatização do ar interior; iluminação; e tratamento de águas. Na Figura 4.4 é observada a dependência entre estas atividades, tendo em conta a forma de produção de energia, elucidando que nos gráficos são apresentados apenas os impactes devido ao consumo de eletricidade da rede, da gasolina, de *pellets* e das estações de tratamento municipais, como explicado no capítulo anterior.

De um modo geral, para Portugal, o pior nível é o N1, visto que a albufeira do Alqueva é um local com ótima exposição solar, o que permite que, nos outros níveis, grande parte dos consumos sejam supridos pela produção de energia fotovoltaica. Os melhores níveis são o N3

e o N4, pois a bateria mais consistente de painéis solares fotovoltaicos e o aquecimento do ar interior pela salamandra a *pellets*, implicam uma menor dependência do gerador a gasolina, cujos consumos primários são cerca de 98% de origem fóssil. Porém, nestes dois níveis de autonomia os consumos para aquecimento da casa flutuante são elevados quando comparados com os outros níveis, pois, enquanto nos níveis N1 e N2 utiliza-se a bomba de calor com um COP igual a 5, nos níveis N3 e N4, a salamandra tem uma eficiência de 89%. Ao contrário do que poderia ser expectável, o nível N4 não apresenta melhor desempenho ambiental que o N3, porque a incorporação de todas as mini-estações de tratamento de água na habitação, aumenta as necessidades de eletricidade (ver Figura 4.5) e, conseqüentemente, o consumo de gasolina. Na Figura 4.5 observa-se que, para as categorias de impactes analisadas, o tratamento nas estações municipais (em N1 ou N2) é a melhor opção, pois estas precisam de consumir menos energia primária por m³ de água tratada.

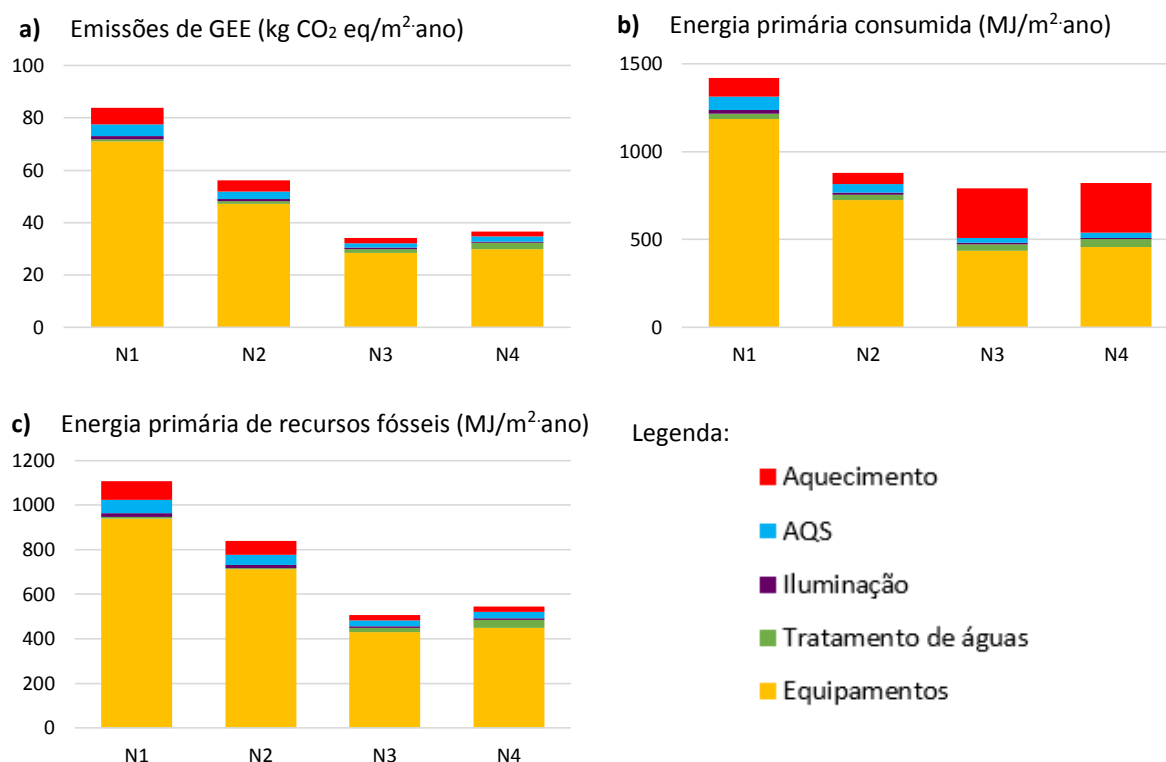


Figura 4.4 - Análise da etapa de uso, cenário base: a) Emissões de GEE; b) Energia primária consumida; c) Energia primária de recursos fósseis; N1 a N4 – níveis de autonomia.

4.1.3 Reabilitação

De acordo com o Quadro 4.1, os impactes da reabilitação da casa flutuante *FloatWing* aumentam consideravelmente com a autonomia, pois neste cenário contabilizam-se os impactes devido à repintura da casa flutuante e substituição dos equipamentos. A percentagem relativa à repintura da casa varia entre: 4 – 30% (emissões de GEE); 9 – 51% (energia primária

consumida); 10 – 55% (energia primária de recursos fósseis). Conclui-se assim que os impactes desta etapa devem-se maioritariamente à substituição dos equipamentos, principalmente da salamandra e das baterias (ver Figura 4.6), sendo indispensável que durante o uso da casa flutuante sejam tidos os cuidados necessários, de modo a que estes equipamentos prevaleçam mais tempo do que o assumido neste estudo. Os impactes apresentados dos níveis N3 e N4 são equivalentes, todavia, como não foram considerados os impactes relativos à produção das mini-estações de tratamento de águas, na realidade, o nível N4 terá mais impactes em termos de reabilitação.

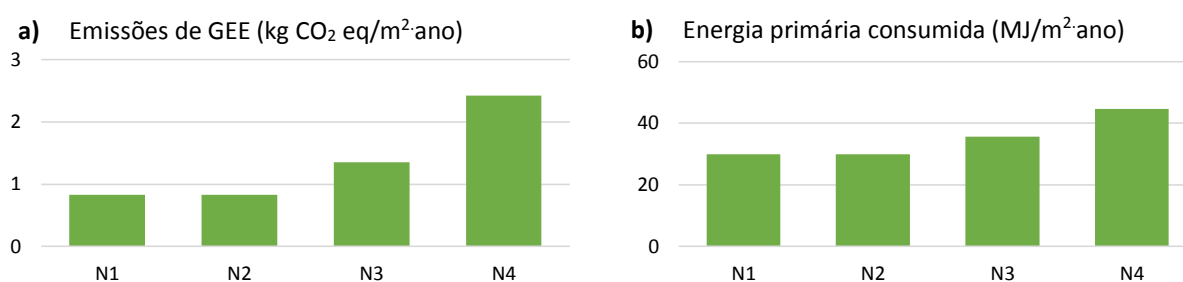


Figura 4.5 - Análise do tratamento de águas residuais e águas de abastecimento: a) Emissões de GEE; b) Energia primária consumida; N1 a N4 – níveis de autonomia.

Quadro 4.1 - Impactes devido à reabilitação da casa flutuante, cenário base.

Categoria de impactes	N1	N2	N3	N4
Emissões de GEE (kg CO ₂ eq/m ²)	33	128	223	223
Energia primária consumida (MJ/m ²)	566	2 084	3 207	3 207
Energia primária de recursos fósseis (MJ/m ²)	445	1 637	2 493	2 493

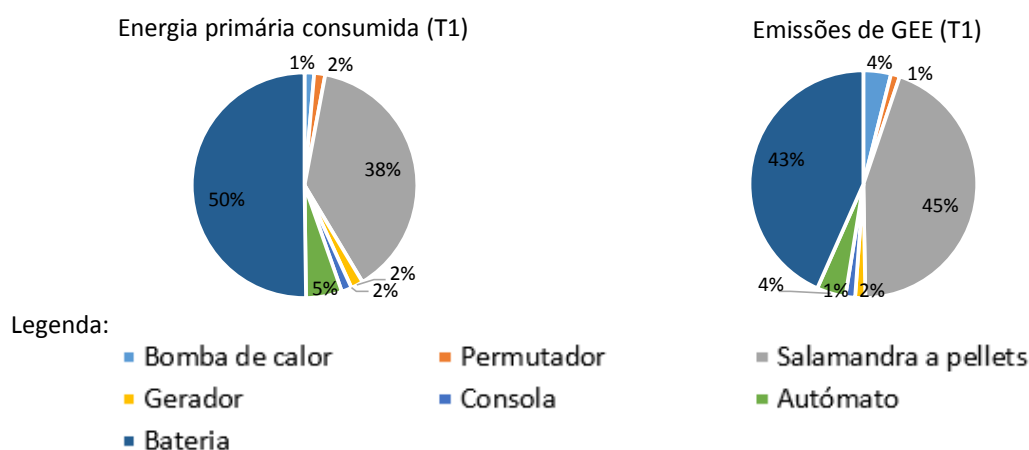


Figura 4.6 - Substituição de todos os equipamentos da casa flutuante (N4) em 20 anos.

4.2 Função mobilidade

Em relação à função mobilidade, de acordo com o Quadro 4.2, a etapa de uso representa 99% das emissões de GEE e do consumo de energia primária do CV. Então, a construção dos motores e a troca de óleos lubrificantes do motor são irrelevantes para os impactos do CV, na qual a casa flutuante navega durante 20 anos.

Quadro 4.2 - Impactes ambientais devido à função mobilidade, cenário base.

Categoria de impactes	Produção	Uso	Manutenção	TOTAL
Emissões de GEE (kg CO ₂ eq/ 1000 km)	27	5 184	4	5 215
Energia primária consumida (MJ/1000 km)	418	79 479	279	80 175
Energia primária de recursos fósseis (MJ/1000 km)	348	78 026	268	78 641

Os estudos analisados na secção 2.1.2 são difíceis de comparar com os resultados desta ACV, uma vez que, para além de ter sido encontrado apenas um estudo sobre barcos de recreio, existem variações nos próprios parâmetros de estudo. De acordo com LEITAT (2012), as emissões de GEE dos barcos de recreio motorizados variam entre 13.4 – 25.5 kg CO₂ eq por horas de navegação, e a etapa de uso corresponde a aproximadamente 80% desses impactos. A casa flutuante, com 9 600 horas de navegação durante os 20 anos, apresenta em média 28.9 kg CO₂ eq por horas de navegação, dos quais 99% corresponde à etapa de uso. Estas diferenças estão relacionadas com a velocidade de deslocação e o peso da casa flutuante. Ademais, nesse estudo a etapa de construção engloba todo o barco e não apenas motores.

4.3 Cenários alternativos

4.3.1 Variação da tipologia da casa flutuante (cenário A)

Os resultados deste cenário indicam a influência que a variação da tipologia da casa flutuante tem na sua performance ambiental. Em termos globais, quanto maior a área e o número de habitantes maior serão os impactos associados, por exemplo, o CV total da casa flutuante de tipologia T3 com nível de autonomia N1, o pior nível, requer mais 24% (636 GJ, ao longo de 20 anos) de energia primária e emite mais 23% (33 ton CO₂ eq, ao longo de 20 anos) de GEE do que a tipologia T1.

A Figura 4.7 apresenta os resultados do CV da casa flutuante, para as várias tipologias, tendo em conta as duas UF selecionadas no estudo. Desta percebe-se que independente da UF selecionada o comportamento é o mesmo, pois tanto a área como a ocupação tendem a aumentar de T0 para T3, à exceção da tipologia T1 com a mesma área útil que T2.

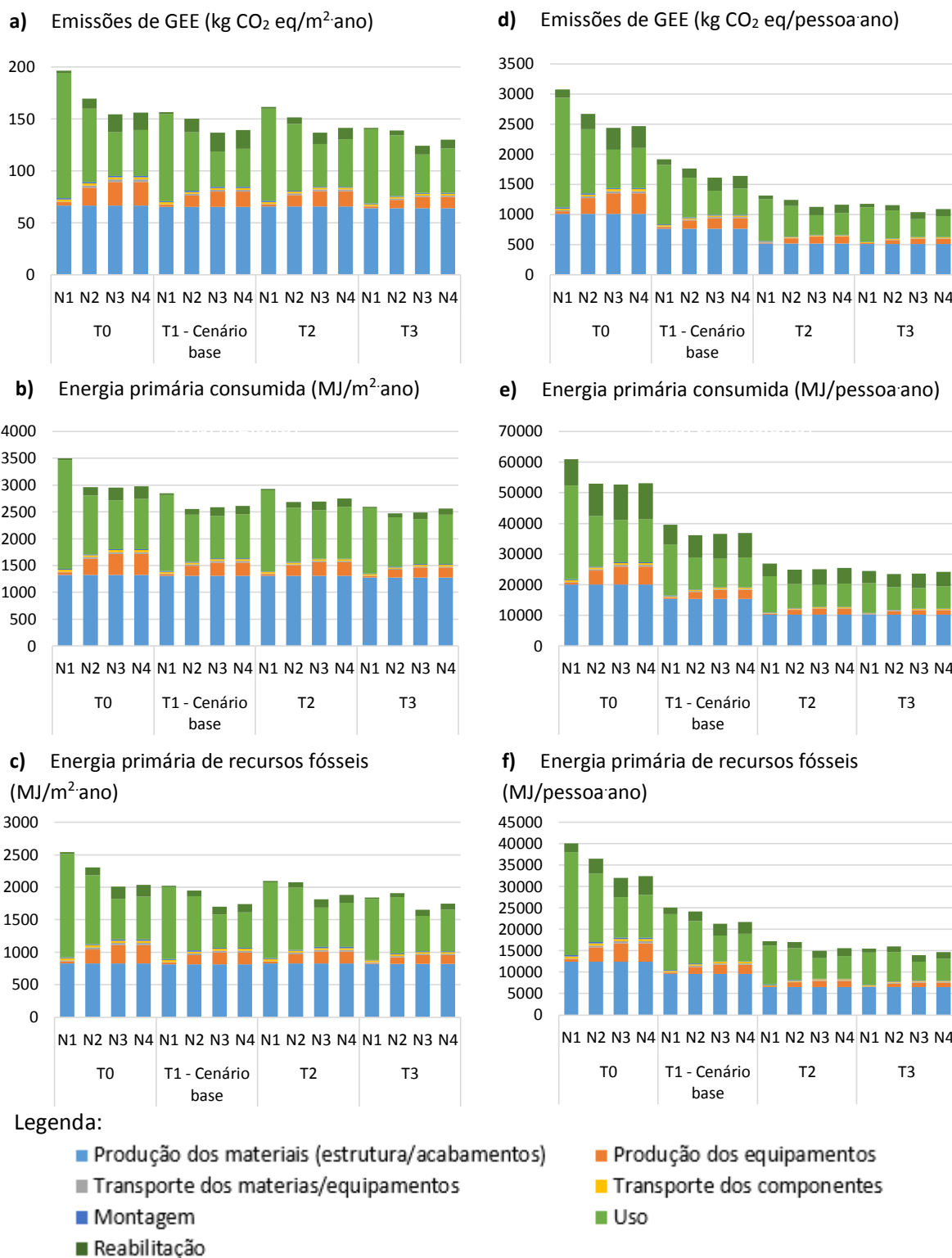


Figura 4.7 – Comparação do desempenho ambiental do CV da casa flutuante do cenário base com o cenário A, tendo em conta a função habitação: a) e d) Emissões de GEE; b) e e) Energia primária consumida; c) e f) Energia primária de recursos fósseis; N1 a N4 – níveis de autonomia; T0 a T1 – tipologias da casa flutuante.

O comportamento das várias etapas, face à variação da área e do número de ocupantes, é descrita a seguir:

- Tendencialmente quanto maior a área útil e a ocupação da casa flutuante, menor a influência do peso dos materiais utilizados na casa flutuante. Em relação à ocupação esta tendência é linear de T0 a T3, mas no caso da área, a tipologia T1 e a T2 têm a mesma área útil, obtendo-se praticamente os mesmos impactes para estas duas tipologias. Isto verifica-se nos impactes por UF resultantes da produção e do transporte dos materiais da casa flutuante e do transporte dos componentes, os quais diminuem de T0 a T3;
- Dado que o peso dos equipamentos é igual em qualquer uma das tipologias, a contribuição da produção dos equipamentos e da reabilitação da casa flutuante para os impactes do CV diminui para qualquer uma destas UF de T0 a T3. Os impactes da montagem são proporcionais ao comprimento da casa flutuante, contudo, para qualquer uma das UF a sua influência diminui de T0 a T3;
- Em relação ao uso da casa flutuante, esta é a etapa mais afetada pela variação das tipologias, pois o aumento do volume agrava os consumos devido ao aquecimento e arrefecimento do ar interior. Além disso, o aumento do número de habitantes acresce os consumos para a produção de AQS e tratamento de águas. Os impactes devido ao uso dos equipamentos elétricos, os quais representam 51 – 91% (energia primária) e 70 – 92% (emissões de GEE) dos impactes desta etapa, não variam com as tipologias. É de referir que não se considerou a variação do consumo de eletricidade dos equipamentos com as tipologias, de modo a diminuir a subjetividade dos resultados.

A Figura 4.8 permite a análise do comportamento da etapa de uso tendo em conta as duas UF. Como anteriormente observado em Bastos *et al.* (2014), os resultados são influenciados pelos rácios área da superfície/volume e área útil/habitantes. A área/volume diminui de T0 a T3, indicando que a área de troca de calor com o exterior diminui, sendo necessário menos energia para aquecimento quando o volume aumenta, exceto para T1 quando comparado a T2, o que não anula a conclusão anterior, pois tendo o mesmo rácio, o facto da ocupação ser maior para T2 afeta os impactes (UF baseada na área). O rácio área/habitantes também diminui de T0 a T3, isto é, quanto maior a ocupação menor a influência das necessidades de aquecimento, quando a UF é baseada na ocupação.

No entanto, neste estudo, principalmente para os níveis de autonomia N2 a N4, a maior influência nos impactes é devida ao consumo de energia de origem fóssil, pois, por exemplo, quanto maior o volume da casa maior as necessidades de aquecimento e maior a dependência do apoio do gerador (N2). Este acréscimo na demanda influencia os impactes das outras atividades, porque, por exemplo, no nível N2 a eletricidade é consumida pelos eletrodomésticos, pela ETAR de tratamento primário e secundário, pelas lâmpadas, e pela bomba de calor que aquece a casa e dá apoio ao sistema de produção de AQS. Por sua vez, a

eletricidade é produzida pelo sistema fotovoltaico e pelo gerador a gásóleo, daí que o consumo de um simples frigorífico influencia todo o sistema de consumo da casa flutuante. Todavia, de modo geral, a variação da tipologia não altera a classificação dos níveis de autonomia, continuando a ser o N1 o que possui mais impactes e o N3 o que possui menos.

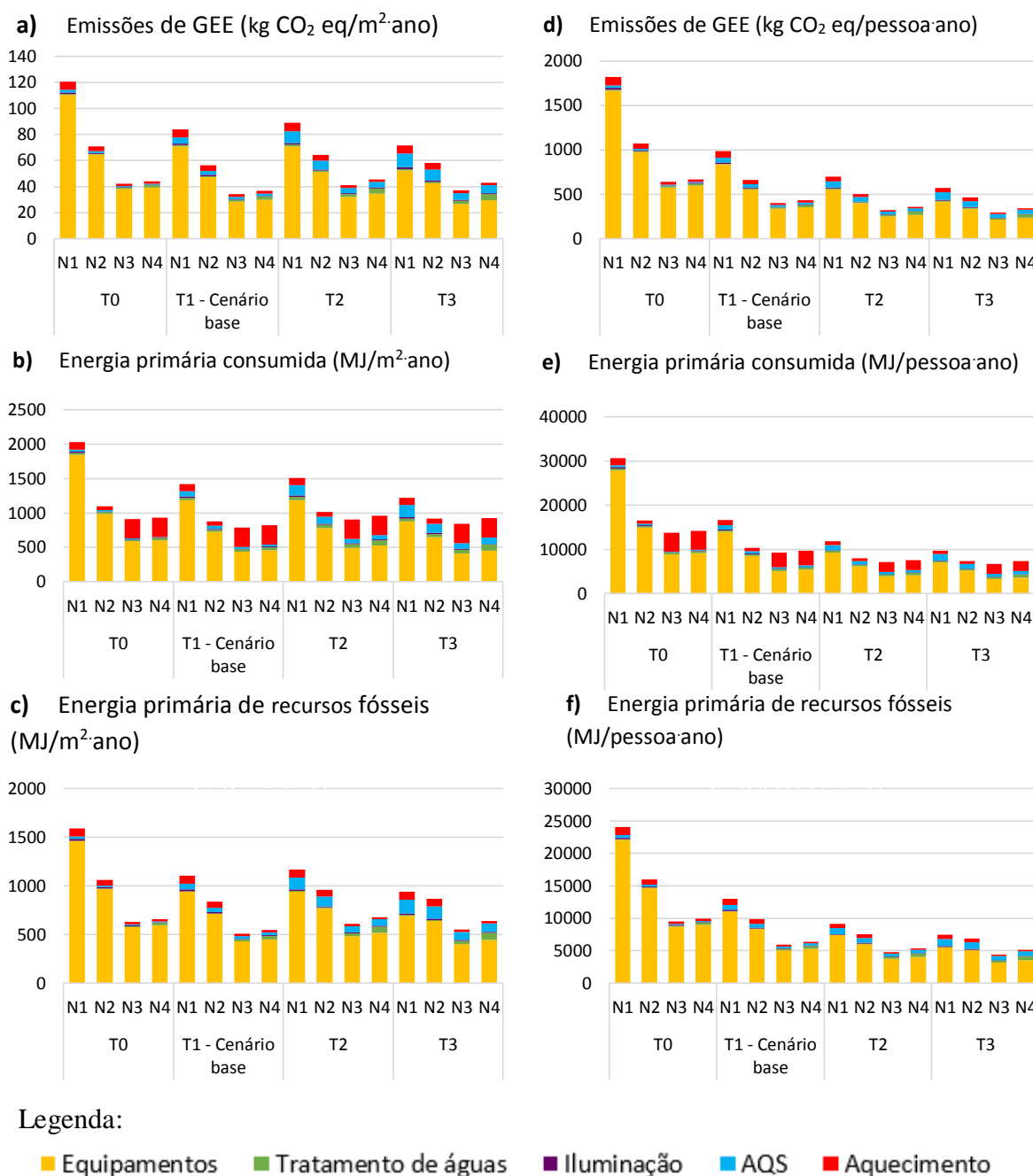


Figura 4.8 – Comparação do cenário base com o cenário A, etapa de ocupação, cenário base: a) e d) Emissões de GEE; b) e e) Energia primária consumida; c) e f) Energia primária de recursos fósseis; N1 a N4 – níveis de autonomia; T0 a T1 – tipologias da casa flutuante.

Em relação à função mobilidade, o que acontece é que quanto mais pesada a casa flutuante ($T3 > T1 > T2 > T0$) e maior o seu comprimento na linha de água, maior a potência exigida ao motor, condicionando o aumento dos impactes para qualquer uma das etapas do CV da casa flutuante, no entanto esta variação não altera o peso de cada etapa, continuando a ser a etapa de uso a mais significativa.

Quadro 4.3 Impactes ambientais devido à função mobilidade, cenário A.

Categoria de impactes	Tipologias			
	T1 – cenário base	T0	T2	T3
Emissões de GEE (kg CO ₂ eq/ 1000 km)	5 214	2 945	4 235	6 284
Energia primária consumida (MJ/1000 km)	80 175	45 374	65 157	96 581
Energia primária de recursos fósseis (MJ/1000 km)	78 641	44 493	63 369	94 724

4.3.2 Variação do clima (cenário B)

Nesta secção é analisada a alteração do desempenho face ao local de instalação da casa flutuante, a qual afeta os impactes resultantes do transporte dos componentes e da etapa de uso. De acordo com a Figura 4.9, o transporte dos componentes da casa flutuante para a cidade de Atenas (GR) requer mais gastos de energia primária (via terrestre: 7 262 – 7 664 MJ/m²; via marítima: 440 – 464 MJ/m²) e emissões de GEE (via terrestre: 436 – 460 kg CO₂ eq/m²; via marítima: 28 – 29 kg CO₂ eq/m²), pois a distância percorrida é maior, sendo superior a Amsterdão – HO (via terrestre: 49%; via marítima: 47%) e a Alqueva – PT (via terrestre: 91%). Além disso, para as categorias de impactes analisadas a melhor via a utilizar será sempre a marítima, cujos impactes reduzem em 94% em relação à via terrestre.

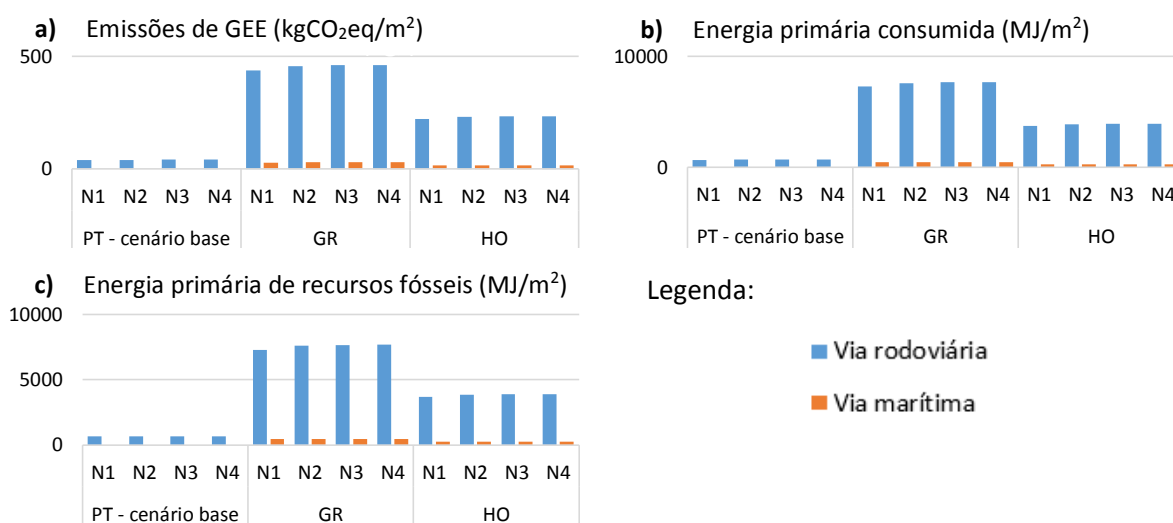


Figura 4.9 - Comparação do cenário base com o cenário B, transporte dos componentes: a) Emissões de GEE; b) Energia primária consumida; c) Energia primária de recursos fósseis; N1 a N4 – níveis de autonomia; PT – Alqueva, Portugal; GR – Atenas, Grécia; HO – Amsterdão, Holanda.

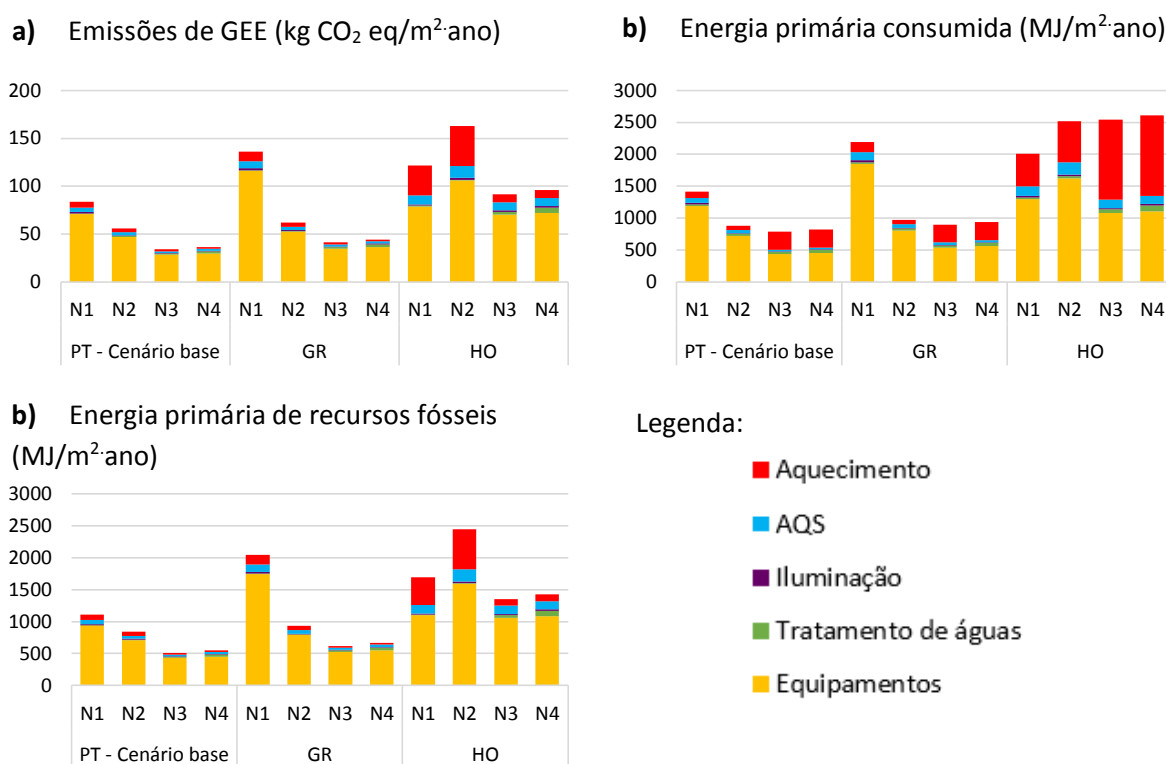


Figura 4.10 - Comparação do cenário base com o cenário B, etapa de uso: a) Emissões de GEE; b) Energia primária consumida; c) Energia primária de recursos fósseis; PT – Alqueva, Portugal; GR – Atenas, Grécia; HO – Amsterdão, Holanda.

4.3.3 Tratamento dado aos acabamentos da casa flutuante (cenário C)

Comparando os impactes da reabilitação do cenário C (Quadro 4.4) com o cenário base, conclui-se que o tratamento da madeira utilizada na casa flutuante traz melhorias significativas, implicando a redução dos impactes desta etapa em: 38– 81% (emissões de GEE); 77 – 95% (energia primária); 46 - 83% (energia primária de recursos fósseis).

Quadro 4.4 - Impactes devido à reabilitação da casa flutuante, cenário C.

Categoria de impactes	N1	N2	N3	N4
Emissões de GEE (kg CO ₂ eq/m ²)	167	263	358	358
Energia primária consumida (MJ/m ²)	11 078	12 596	13 719	13 719
Energia primária de recursos fósseis (MJ/m ²)	2 583	3 775	4 631	4 631

4.4 Comparação das bases de dados

Foram consideradas duas bases de dados, com o objetivo de explorar de que forma estas influenciam os resultados. A base ICE v.2.0 tem fronteiras *cradle-to-gate*, enquanto o ecoinvent v.2.1 *cradle-to-grave*, i.e., o ICE foca-se nos impactes incorporados, enquanto o ecoinvent

permite a realização de um estudo de ACV completo, considerando todas as etapas e processos envolvidos ao longo CV. Assim, a análise comparativa das bases de dados é feita apenas para a produção dos materiais construtivos da casa flutuante do cenário base.

Segundo o Quadro 4.5, os resultados destas duas bases de dados variam entre -27% a 21% para as emissões de GEE, exceto para a madeira (40%) e a cortiça (144%). Relativamente à energia primária consumida entre -15% e 47%, à exceção dos mesmos materiais (madeira – 109%, cortiça – 147%). As diferenças prendem-se essencialmente com aspetos inerentes: (i) às fontes de dados recolhidos, (ii) à forma como os produtos e processos são desagregados e caracterizados e (iii) a aspetos da própria modelação e metodologia de cálculo.

Quadro 4.5 - Comparação das bases de dados ICE e ecoinvent.

Material	Peso (kg)	Energia primária total consumida (MJ/m ²)			Emissões de GEE (kgCO ₂ eq/m ²)		
		ICE	ecoinvent	Δ	ICE	ecoinvent	Δ
Aço	9 660	9 825	15 799	47%	892	952	7%
Alumínio	775	2 539	2 893	13%	150	184	21%
Madeira	5 263	1 257	4 297	109%	34	51	40%
Isolamento (Cortiça)	1 290	232	1 501	147%	5	33	144%
Plástico	377	740	748	1%	30	30	2%
Vidro	1 974	988	866	-13%	57	52	-8%
Tinta	17	37	32	-15%	1	1	-27%
TOTAL	19 357	15 616	26 137	50%	1 169	1 305	11%

Δ – trata-se da variação percentual entre estas duas bases de dados, tendo como numerador a diferença entre estas (valor do ecoinvent menos o do ICE) e o denominador a média entre estes dois valores.

Em relação aos aspetos inerentes às fontes dos dados recolhidos para cada base de dados, o ICE trata-se de uma base de dados centrada principalmente em dados ingleses, tal como o *mix* energético que está na base da produção dos materiais e os fatores de conversão de emissões de GEE, ao passo que no ecoinvent a maioria dos dados são provenientes de estudos suíços ou à escala Europeia. Quanto à desagregação e caracterização dos produtos e processos, a base de dados ICE tem os produtos e elementos construtivos apresentados de forma genérica, pouco desagregados ou detalhados na caracterização, facilitando a sua utilização (uma vez que exige menos detalhe ou informação por parte do utilizador para selecionar os produtos ou processos); enquanto no ecoinvent os processos e produtos são desagregados em processos unitários com caracterização mais detalhada (por exemplo, a madeira está desagregada não só por tipo ou espécie, mas pode ser selecionada também de acordo com sua humidade e tipo de utilização na construção). Apesar de uma maior complexidade, do ponto de vista do utilizador o ecoinvent permite ter um acesso mais simples e transparente à modelação dos processos e produtos, facilitando a interpretação e análise dos resultados. Um exemplo da diferente desagregação e

caracterização entre as duas bases de dados é o processo de galvanização do aço, que pode ser feita utilizando diferentes metais nobres. O ICE tem dados genéricos para o aço galvanizado, não sendo possível perceber de forma imediata se é uma média de diferentes tipos de galvanização (ou se usa um tipo específico), e oecoinvent tem também um processo apenas, que corresponde ao tratamento anticorrosivo por cromagem.

No que diz respeito aos aspetos inerentes à modelação, as disparidades permitem justificar a elevada discrepância entre os impactes devido à utilização da madeira e da cortiça. A base de dados ecoinvent (seguindo a metodologia de avaliação dos impactes CED) engloba na energia primária consumida, para além da energia do combustível consumido no processo, o poder calorífico de uma matéria-prima que pode ser usada como combustível, *feedstock* (Hischier *et al.*, 2003). Isto é, o poder calorífico da madeira utilizada para a fabricação de contraplacados é contabilizada no consumo de energia primária renovável, porque existe a possibilidade de esta madeira ser alterada aquando da utilização de vernizes ou outros químicos, impedindo a recuperação desta energia no seu final de vida. Todavia, o ICE só engloba o *feedstock* quando este representa perdas relevantes para as fontes (recursos energéticos), como o caso do petróleo utilizado na fabricação do plástico (Jones, 2011). Em relação à madeira, a energia derivada do *feedstock* não é englobado no estudo, visto que, esta pode ser recuperada posteriormente, não representando assim grandes perdas para a fonte de energia. Esta justificação pode ser assimilada para a produção do isolamento em cortiça, dado que também é um material biogénico. Porém, para este material o estudo utilizado pela base de dados ecoinvent não utiliza apenas a cortiça processada para o isolamento, adicionando a esta a corticite. A fabricação da corticite envolve outras entradas, como vernizes, que não são necessárias na fabricação de placas de isolamento em cortiça, as quais requerem, para além da energia gasta no cultivo e transporte da matéria-prima, a energia consumida na expansão da cortiça. Contudo, mesmo que o processo utilizado no ecoinvent esteja a sobrevalorizar a produção de isolamentos na casa flutuante, a base ICE a subvaloriza. Pois, de acordo com a referência, Berge (2002), utilizada no ICE, os impactes devido à produção da cortiça deveriam corresponder a 30 MJ/kg e não 4 MJ/kg.

Em suma, a recolha de dados constitui um processo exaustivo, que engloba algumas incertezas, porque nem sempre a assimilação às características específicas de um caso de estudo é exequível, sendo necessário, em qualquer estudo, a análise dos resultados tendo em conta as entradas consideradas, não podendo estes serem admitidos como verdade absoluta. Além disso, para um estudo de ACV completo, para além da base de dados ecoinvent ter uma complexidade maior, o que permite uma melhor assimilação dos processos escolhidos com a realidade, é de referir que os próprios autores da base de dados ICE referenciam o ecoinvent quando as fronteiras do estudo são mais alargadas (Hammond e Jones, 2008).

4.5 Pressupostos e incertezas

O estudo de ACV envolve várias suposições e simplificações, associadas à UF, ao tempo de vida, ao uso da casa flutuante, à eficiência da tecnologia utilizada e aos dados recolhidos, discutidas nesta secção.

A grande maioria dos dados de entrada foram obtidos do projeto em si (Branco, 2014; Constância *et al.*, 2015), contudo, quando isto não foi possível recorreu-se à literatura e a programas interativos (TECSOL e PVGIS). Mesmo assim, os dados da produção dos equipamentos envolvem alguma incerteza, pois a falta de informação, além de implicar a sua modelação com base na potência nominal ao invés dos materiais constituintes, também conduziu à exclusão da produção das mini-estações de tratamento de água. Ademais, existem incertezas na modelação de alguns materiais de construção da casa flutuante, como por exemplo o processo de produção do *Deck Thermowood* utilizado no pavimento exterior, ao qual não foi associado o consumo energético devido ao tratamento térmico que recebe.

Em relação ao tempo de vida da casa flutuante, este foi baseado em estudos de barcos, porém pode variar consoante os cuidados tomados pelos seus habitantes. Quanto à UF, esta depende dos objetivos do estudo. As duas propostas permitem uma análise holística mais robusta do CV da casa flutuante, alocando os impactes a cada função desempenhada por esta. Quanto ao uso, existem incertezas devido à utilização dos equipamentos, os quais poderiam variar com o número de pessoas, todavia no estudo assumiu-se que estas variações não seriam significativas, não se justificando esta variação, pois existem consumos, por exemplo, das bombas de circulação e do exaustor que dificilmente variam com a ocupação da casa. Além disso, quanto ao tratamento de águas nas estações municipais foi simplificado o estudo, sendo que assumiu-se a igualdade da tecnologia independentemente do local de instalação da casa.

No que toca à função mobilidade, a eficiência dos motores de popa implicam a variação do consumo de gasolina, à qual foi dedicada alguma atenção, sendo utilizado dados de consumo de gasolina do próprio motor instalado no protótipo e dos estipulados para as outras tipologias a partir de Boat fuel Economy (*s.d.*).

5 CONCLUSÕES

Neste capítulo são apresentadas as conclusões finais referentes ao estudo realizado nesta dissertação, as quais são expostas de forma breve e concisa, visando a transmissão de uma perspectiva global da análise efetuada e dos resultados (discutidos na secção anterior). As considerações finais têm em conta os resultados obtidos, limitações, suposições, incertezas do estudo e por fim, sugestões para trabalhos futuros.

O principal objetivo desta dissertação foi avaliar os impactes ambientais (emissões de GEE e energia primária consumida) dos quatro níveis de autonomia da casa flutuante, desenvolvida pelo projeto *FloatWing*, tendo em conta as duas funções desempenhadas por esta (habitação e mobilidade). Sendo que foi elaborado um estudo de ACV em que o cenário base permitiu a análise da tipologia T1 da casa flutuante ao longo de 20 anos de tempo de vida, quando esta está situada na albufeira do Alqueva. Deste cenário base foi variada a tipologia da casa flutuante, o clima inserido e o tratamento dado aos acabamentos da casa flutuante. Ademais, foram comparadas duas bases de dados (ecoinvent e ICE) de modo a perceber a influência dos dados de *background* nos resultados do estudo de ACV.

5.1 Conclusões do estudo de ACV

No que diz respeito à função habitação, independentemente da UF ($m^2 \cdot ano$ ou $pe\tilde{so}a \cdot ano$), quanto maior a autonomia da casa flutuante, maior a contribuição da construção e reabilitação da casa flutuante nos impactes do seu CV, podendo a etapa de construção chegar a 63% dos impactes do CV, para a qual os processos mais pejorativos tratam-se da produção das fachadas, da estrutura submersa e da produção do sistema fotovoltaico. A influência da etapa de uso diminui de 50 a 31% em termos de energia primária e de 54 a 25% quanto às emissões de GEE com o aumento da autonomia da casa flutuante.

Quanto à função mobilidade, conclui-se que a etapa de uso (navegação) representa cerca de 99% do valor total, dado que a construção e manutenção estão associadas apenas aos dois motores de popa, além disso a mudança dos níveis de autonomia não representa significância na alteração dos resultados (N2, N3 ou N4), mas a alteração da tipologia sim, pois o peso da casa flutuante influencia diretamente os consumos.

Comparando os níveis de autonomia, quando a casa flutuante está inserida no Alqueva o nível com menos impactes é o N3, pois esta região possui uma boa exposição solar, culminando no melhor desempenho do sistema fotovoltaico instalado, o qual associado ao uso da salamandra

a *pellets* permite a redução do uso do sistema auxiliar (consome gasolina). Além do mais, uma parcela considerável de água é tratada nas estações municipais, as quais solicitam menos energia por m³ de água a ser tratada, vantagem esta que fez este nível sobrepôr o N4 em termos de impactes ambientais.

Este comportamento continua a ser registado em Atenas, porém em Amsterdão o nível com maior impacte ambiental, em termos de uso, é o N2. Pois, a produção de eletricidade pelo sistema fotovoltaico reduz em 42% quando comparado com o Alqueva, e 37% com Atenas. Outrossim, o nível N3 é o que apresenta menos impactes ambientais associados, visto que a demanda de aquecimento de ar interior é maior em Amsterdão, a qual é suprida pelo consumo de *pellets*. Contudo, quando avaliado o CV da casa flutuante inserida em Amsterdão o nível N1 também é um dos níveis de autonomia com menos impactes associados.

A mudança de local de instalação da casa flutuante (cenário B) levantou outra questão, qual seria a melhor via de transporte da casa flutuante para o local de montagem: marítima ou terrestre, chegando-se à conclusão de que a melhor via de transporte seria a marítima, sendo que os impactes analisados reduzem em 94% face à via terrestre.

Quanto à tipologia da casa (cenário A), os impactes aumentam de T3 a T0 tendo em conta os resultados por qualquer uma das UF, sendo assim a tipologia T0 trata-se da que mais impactes acarreta.

No que concerne ao tratamento dado aos acabamentos em madeira (cenário C), conclui-se que a qualidade do tratamento deve ser um dos cuidados a ter na confeção da casa flutuante, na medida em que, quanto melhor preparada estiver a casa para o meio em que se insere, maior a sua longevidade. Esta qualidade pode implicar uma redução de 38 a 81% nas emissões de GEE e 77 a 95% do consumo de energia primária nos impactes de reabilitação, assumindo um tempo de vida de 20 anos para os acabamentos realizados.

De um modo geral, a avaliação destes cenários permitiu concluir que:

- Independentemente da casa flutuante apresentar mobilidade ou não, o uso de painéis solares fotovoltaicos quando esta está inserida num meio com boa incidência solar é recomendável, no entanto, em países nórdicos poderá não compensar, colocando como hipótese o aumento da potência dos painéis (aumento da área), o que em termos estéticos poderá trazer problemas, ou mesmo o carregamento das baterias a partir da rede elétrica nacional, caso esta dependa consideravelmente de fontes de energia renovável;
- O transporte da casa flutuante trata-se de uma pequena fatia dos impactes. Porém, de acordo com os impactes analisados no estudo, dada a possibilidade de escolha, esta deverá ser feita sempre por via marítima;
- Sendo bastante significativa a etapa de construção da casa flutuante, os seus impactes poderiam ser reduzidos ao se utilizar uma estrutura em madeira, sem descurar a

funcionalidade estrutural e mecânica da mesma, e recebendo esta o devido tratamento de modo a durar tempo suficiente para compensar a estrutura em aço;

- Ainda em termos estruturais, na literatura existem casas que ao invés de utilizarem espuma de poliestireno (EPS) para flutuarem, utilizam uma caixa de aço selada preenchida apenas por ar. Esta opção poderá representar vantagens, visto que a produção de aço inox requer menos consumo de energia primária do que a de EPS (ver Anexo B). Todavia, esta mudança exige um novo estudo de ACV que avalie também outros impactos ambientais.

Relativamente à comparação entre as duas bases de dados utilizadas, por um lado, o ICE tem a vantagem de ser uma base de dados especificamente direcionada para os materiais e elementos construtivos. Por outro lado, oecoinvent dá ao utilizador maior flexibilidade na medida em que os dados utilizados podem ser adaptados para um estudo específico, de acordo com o âmbito e objetivos da ACV e possibilitando que as fronteiras do estudo sejam mais alargadas. Dos resultados apresentados, a maior discrepância é inerente à produção da madeira e da cortiça, na medida em que, relativamente aos materiais biogênicos, ao contrário doecoinvent, o ICE não integra o *feedstock* na contabilização da energia primária consumida.

Em suma, um estudo de ACV engloba muitas suposições e incertezas, as quais podem variar os resultados do estudo. No entanto, independentemente destas, constata-se que é necessário uma análise holística, tendo em conta as várias etapas do CV da casa flutuante. Pois nem sempre a melhoria da etapa de uso corresponde à do CV total. Além disso, o fator tempo é crucial, não bastando equipar a casa flutuante com sistemas alicerçados nos recursos renováveis. Estes sistemas devem estar preparados para o ambiente a que se expõem, porque quanto maior a longevidade da casa flutuante e dos seus sistemas auxiliares, menor será o impacto da construção. Torna-se assim imprescindível que o design da casa flutuante se baseie no tempo de vida útil da mesma e que os habitantes tenham as devidas preocupações de manutenção.

5.2 Limitações do estudo e sugestões para trabalhos futuros

Neste estudo foram feitos vários pressupostos de modo a proceder à modelação do CV da casa flutuante, como a exclusão do fabrico das mini-estações de tratamento de águas residuais e de abastecimento, e a extrapolação da produção de cada uma das tipologias da casa flutuante a partir do protótipo de tipologia T1 com 16 m de comprimento, aumentando as incertezas dos resultados do estudo. Também foi excluído à priori a etapa de fim de vida, a partir do concluído da literatura e como forma de simplificação do estudo.

Uma das limitações foi a carência de simulações da casa flutuante em climas mais diferenciados, impedindo que a gama dos resultados fosse mais diferenciada. Outra dificuldade foi a quantificação do tempo de vida de cada material e equipamento utilizado na casa flutuante quando exposto à humidade. Contudo, a maior limitação foi a falta de estudos que permitissem concluir com grande exatidão a correlação entre o consumo de combustível durante a navegação

e o peso da casa flutuante. Para o estudo utilizou-se a literatura, contudo, seria interessante perceber qual a reação destes materiais após a sua inserção na albufeira. Além disso, nesta dissertação o desempenho ambiental da casa flutuante foi avaliado tendo em conta apenas o consumo de energia primária e emissões GEE, todavia, a qualidade da performance ambiental da casa só poderá ser assertiva quando tidas em consideração outras categorias de impacte, como a depleção abiótica, a depleção da camada de ozono, a acidificação, a eutrofização de água doce e a oxidação fotoquímica.

Tendo em conta estas limitações, recomendam-se os seguintes trabalhos futuros:

- Pesquisa exaustiva da produção dos equipamentos, essencialmente das mini-estações de tratamento de água;
- Realização de um estudo para climas mais diferenciados (mais quentes, exemplificando, Brasil), sendo necessário a execução de uma simulação térmica da casa;
- Variar o tempo de permanência na casa flutuante, o que implica na variação do armazenamento de energia nas baterias;
- Monitorização dos consumos de combustível devido à variação da potência de serviço dos motores, ao mudar o peso da casa flutuante e a velocidade de viagem, de modo a perceber os impactes gerados dessa variação;
- Utilização de outros combustíveis na etapa de utilização, exemplificando o gasóleo e o gás natural liquefeito, que podem constituir um melhor desempenho ambiental em termos de navegabilidade (Bengtsson *et al.*, 2011);
- Contabilização de outras categorias de impacte, incluídas nas metodologias ReCiPe ou CML 2001 (Hischier *et al.*, 2010).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adalberth, K. (1997a). “Energy use during the life cycle of single-unit dwellings: Examples”. *Building and Environment*, 32(4), 321–329. [http://doi.org/10.1016/S0360-1323\(96\)00069-8](http://doi.org/10.1016/S0360-1323(96)00069-8)
- Adalberth, K. (1997b). “Energy use during the life cycle of buildings: a method”. *Building and Environment*, 32(4), 317 – 320.
- Adalberth, K.; Almgren, A. e Holleris Petersen, E. (2001). “Life-cycle assessment of four multi-family buildings”. *International Journal of Low Energy and Sustainable Buildings*, 2, 1-21
- Anderson, H. C. (2014). “Amphibious Architecture : Living with a Rising Bay”. Master thesis, Faculty of California Polytechnic State University, San Luis Obispo.
- Anderson, J. e Thornback, J. (2012). “A guide to understanding the embodied impacts of construction products”
- Agsorn, S. (1995). “Fuzzy logic in folder flood control operations in Bangkok”. *Tese de doutoramento*, University of British Columbia (Colombia)
- ArcelorMittal, Construção Portugal. (2011). Catálogo de Painéis Sandwich de cobertura. http://www.odifercol.pt/downloader/Sandwich_cat.pdf
- Amerman, D. (s.d). “Heat Pump Life Expectancy”. Acedido a 31 de julho de 2015, em: http://www.ehow.com/about_5558447_heat-pump-life-expectancy.html
- Aye, L., Ngo, T., Crawford, R. H., Gammampila, R. e Mendis, P. (2012). “Life cycle greenhouse gas emissions and energy analysis of prefabricated reusable building modules”. *Energy and Buildings*, 47, 159–168
- Bastos, J., Batterman, S. A. e Freire, F. (2014). “Life-cycle energy and greenhouse gas analysis of three building types in a residential area in Lisbon”. *Energy and Buildings*, 69, 344–353. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.010>
- Bauer, C. (2007). “Final report ecoinvet No. 6-IX”. Paul Scherrer Institut Villigen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH.
- Bengtsson, S., Andersson, K., e Fridell, E. (2011). “Life cycle assessment of marine fuels. A comparative study of four fossil fuels for marine propulsion”. Gothenburg, Sweden.
- Blengini, G. A. (2009). “Life cycle of buildings, demolition and recycling potential: A case study in Turin, Italy”. *Building and Environment*, 44(2), 319–330. <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.03.007>
- Boat fuel Economy (s.d.). Acedido a 20 de julho de 2015, em: <http://www.boat-fuel-economy.com/consumo-motor-de-popa-mercury>

- Branco, C. P. M. S. (2014). “Avaliação do desempenho energético e da qualidade ambiental interior de um caso de construção modular em diferentes climas.” *Dissertação de mestrado*, Universidade de Coimbra, Coimbra (Portugal).
- CES EduPack (2014). Lista de materiais com durabilidade excelente do programa CES EduPack.
- CEPSA - Cepsa Portuguesa Petróleo, SA (2011). “Manual de lubrificação automotiva”. http://www.cosimpor.pt/downloads/file22_pt.pdf
- Chatzinikolaou, S. D., e Ventikos, N. P. (2015). “Holistic framework for studying ship air emissions in a life cycle perspective”. *Ocean Engineering*. <http://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2015.05.042>
- Chau, C. K., Leung, T. M. e Ng, W. Y. (2015). “A review on Life Cycle Assessment, Life Cycle Energy Assessment and Life Cycle Carbon Emissions Assessment on buildings”. *Applied Energy*, 143, 395–413. <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.01.023>
- Chau, C. K., Yik, F. W. H., Hui, W. K., Liu, H. C. e Yu, H. K. (2007). “Environmental impacts of building materials and building services components for commercial buildings in Hong Kong”. *Journal of Cleaner Production*, 15(18), 1840–1851. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.10.004>
- Chen, T. ., Burnett, J. e Chau, C. (2001). “Analysis of embodied energy use in the residential building of Hong Kong”. *Energy*, 26(4), 323–340. [http://doi.org/10.1016/S0360-5442\(01\)00006-8](http://doi.org/10.1016/S0360-5442(01)00006-8)
- Coastal Engineering – Amphibious housing. “Floating Foundations/ Bases”. Acedido a 30 de julho de 2015, em: <http://amphibioushomes.weebly.com/floating-foundations--bases.html>
- Coelho, a. C., Branco, J. M. e Gervásio, H. (2012). “Life-cycle assessment of a single-family timber house”. *1st International Conference on Building Sustainability Assessment BSA 2012*, 533–542. Retrieved from <http://hdl.handle.net/1822/20506>
- Cole, I., Trinidad, G., Bradbury, A., Mcasa flutuanteallen, S., Chen, S.-E., MacKee, J, Gilbert, D., e Shutt, G. (2004). “Final Report of Delphi Study”. *Project of Component Life – A Delphi Approach to Life Prediction of Building Material Components*, CSIRO and the University of Newcastle
- Constálica, ITeCons, Friday e AISOL (2014). “FloatWing – Casa Flutuante modular para uma estadia em comunhão com a Natureza e com a água, numa ótica de autonomia e de sustentabilidade energética e ambiental”. Relatório técnico-científico nº1
- CSS - Center for Sustainable Systems, University of Michigan (2014). “U.S. Wastewater Treatment Factsheet.” Pub. No. CSS04-14
- Daglio, L. (2014). “Building with water : innovative approaches for sustainable architecture”. *Atas de “2nd ICAUD International Conference in Architecture and Urban Design”*, Tirana (Albânia), 8-10 de Maio de 2014
- Dauguird, M (2007). “Preventing Power Emergency”. Acedido a 31 de julho de 2015, em: <http://www.facilitiesnet.com/powercommunication/article/Preventing-Power-Emergencies-Facilities-Management-Power-Communication-Feature--7718>

- Decreto-lei nº 289/2007, de 17 de agosto. Regulamento da atividade marítimo e turística. Ministério das obras públicas transportes e comunicações. Diário da Republica - 1.ª série, nº 158, pág. 5354. <http://dre.tretas.org/dre/217489/>
- Dimplex (s.d.). Dados técnicos WI 10TU, bomba de calor água/água de alta eficiência. Acedido a 2 de junho de 2015, em: http://www.dimplex.de/pdf/pt/produktattribute/produkt_1727022_extern_egd.pdf
- Diretiva EEC 91/271 – Diretiva do Conselho de 21 de Maio de 1991 relativa ao tratamento de águas residuais urbanas (91/271/CEE). Jornal Oficial da Comunidades Europeias.
- Edwards, R., Larive, J.-F., Rickeard, D., e Weindorf, W. (2013). “Well-to-Tank Version 4, JEC Well-to-Wheels Analysis”. <http://doi.org/10.2788/40526>
- Environment Canada, Emergencies Science and Technology Division (s.d.). Lubricating Oil (Engine, Gasoline). Oil properties database. Acedido a 17 de agosto de 2015, em: <http://www.etc-cte.ec.gc.ca/databases/Oilproperties/Default.aspx>
- European Standard Standardization (EN) 15643-1 (2010). “Sustainability of construction works – sustainability assessment of buildings – part 1: general framework”. EN 15643 -1: 2010. CEN, Brussels.
- European Standard Standardization (EN) 15643-2 (2011). “Sustainability of construction works – assessment of buildings – part 2: framework for the assessment of environmental performance”. EN 15643 -2: 2011. CEN, Brussels.
- Exxon Mobil Corporation (2011). Mobilube HD Plus 80W-90, 85W-140, Extra High Performance Commercial Gear Lubricants. Acedido a 17 de agosto de 2015, em: http://www.mobil.com/USA-English/Lubes/PDS/NAUSENCVLMOMobilubeHDPlus80W-90_85W-140.aspx
- Ferrão, P. (2009). “Ecologia Industrial: Princípios e Ferramentas”. 1ª Ed. Lisboa, Portugal.
- Fet, A. M. (2002). “Environmental reporting in marine transport based on LCA”. *Journal of Marine Design and Operations B B1*, (1), 1476–1556.
- Frank, P. (2008). “Houseboats of Sausalito”. Arcadia Publishing, USA.
- Frenette, C. D., Bulle, C., Beaugard, R., Salenikovich, A. e Derome, D. (2010). “Using life cycle assessment to derive an environmental index for light-frame wood wall assemblies”. *Building and Environment*, 45(10), 2111–2122.
- Golebiewski, J. I. (2013). “The Idea of Living in a House on Water and its Development in Poland Compared to Selected European Countries. Is Living on Water a Real Alternative for Traditional Forms of Dwelling in Poland?” *Środowisko Mieszkaniowe*, 130–136.
- Gratsos, G., Psaraftis, H. N., & Zachariadis, P. (2010). “Life-cycle CO2 emissions of bulk carriers: a comparative study”. Royal Institution of Naval Architects. Part A3. *International Journal of Maritime Engineering*, 152, A119–A134.
- Grupo de Trabalho da Náutica de Recreio (2012). “Náutica de Recreio em Portugal”. Relatório do Fórum Permanente para os Assuntos do Mar. EPUL.
- Hammond, G. E Jones, C. (2008). “Inventory of Carbon and Energy (ICE) – version 1.6a”. *University of Bath, UK*.

- http://www.ecocem.ie/downloads/Inventory_of_Carbon_and_Energy.pdf
- Hammond, G. E Jones, C. (2011). “Inventory of Carbon and Energy (ICE) – version 2.0”. *University of Bath, UK*.
- <http://web.mit.edu/2.813/www/readings/ICEv2.pdf.old>
- Heck, T. (2007). “Wärme-Kraft-Kopplung”. Final report ecoinvent No. 6-XIV, Paul Scherrer Institut Villigen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH. www.ecoinvet.ch
- Hischier, R., Classen, M., Lehmann, M., e Scharnhorst, W. (2007). “Life Cycle Inventories of Electric and Electronic Equipment: Production, Use and Disposal”. ecoinvent report No. 18. Empa / Technology & Society Lab, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, 2007.
- Hischier R., Weidema B., Althaus H.-J., Bauer C., Doka G., Dones R., Frischknecht R., et al. (2010). “Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods”. ecoinvent report No. 3, v2.2. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf.
- Hou, Q. (2011). “Life Cycle Assessment of Cruising Ship Superstructure”. Master thesis in sustainable Development. Uppsala University, Sweden.
- How long will your LCD/ LED last. Acedido a 31 de julho de 2015, em: <http://ccm.net/faq/10203-how-long-will-your-lcd-led-tv-last>
- Iddon, C. R. e Firth, S. K. (2013). “Embodied and operational energy for new-build housing: A case study of construction methods in the UK”. *Energy and Buildings*, 67(2013), 479–488. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.08.041>
- INE, I.P. (2014). “Estatísticas do Turismo 2013”. Lisboa, Portugal.
- International Organization for Standardization (ISO) 14040 (2006). “Environmental management – life cycle assessment – principles and framework”. EN ISO 14040: 2006. ISO, Geneva.
- International Organization for Standardization (ISO) 14044 (2006). “Environmental management – life cycle assessment – requirements and guidelines”. EN ISO 14044: 2006. ISO, Geneva.
- Johnson, T. (2011). “Saving Fuel on Your Recreational or Charter Boat”. Alaska Sea Grant Marine Advisory Program. <http://doi.org/10.4027/sfyrcb.2011>
- Jones, C. I. (2011). “Life cycle energy consumption and environmental burdens associated with energy technologies and buildings”. Phd thesis, University of Bath. <http://opus.bath.ac.uk/23793/>
- Jungbluth, N. (2007a). Erdöl. In: Sachbilanzen von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz (Ed. Dones R.). ecoinvent report No. 6-IV, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH.
- Jungbluth, N. (2007b). Sonnenkollektor-Anlagen. ecoinvent report No. 6-XI, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH.

- Jungbluth, N., Stucki, M., e Frischknecht, R. (2009). Photovoltaics.ecoinvet report No. 6-XII, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, 2009.
- Junior, J. A. de O. (2009). “Arquitetura Ribeirinha sobre as águas da Amazônia: o habitat em ambientes complexos”. *Dissertação de pós-graduação*, Universidade de São Paulo, Brasil.
- Khasreen, M. M., Banfill, P. F. G., e Menzies, G. F. (2009). “Life-cycle assessment and the environmental impact of buildings: A review”. *Sustainability*, 1(3), 674–701. <http://doi.org/10.3390/su1030674>
- Koekoek, M. (2010). “Connecting Modular Floating Structures”. *Master thesis*, TUDelft, Rotterdam.
- Laugen, L. (2013). “An Environmental Life Cycle Assessment of LNG and HFO as Marine Fuels”. Master Thesis in Marine Systems Design. Norwegian University of Science and Technology.
- Leroy (s.d.). Salamandra Cube 6kW. Acedido a 30 de maio de 2015: <http://www.leroymerlin.pt/Site/Produtos/Aquecimento-e-Climatizacao/Aquecimento-fixo/Salamandras/16522415.aspx>
- LEITAT – LEITAT Technological Centre (2012). “BoatCycle project’s final technical report”. Spain and Italy. <http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=LIFE08 ENV E 000158 FTR.pdf>
- Level – The Authority on Sustainable Building. Acedido a 25 de julho de 2015: <http://www.level.org.nz/material-use/life-cycle-assessment/>
- Likuid (s.d.a). Instalações compactas de água potável. Acedido a 30 de junho de 2015, em: <http://www.likuidnanotek.com/pt/aguas-condicionamento/instalacoes-compactas-de-agua-potavel/serie-likuid-ura/>
- Likuid (s.d.b). Sistema de filtração de terciária, para afinação de lamas ativas. Acedido a 30 de junho de 2015, em: <http://www.likuidnanotek.com/pt/aguas-residuais/sistemas-filtracao-terciaria/filtracao-para-afinacao-de-lamas-ativas/>
- Lützkendorf, T., Foliente, G., Balouktsi, M. e Houlihan Wiberg, a. (2014). “Net-zero buildings: incorporating embodied impacts”. *Building Research and Information*, (May 2015), 37–41. <http://doi.org/10.1080/09613218.2014.935575>
- Maricato, N. (2012). “O Turismo em Portugal: Tendências e Perspectivas”. *Relatório de estágio curricular*, Universidade de Coimbra.
- Mercury. (s.d.). Características do motor fora de bordo a 4 tempos, modelo Mercury de 25 efi. Acedido a 5 de julho de 2015, em: <https://www.mercurymarine.com/pt/europe/engines/outboard/fourstroke/25-30-hp/#specifications>
- MHL – Morrison Hershfield Limited (2002). “The ATHENA™ institute: maintenance, repair and replacement effects for building envelope materials”. Ontario Canada.

- Middlemis-Brown, T. J. (2011). “Assessing and augmenting emergency response: a study of the current methods and potential changes to flood response in the state of Iowa”. *Dissertação de mestrado*, University of Iowa, Iowa.
- MOSA. (2015). Gerador a gasolina, modelo Ge - 7000 hsx / eas. Acedido a 1 de agosto de 2015, em: http://www.mosaenergia.com/assets/fichas_tecnicas/PTG/grupos_electrogenos/GE_7000_HSX_EAS_PTG.pdf
- Mutia, I. (2013). “Old Tradition With New Approach: Water-Based Dwellings in the Netherlands”. *Journal of Architecture*, 2 (1), 51–61.
- Navis Marine Paints. Acedido a 20 de maio de 2015, em: <http://www.navispaints.com/produtos/>
- Neiva, S., Mateus, R. e Bragança, L. (2012). “Utilização do método LCA no projeto de edifícios sustentáveis”.
- Pasternack, R. (2009). “Aquatecture: Water-based Architecture in the Netherlands”. *Architecture 590*. <http://www.rebeccapasternack.com/files/pdf/paper.pdf>
- Pedneault, M. M. P. (1977). “An Investigation of the issues and implications of floating homes: the greater Vancouver region”. *Dissertação de mestrado*, University of Victoria, Colombia.
- PENT 2013/2015- Plano Estratégico Nacional do Turismo (PENT), horizonte 2013-2015. Ministério da economia e do emprego. <http://www.turismodeportugal.pt/Portugu%C3%AAs/turismodeportugal/publicacoes/Documents/PENT%202012.pdf>
- Pinewells (s.d). Pellets, especificações técnicas. Acedido a 20 de maio de 2015, em: <http://www.pinewells.com/produtos.aspx?pid=3&cid=12>
- Riise, J. e Adeyemi, K. (2015). Case study: Makoko floating school. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 13, 58–60. <http://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.02.002>
- Rolls - Rolls Battery Engineering (2011). Deep cycle AGM, model S2 - 1275. Acedido a 2 de junho de 2015, em: <http://hespv.ca/hesproductspecs/Surette/S2-1275AGM.pdf>
- Rossi, B., Marique, A. F. e Reiter, S. (2012). “Life-cycle assessment of residential buildings in three different European locations, case study”. *Building and Environment*, 51, 402–407. <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.11.002>
- SaeR (2009). “O Hypercluster da Economia do Mar”. Lisboa, Portugal.
- Sá Marques, A., Sousa, J. (2011), “Hidráulica Urbana: Sistemas de Abastecimento de água e de Drenagem de Águas Residuais” (3.ª ed.). *Imprensa da Universidade de Coimbra*.
- Scheuer, C., Keoleian, G. A., e Reppe, P. (2003). “Life cycle energy and environmental performance of a new university building: Modeling challenges and design. *Energy and Buildings* vol. 35 (10) p. 1049–1064. [http://doi.org/10.1016/S0378-7788\(03\)00066-5](http://doi.org/10.1016/S0378-7788(03)00066-5)
- Shah, V. P., Debella, D. C., e Ries, R. J. (2008). “Life cycle assessment of residential heating and cooling systems in four regions in the United States”. *Energy and Buildings*, 40(4), 503–513. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.04.004>

- Skene, N. L. (2001). “Elements of yacht design”. Sheridan House, USA.
- Solar thermal FAQs. Acedido a 31 de julho de 2015, em:
<http://www.goodenergy.co.uk/generate/choosing-your-technology/home-generation/solar-thermal/solar-thermal-faqs>
- Spanos, C., Turney, D. E., e Fthenakis, V. (2015). “Life-cycle analysis of flow-assisted nickel zinc-, manganese dioxide-, and valve-regulated lead-acid batteries designed for demand-charge reduction”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 478–494.
<http://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.072>
- Spielmann, M., Bauer, C., Dones, R., Tuchschnid, M. (2007). Transport Services. Ecoinvent report No. 14. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf.
- Stephan, A., Crawford, R. H. e De Myttenaere, K. (2012). “Towards a comprehensive life cycle energy analysis framework for residential buildings”. *Energy and Buildings*, 55, 592–600.
<http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.09.008>
- Takeuchi, K. (2002). “Floods and society: a never-ending evolutionary relation”. Keynote Lecture, Yamanashi University, New York: Science Press, New York Ltd, 15–22.
- Tiger Home Inspection. “Estimated life expectancies of systems and components”. Acedido a 31 de julho de 2015, em:
<http://www.tigerhomeinspection.com/transfer/pdf/expected-life-expectancies.pdf>
- Tavares, V., Freire, F. e Lacerda, N. (2013). “Energy and carbon assessment of construction materials for a modular prefab house”. Energy for Sustainability 2013, Sustainable Cities: Designing for People and the Planet, 8-10 September 2013, Coimbra, Portugal.
- Taipale, K., (2012). “Brief based on Chapter 10: From Light Green to Sustainable Buildings”. *Worldwatch Institute’s State of the World 2012: Moving Toward Sustainable Prosperity*. Acedido a 20 de junho de 2015, em:
<http://www.worldwatch.org/system/files/SOW12%20Summary%20%28Chapter%2010%29.pdf>
- Teeter, J. (2014). “Sustainable Shipping to Meet the Needs of Small Island Developing States”. *Chapter 5 of Green Technology Applications for Enterprise and Academic*.
- Visão, 2012. “Casas-barco para fugir à crise ?”. Acedido a 24 de março de 2015, em:
<http://visao.sapo.pt/casas-barco-para-fugir-a-crise-fotos=f679234>.
- UNEP - United Nations Environment Programme (2003). “Sustainable Building and Construction: facts and figures”. Industry and Environment.
<http://www.uneptie.org/media/review/vol26no2-3/005-098.pdf>
- UNEP - United Nations Environment (2012). “Green economy in a blue world”. Nairobi, Kenya: United Nations Environment Programme.
- UNEP - United Nations Environment Programme (2015). “Sustainable Buildings and Construction”. Brochure of the 10 Year Framework of Programmes on Sustainable Consumption and Production Patterns (10YFP).
- UNWTO, World Tourism Organization (2014). “Tourism Highlights”.

- Wang, C.-H., Nguyen, R. H., Leicester, G. C., e Foliente, M. N. (2009). “Timber service life design guide. Technical manual issued by Forest and Wood Products Australia”.
- Zabalza, I., Aranda, A., e Scarpellini, S. (2009). “Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification”. *Building and Environment*, 44 (12), 2510–2520. <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.05.001>
- Zabalza, I., Aranda, A., Scarpellini, S., Gazulla, C., Isasa, M., *et al.* (2012). “Manual explicativo da Avaliação de Ciclo de Vida aplicada ao sector da construção”. Projeto EnerBuiLCA.

ANEXO A - REQUISITOS DE ENERGIA PRIMÁRIA E EMISSÕES DE GEES

Quadro A.5.1 - Requisitos energéticos e de emissão de GEE por unidade de fluxo de entrada da produção dos módulos (estrutura e acabamentos), base de dados ICE e ecoinvent.

Componente	ICE v. 2.0		ecoinvent v. 2.1		
	Energia primária	GEE	CED Energia fóssil	IPCC Energia primária	GEE
Aço Carbono [kg]	40	3.01	54.5	73.4	4.5
Aço inox [kg]	56.7	6.15	56.4	76.6	4.5
Madeira pinho ou riga [m ³]	7.4	0.2	1 407.5	12 407.6	106.0
Madeira casquinha interior [m ³]	15	0.45	8 492.2	32 848.2	500.8
Madeira casquinha exterior [m ³]	15	0.45	10 767.0	35 404.9	647.4
Madeira tali [m ³]	10.4	0.24	1 466.4	16 862.5	111.6
Painel Sandwich [kg]	102.1	4.84	85.3	103.1	4.8
Isolamento (cortiça) [kg]	4	0.19	19.5	52.1	1.2
Calhas de correr (alumínio) [kg]	154	9.08	115.2	175.5	11.2
Vidro duplo [kg]	23.5	1.35	557.0	717.6	43.7
EPS, flutuadores [kg]	88.6	3.29	85.5	89.6	3.4
Fibra de vidro, flutuadores [kg]	28	1.54	28.0	49.4	1.5
Tinta [kg]	97	3.76	71.5	83.3	2.9

ICE - energia primária (MJ/kg) e GEE (kg CO₂ eq/kg); ecoinvent - energia fóssil (MJ/unid.), energia primária (MJ/unid.) e GEE (kg CO₂ eq/unid.).

Quadro A.5.2 - Requisitos energéticos e de emissão de GEE por unidade de fluxo de entrada, base de dados ecoinvent.

Descrição (unidade)	CED		IPCC GEE (kg CO ₂ eq/unid.)
	Energia fóssil (MJ/unid.)	Energia primária (MJ/unid.)	
Equipamentos			
Sistema fotovoltaico (unidade)	83 505.6 (111 340.8)	118 785.7 (158 380.9)	6 487.9 (8 650.7)
Sistema solar térmico (unidade)	19 890.9	26 783.5	1 519.4
Bomba de calor (unidade)	994.5	1 326.6	274.9
Salamandra a <i>pellets</i> (unidade)	1 704.8	1 945.4	116.7
Gerador (unidade)	1 151.3	1 514.9	89.4
Consola (unidade)	367.2	492.4	33.6
Autómato (unidade)	842.2	1 239.8	71.9
Bateria (kg)	33.9	43.3	2.7
Transportes			
Camião, 16 - 32tf, Euro 5 (tkm)	2.60	2.79	0.17
Barco de carga, transoceânico (tkm)	0.15	0.17	0.01
Combustíveis			
Gasóleo (l)	45.3	46	3.1
Gasolina (l)	43.5	44.3	2.9
<i>Pellets</i> (m ³)	1 288.3	15 290.7	103.7
Eletricidade de média voltagem			
Portugal (kWh)	8.1	10.3	0.6
Holanda (kWh)	9.6	11.2	0.7
Grécia (kWh)	15.1	16.0	1.0
Estações municipais de tratamento de águas			
ETA (m ³)	1.72E-03	5.96E-03	1.68E-04
ETAR (m ³)	3.66	6.29	0.42
Motor de popa (kg)	87.3	110.6	7.4
Óleos lubrificantes	79.7	79.8	1.1

ANEXO B - TEMPO DE VIDA DOS COMPONENTES/EQUIPAMENTOS DA CASA FLUTUANTE

Quadro A.4 - Tempo de vida dos componentes e equipamentos.

Componentes/ Equipamentos	Referência	Resistência à humidade	Tempo de vida (anos)		
			Valor	Afetado	
Aço Carbono	Adalberth, 1997b; Scheuer <i>et al.</i> , 2003; Cole <i>et al.</i> , 2004	Corrosivo	15 - 75	30	20
Aço inox	Adalberth, 1997b; Scheuer <i>et al.</i> , 2003	Excelente	50 - 75	50	20
Madeira pinho ou riga	Wang <i>et al.</i> , 2009	Má; Boa se tratada	20	20	20
Madeira casquinha	Wang <i>et al.</i> , 2009	Má; Boa se tratada	20	20	20
Madeira tali	Wang <i>et al.</i> , 2009	Má; Boa se tratada	> 40	> 40	20
Painel sanduiche	Adalberth, 1997b; Iddon e Fith, 2013	Corrosivo	30 - 60	30	20
Isolamento (cortiça)	Level, <i>s.d.</i> ; Chau <i>et al.</i> , 2007	Boa	25-50	25	20
Calhas de correr (alumínio)	Level, <i>s.d.</i> ; Chau <i>et al.</i> , 2007	Ótima	25-45	25	20
Vidro duplo	Level, <i>s.d.</i> ; Chau <i>et al.</i> , 2009; MHL, 2002	Boa	10 - 100	50	20
Flutuador	Coastal Engineering	Boa	20	20	20
Tinta	Spielmann <i>et al.</i> , 2007	-	2	2	2
ETA	Assumido (CSS, 2014)	Boa	15-20	18	18
ETAR	CSS, 2014	Boa	15-20	18	18
Painel fotovoltaico	Chau <i>et al.</i> , 2009; Lützkendorf <i>et al.</i> , 2014	Boa	25 - 30	25	20
Painel solar térmico	Solar thermal FAQs	Boa	25	25	20
Bomba de calor	Adalberth, 1997b; Shah <i>et al.</i> , 2008; Amerman (<i>s.d.</i>)	-	16 - 20	20	14
Permutador	Tiger Home Inspection	-	15 - 30	20	14
Salamandra a <i>pellets</i>	Tiger Home Inspection	-	5 - 10	8	5
Gerador	Dauguird, 2007	-	20 - 25	23	16
Consola	Comparado a monitor (How long will your LCD/ LED last)	-	7	7	5
Autómato	Assumido	-	5	5	4
Bateria	Lützkendorf <i>et al.</i> , 2014	-	10 - 15	13	9