

João Manuel de Jesus Rio

**EDIFÍCIOS COM CONSUMO DE ENERGIA NULA
CASO ESTUDO – “ECO-POWER ZERO RÉSIDENCE”**



setembro de 2017

JOÃO MANUEL DE JESUS RIO

**EDIFÍCIOS COM CONSUMO DE ENERGIA NULA
CASO ESTUDO – “ECO-POWER ZERO RÉSIDENCE”**

**Mestrado em Engenharia Civil
Área de Especialização: Construção
Dissertação**

ORIENTADORES:

Prof. Doutora Maria de Fátima Silva Marques Tavares Farinha

Eng.º Elson Silva Almeida



UNIVERSIDADE DO ALGARVE
Instituto Superior de Engenharia

2017

Declaração de autoria de trabalho

Eu João Manuel de Jesus Rio declaro ser o autor deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluída.

Copyright

A Universidade do Algarve reserva para si o direito, em conformidade com o disposto no Código do Direito de Autor e dos Direitos Conexos, de arquivar, reproduzir e publicar a obra, independentemente do meio utilizado, bem como de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição para fins meramente educacionais ou de investigação e não comerciais, conquanto seja dado o devido crédito ao autor e editor respetivos.

O rio atinge os seus objetivos, porque aprendeu a contornar obstáculos.

Lao Zi

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer aos meus pais e família, que me ajudaram muito neste percurso académico, sem esquecer também a minha namorada, pelo seu apoio e motivação, que nunca me deixou desistir.

Com apreço, gostaria de expressar os meus agradecimentos à Dra. Fátima Farinha e ao Eng.º Elson Almeida, pela sua continua motivação, pela partilha de conhecimentos e orientação.

RESUMO

Edifícios bem projetados desempenham um papel-chave na redução do consumo de energia de origem fóssil, influenciando desta forma, diretamente a redução das emissões de carbono. Neste contexto, a União Europeia definiu para 2020, a meta de todos os edifícios novos sejam edifícios com consumo quase nulo de energia (nZEB), como forma de aproximação aos edifícios com consumo nulo de energia (NZEB). Para alcançar o compromisso de 2020, a União Europeia aprovou diversas Diretivas a serem cumpridas pelos Estados Membros, promovendo a melhoria da qualidade térmica dos edifícios, assim como, o aumento da produção e utilização de energia renovável. Na literatura encontram-se metodologias diferentes para estabelecer um edifício como NZEB. O principal objetivo desta dissertação é avaliar o desempenho energético de um edifício integrado no empreendimento “Eco Power Zero Residence” na Mexilhoeira Grande. Para alcançar um edifício NZEB, foram estudadas diferentes combinações de medidas de eficiência energética para reduzir as necessidades de energia, aliadas à metodologia do custo ótimo de rentabilidade, de forma a encontrar a solução com o melhor custo-benefício. Posteriormente, foi adicionado ao edifício, sistemas de produção de energia renovável, designadamente, painéis fotovoltaicos, para compensar as necessidades de energia e assim alcançar, deste modo, um balanço nulo de energia.

PALAVRAS-CHAVE: Edifícios com consumo nulo de energia (NZEB), Edifícios com balanço quase nulo de energia (nZEB), Medidas de eficiência energética, Painéis fotovoltaicos, Custo ótimo de rentabilidade.

ABSTRACT

Well-designed buildings play a key role in reducing the consumption of energy from fossil sources and directly reducing the carbon emissions. In this context, the European Union has defined for 2020 a goal that all the new buildings, are to be nearly Zero Energy Buildings (nZEB), as a way of approaching buildings with Net-Zero Energy Building (NZEB). To achieve the 2020 commitment, the European Union has adopted a number of directives to be implemented by the Member States, to promote the improvements in the thermal quality of buildings, as well as the increased production and use of renewable energy. In literature, there are different methodologies to establish a building as NZEB. The main goal of this dissertation is to evaluate the energy performance of a building integrated in the real estate development "Eco Power Zero Residence" in Mexilhoeira Grande. To achieve an NZEB building, studies have been made with different combinations of energy efficiency measurements to reduce the energy needs, allied with the methodology of cost-optimal levels, in order to find the solution with the best cost-benefit. Subsequently, renewable energy production systems (solar photovoltaics's), were added to the building to compensate the energy needs and then achieve a zero energy balance.

Key Words: Net-Zero Energy Building (NZEB), nearly Zero Energy Building (nZEB), Energy efficiency measures, solar photovoltaic, cost-optimal levels

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	ii
RESUMO	v
ABSTRACT	vii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 ENQUADRAMENTO.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.3 METODOLOGIA	2
1.4 ESTRUTURA	4
2 ENERGIA NOS EDIFÍCIOS	5
2.1 CONSUMO ENERGÉTICO NO MUNDO.....	5
2.2 LEGISLAÇÃO EUROPEIA	9
2.2.1 OBJETIVOS.....	9
2.2.2 DIRETIVAS EUROPEIAS.....	11
2.3 CONTEXTO PORTUGUÊS	13
2.3.1 OBJETIVOS 20-20-20.....	13
2.3.2 ENQUADRAMENTO ENERGÉTICO NACIONAL	14
2.3.3 PLANOS NACIONAIS DE AÇÃO E LEGISLAÇÃO.....	17
3 NZEB - “NET-ZERO ENERGY BUILDINGS”	23
3.1 ESTRATÉGIAS ALTERNATIVAS	27
3.1.1 LOW ENERGY BUILDING	28

3.1.2	PASSIVE HOUSE.....	30
3.1.3	ACTIVE HOUSE.....	33
3.1.4	ZERO CARBON BUILDING	35
3.1.5	LIFE CYCLE ZERO ENERGY BUILDING	36
3.1.6	GREEN BUILDING	38
3.1.7	NEARLY ZERO ENERGY BUILDING	38
3.1.8	IMPACTO ECONÓMICO	40
3.2	IMPLEMENTAÇÃO DO CONCEITO.....	41
3.3	METODOLOGIA DE CÁLCULO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO.....	45
3.3.1	FRONTEIRA DO SISTEMA	45
3.3.2	SISTEMA DE PONDERAÇÃO	50
3.3.3	BALANÇO ENERGÉTICO	57
3.3.4	DESEMPENHO ENERGÉTICO	60
3.3.5	CARACTERÍSTICAS DA COMPATIBILIDADE DE CARGA TEMPORAL.....	63
4	SISTEMA FOTOVOLTAICO	67
4.1	AUTOCONSUMO	68
4.1.1	PARIDADE DA REDE	70
4.1.2	PRINCIPAIS FUNCIONALIDADES.....	75
4.2	INCENTIVOS À ENERGIA FOTOVOLTAICA	80
4.2.1	NET-METERING E NET-BILING	80
4.2.2	TARIFAS FEED-IN	81
4.2.3	COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS.....	82
4.3	LEGISLAÇÃO EM PORTUGAL.....	83
4.3.1	UNIDADE DE PRODUÇÃO PARA AUTOCONSUMO (UPAC)	85
4.3.2	UNIDADE DE PEQUENA PRODUÇÃO (UPP)	86

5	NÍVEIS ÓTIMOS DE RENTABILIDADE	89
5.1	EDIFÍCIOS DE REFERÊNCIA	91
5.2	MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	91
5.3	NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA	93
5.4	CUSTOS GLOBAIS	93
5.5	NÍVEL ÓTIMO DE RENTABILIDADE	98
6	CASO ESTUDO “ECO-POWER ZERO RESIDENCE”	101
6.1	METODOLOGIA DE CÁLCULO DO CASO DE ESTUDO	102
6.2	EDIFÍCIO DE REFERÊNCIA	105
6.2.1	SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS	107
6.2.2	VENTILAÇÃO NATURAL	109
6.2.3	DESEMPENHO ENERGÉTICO	111
6.3	SOLUÇÕES PASSIVAS	112
6.3.1	ORIENTAÇÃO DO EDIFÍCIO	113
6.3.2	SOMBREAMENTOS	115
6.3.3	ENVIDRAÇADOS	117
6.3.4	ISOLAMENTO TÉRMICO NO PAVIMENTO TÉRREO	120
6.3.5	ISOLAMENTO TÉRMICO NA COBERTURA EXTERIOR	122
6.3.6	ISOLAMENTO TÉRMICO NA ENVOLVENTE VERTICAL OPACA EXTERIOR	124
6.3.7	CUSTO ÓTIMO DE RENTABILIDADE	126
6.4	SISTEMAS DE PROCURA DE ENERGIA	129
6.4.1	COMBINAÇÕES DE SISTEMAS DE PROCURA DE ENERGIA	130
6.4.2	DESEMPENHO ENERGÉTICO	134
6.4.3	CUSTO ÓTIMO DE RENTABILIDADE	136
6.5	SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE ENERGIA RENOVÁVEL	138

6.5.1	CARACTERIZAÇÃO DAS COMBINAÇÕES	139
6.5.2	DESEMPENHO ENERGÉTICO	142
6.6	CUSTO ÓTIMO DE RENTABILIDADE DAS MEDIDAS DE EFICIÊNCIA DE ENERGIA.....	144
6.7	BALANÇO ENERGÉTICO	145
6.7.1	BALANÇO DE ENERGIA COM PONDERAÇÃO SIMÉTRICA	146
6.7.2	BALANÇO DE ENERGIA COM PONDERAÇÃO ASSIMÉTRICO.....	149
6.7.3	BALANÇO ENERGÉTICO FINAL	151
7	CONCLUSÕES	157
8	BIBLIOGRAFIA	161
	ANEXO I – COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA DAS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS.....	171
	ANEXO II – CUSTO GLOBAL DAS MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	175
	ANEXO III – DESEMPENHO ENERGÉTICO DAS MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	179
	ANEXO IV – CUSTOS DE ENERGIA.....	181
	ANEXO V – PLANTAS, ALÇADOS E CORTES DA ARQUITETURA.....	183
	ANEXO VI – PLANTAS E ALÇADOS DO PROJETO TÉRMICO.....	193
	ANEXO VII – CÁLCULO REGULAMENTAR DA SOLUÇÃO DE REFERÊNCIA	201

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Emissões globais de CO ₂ por região [60].....	5
Figura 2.2 - Emissões de gases com efeito de estufa por tipo [60].	6
Figura 2.3 - Dependência energética do exterior em Portugal e na UE [111].....	7
Figura 2.4 - Consumo de energia primária global e <i>mix</i> energético no mundo [11].....	8
Figura 2.5 - Incorporação de renováveis no setor da eletricidade, na UE-28, em 2014 [45]... 9	
Figura 2.6 - Projeção dos indicadores das estratégias políticas [19].....	11
Figura 2.7 - Exemplo do rótulo energético de um equipamento.	12
Figura 2.8 - Resumo dos objetivos 20-20-20.	14
Figura 2.9 - Dependência energética nacional [45].....	14
Figura 2.10 - Evolução do balanço energético em Portugal [45].	15
Figura 2.11 - Emissões sectoriais de CO ₂ em Portugal em 2014 [45].	16
Figura 2.12 - Produção anual de energia elétrica com base em FER, em Portugal [38].....	16
Figura 2.13 - Consumo de energia primária por fonte energética [45].....	19
Figura 2.14 - Certificado energético de um imóvel.	21
Figura 3.1 - Edifício <i>low energy house</i> vs edifício <i>passive house</i> [119].....	32
Figura 3.2 - Princípios do conceito <i>active house</i> [95].	33
Figura 3.3 - “Radar” com os princípios <i>active house</i> [56].	34
Figura 3.4 - Exemplo do nível de desempenho de uma <i>active house</i> [56].....	34
Figura 3.5 - Balanço anual de carbono, de acordo com o conceito de <i>zero carbon building</i> [83].	35
Figura 3.6 - Emissões de gases com efeito de estufa nas diferentes fases do ciclo de vida de um edifício [89].	36

Figura 3.7 - Energia incorporada nos materiais responsáveis pela parcela mais significativa do consumo [102].	37
Figura 3.8 - Balanço energético de um NZEB [99].	41
Figura 3.9 - Comparação entre um edifício moderadamente eficiente e um edifício pouco eficiente [104].	43
Figura 3.10 - Ciclo das necessidades de energia primária de um edifício [97].	44
Figura 3.11 - Limite de fronteira de um edifício [69].	46
Figura 3.12 - Produção de energia renovável próxima do edifício [69].	47
Figura 3.13 - Fronteira do edifício e os respetivos vetores energéticos da energia importada/exportada: a) um edifício isolado; b) uma comunidade de edifícios [79].	49
Figura 3.14 - Ciclo da produção de energia.	51
Figura 3.15 - Sistema de ponderação “carga evitada”, adaptado de [10].	55
Figura 3.16 - Sistema de ponderação <i>energy payback</i> , adaptado de [10].	56
Figura 3.17 - Balanços energéticos: energia importada/exportada, carga/geração e balanço líquido mensal [99].	57
Figura 3.18 - Perfil de consumo e geração local de um edifício [98].	64
Figura 4.1 - Instalação de painéis fotovoltaicos: a) <i>Building-Adapted PV Systems</i> (BAPV) b) <i>Building-Integrated PV Systems</i> (BIPV)	68
Figura 4.2 - Autoconsumo vs autossuficiência num NZEB [70].	70
Figura 4.3 - Exemplo da definição de paridade da rede.	70
Figura 4.4 - Fatores envolvidos na determinação do custo do sistema fotovoltaico.	71
Figura 4.5 - Lista de países que alcançaram a paridade da rede [57].	72
Figura 4.6 - Evolução do preço de sistemas fotovoltaicos na última década [63].	74
Figura 4.7 - Tipos de sistemas fotovoltaicos: a) sistemas <i>on-grid</i> ; b) sistemas <i>off-grid</i> ;	75
Figura 4.8 - Comparação entre o perfil de produção e o perfil de consumo [55].	77
Figura 4.9 - Sistema de autoconsumo isolado ou autónomo [116].	78
Figura 4.10 - Exemplo de um perfil de consumo e produção de um sistema de autoconsumo fotovoltaico com capacidade de armazenamento [49].	79

Figura 4.11 - Esquema elétrico de um sistema híbrido com gerador [107].....	80
Figura 4.12 - Exemplo do modelo <i>net-metering</i> [113].....	81
Figura 4.13 - Microprodução: tarifa bonificada vs preço médio de mercado [46].....	84
Figura 4.14 - Principais características da UPAC [77].....	85
Figura 4.15 - Esquema da UPP com equipamento de contagem.....	87
Figura 4.16 - Principais características da UPP [77].	87
Figura 5.1 - Exemplo ilustrativo do método de cálculo.	92
Figura 5.2 - Metodologia para obtenção dos níveis ótimos de rentabilidade [5].	95
Figura 5.3 - Cálculo do valor residual da componente de um edifício [64].....	96
Figura 5.4 - Metodologia para obtenção dos níveis ótimos de rentabilidade [99].	99
Figura 6.1 - Empreendimento “Eco Power Zero Residence”.	101
Figura 6.2 - Perspetiva em 3D da moradia unifamiliar.....	101
Figura 6.3 - Curva do custo ótimo de rentabilidade.....	103
Figura 6.4 - Planta de arquitetura da semicave.....	105
Figura 6.5 - Planta de arquitetura do rés do chão.	106
Figura 6.6 - Projeto da ventilação natural na planta da semicave.	110
Figura 6.7 - Projeto da ventilação natural na planta do rés do chão.....	110
Figura 6.8 - Relação entre a rentabilidade positiva e o nível ótimo de rentabilidade [5].	112
Figura 6.9 - Alçado do edifício em estudo com a maior área de envidraçados.....	113
Figura 6.10 - Custo ótimo de rentabilidade das orientações do edifício.....	114
Figura 6.11 - Pormenor de uma pala de sombreamento.	115
Figura 6.12 - Necessidades de energia útil despendida para climatização em função da alteração das dimensões das palas de sombreamento.....	116
Figura 6.13 - Custo ótimo de rentabilidade com alteração das dimensões das palas de sombreamento.....	117
Figura 6.14 - Necessidades de energia útil para climatização em função do tipo de vidro.	119
Figura 6.15 - Custo ótimo de rentabilidade dos envidraçados.....	120

Figura 6.16 - Custo ótimo de rentabilidade ao incremento da espessura do isolamento térmico no pavimento térreo.	121
Figura 6.17 - Custo ótimo de rentabilidade das medidas com incremento da espessura do isolamento térmico na cobertura exterior.	123
Figura 6.18 - Custo ótimo de rentabilidade do incremento da espessura do isolamento na envolvente opaca exterior.	125
Figura 6.19 - Custo ótimo de rentabilidade das combinações de soluções passivas.....	128
Figura 6.20 - Custo ótimo de rentabilidade de sistemas técnicos de procura de energia. ...	137
Figura 6.21 - Imagem em 3D do edifício em estudo.....	138
Figura 6.22 - Energia elétrica produzida localmente nas diversas soluções.....	140
Figura 6.23 - Compatibilidade de carga das soluções ensaiadas.....	141
Figura 6.24 - Custo ótimo de rentabilidade das combinações de medidas de eficiência energética.....	144
Figura 6.25 - Balanço energético carga/geração, com sistema de ponderação simétrico. .	148
Figura 6.26 - Balanço energético importação/exportação, com sistema de ponderação simétrico.	149
Figura 6.27 - Balanço energético carga/geração, com sistema de ponderação assimétrico.	150
Figura 6.28 - Balanço energético importação/exportação, com sistema de ponderação assimétrico.....	151

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 - Energia primária poupada (tep) até 2013 para as metas de 2016 e 2020 [93].	18
Quadro 3.1 - Requisitos mínimos de desempenho energético dos LEB em países europeus [71].	29
Quadro 3.2 – Requisitos padrão da <i>passive house</i> [115].	30
Quadro 3.3 - Comparação entre os custos de uma habitação de referência e de uma <i>passive house</i> [56].	32
Quadro 3.4 - Fatores de conversão de energia primária por vetores energéticos utilizados em Portugal [34].	53
Quadro 4.1 – LCOE de um sistema fotovoltaico com uma produção anual de 1 000 kWh/kWp/ano [63].	73
Quadro 4.2 – LCOE de um sistema fotovoltaico com uma produção anual de 1 300 kWh/kWp/ano [63].	74
Quadro 4.3 - Gama de modelos de contratos da perspetiva dos <i>prosumers</i> . Adaptado de [41].	83
Quadro 5.1 - Ciclos de vida estimados - elementos e sistemas do edifício.	96
Quadro 6.1 - Caracterização do edifício em estudo.	106
Quadro 6.2 - Coeficientes de transmissão térmica dos elementos da envolvente.	108
Quadro 6.3 - Desempenho energético do edifício de referência.	111
Quadro 6.4 - Ganhos solares (kWh/ano) de Inverno e Verão para diferentes orientações.	113
Quadro 6.5 - Características dos vidros a aplicar no edifício de referência.	118
Quadro 6.6 - Soluções do incremento do isolamento térmico no pavimento térreo.	121
Quadro 6.7 - Coeficientes de transmissão térmica e preços (€/m ²) do isolamento térmico na cobertura exterior.	122
Quadro 6.8 - Coeficientes de transmissão térmica e preços (€/m ²) do isolamento térmico na envolvente opaca vertical.	124

Quadro 6.9 - Combinações de medidas passivas aplicadas ao edifício de referência.....	127
Quadro 6.10 - Comparação dos indicadores de desempenho energético entre a solução de custo ótimo (H.2) e o edifício de referência.....	129
Quadro 6.11 - Combinações dos sistemas técnicos.....	131
Quadro 6.12 - Características dos equipamentos aplicados nas medidas de eficiência energética.....	132
Quadro 6.13 - Resumo do desempenho energético das soluções testadas (H.2 - H.2.9)...	135
Quadro 6.14 - Características das medidas de energia renovável.	139
Quadro 6.15 - Produção de energia elétrica de fonte renovável.....	139
Quadro 6.16 - Compatibilidade de carga entre as soluções.	141
Quadro 6.17 – Desempenho energético das soluções testadas (H.2.10 - H.2.16).	143
Quadro 6.18 - Critérios e subcritérios relevantes para a caracterização de NZEB, com base no quadro comum para uma metodologia de cálculo de desempenho energético [99].....	146
Quadro 6.19 - Balanços de energia com ponderação simétrica.	147
Quadro 6.20 - Balanços de energia com ponderação assimétrica.	150
Quadro 6.21 - Consumos anuais de energia elétrica para iluminação.....	152
Quadro 6.22 - Consumos anuais de equipamentos domésticos de uma “Família Ecológica” [27].....	153
Quadro 6.23 - Balanço energético global, com sistema de ponderação simétrico.....	154
Quadro 6.24 - Balanço energético global, com sistema de ponderação assimétrico.	154

1. INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO

Nos últimos anos, a sustentabilidade e a eficiência energética têm dominado os fóruns de engenharia, em virtude da consciencialização do aquecimento global, do aumento do preço dos combustíveis fósseis e das elevadas emissões de CO₂, que levaram a que fossem tomadas medidas com vista à redução do consumo de energia. Efetivamente, 40% dos gastos de energia na Europa deve-se ao consumo nos edifícios [24]. Face a este panorama, todos os estados membros da União Europeia adotaram práticas mais sustentáveis nos edifícios, sob a orientação da Diretiva Europeia 2010/31/UE. O aumento do nível de exigência da regulamentação energética, definindo metas e objetivos, prevê que em 2020, todos os edifícios novos tenham um balanço energético próximo do zero, e os edifícios públicos deverão atingir este objetivo até ao final do ano 2018 [40].

De acordo com o *Building Performance Institute Europe* (BPIE), a definição dos edifícios com necessidades quase nulas de energia (*nearly Zero Energy Building* - nZEB), tem ao nível europeu, diferentes estados de desenvolvimento, pois cada país está responsável pela sua própria definição [8]. Estes edifícios caracterizam-se por um elevado nível de eficiência energética obtido quer pelo reduzido consumo de energia em relação a edifícios convencionais, quer pela existência de sistemas de produção de energia renovável no local, o que equilibra as necessidades energéticas. Mas para alcançar estes resultados, poderão ser utilizados outros princípios importantes da construção sustentável, como o *low energy building*, a *passive house*, a *active house*, o *zero carbon building*, o *life cycle zero energy building* e o *green building*, entre outros, que têm sido estudados como medidas viáveis à redução do consumo de energia. Países como a Suécia, a Alemanha, a Áustria, os Estados Unidos têm liderado as investigações através de vários exemplos implementados.

Em Portugal, a definição de edifício com consumos de energia quase nulas está descrito no Decreto-Lei 118/2013, “são edifícios com necessidades quase nulas de energia os que tenham um elevado desempenho energético e em que a satisfação das necessidades de energia resulte em grande medida de energia proveniente de fontes renováveis, designadamente a produzida no local ou nas proximidades”.

O tema proposto tem maior alcance, na medida em que se perspetiva um consumo de energia totalmente nulo (*Net-Zero Energy Building* – NZEB), pois projeta-se um edifício que se distingue pelo fato de apresentar um equilíbrio entre a energia que consome e a que produz. A eficiência na utilização da energia depende muito da atitude dos seus utilizadores, pelo que se revela imprescindível a alteração dos atuais paradigmas comportamentais. Embora o conceito seja relativamente novo, eventualmente considerado utópico, tem vindo a merecer uma atenção especial junto das autoridades nacionais e europeias.

1.2 OBJETIVOS

A presente dissertação tem como objetivo apoiar na investigação de um projeto de um empreendimento autossustentável com zero emissões de CO₂, designado “*Eco Power Zero Residence*” (no entanto, no momento de entrega da tese, o projeto encontra-se suspenso). Este empreendimento, considerado o primeiro resort de luxo deste género na Europa será composto por 20 moradias unifamiliares, localizado na freguesia da Mexilhoeira Grande, concelho de Portimão. A arquitetura do empreendimento foi elaborada pelo arquiteto português João Nuno Laranjo e a estratégia energética foi delineada pelo arquiteto francês Henrich Fitger, cujos princípios centraram-se, principalmente, no reforço do isolamento térmico e na proteção solar dos envidraçados.

Trata-se de um projeto pioneiro, com reconhecido valor no mercado, cujos benefícios refletem-se numa imagem ambiental melhorada, na qualidade do ar interior e exterior, pelo desempenho energético acrescido e pelo aumento da durabilidade do ciclo de vida. O trabalho de investigação a realizar na presente dissertação centra-se em servir também de estudo para futuros empreendimentos.

Para o efeito há que delinear métodos de redução de necessidades de energia primária, através do aprimoramento de soluções construtivas sustentáveis e implementar tecnologias de origem renovável, na perspetiva da produção de energia no local ou próximo deste. Nesse contexto, a produção de energias “limpas” tornar-se-á insustentável caso não se aplique soluções de medidas passivas (incremento da espessura do isolamento térmico, da qualidade do vidro aplicado, etc.) e medidas ativas (climatização e iluminação artificial) para limitar as perdas de energia pela envolvente. Outro fator importante é uma boa arquitetura, pois a conjugação entre localização, envolvente e orientação solar do edifício, entre outros, são cruciais para a diminuição das necessidades energéticas. Sem esquecer a necessidade da integração dos sistemas produtores de energia na arquitetura do edifício ou empreendimento.

1.3 METODOLOGIA

O estabelecimento de uma metodologia de cálculo eficiente, consistente e credível é fundamental para garantir a correta avaliação do desempenho energético das soluções. Deste modo, o caso de estudo apresentado, é delineado pelos requisitos mínimos definidos na regulamentação nacional do desempenho energético dos edifícios e toda a análise tem por base esta regulamentação.

Procedeu-se ainda à análise de alguns dos edifícios de baixo consumo energético que tenham sido alvo de experiência e de estudo, para que, da análise dos resultados possamos adaptar essas medidas ao caso estudo.

Resumidamente, existem duas etapas importantes [99]:

- Reduzir as necessidades de energia (medidas passivas e ativas);
- Produzir energia renovável no local;

A redução das necessidades de energia, têm como base, a utilização de medidas passivas e medidas ativas. As medidas ativas englobam o planeamento de estratégias de instalações

mecânicas, tais como o sistema AVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado), sistemas de iluminação e sistemas de produção de água quente. Enquanto que as medidas passivas, procuram a otimizar as soluções de projeto, nomeadamente a envolvente do edifício, tal como pavimento sobre o exterior ou sobre zonas não aquecidas, a cobertura sob exterior ou sob zonas não aquecidas, paredes em contacto com o exterior, com o terreno ou locais não aquecidos e ainda, os vãos envidraçados, visando também a influência das soluções construtivas nos aspetos da durabilidade, a facilidade de manutenção, a higroscopicidade, a integração de elementos construtivos de grande inércia térmica, as pontes térmicas planas, a estanquidade, a proteção solar e os custos globais associados. A qualidade do ar e o conforto interior do edifício é afetado pela forma e a disposição do mesmo, através da orientação das fachadas, das estratégias de ventilação, dos sistemas de aquecimento e arrefecimento passivo, da distribuição de ar, dos sistemas de iluminação natural.

Numa segunda etapa serão implementadas fontes de produção de energia renovável, no local ou nas proximidades. Por conseguinte, será necessário a possibilidade de integração no edifício ou no espaço urbano, de fontes como a energia solar fotovoltaico, coletores solares, sistemas solares passivos, energia eólica, energia biomassa e quantificar a energia necessária a produzir, as áreas de utilização e os custos de investimento e manutenção associados.

No entanto, para além da instalação, é igualmente importante, a integração dos painéis solares na envolvente do edifício, minimizando o impacto estético, reduzindo os custos de implementação e valorizando os próprios edifícios.

De acordo com [29], o balanço de energia consumida num edifício é calculado através da seguinte equação:

$$\sum_{m=1}^{12} (EP_G - EP_{RE} - EP_{GP})_m = 0 \quad (1)$$

EP_G – Energia Primária total necessária.

EP_{RE} – Energia Primária produzida por fontes renováveis.

EP_{GP} – Energia Primária renovável comprada na rede.

De uma forma simplificada, a energia primária total necessária pode ser calculada através desta equação [29]:

$$EP_G = EP_H + EP_W + EP_C + EP_{EL} \quad (2)$$

As siglas H, W, C e EL referem-se ao aquecimento, AQS, arrefecimento e eletricidade, respetivamente. Da soma destas parcelas, resulta o valor total da necessidade de energia primária que um edifício terá que despende para se manter equilibrado e confortável. No entanto, tal como já se referiu, para tornar o edifício sustentável não basta apenas a inserção de energia de fontes renováveis para substituir a tradicional energia de rede.

Para estudar a viabilidade do edifício, serão efetuadas múltiplas simulações com a folha de cálculo de avaliação do comportamento térmico e do desempenho energético de edifícios, de acordo com o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH, Decreto-Lei 118/213 [75]) do Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico da Construção (ITECONS), de forma a simular e avaliar as necessidades de energia primária do edifício, implementando diferentes soluções, através da comparação de um edifício com os valores de referência.

Existindo ainda, um conjunto de fatores que ajudam a reduzir o impacto ambiental, tais como o planeamento urbano, o qual inclui a análise do aparelhamento das infraestruturas de energia e potenciais fontes de energias renováveis, a caracterização dos ventos predominantes, as fontes de ruído, o tráfego, a disponibilidade e acesso a águas subterrâneas ou de superfície.

1.4 ESTRUTURA

A dissertação está organizada em sete capítulos.

O primeiro capítulo tem carácter introdutório, onde é feita uma breve caracterização da problemática do tema, a motivação para o desenvolvimento desta dissertação, bem como a síntese da metodologia a aplicar.

O segundo capítulo aluda o estado da arte, onde se analisa o desempenho energético no contexto nacional e internacional, apresentando também os objetivos a alcançar pelos Estados Membros nas próximas décadas, assim como, a legislação aplicável no contexto do tema.

No terceiro capítulo é apresentada uma análise pormenorizada das diferentes definições de edifício com consumo nulo de energia, compreendo a sua implementação, a metodologia de cálculo e a abordagem de conceitos similares, que podem servir como estratégia de aproximação.

O quarto capítulo é dedicado aos sistemas fotovoltaicos, que assumem grande importância para alcançar um balanço energético nulo, dando a conhecer as diferentes aplicações dos sistemas fotovoltaicos, a compatibilidade entre o sistema e o utilizador, a definição do autoconsumo e ainda a legislação aplicável em Portugal.

No quinto capítulo apresenta-se a metodologia do custo ótimo de rentabilidade a aplicar ao caso estudo.

No sexto capítulo são identificadas diversas soluções de eficiência energética, analisando o seu desempenho, bem como os custos globais associados ao desempenho energético de cada variante, relacionando a metodologia do custo ótimo de rentabilidade com a metodologia para alcançar um edifício com consumo nulo de energia.

Por fim, no sétimo capítulo apresentam-se as conclusões gerais deste trabalho, bem como propostas para futuros desenvolvimentos.

2 ENERGIA NOS EDIFÍCIOS

2.1 CONSUMO ENERGÉTICO NO MUNDO

As emissões de Gases com Efeito de Estufa (GEE) provenientes da queima de combustíveis fósseis, constituem a principal origem no desequilíbrio do balanço radiativo na atmosfera, isto é, são os principais contribuintes para a intensificação do aquecimento global. As consequências diretas deste fenómeno são uma realidade e podem ser observadas anualmente pelo aumento da temperatura média da atmosfera e da água do mar, assim como, o aumento do nível médio deste último. Para além de atualmente verificarem-se mais catástrofes naturais e uma diminuição da biodiversidade do planeta [4].

Cerca de 80% das fontes primárias de energia mundial são combustíveis fósseis e a Europa apresenta o maior valor de importações *per capita*, resultando, numa economia que se estabelece fortemente em recursos não renováveis, utilizados por uma sociedade contemporânea marcada pelo consumismo e pela insustentabilidade [14] [62]. O sector dos edifícios é o principal responsável pelo consumo energético, sendo o segundo maior consumidor em Portugal e o primeiro na União Europeia (UE), correspondendo, neste último, a 40% do total dos gastos energéticos [24].

Uma grande parte das emissões de CO₂ relacionadas com o setor da energia, são oriundas de um pequeno grupo de países (China, Estados Unidos e Índia), que em 2012, eram responsáveis por quase metade das emissões globais de CO₂, provenientes da combustão de recursos fósseis. Desde 1990, as emissões globais nos Estados Unidos e no Japão têm aumentado ligeiramente, ao contrário da União Europeia, que diminuí cerca de um quinto das suas emissões, tal como é possível verificar na Figura 2.1 [60].

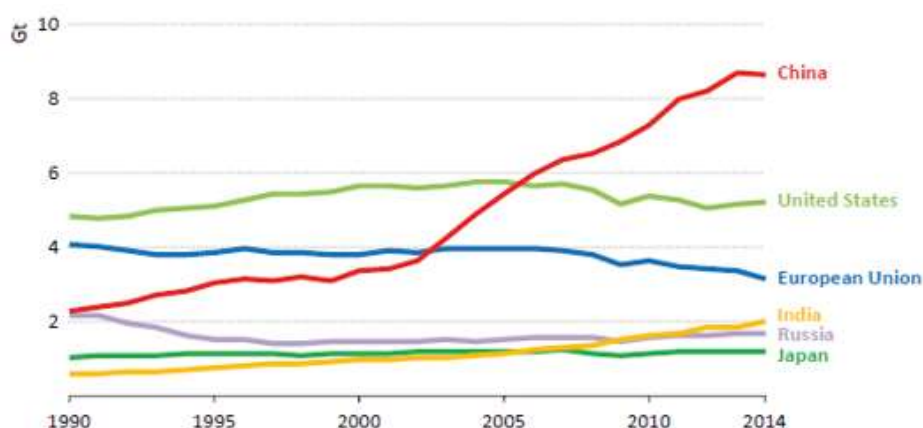


Figura 2.1 - Emissões globais de CO₂ por região [60].

Embora as emissões de CO₂ tenham aumentado quase três vezes na China e duas vezes e meia na Índia entre 1990 e 2014, as emissões *per capita* em ambos os países, ainda estavam abaixo do nível médio dos países da OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico), que envolve 35 Países, incluindo Portugal. As emissões de gases com efeito de estufa *per capita* da China em 2014 chegaram às 6,2 toneladas, igualando o nível de registo da União Europeia [60].

A conferência de Estocolmo, realizada em junho de 1972, terá sido o primeiro grande evento sobre a sustentabilidade do ambiente, seguindo-se depois a Conferência das Nações Unidas em 1992 no Rio de Janeiro, Brasil. Em 1995, sucedeu-se a primeira Conferência das Partes (COP1), em Berlim, exigindo que os Países envolvidos iniciassem conversações para reduzir as emissões após o ano de 2000, por meio de objetivos quantitativos e prazos específicos [2]. Depois da consciencialização para o “*aquecimento global*”, que afeta a globalidade do planeta, manifestada pelo aumento dos desastres naturais e da alteração do clima, a ação surgiu no COP3, Japão, dois anos depois da COP1, através do *Protocolo de Quioto*. Este é o primeiro tratado internacional, datado de 11 de dezembro de 1997, que teve como objetivo limitar a quantidade de emissões de gases com efeito de estufa, como o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O) e os perfluorcarbonetos (PFC's), cuja evolução das respetivas quantidades podem ser visualizadas na Figura 2.2. O tratado foi marcado pela diferenciação de metas de redução entre os vários países, derivado da economia de cada um e de “circunstâncias especiais”, como é o caso dos Estados Unidos [2][60].

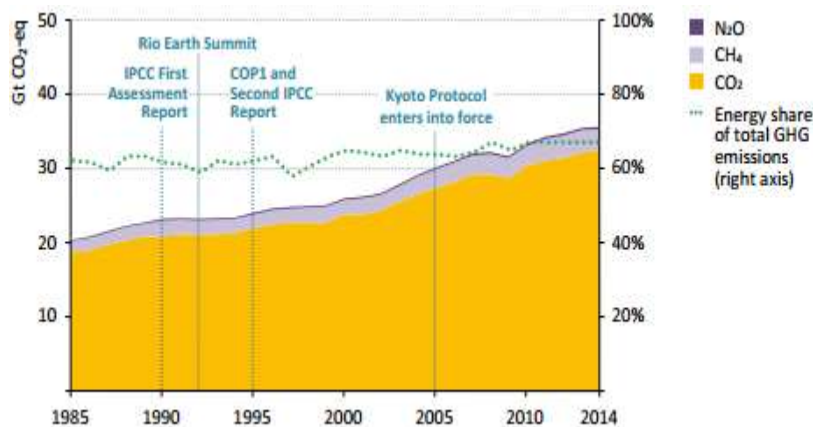


Figura 2.2 - Emissões de gases com efeito de estufa por tipo [60].

O *Protocolo de Quioto* entrou em vigor em 1998, obrigando à redução de pelo menos 55% das emissões de carbono no mundo, e pelo menos, 5% em relação aos níveis de 1990 no caso da União Europeia. No entanto, a Portugal, foi permitido que aumentasse em 27 % das suas emissões, conseguindo assegurar o cumprimento deste objetivo, essencialmente através da limitação de emissões com gases de estufa em todos os setores da economia, mas sem a contabilização do setor “uso do solo, alteração do usos do solo e floresta” (*Land Use, Land Use Change and Forestry - LULUCF*), usado para descrever os GEE’s provenientes do desflorestamento, da queima e decomposição da biomassa decorrente da exploração da madeira e do desflorestamento, decomposição e queima de turfa [48][60].

Num contexto global, face às medidas de eficiência energética implementadas, a UE alcançou uma redução em 22% das emissões de gases com efeito de estufa em 2015, em relação a 1990, aumentando também nesse período o Produto Interno Bruto (PIB) em 50%, quebrando desta forma o paradigma de que a poupança energética e o investimento em energias alternativas não condicionam o crescimento económico. A intensidade das emissões de gases com efeito de estufa da economia da União Europeia (UE), é definida como o rácio entres as emissões e o PIB, tendo diminuído para quase metade entre 1990 e 2015 [24].

Para o cumprimento do *Protocolo de Quioto*, a UE desenvolveu vários programas, como, o *Programa Europeu de Alterações Climáticas*, onde foram publicadas várias Diretivas orientadas para a eficiência energética, para a redução do consumo de energia no sector dos edifícios, e no âmbito da mudança de comportamentos da população, através da reciclagem dos materiais.

É estimado que na UE, 36% das emissões de gases com efeito de estufa tenham origem nos edifícios [21]. A estratégia de descarbonização dos edifícios permite reduzir estas emissões, principalmente pela redução das perdas de calor na envolvente, pelo aumento da eficiência energética e pela sustentabilidade dos sistemas de climatização utilizados, assim como pelo recurso à utilização de energias renováveis para produção de energia térmica e elétrica [21]. A integração dos sectores de aquecimento e arrefecimento nas políticas energéticas da UE são muito importantes para alcançar os objetivos comprometidos. Atualmente, estima-se que 46% da energia final consumida seja destinada para a climatização e cerca de 75% dos combustíveis utilizados sejam provenientes de energia não-renovável [24].

O consumo global de energia com origem em recursos não renováveis, implica também uma forte dependência de energia do exterior para satisfazer a procura interna, sendo que a Europa apresenta a maior evolução de importações de recursos *per capita*, passando de 45% na década de 80 para 54,1% em 2015, valor este, baseado principalmente em recursos não renováveis [110]. A Figura 2.3, mostra os níveis de importação de energia da UE e de Portugal, para atender às suas necessidades, sendo o indicador calculado pela fração das importações líquidas sobre o consumo bruto de energia.

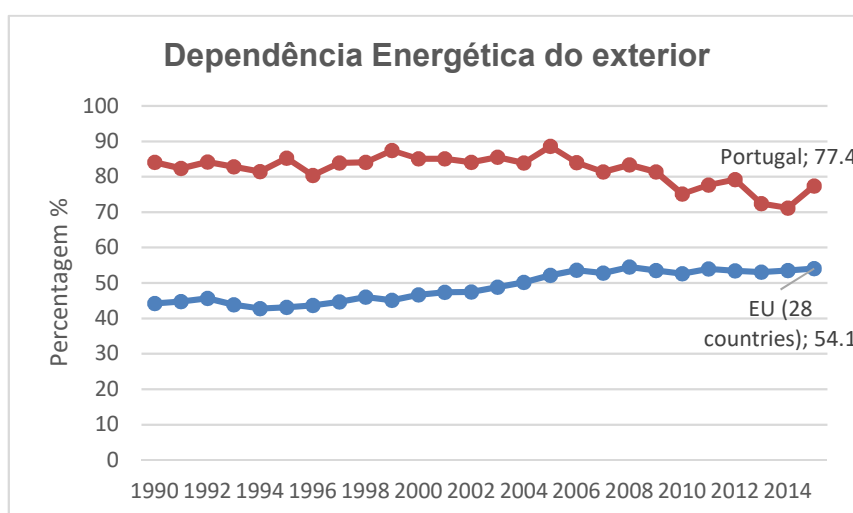


Figura 2.3 - Dependência energética do exterior em Portugal e na UE [111].

No entanto, existem esforços para inverter este panorama, através do crescimento da implementação das tecnologias de fonte de energia renovável, estimando-se que o *mix* energético global aumente consideravelmente nas próximas décadas (Figura 2.4) [11].

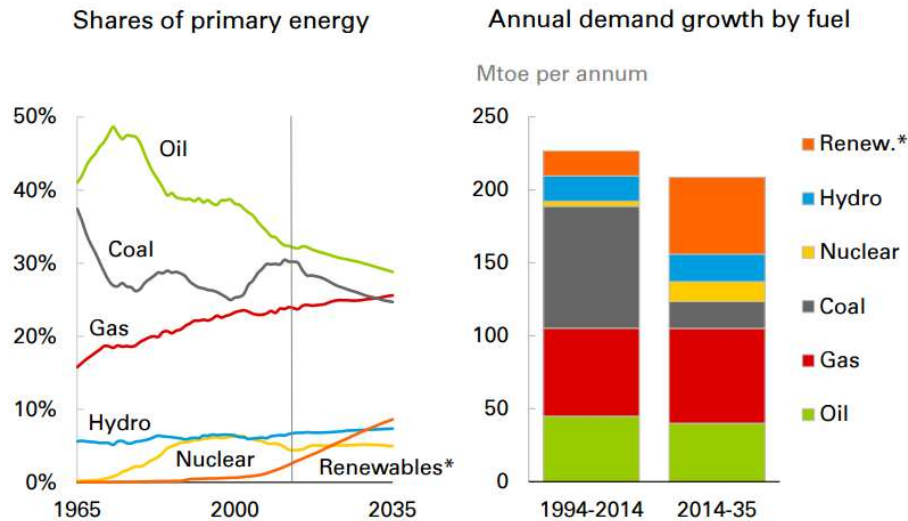


Figura 2.4 - Consumo de energia primária global e *mix* energético no mundo [11].

Controlar a mudança climática é um desafio difícil pois exige uma redução da dependência energética. Atualmente, perto de 45% da produção da eletricidade na Europa tem origem em fontes de energia hipocarbónicas, maioritariamente, de origem nuclear e hidroelétrica. No entanto, estima-se que cerca de um terço da capacidade de produção será extinta em alguns países em 2020 [63]. O reduzido tempo de vida útil das matérias primas e os dispendiosos investimentos de substituição e de expansão da capacidade, podem comprometer a rentabilidade deste processo. Como alternativa, a procura e aplicação de fontes de energia renovável é uma das apostas políticas adotadas pela UE, necessitando estas de ser adaptadas ao mercado interno. A nível global, os baixos preços dos combustíveis fósseis atuam como forma de estímulo económico, que o Fundo Monetário Internacional (FMI) quantificou de 0,3% e 0,7% do crescimento do PIB global no ano de 2015. Consequentemente, as empresas de combustíveis fósseis reduziram o investimento em infraestruturas, em cerca de 20% em 2015, incentivando indiretamente os países subdesenvolvidos a implementarem sistemas de extração de combustíveis fósseis [60].

Atualmente, 26% da eletricidade da União Europeia já é produzida a partir de fontes de energia renováveis, estimando-se que cerca de 10 % seja obtida através de fontes de energia eólica e solar [44]. No entanto, tal como o gráfico da Figura 2.5 ilustra, comparando com outros países da UE, Portugal foi, em 2014, o terceiro país da UE-28 com melhor desempenho na incorporação de energias renováveis no sector da eletricidade [45].

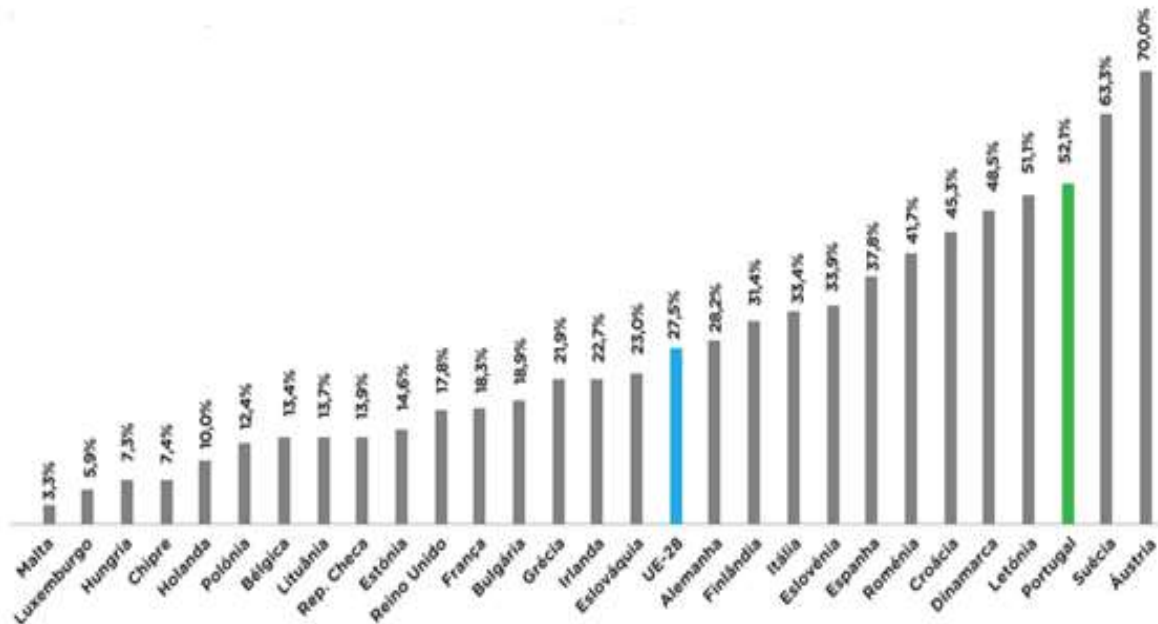


Figura 2.5 - Incorporação de renováveis no setor da eletricidade, na UE-28, em 2014 [45].

2.2 LEGISLAÇÃO EUROPEIA

2.2.1 OBJETIVOS

A União Europeia depende do exterior como fonte energética, a segunda maior economia mundial, consome um quinto da energia produzida a nível mundial, mas possui muito poucas reservas energéticas. É estimado que exista uma perda de riqueza superior a 350 mil milhões de euros por ano e os custos da energia aumentam constantemente, pois o petróleo é comprado à Rússia e o gás natural à Argélia, à Noruega e à Rússia [17]. Para além da redução das emissões de carbono, é fundamental o aumento das quotas de produção de energia renovável, para criar uma independência energética. Estes dois objetivos são coerentes entre si, ou seja, o crescimento de um, promove igualmente o crescimento de outro.

Neste sentido, em março de 2007, a Presidência do Conselho Europeu reforçou a importância de aumentar os esforços no âmbito do compromisso de redução das emissões de CO₂, atendo vários objetivos, designados por “*objetivos 20-20-20*”. O plano traçado assenta, principalmente, no aumento do desenvolvimento das energias renováveis na UE, através de políticas de transformação do mercado interno de energia, disponibilizando infraestruturas e sistemas energéticos mais eficientes. Para o período de 2021-2030 as metas a nível da UE foram aprovadas no Conselho Europeu de outubro de 2014 no âmbito do pacote energia-clima para 2030. Para além disto, as metas de redução de emissões a nível da UE têm vindo a ser definidas em conformidade com a trajetória de redução identificada no “*roteiro para a transformação da UE numa economia competitiva e de baixo carbono no horizonte de 2050*”, de março de 2011 [3].

Concretamente, os objetivos para 2020 são [118]:

- Reduzir as emissões de gases com efeito de estufa em 20% relativamente aos níveis de 1990 até 2020 (21% nos sectores abrangidos pelo Comércio Europeu de Licenças de Emissão (CELE) e 10% não CELE face a 2005);
- Aumentar a quota das energias renováveis no consumo final de energia até 20%, dos quais 10% no sector dos transportes;
- Aumentar em 20% na eficiência energética.

Para 2030 os objetivos propostos são [118]:

- Redução interna de emissões de gases com efeito de estufa em 40% em comparação com os valores de 1990 (43% nos sectores abrangidos pelo CELE e 30% não CELE face a 2005);
- Aumentar em 27% o consumo de energia proveniente de fontes renováveis;
- Aumentar em 27% a eficiência energética em relação às projeções do consumo futuro de energia com base nos critérios atuais;
- Meta vinculativa de 10% até 2020 nas interligações na rede elétrica, passando a 15% em 2030.

Finalizando, para 2050 os objetivos propostos são [118]:

- Reduzir as emissões de gases com efeito de estufa em 80% até 2050, estabelecendo que no roteiro as emissões deverão ser de 40% em 2030 e de 60% em 2040 em relação aos valores de 1990.

Em termos de investimento financeiro, desde 2010 até 2020, a União Europeia espera que sejam investidos cerca de 1 bilião de euros em estratégias de eficiência energética. Deste modo, a execução destas estratégias permitirá sentir a diferença nas emissões de CO₂, sendo que o seu adiamento ou a sua fraca evolução ditará repercussões incomensuráveis na sociedade, sendo, deste modo necessário um enquadramento político ambicioso [63].

No roteiro 2050, estima-se que o potencial da descarbonização nos edifícios residenciais e comerciais possam atingir valores na ordem dos 50-70% em 2050. Num cenário em que a procura e a oferta de energia é mais elevada, derivado do aumento da população e do crescimento económico, as reduções podem verificar-se a partir de 2020, expectando-se que o consumo de energia sofrerá uma diminuição pela adoção de tecnologias de elevado nível de eficiência energética (p.e. bombas de calor, *leds* na iluminação e equipamentos de classe A+). Por outro lado, noutra cenário, em que a procura e a oferta de energia é menor, as reduções apenas ocorrem a partir de 2030, derivado do aumento das emissões de gases com efeito de estufa entre 2020-30 [3].

Os objetivos para 2020, estão praticamente assegurados, resultado das políticas já adotadas presentemente. No entanto, um estudo sobre o mercado energético, mostra que as estratégias políticas atuais não são suficientes nem para atingir os objetivos propostos para 2030, nem para atingir os objetivos a longo prazo (2050) de reduzir as emissões entre 80 a 95% (Figura 2.6), em relação aos níveis de 2005, mas os esforços dos diversos setores deverão atingir o valor de 16 % em 2020 e 24% em 2030. As tecnologias solares como os painéis fotovoltaicos ganham espaço no mercado competitivo (sem qualquer apoio) a partir de 2030, sendo ainda expectável que o centro de produção maciço da energia eólica passará

para *offshore* em 2020, e o esgotamento do potencial da energia hídrica em 2030. A tecnologia das ondas e eólica *offshore* tornam-se as tecnologias mais competitivas no cenário de elevada procura de energia [19]. A Figura 2.6 ilustra o resultado das estratégias políticas envolvidas em três setores: Fontes de Energia Renovável (FER), linha verde; Energia primária, linha vermelha; Emissões de gases com efeito de estufa, linha azul.

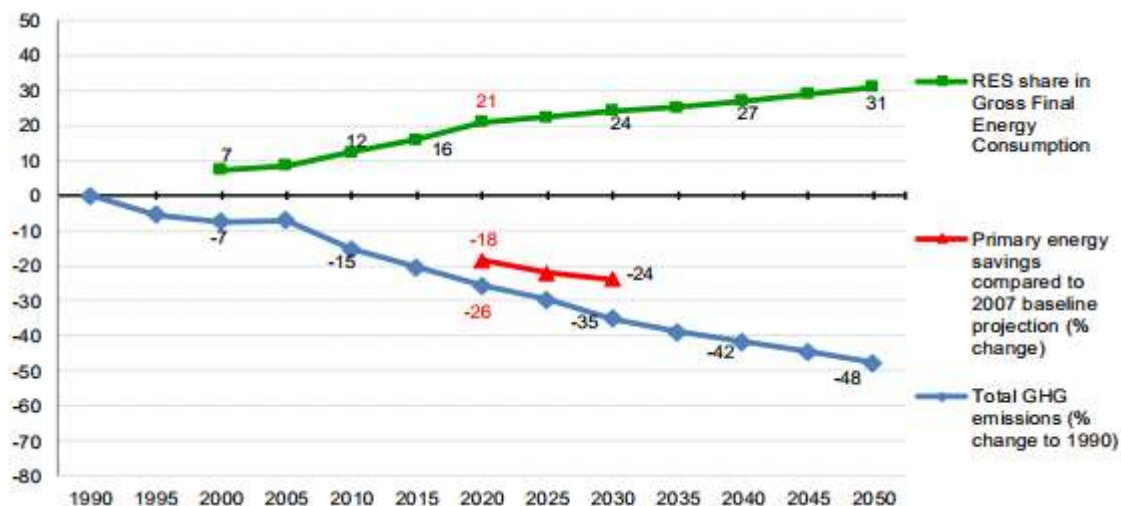


Figura 2.6 - Projeção dos indicadores das estratégias políticas [19].

2.2.2 DIRETIVAS EUROPEIAS

Todos os Estados-Membros da UE estão a definir estratégias para a implementação de edifícios com consumos quase nulos de energia até 2020, através da transposição da Diretiva 2010/31/UE, relativa à eficiência de energia e da Diretiva 2009/28/CE relativa às fontes de energia renováveis. No entanto, estas estratégias variam nos Estados-Membros, pois existem diferentes condições climáticas, diferentes tradições de construção e regulamentação, que devem ser considerados.

As Diretivas são documentos generalistas e flexíveis utilizados como orientações para os Estados-Membros elaborarem a respetiva legislação nacional. Aos Estados-Membros ficam assim atribuídos as responsabilidades, de elaborarem a legislação, e criarem fundos de apoio financiados aos diversos programas de intervenção. As autoridades nacionais devem comunicar estas medidas à Comissão Europeia.

As Diretivas, atualmente em vigor, são apresentadas seguidamente:

- Diretiva 2009/28/CE – Elaborada para promover a utilização de energia de fontes renováveis, impõe que 20% da energia de consumo da União Europeia tenha origem em fontes renováveis. No entanto, é entregue a responsabilidade a cada Estado Membro de estipular as cotas obrigatórias, tendo em conta o impacto económico de cada país [84].

- Diretiva Europeia 2009/125/CE – Conceção Ecológica ou *Ecodesign* – Diretiva referente à definição de requisitos mínimos de conceção ecológica dos produtos relacionados com o consumo energético, garantindo que os produtos colocados no mercado europeu são de elevada eficiência, permitindo, deste modo, facilitar a sua comercialização. A Diretiva impõe requisitos mínimos de desempenho para produtos, soluções de envolvente e sistemas/equipamentos, como exemplo, sistemas de AVAC, caldeiras, janelas, isolamento térmico [85].
- Diretiva Europeia 2010/30/UE – Rotulagem Energética - Obriga a que todos os equipamentos contêm um rótulo informativo sobre a respetiva classe energética (Figura 2.7), de modo a que os consumidores tenham um consumo racionalizado de energia e de outros recursos essenciais. Esta Diretiva incentiva a comercialização de sistemas de classe energética elevada para o aumento do desempenho energético dos edifícios, sustentando o rigor na informação adequada e concisa. Esta Diretiva é direcionada para sensibilizar o consumidor no momento da compra [86].

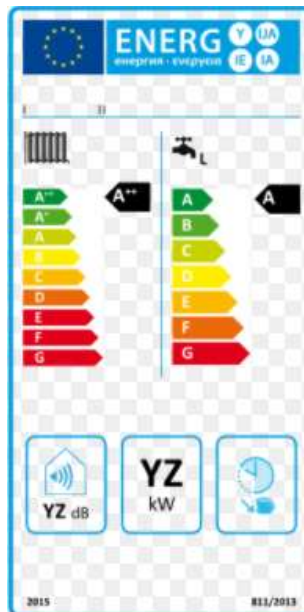


Figura 2.7 - Exemplo do rótulo energético de um equipamento.

- Diretiva Europeia 2010/31/UE – Esta diretiva constitui o principal instrumento legislativo da União Europeia para potenciar o desempenho energético dos edifícios, sucedendo à Diretiva 2002/91/CE, criada para orientar na implementação de métodos de melhoria do desempenho energético dos edifícios, através da imposição de requisitos mínimos para edifícios novos e grande intervenção, definindo também, metodologias de cálculo a nível nacional ou regional. Para além disto, aborda a certificação energética de edifícios existentes, inspeção de sistemas de climatização e a formação e acreditação de peritos qualificados [87].

Com a necessidade de reformular e clarificar algumas disposições, foi imposto aos Estados Membros que elaborassem planos nacionais que incluíssem uma definição de edifícios com consumos quase nulos de energia e uma metodologia de cálculo para os níveis ótimos de rentabilidade. Por outro lado, também foram dadas orientações para a criação de um quadro metodológico que permita a comparação de medidas de eficiência energética, desde a intervenção nos elementos da envolvente até a inserção de sistemas de fonte de energia renovável, baseando-se estes dados, nas necessidades de energia primária e respetivos custos, tendo em conta o ciclo de vida do edifício.

- Diretiva Europeia 2012/27/UE - Estabelece um quadro comum de medidas para a promoção da eficiência energética na União Europeia, revogando as Diretivas 2004/8/CE e 2006/32/CE. A Diretiva visa um reforço das medidas dos Planos Nacionais de ação para a eficiência energética, com estratégias de longo prazo para a reabilitação do setor dos edifícios, com a taxa de renovação de 3% ao ano para os edifícios públicos e auditorias energéticas para as PME [88].

2.3 CONTEXTO PORTUGUÊS

2.3.1 OBJETIVOS 20-20-20

Tal como já foi referido, de acordo com as metas estabelecidas pela União Europeia para 2020, cada Estado Membro ficou encarregue de elaborar os seus próprios objetivos, de carácter exequível, através de legislações nacionais e fundos de apoios financeiros. Seguindo as principais linhas orientadoras da política energética europeia, os Estados Membros são responsáveis por: atingir as metas propostas; reduzir a dependência energética do exterior sem comprometer a segurança do abastecimento da mesma; potencializar os mercados internos de energia, tornando-os mais competitivos e sustentáveis.

A Estratégia Nacional para a Energia com o horizonte 2020 (ENE 2020), aprovada pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 29/2010, veio definir uma meta de redução de consumo da energia final em 20% até 2020, sendo que o XVII Governo Constitucional definiu uma meta mais ambiciosa, correspondendo a uma redução de 25% do consumo da energia primária até 2020 [92]. Na Figura 2.8, é apresentado a comparação entre os objetivos a atingir pela União Europeia, por Portugal e pelo XVII Governo Constitucional.

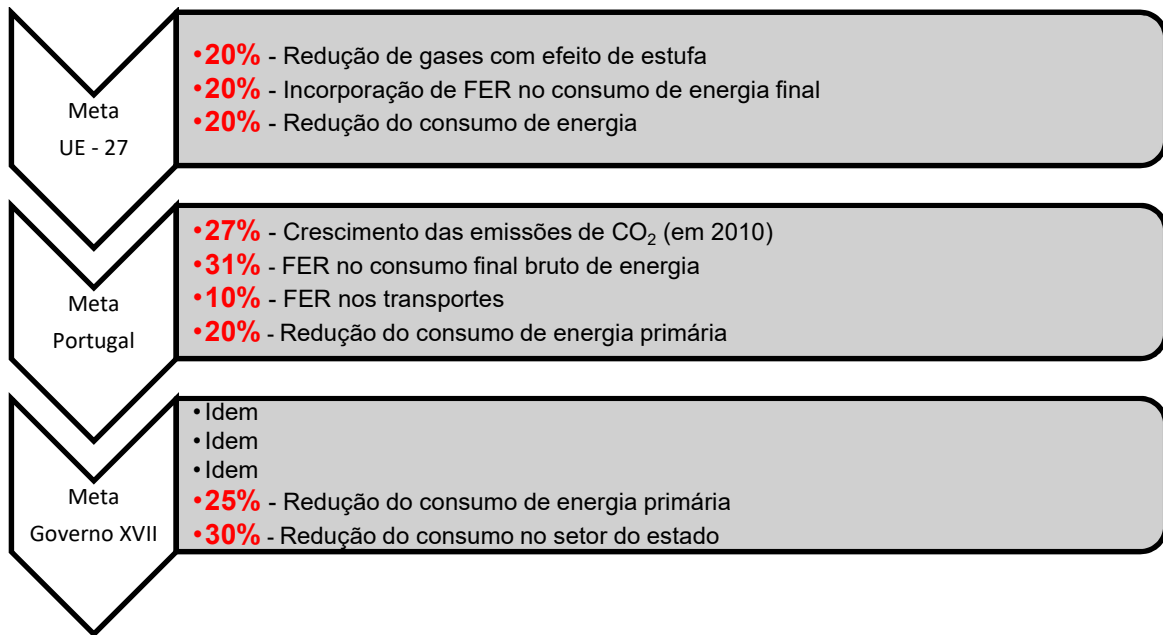


Figura 2.8 - Resumo dos objetivos 20-20-20.

2.3.2 ENQUADRAMENTO ENERGÉTICO NACIONAL

No balanço energético nacional, verifica-se ainda uma grande dependência da importação de energia para suprir as necessidades energéticas dos portugueses [45]. Tal como ilustra a Figura 2.9, após, em 2014, ter sido alcançado o valor mais baixo das últimas duas décadas com 72,4%, a dependência energética de Portugal voltou a aumentar em 2015, devendo-se essencialmente, ao crescimento das importações do carvão e de gás natural, assim como devido à redução de cerca de 20% na produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis [45].

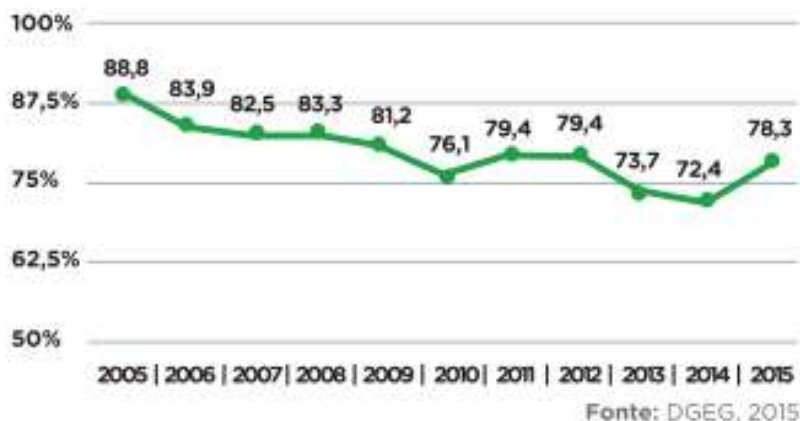


Figura 2.9 - Dependência energética nacional [45].

A “dependência energética” significa a quantidade de importações necessárias para satisfazer as necessidades energéticas de um País, sendo calculada pela divisão entre as importações líquidas de energia e o consumo bruto de energia. No entanto, o conceito que permite medir o efeito das medidas aplicadas no contexto da eficiência energética, é a intensidade energética da economia portuguesa. Sendo definida como a razão entre o consumo interno de energia e o PIB. Normalmente, o crescimento económico é acompanhado pelo crescimento do consumo de energia, implicando diretamente um efeito nefasto no meio ambiente. O desafio está, em contrariar este paradigma, que deverá ser superado pela aposta ativa na produção de energia de fonte renovável. Desde 2005, que a intensidade energética da economia nacional tem vindo a diminuir (consumo de energia por unidade de produção), mas ainda assim é superior à média da União Europeia. O nível de intensidade energética é relativo, quando o aumento do consumo de energia é mais lento do que o crescimento económico, e absoluta quando o consumo de energia diminui ou mantêm-se estável, a par do crescimento do PIB [45]. O balanço energético nacional continua a evidenciar o peso das importações de energia, que após uma diminuição em 2014, voltou a aumentar em cerca de 19,4% em 2015, e a produção doméstica nacional sofreu uma diminuição de 10,1% em 2015 face a 2014 (Figura 2.10).

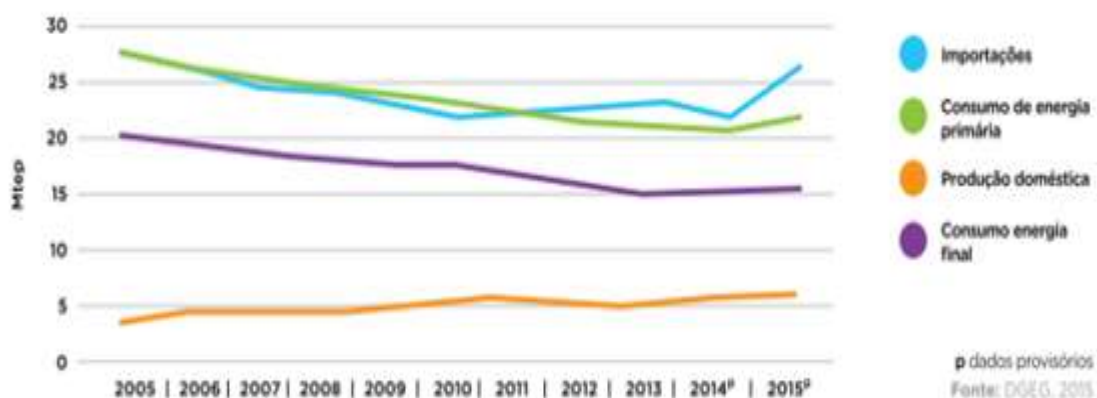


Figura 2.10 - Evolução do balanço energético em Portugal [45].

Face ao principal compromisso da União Europeia de reduzir as emissões de gases com efeito de estufa, é a intensidade carbónica da economia que analisa a dissociação entre as emissões de GEE e o crescimento económico. Para alcançar esta dissociação contribuem essencialmente a implementação de medidas de eficiência energética nos diversos setores (construção e transportes) e o crescimento significativo das energias renováveis (principalmente eólica e hídrica).

O processo de “descarbonização” iniciou-se em 2005, com a diminuição dos gases com efeito de estufa por unidade de riqueza (PIB). No entanto os resultados referentes ao ano de 2014, indicam que Portugal está acima da média europeia, apresentando um valor de 0,381 kg CO₂e/€PIB, enquanto a média europeia situa-se nos 0,325 kg CO₂e/€PIB. Em termos de gases com efeito de estufa, Portugal em 2014, reduziu cerca de 27% face aos níveis de 2005, confirmando-se que superou o intervalo mais exigente da meta de 2020, aproximando-se dos

níveis inferiores da meta de 2030. A Figura 2.11, apresenta a distribuição das emissões de GEE por setor, sendo a energia (incluindo os transportes) responsável por 68% [45].



Figura 2.11 - Emissões sectoriais de CO₂ em Portugal em 2014 [45].

Em 2016, foi um ano de recordes, com o consumo de eletricidade em Portugal assegurado em 64% por fontes renováveis, registando-se um conjunto de 1130 horas, correspondendo a mais de um mês e meio, em que a produção renovável foi suficiente para abastecer o consumo elétrico nacional [109]. Salienta-se o ano de 2014, com a maior produção de energia com base em fontes de energia renovável, atingindo valores de 61,3%, tal como mostra a Figura 2.12. Comparando a produção de origem renovável do ano de 2015, com o ano de 2016, destaca-se o crescimento de 29% na hídrica e 5% na eólica. A forte quebra na produção renovável de energia em 2012 deveu-se à seca ocorrida nesse ano [38].

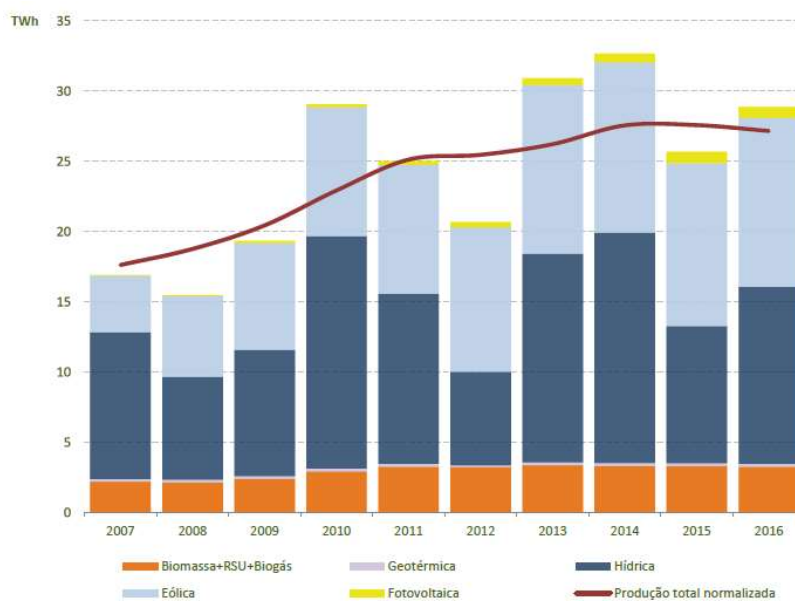


Figura 2.12 - Produção anual de energia elétrica com base em FER, em Portugal [38].

2.3.3 PLANOS NACIONAIS DE AÇÃO E LEGISLAÇÃO

No âmbito do contexto energético, Portugal aprovou primeiramente em 2005 a Estratégia Nacional para a Energia (ENE 2020), perspetivando uma redução na dependência externa de energia, acompanhada por um aumento da concorrência no mercado interno e pela redução das emissões de GEE. Em 2008, com a transposição da Diretiva 2006/32/CE, foi criado o Plano Nacional de Ação de Eficiência Energética (PNAEE 2008), mas o programa do XVII Governo Constitucional exigia que Portugal fosse líder no mercado das energias renováveis a nível Europeu. Neste sentido, em 2010 foram aprovados o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER 2010), a revisão do PNAEE 2008 e a aprovação de uma nova Estratégia Nacional para a Energia com o horizonte de 2020 (ENE 2020). Deste modo, o PNAEE e o PNAER são os principais instrumentos de gestão energética, cujo o objetivo é o de maximizar a eficácia e a eficiência no aproveitamento de recursos humanos e financeiros. As medidas de ação dos planos são avaliadas ciclicamente e submetidos a revisões, por forma a dar resposta aos objetivos propostos.

2.3.3.1 PLANO NACIONAL DE AÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

O Plano Nacional de Ação de Eficiência Energética (PNAEE) foi primeiramente implementado em 2008, com base nos princípios da Diretiva 2006/32/CE. Os principais objetivos são a redução do consumo de energia primária e a redução das emissões de gases com efeito de estufa, assinalando como horizonte temporal o ano de 2015. Como objetivo quantificado, o PNAEE 2008 pretendia alcançar uma poupança de 10% de energia em relação ao consumo médio entre 2001-2005. De modo a cumprir os objetivos propostos, os planos de ação incidiam em cinco áreas distintas, distribuindo 50 medidas em 12 programas de ação nos sectores: transportes; edifícios residenciais e serviços; indústria; estado e comportamentos.

Em 2012, após a introdução da Diretiva 2012/27/UE, o PNAEE 2008 sofreu uma nova revisão, para o período 2013-2016, tendo já em perspetiva os novos compromissos do horizonte 2020. Nesta revisão foram englobadas 6 áreas de ação específica, acrescentando-se a agricultura.

O PNAEE também atua como incentivo financeiro, sendo dotado de créditos fiscais para despesas notariais, bonificações das taxas para habitações de elevado desempenho energético, assim como, a utilização de taxas de juro reduzido em empréstimos destinados à implementação de medidas de eficiência energética, através de fundos financeiros disponibilizados por programas de eficiência energética, tais como [93]:

- Fundo de Eficiência Energética (FEE), destinado a apoiar especificamente as medidas do PNAEE;
- PPEC - Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia Elétrica;
- Fundo Português de Carbono (FPC), destinado a apoiar, entre outros, projetos que conduzam à redução de emissões de gases com efeito de estufa;
- Portugal 2020 e outros instrumentos financeiros comunitários.

O PNAEE 2016 é essencialmente executado através de medidas regulatórias, destacando-se entre elas: a promoção da aquisição de equipamentos eficientes, a penalização sobre

equipamentos ineficientes, a obrigatoriedade de etiquetagem energética, a imposição de requisitos mínimos de classe de desempenho energético (envolvendo medidas como a substituição de luminárias e envidraçados, a intervenção na envolvente pela aplicação de isolamento térmico, a implementação de equipamentos com recurso a FER) e também a obrigatoriedade da realização de auditorias energéticas, incentivando deste modo, à remodelação do edificado de forma a alcançar quotas mínimas por classes eficientes.

O PNAEE 2016, estima que em 2016 a poupança de energia em relação aos níveis de consumo médio de energia entre 2001-2005, possa alcançar o valor de 1501 ktep, equivalente a uma redução de 8,2%, aproximando-se da meta indicativa da União Europeia, de 9% em 2016 [93]. No Quadro 2.1, estão representados os valores das metas na redução de energia primária por setor, assim como o nível de execução até 2013.

O PNAEE prevê que a sua regulamentação seja da responsabilidade do Ministério da Economia e da Inovação e que, o acompanhamento da implementação dos programas e medidas será coordenado pela Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG) e pela ADENE. A concretização do PNAEE é essencial para o cumprimento dos objetivos do PNAER.

Quadro 2.1 - Energia primária poupada (tep) até 2013 para as metas de 2016 e 2020 [93].

Programa	Meta 2016 (tep)	Execução	Meta 2020 (tep)	Execução
Agricultura	30.000	0%	40.000	0%
Comportamentos	32.416	50%	32.416	50%
Estado	153.634	23%	295.452	12%
Indústria	377.221	64%	521.309	46%
Residencial e Serviços	836.277	58%	1098.072	44%
Transportes	343.683	82%	406.815	69%
Total PNAEE	1.773.231	60%	2.394.064	44%

2.3.3.2 PLANO NACIONAL DE AÇÃO PARA AS ENERGIAS RENOVÁVEIS

A Diretiva 2009/28/CE, no contexto da utilização de energia com origem de fontes renováveis, obrigou os Estados Membros a estabelecerem um Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis. O plano assume objetivos nacionais de acordo com horizonte 2020, impõe quotas de utilização de energia de fontes renováveis nos setores da eletricidade, climatização e transportes e foi aprovado a 30 de julho de 2010 [93].

No entanto, resultado da introdução da Diretiva 2012/27/UE, procedeu-se à revisão do PNAER em 2013, no âmbito das energias renováveis e o atual cenário de excesso de oferta de energia em oposição a uma redução da procura, visando a alteração e a introdução de

algumas medidas, incidindo particularmente na redefinição dos mecanismos de apoio ao desenvolvimento das tecnologias ainda pouco competitivas das FER, assim como o incentivo à descentralização da produção de energia.

Os objetivos do PNAER 2020, com referência ao ano de 2005, passam por [93]:

- Utilização em 31% de energia renovável no consumo final bruto de energia, com objetivos intermédios de 22,6% para os anos de 2011 e 2012; 23,7% para 2013 e 2014; 25,2% para os anos de 2015 e 2016; e 27,3% para os anos de 2017 e 2018;
- Utilização em 10% de energia de fonte renovável no consumo energético nos transportes;
- Incorporação de 59,6% de energia de fonte renovável na eletricidade até 2020.

As metas para a contribuição das fontes de energia renovável não devem ser entendidas como limites, mas como o mínimo necessário, assim como todos os apoios deverão ser suportados por todos os setores beneficiários. Tal como ilustra a Figura 2.13, o contributo das energias renováveis no Consumo Final Bruto de Energia (CFBE) foi grande, tendo sido de cerca de 27,0% em 2014, um valor que superou a meta estabelecida pelo PNAER 2020 para 2015 (25,2%), correspondendo a 87% da meta para 2020. O cálculo da contribuição das fontes de energia renovável no consumo final bruto de energia é efetuado contabilizando também a energia de autoconsumo nas centrais elétricas e as perdas de energia durante o transporte.

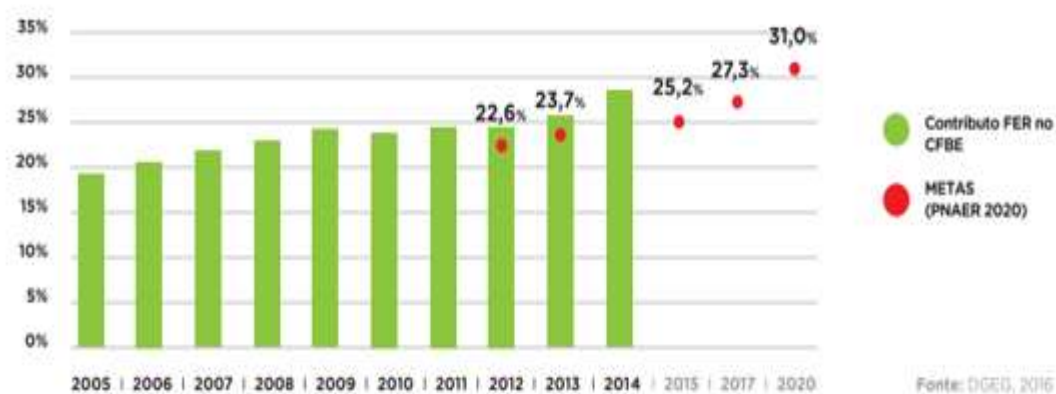


Figura 2.13 - Consumo de energia primária por fonte energética [45].

A responsabilidade pela elaboração do plano de ação ficou a cargo das autoridades nacionais com competência na área da energia. O organismo diretamente responsável e que coordenou todos os trabalhos relativos à sua elaboração foi a DGEG. Para apoiar o cumprimento da meta em eletricidade, Portugal dispõe hoje de um regime de acesso à rede elétrica que dá prioridade às energias renováveis, quer a nível de desenvolvimento, quer a nível da gestão corrente.

2.3.3.3 DECRETO- LEI 118/2013

Em 1990, surge a primeira regulamentação térmica em Portugal, o Decreto-Lei 40/90 – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) [76]. Este regulamento tinha como propósito a satisfação das condições de conforto térmico nos edifícios sem a necessidade excessiva do consumo de energia, através da aplicação de medidas passivas e ao mesmo tempo visava garantir a minimização de patologias resultantes de condensações superficiais e no interior dos elementos da envolvente. Posteriormente, foi aprovado o Regulamento da Qualidade dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) pelo Decreto-Lei 156/92, definindo as dimensões e o processamento da instalação e a utilização de equipamentos e sistemas nos edifícios com sistemas energéticos de aquecimento e ou de arrefecimento, sem ou com desumidificação [76].

A 4 de abril de 2006 é aprovado uma reformulação do RCCTE pelo Decreto-Lei 80/2006 e também a reformulação do RSECE pelo Decreto-Lei 79/2006, transpondo as disposições da Diretiva 2002/91/CE. O novo RCCTE alarga as suas exigências em relação ao anterior, atualizando os valores dos requisitos específicos, ao definir taxas mínimas de renovação de ar, a introdução da obrigatoriedade da instalação de coletores solares, assim como, a atualização das novas exigências do conforto térmico [31]. Nesta mesma data também foi publicado o Decreto-Lei 78/2006, aprovando o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar interior nos Edifícios [74].

O Decreto-Lei 118/2013 é uma transposição nacional da Diretiva 2010/31/UE, revogando assim os Decretos-Lei 78/2006, 79/2006 e 80/2006, aprovando o Sistema de Certificação Energético dos Edifícios (SCE), que integra o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) [76]. A transposição para a ordem jurídica interna foi uma condição para que Portugal tivesse acesso aos fundos europeus para financiar os projetos de eficiência energética nos edifícios para cumprir os objetivos Portugal 2020. Em 2015 e 2016 houve diversas alterações, sendo que o Decreto-Lei 28/2016 surge de uma interpelação da União Europeia a Portugal, a 10 de dezembro de 2015, apontando dúvidas sobre alguns conceitos transpostos da Diretiva 2010/31/UE para a legislação nacional. As alterações que ocorreram foram as seguintes:

- Em abril pelo Decreto-Lei 68-A/2015;
- Em 14 de setembro pelo Decreto-Lei 194/2015;
- Em 25 de novembro pelo Decreto-Lei 251/2015;
- Em 23 de julho pelo Decreto-Lei 28/2016.

O Decreto-Lei 118/2013 é uma ferramenta importante para promover uma melhoria do conforto térmico e um desempenho energético elevado, tendo em conta os seguintes aspetos:

- Definição de requisitos de qualidade térmica da envolvente nos novos edifícios e nas intervenções em edifícios existentes;
- Definição de um requisito de ventilação dos espaços, impondo um valor mínimo na taxa de renovação do ar em edifícios novos e em edifícios de grande intervenção;
- Valores limites de necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento do edifício nos edifícios novos e de grandes intervenções;

- Definição de requisitos mínimos de eficiência associados aos sistemas técnicos a instalar, sejam eles de climatização ou de realização ao aquecimento de águas sanitárias;
- Existência de um valor mínimo de contribuição de energia renovável para o aquecimento de águas sanitárias, baseado num valor de área do painel solar para cada ocupante.

No âmbito da certificação energética, destaca-se o reconhecimento do pré-certificado e do certificado SCE como certificações técnicas, tornando-as obrigatórias em imóveis sujeitos a novo contrato de arrendamento ou de venda. O certificado energético (Figura 2.14) contém informação simples e detalhada das características do edifício que influenciam o seu desempenho energético, tal como a previsão dos custos de energia e os indicadores energéticos e carbono.

Deste ponto de vista, torna-se uma ferramenta essencial para a caracterização energética de imóveis, referindo o estado do edifício e o respetivo potencial de reabilitação. Para além disto, o certificado energético informa o proprietário sobre a qualidade dos elementos que constituem a envolvente exterior e interior do edifício, Através dos dados recolhidos dos certificados energéticos, é possível conhecer o estado do património edificado em Portugal.

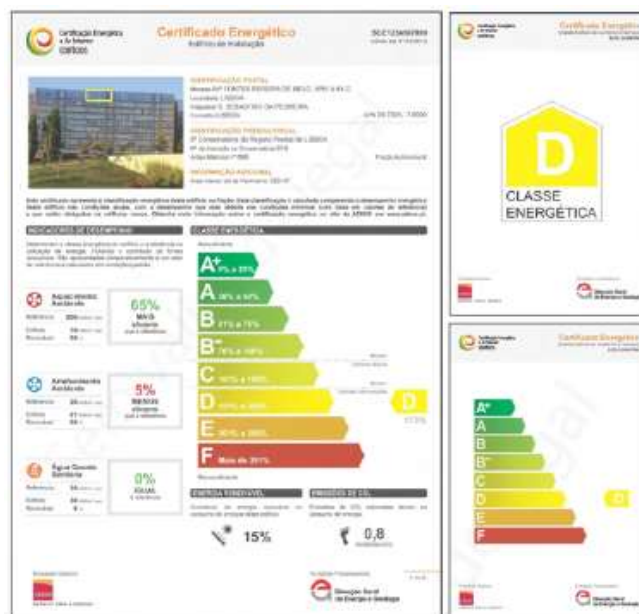


Figura 2.14 - Certificado energético de um imóvel.

O indicador energético identifica o edifício quanto à sua eficiência (desde A+ a F) quando comparado com um edifício de referência semelhante nas mesmas condições de orientação e ocupação, entre outros, e é determinado com base nas necessidades nominais de energia primária. A tutela de implementação e gestão da certificação energética é da ADENE, estando registados mais de um milhão de certificados desde 2007 até à presente data, sendo que a média da classificação é classe C [112].

3 NZEB - “NET-ZERO ENERGY BUILDINGS”

Nas últimas décadas, o desenvolvimento sustentável no setor da construção adquiriu grande importância devido ao impacto negativo das emissões de gases com efeito de estufa. É fundamental para a sociedade criar um ambiente saudável e sustentável. Na Europa, cerca de 50% dos recursos materiais são utilizados para a construção e 50 % da produção de lixo provém do setor da construção. No século passado, o aumento das exigências da qualidade de vida contemporânea e o rápido crescimento da população levou à construção massiva de edifícios não sustentáveis, influenciando negativamente o nosso ambiente [82]. A sustentabilidade deve ser utilizada, como a medida em que o progresso e o desenvolvimento devem satisfazer as necessidades atuais sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades.

Considerando a exposição dos edifícios ao clima, a arquitetura e as soluções construtivas são de importância relevante, para criar ambientes que melhores condições proporcionam ao ser humano. As condições climáticas locais e as tecnologias solares passivas são utilizadas com o objetivo de melhorar a eficiência energética e diminuir as emissões de carbono. Nas décadas de 70 e 80, surgiram os primeiros conceitos de edifícios que intencionavam reduzir a dependência energética, como o “*neutral energy autonomous house*”, o “*an energy-independent house*” e o “*zero energy house*”, consequência da crise de combustíveis fósseis (carvão, gás natural e petróleo), que devido à exploração excessiva e à sua má utilização, limitava os recursos despendidos para os edifícios. No entanto, a maioria das publicações centravam-se na implementação de medidas passivas e tecnologias eficientes para a redução das necessidades de energia para o aquecimento central e preparação de águas quentes sanitárias [1] [4].

Nas décadas seguintes, surgiu o conceito de *Zero Energy Building* (ZEB), traduzido em português como, “edifício com consumo nulo de energia”, cuja definição foi diferenciada em artigos e projetos de investigação, devido à falta de compreensão do “zero energy”, prejudicando de certa forma, a sua definição [1].

A comunidade internacional reconhece o ZEB, como o futuro na construção de edifícios, tornando-os, deste modo, sustentáveis do ponto de vista ambiental. O seu principal propósito é contribuir para a mitigação das emissões de CO₂ e para a redução do consumo de energia no setor dos edifícios. Porém, a designação ZEB poderá ser equívoca, uma vez que não é possível alcançar um edifício que tenha necessidades de energia nula real, pois um edifício terá sempre consumo de energia, embora possam ser reduzidas, é sempre exigido a um ZEB a geração de energia de fonte renovável para suprir, anualmente, os seus consumos.

Apesar da multiplicidade de definições, é consensual, que no balanço energético nulo do edifício, a oferta e a procura de energia têm que ser equivalentes. Para evitar confusão sobre se o fornecimento ou o consumo de energia são considerados positivos ou negativos, os valores são sempre absolutos. O balanço energético é calculado, contabilizando a energia fornecida pela rede (quando a produção dos sistemas de fonte renovável é insuficiente para

suprir as necessidades do edifício) e a energia exportada para a rede (quando houver um excesso de energia renovável gerada localmente) [99]. Deste modo, quando a oferta de energia (energia produzida localmente através de fontes renováveis) supera a procura de energia, o balanço energético é positivo e o edifício passa a estar de acordo com a definição de um *plus energy building* [101].

Porém, diversos autores sublinham a importância de uma definição exata do *ZEB*, pois não é claro qual a proveniência do “zero”. Mais concretamente, se o zero é referente à produção de energia, à exergia (trabalho máximo realizado), às emissões de carbono ou ainda aos custos de energia. A comunidade científica, propõe vários tipos de edifícios com consumo nulo de energia, cujo balanço energético é calculado dependendo da definição [1].

Torcellini [101], considera que um *net-zero energy building* é um edifício residencial ou comercial com uma grande redução das necessidades de energia, obtidas através da eficiência energética, assim como o balanço energético das necessidades de energia sejam suprimidas por energia renovável. No entanto, um NZEB também poderá ser um *nearly zero energy building* durante um ano anormal em termos climáticos, influenciando cargas térmicas de arrefecimento e aquecimento acima da média, associadas à baixa geração de energia solar térmica e elétrica do edifício [8].

Seguidamente, são apresentadas quatro derivações da definição de Torcellini [101] tendo em conta a utilização de energia, cujo balanço energético poderá ser influenciado pelos objetivos do projeto, pelas intenções do investidor, pela preocupação com o clima (gases com efeito de estufa) e pelos custos de energia:

- *Net-zero site energy*: edifício que produz, no mínimo, tanta energia (através de fontes renováveis) quanto aquela que consome anualmente (energia contabilizada no local);

$$E_{del} - E_{exp} \geq 0 \quad (3)$$

em que, o E_{exp} é a energia renovável produzida localmente, e E_{del} é a energia fornecida pela rede medida no contador do edifício. Uma limitação deste tipo de balanço de energia é o fato de não serem considerados valores de conversão de energia primária, ou seja, uma unidade de eletricidade é equivalente a uma unidade de gás natural.

- *Net-zero source energy*: edifício que produz, no mínimo, tanta energia (através de fontes renováveis) quanto aquela que consome no período de um ano (energia contabilizada na fonte de produção). O princípio do “source energy” é baseado na multiplicação dos fatores de conversão da energia primária utilizada para a produção de energia útil consumida. Neste balanço, são contabilizados as perdas de energia durante a sua produção, armazenamento e distribuição.

$$E_{del,i} f_{del,i} - E_{exp,i} f_{exp,i} \geq 0 \quad (4)$$

em que, o $f_{del,i}$ e o $f_{exp,i}$ são os fatores de conversão de energia primária, para cada vetor energético.

Exemplo: um edifício que importe energia elétrica proveniente da rede, com um fator de conversão de energia primária de 2.5, significa que o edifício terá de exportar cerca de duas vezes mais a energia que importou para alcançar um balanço energético nulo, se o fator de ponderação for simétrico.

- **Net-zero energy cost:** o balanço energético do edifício é calculado pela diferença do custo da compra de energia à rede e a produção de energia renovável pelo edifício para posterior venda à rede.

$$\begin{aligned} & \$C_{del,i} - \$C_{exp,i} \\ & \geq 0 \end{aligned} \quad (5)$$

em que, o $\$C_{del,i}$ é o custo da energia da rede para cada vetor energético i , e o $\$C_{exp,i}$ é o custo da energia exportada para a rede produzida a partir de energias renováveis disponíveis localmente ou nas proximidades (*nearby*) pelo proprietário do edifício.

- **Net-zero energy emissions:** produção de, no mínimo, energia sem emissões de gases de estufa para compensar a energia utilizada proveniente de combustíveis fósseis, cujo o balanço energético é calculado durante o período de um ano.

$$\begin{aligned} & CO_{2del,i} - CO_{2exp,i} \\ & \geq 0 \end{aligned} \quad (6)$$

em que, o $CO_{2del,i}$ são as toneladas de CO_2 da energia importada da rede, e o $CO_{2exp,i}$ as toneladas de CO_2 evitadas pela utilização de fontes “limpas” de carbono pelo proprietário do edifício, para cada vetor energético i .

Kilkis [66], considera a definição dos ZEB como a contabilização da exergia de um edifício, ou seja, para além do balanço energético “zero”, deve ser considerado a qualidade da energia fornecida ao edifício. O balanço exergético é similar ao balanço energético, mas possui a diferença de permitir avaliar a degradação da energia no sistema, baseado no potencial de trabalho útil de uma dada quantidade de energia com base num ciclo de *Carnot*, definido de acordo com uma temperatura ambiente de referência. Este tipo de balanço, permite quantificar o impacto das emissões do CO_2 na energia elétrica fornecida ao edifício pela rede, pois se a energia provém de centrais térmicas, não pode ser desprezado o valor exergético do sistema. Apresentando assim, uma outra definição para o conceito ZEB [66]:

- **Net-zero exergy buildings:** são edifícios que no período de um ano, o somatório das trocas de exergia entre o edifício e a rede, é “Zero”. Essas trocas podem ser ao nível elétrico, aquecimento urbano ou qualquer outro vetor energético.

Mertz [1], à semelhança de Kilkis, distinguiu duas abordagens à definição de um ZEB, o *net-zero energy building* e o *net-zero CO_2 (CO_2 neutral) building*. Foi o primeiro autor a mencionar

a possibilidade de um edifício poder comprar créditos no Regime de Comércio de Licenças de Emissão da União Europeia (RCLE EU). Este regime é direcionado exclusivamente para o setor industrial, obrigando à restituição dos direitos de emissão equivalentes ao total das emissões de CO_2 .

Em 2008, Jens Laustsen, propõe uma interpretação diferente no relatório da Agência Internacional de Energia (IEA), considerando que um ZEB é um edifício que não utiliza combustíveis fósseis e que poderá obter toda a energia necessária para o seu funcionamento através da energia solar ou de outras fontes de energia renovável. Porém, considera também o ponto fraco da definição, o fato de um edifício que utilize combustíveis fósseis sem qualquer redução das necessidades energéticas, produzir mais energia de fonte renovável do que aquela que consome, poderá ser considerado um ZEB [1].

Surgem, portanto, duas novas definições [1]:

- *Zero-net energy buildings*: edifícios que no período de um ano, o balanço energético é neutro, significando que, os edifícios exportam para a rede tanta energia quanto aquela que importam. Nestes termos, os edifícios não consomem energia proveniente de combustíveis fósseis para as necessidades de aquecimento, arrefecimento, iluminação ou equipamentos, apesar de necessitarem, por vezes, de importar energia da rede.
- *Zero carbon buildings*: edifícios que no período de um ano não utilizam energia que implique a emissão de CO_2 para a atmosfera. No período de um ano, estes edifícios são neutros ou positivos em emissões de carbono, visto que produzem energia sem dióxido de carbono suficiente para satisfazer as suas necessidades energéticas.

Na generalidade, os termos “*zero energy*”, “*zero carbon*” ou “*zero emission*”, são aplicados a edifícios que consomem a energia gerada de fonte renovável no local, e que anualmente, igualam a energia produzida à energia requisitada pelo edifício para consumo [25].

De modo a apoiar os Estados Membros, na definição de um edifício *nearly zero energy building*, a *Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations* (REHVA), publicou um documento que serve de apoio à implementação dos princípios da reformulação da EPBD (Diretiva 2010/31/UE), definindo que um edifício para ser considerado *net-zero energy building*, têm que apresentar exatamente um balanço energético anual de 0 kWh/(m²ano) de energia primária não-renovável, calculado pelo balanço entre a energia importada e exportada do edifício [69].

A maioria das definições do ZEB, assumem implicitamente a conexão do edifício a uma ou a mais redes, podendo ser uma rede elétrica, uma rede de aquecimento e arrefecimento urbano, uma rede distribuição de gás ou ainda uma rede de distribuição de biocombustíveis (biomassa). Sendo assim, os edifícios têm a oportunidade de exportar ou importar energia a partir de diversas redes, evitando o armazenamento de energia no local de implantação do edifício. É importante realçar, que um edifício *on-grid*, no caso da eletricidade, apenas pode estar conectado a uma infraestrutura para exportar e importar eletricidade, enquanto os

edifícios *off-grid* carecem de um armazenamento de energia elétrica para picos de energia ou quando as fontes de energia renováveis não estão disponíveis [30].

Por último, a *American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE), apontou que o único caminho para qualificar um edifício de ZEB é observar a energia que cruza a fronteira do edifício [54].

Em suma, as definições podem ser categorizadas, de acordo com a métrica tipificada na definição, existindo apenas um consenso nas diversas definições anteriormente apresentadas. Um *zero energy building*, deverá ser um edifício com necessidades de energia reduzida e deverá ser provido de energia de fonte renovável no local ou nas proximidades, de forma a apresentar um balanço anual nulo.

É da responsabilidade dos projetistas o estabelecimento das estratégias de eficiência energética, a incorporação de soluções bioclimáticas, bem como a seleção dos equipamentos de energia renovável e o local da sua implantação.

3.1 ESTRATÉGIAS ALTERNATIVAS

O principal objetivo dos NZEB é minimizar o fluxo de energia entre o edifício e a rede, quando existe interação com a mesma, compensando a importação de energia através de geração de energia no local, para que o balanço energético anual seja neutro ou positivo. Mas, compensar a energia importada de um edifício que tenha grandes necessidades de energia primária, não é sustentável do ponto de vista ambiental nem do ponto de vista económico, pois seria necessário sobrecarregar o edifício com sistemas de geração de energia de fonte renovável no local. Esta conjuntura, exige que o edifício reduza as suas necessidades de energia útil, pela aplicação de medidas passivas e ativas, de forma que seja fácil e viável alcançar um edifício de acordo com a definição NZEB. Nesta perspetiva, existem diversos conceitos que podem ser aplicados ao edifício, como estratégias de aproximação para se alcançar o objetivo dos edifícios com consumo nulo de energia.

De acordo com a bibliografia e com uma pesquisa de apoio à Diretiva 2010/31/UE, para além dos conceitos já mencionados anteriormente, existem outros conceitos utilizados na Europa para definir edifícios com um elevado desempenho energético. Entre eles, salientam-se [42]:

- *Low Energy Building* (LEB);
- *Passive house*;
- *Active house*;
- *Zero carbon building*;
- *Life cycle zero energy building*;
- *Green building*;
- *Nearly zero energy building*.

Os diferentes conceitos não se refletem apenas no termo adotado, mas também no tipo de energia utilizada no balanço energético. Numa visão ideal, os conceitos deveriam incluir requisitos mínimos de desempenho energético para todos os tipos de consumo de energia no

edifício, como as necessidades de energia útil para aquecimento, arrefecimento, preparação de AQS, sistemas técnicos, iluminação e equipamentos domésticos. Mas, na realidade, existem conceitos que, apenas fazem referência à limitação das necessidades de energia para aquecimento, descartando todos os outros consumos existentes no edifício [42].

Os edifícios que são projetados de acordo com as diretrizes dos conceitos mencionados, visam essencialmente promover uma melhor construção e implementar um uso responsável dos recursos utilizados. No entanto, mediante o conceito adotado, assim é determinado o impacto ambiental, de acordo com design, produção, operação, manutenção e finalmente a demolição do edifício.

Conceitos como *zero carbon building*, *life cycle zero energy building* e *green building*, apontam para um balanço energético mensurado durante o ciclo de vida do edifício, contemplando a energia incorporada nos materiais do edifício desde a primeira fase de construção. Enquanto que o *low energy building*, a *passive house*, a *active house* e o *nearly zero energy building*, visam principalmente a redução do consumo de energia através de medidas de eficiência durante a operação do edifício. O *green building*, é um conceito que se distíngue dos outros, por inculcar essencialmente o uso eficiente dos recursos, recorrendo a materiais sustentáveis, preocupando-se com a saúde dos ocupantes e a redução de resíduos e poluição.

Um edifício com um elevado desempenho energético é mais económico do que um edifício com um menor desempenho energético, porque é maior a dependência de combustíveis fósseis para suprir as suas necessidades de energia. Para além disso, um edifício com uma elevada dependência energética tem uma maior exposição à variação dos preços do mercado internacional de energia.

3.1.1 LOW ENERGY BUILDING

Não existe uma definição concreta do *Low Energy Building* (LEB), mas caracterizam-se por serem edifícios com necessidades de energia primária significativamente reduzidas, cujo desempenho energético é tipicamente 25-50% melhor, quando comparado com os edifícios dimensionados com os requisitos mínimos definidos na legislação [81][42].

Especificamente, um edifício LEB, reduz as necessidades de energia primária para aquecimento, arrefecimento e preparação de AQS, sem comprometer o conforto térmico dos ocupantes, através de um elevado nível de isolamento térmico, da utilização de bons envidraçados, da redução da permeabilidade ao ar exterior, da utilização de ventilação mecânica, devendo ainda, incorporar sistemas de energia renovável, como os sistemas solares térmicos e fotovoltaicos.

Desta forma, existem quatro medidas importantes que permitem alcançar um LEB:

- Diminuir as perdas de energia pela envolvente;
- Aumentar a eficiência energética dos sistemas técnicos;
- Utiliza sistemas de fonte renovável;
- Educar o comportamento dos ocupantes.

Com o cumprimento destas estratégias, estima-se que os edifícios possam reduzir cerca de 80% dos custos de manutenção e de operação durante todo o ciclo de vida do edifício [42].

A caracterização do comportamento de um LEB diverge amplamente, a sua definição é dependente da métrica de quantificação de energia estabelecida para o cálculo do balanço energético. A Diretiva 2010/31/UE, propôs que os Estados-Membros adotassem planos nacionais de ação para a promoção e desenvolvimento de edifícios com elevados desempenhos energéticos, de modo a diminuir o consumo de energia operacional, e como estratégia de aproximação de um edifício nZEB [40].

No Quadro 3.1, é exemplificado a diversidade de definições nos países europeus. Alguns países definiram intervalos limite para os edifícios serem enquadrados, que tipicamente aplicam-se a edifícios novos, na maioria a edifícios residenciais e não residenciais, existindo apenas algumas exceções (Áustria, Alemanha e Dinamarca), que estendem a definição aos edifícios existentes [42][71].

Quadro 3.1 - Requisitos mínimos de desempenho energético dos LEB em países europeus [71].

País	AT	BE	DK	FI	FR	DE	IR	NL	NO	PL	SE	CH	UK
Tipo de energia	(FE)	(PE)	(PE)	(HE)	(PE)	(PE)	(PE)	(PE)	(NE)	(PE)	(DE)	(PE)	(PE)
Necessidades anuais de energia (kWh/m ² .ano)	66.5	119 - 136	52,5 -60	65	80- 130	70	64	100- 130	150	75- 150	110- 150	60	100

PE – Energia primária; HE – Energia para aquecimento; NE – *Net energy*; DE - Energia importada; FE - Energia Final; AT – Áustria; BE – Bélgica; DK – Dinamarca; FI – Finlândia; DE – Alemanha; IR – Irlanda; NL – Holanda; NO – Noruega; PL – Polónia; SE – Suécia; CH – Suíça; UK – Reino Unido

Na definição do LEB, os principais requisitos são referentes às necessidades de energia térmica para o aquecimento, arrefecimento e preparação de AQS. Quando o objetivo final é o nZEB, deve-se adicionar aos anteriores requisitos, o consumo de energia dos sistemas técnicos, iluminação e equipamentos domésticos [42].

No entanto é difícil definir um único conceito de *low energy building* e implementá-lo em todos os Estados Membros, pois para além das diferentes condições climáticas em cada país e região, a capacidade económica e tecnológica para a aplicação de estratégias de redução de energia também são diferentes. Por outro lado, a construção deste tipo de edifícios acarreta também custos adicionais face aos edifícios tradicionais.

A título de exemplo da aplicação diversificada de definições na Europa, na Suíça, os LEB são promovidos por uma organização denominada por MINERGI. Esta, considera que os LEB não deverão consumir mais do que, 75% da média do consumo de energia e não deverão utilizar mais do que 50% da média do consumo de combustíveis fósseis. Já na Suécia, estes tipos de edifícios são reconhecidos por dois conceitos, *passive house* e *mini-energy house* [108]. A *passive house* é reconhecida como o conceito que apresenta um “significativamente melhor”

desempenho energético e a *mini-energy house* como “melhor” desempenho energético, quando comparados com os requisitos mínimos da legislação do País.

Por sua vez, nos Estados Unidos da América, o rótulo *energy star* indica que os edifícios utilizam menos 15% de energia, do que um edifício projetado com os parâmetros definidos pela legislação [42].

3.1.2 PASSIVE HOUSE

A *passive house*, apresenta critérios standard para a sua aplicação, através de uma norma internacional administrada pelo “*Passivhaus-Institut*” (PHI), fornecendo recomendações e informações sobre a sua metodologia [108]. Resultado de uma experiência longa de projetos já executados, o conceito baseia-se fundamentalmente em três elementos, um limite de utilização de energia, requisito de qualidade de conforto térmico e num conjunto de sistemas passivos que permitem que o limite de energia e os requisitos de qualidade sejam correspondidos de forma económica [114].

O PHI foi fundado em 1996, na Alemanha, pelo Dr. Feist, 5 anos depois da construção das primeiras casas *standart's da passive house*, que definiu o conceito *passive house* como: “*Um edifício, cujo conforto térmico (ISSO 7730) pode ser alcançado através do pós-aquecimento e pós-arrefecimento da massa de ar natural, permitindo obter condições satisfatórias da qualidade do ar interior, sem a necessidade adicional de recirculação do ar*” [120].

Atualmente a instituição lidera a investigação, aplicação, formação e certificação dos edifícios passivos, promovendo a sua implementação internacionalmente. Atualmente, existem cerca de 40 000 edifícios implementados pela norma *passive house* no mundo, sendo que 5 000 estão certificados por entidades acreditadas pelo PHI [115].

Um edifício para ser certificado, deverá cumprir todos os requisitos mencionados no Quadro 3.2 [115].

Quadro 3.2 – Requisitos padrão da *passive house* [115].

Necessidades de energia para aquecimento	$\leq 15 \text{ kWh/m}^2.\text{ano}$
Carga térmica para aquecimento	$\leq 10 \text{ w/m}^2$
Consumo de energia primária anual (AQS, Climatização, sistemas técnicos e equipamentos elétricos)	$\leq 120 \text{ kWh/m}^2.\text{ano}$
n_{50} - Teste de pressurização (Pa50)	$\leq 0,6 \text{ h}^{-1}$
Ventilação mecânica, com recuperador de calor	$\geq 75\%$

Um edifício *passive house*, correspondendo assertivamente a todos os requisitos, poderá consumir entre 75% a 90%, menos energia que um edifício tradicional [12].

Para atingir, os requisitos exigidos existem várias soluções, designadamente [44]:

- Utilização de maiores espessuras de isolamento térmico na envolvente, de forma a reduzir as perdas de calor pelas paredes, coberturas e pavimentos, com atenção especial no tratamento das pontes térmicas;
- Utilização de estratégias solares passivas, e sempre que possível orientar cerca de 75% dos envidraçados para Sul, para além de estes serem dotados de caixilharia e vidros de alto desempenho térmico;
- Garantir a estanquidade do edifício, impedindo as infiltrações do ar exterior para o interior da habitação, utilizando sistemas de ventilação mecânica com recuperador de calor, de modo a garantir a qualidade do ar interior;
- Uso de sistemas eficientes para a climatização dos espaços interiores, aproveitando os ganhos solares, o calor gerado pela iluminação e pelo calor humano, para diminuir as necessidades de energia útil para aquecimento.

A norma *passive house* foi desenvolvida para implementação em climas frios, como é o caso da Alemanha, mas tem sido adaptada a climas mais quentes, obtendo-se assim edifícios confortáveis, com um consumo energético e impacto ambiental reduzidos, associados ainda a um baixo custo de ciclo de vida do edifício. Neste seguimento, o programa “*Passive-On*”, coordenado pelo grupo *efficiency research group* do politécnico de Milão, elaborou uma proposta de revisão para aplicação da norma em países do Mediterrâneo [114].

Esta proposta de revisão, apresenta as seguintes diferenças relativamente à norma *passive house* original [114]:

- Introdução de um valor limite para as necessidades de arrefecimento de 15 kWh/m².ano;
- Introdução de um critério de conforto de temperatura no Verão, definindo a ventilação natural como meio de arrefecimento.

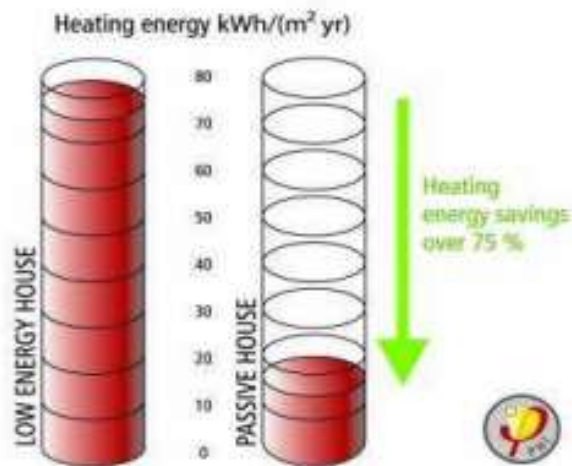
Em termos de metodologia, em Portugal, o padrão *passive house*, poderá ser conseguido através de espessuras de isolamento inferiores, quando comparados com os países nórdicos, que normalmente se situam entre os 10 e 20 cm.

O custo extra global para um edifício alcançar a classificação de *passive house* em Portugal, estima-se de 57 €/m², com um retorno económico de 12 anos [56]. Este custo é inferior ao verificado noutros países da Europa Central, cujas condições atmosféricas são mais “agressivas” do que o clima português (Quadro 3.3).

Quadro 3.3 - Comparação entre os custos de uma habitação de referência e de uma *passive house* [56].

	Habitação de referência (€/m ²)	<i>Passive house</i> (€/m ²)	Custos Extra (€/m ²)
França	1100	1203	103
Alemanha	1400	1494	94
Itália	1200	1260	60
Espanha (Granada)	720	744,1	24,1
Espanha (Sevilha)	720	740,5	20,5
Reino Unido	1317	1390	73

Porém, comparando o conceito *passive house* com o conceito *low energy building*, embora apresentem a mesma finalidade, a redução do consumo de energia primária para aquecimento podendo ser minimizada através de elevados níveis de isolamento e no aumento da estanquidade ao ar, a *passive house* pode alcançar uma poupança de energia para aquecimento superior a 75% (Figura 3.1) em relação aos *low energy building*, de acordo com os requisitos mínimos da legislação [119].

Figura 3.1 - Edifício *low energy house* vs edifício *passive house* [119].

3.1.3 ACTIVE HOUSE

O conceito da *active house*, visa essencialmente proporcionar uma construção sustentável e confortável, sem afetar negativamente o meio ambiente, é uma aproximação aos edifícios com consumo nulo de energia. A metodologia da *active house*, desenvolvida pela associação internacional em 2010, a *Active House Alliance*, é fundamentada na combinação de métodos internacionais e reformulada pelas normas de cálculo nacionais, de forma a que possa ser aplicada globalmente, independentemente do clima. O método pode ser aplicado a edifícios residenciais, comerciais ou edifícios públicos, assim como em reabilitações de edifícios existentes [95].

Estes edifícios, destacam-se dos outros conceitos, por uma visão “holística” e equilibrada durante o projeto, baseada em três princípios essenciais: o conforto, energia e ambiente (Figura 3.2).

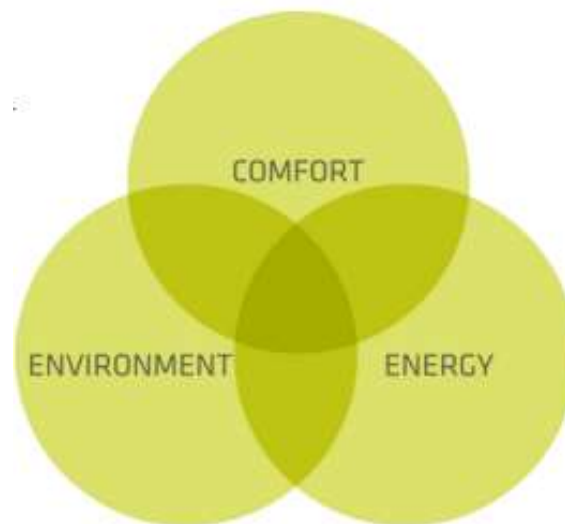


Figura 3.2 - Princípios do conceito *active house* [95].

Os edifícios *active house* são caracterizados por se centrarem na diminuição das necessidades globais de energia, privilegiando a utilização da luz natural, assim como estratégias de ventilação natural e produção de energia renovável no local. Os edifícios são avaliados através do “radar” *active house* (Figura 3.3), que mostra como todos os nove parâmetros, dentro dos três princípios, se relacionam entre si:

- Conforto – luz natural; temperatura ambiente; qualidade do ar interior;
- Energia – necessidades de energia final (AQS e climatização); produção de energia renovável; desempenho energético;
- Ambiente – impacto ambiental; consumo de água sanitária; construção sustentável;

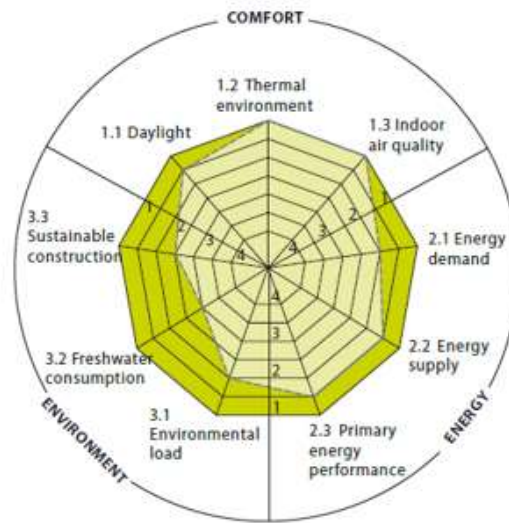


Figura 3.3 - "Radar" com os princípios *active house* [56].

Para obter uma boa categoria, é necessária uma boa ligação entre os princípios. Cada princípio inclui três parâmetros, e cada parâmetro é delimitado pela média final de determinados requisitos, preenchidos por uma escala de 1 a 4, sendo que, o grau 1 é o mais alto da escala e o grau 4, o mais baixo. A título de exemplo, um dos requisitos do parâmetro das necessidades anuais de energia (AQS, ventilação, aquecimento e arrefecimento ambiente, equipamentos e iluminação):

1. $\leq 40 \text{ kWh/m}^2$
2. $\leq 60 \text{ kWh/m}^2$
3. $\leq 80 \text{ kWh/m}^2$
4. $\leq 120 \text{ kWh/m}^2$

A ideia básica do projeto de um edifício *active house*, é dimensionar o edifício, escolhendo individualmente o nível dos parâmetros de cada princípio. Mas, o radar *active house* (Figura 3.4) também é útil para monitorizar, avaliar e melhorar um edifício existente.

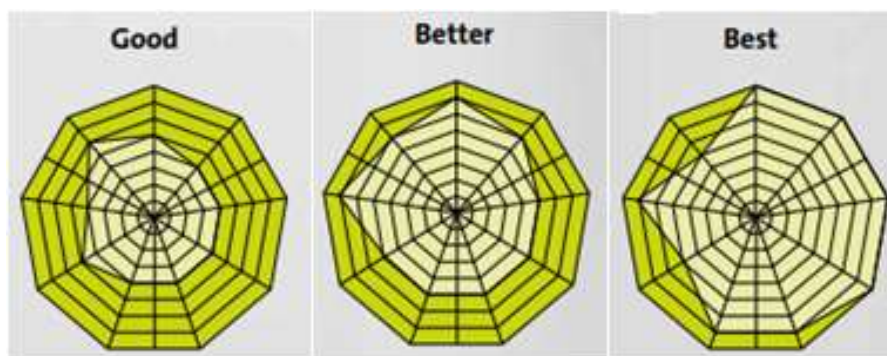


Figura 3.4 - Exemplo do nível de desempenho de uma *active house* [56].

3.1.4 ZERO CARBON BUILDING

O conceito *zero energy building* e *Zero Carbon Building* (ZCB) são geralmente aplicados a edifícios com consumo nulo de energia e zero emissões de carbono respetivamente [101]. Estes conceitos são considerados uma estratégia importante para alcançar os objetivos propostos pelo *Protocolo de Quioto*, a mitigação dos gases com efeito de estufa para a atmosfera, assim como, promover a sustentabilidade no setor da construção [54].

O ZEB, tal como o nome indica, possui a característica de “anular” as emissões de carbono do edifício, através da produção de energia renovável *on-site*, o balanço energético é expresso em $\text{kgCO}_2/\text{m}^2.\text{ano}$.

Para que o balanço de emissões de carbono de um edifício ZEB seja nulo (Figura 3.5), a energia renovável produzida localmente e a energia renovável importada da rede, deverá ser suficiente para compensar o carbono incorporado no corpo do edifício (estrutura e materiais), assim como, o carbono proveniente da energia utilizada durante a operação do edifício e provocado pelas práticas dos ocupantes. Trata-se de uma contabilização difícil, devido à análise dos processos de produção e transporte dos materiais e equipamentos, assim como o processo de construção, manutenção e operação do edifício durante o ciclo de vida, aumentando drasticamente a margem de erro dessa contabilização [83].

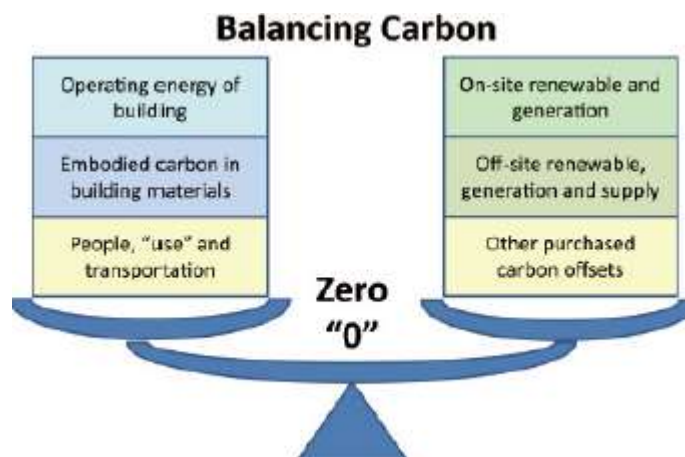


Figura 3.5 - Balanço anual de carbono, de acordo com o conceito de *zero carbon building* [83].

Caso ao edifício toda a energia fornecida seja de fonte que não emita gases com efeito de estufa para a atmosfera (por exemplo: energia proveniente de uma central hidroelétrica e/ou de parques eólicos), não necessita de produzir energia renovável *on-site*, pois o balanço energético das emissões de carbono é nulo.

No Reino Unido, em 2006, a definição do ZCB, atraiu uma atenção especial, no seguimento dos objetivos propostos pela União Europeia, de reduzir as emissões de carbono, o Reino Unido exigiu que todos os edifícios novos em 2016 estivessem de acordo com o padrão de um ZCB. Para o balanço das emissões de carbono, toda a energia utilizada no edifício deve

ser contabilizada, incluindo a energia consumida para iluminação e equipamentos domésticos, para além do consumo de energia para climatização, sistemas técnicos e preparação de AQS. De forma, a alcançar o balanço nulo, as emissões deveriam ser compensadas pela utilização de sistemas de fonte renovável, como a biomassa, energia eólica e solar [54].

No entanto em julho de 2015, o Reino Unido emitiu um documento sobre o plano de produtividade para 2016, não fazendo nenhuma referência aos edifícios residenciais e não residenciais de zero carbono, ficando os projetistas, como voluntários na decisão dos níveis de desempenho energético para além dos valores regulamentados, abandonando assim as políticas de ZCB antecipadas em 2006, com a introdução do conceito.

Segundo Goodall [54], especialista em mudanças climáticas, afirmou que, construir um edifício genuinamente zero carbono é extremamente dispendioso, e concentrar-se apenas na construção de 1% dos edifícios do parque edificado anualmente, não têm qualquer expressão face aos restantes 99% dos edifícios existentes.

3.1.5 LIFE CYCLE ZERO ENERGY BUILDING

O conceito *life cycle zero energy building* à semelhança do *zero carbon building*, no contexto da metodologia de cálculo, apresenta um balanço energético que contempla toda a energia incorporada nos materiais e sistemas técnicos, incluindo a energia anual operacional do edifício durante o ciclo de vida.

A abordagem do ciclo de vida põe em evidência a energia incorporada (*embodied energy*) na construção do edifício, sendo definida como a energia utilizada desde a extração de matérias-primas, unidade de transformação (*cradle-to-gate*), obra (*cradle-to-site*), fase de desconstrução e deposição (*cradle-to-grave*) incluindo o transporte [102].

Em termos ambientais, um estudo conduzido por dois investigadores, determinou a quantidade de emissões de GEE, que está associada a cada fase do ciclo de vida de um edifício (Figura 3.6) [89].

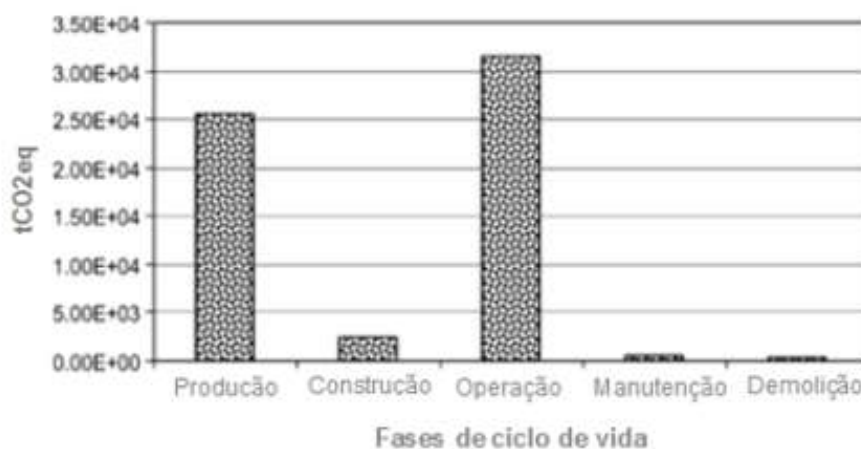


Figura 3.6 - Emissões de gases com efeito de estufa nas diferentes fases do ciclo de vida de um edifício [89].

De acordo com a Figura 3.6, podemos concluir que a fase de operação surge como o maior responsável de emissões de GEE, seguindo-se a fase de produção dos materiais de construção. Constata-se, portanto, que, após a conclusão do edifício, já foi utilizada energia equivalente a cerca de 10 anos do seu funcionamento. Posto isto, podemos concluir que a análise ao ciclo de vida de um edifício surge como uma ferramenta essencial para determinar o seu desempenho a nível ambiental [102].

A Figura 3.7, apresenta a Energia Incorporada (EI), expressa em MJ/kg, em função da percentagem de quantidade dos respetivos materiais presentes num edifício [102].

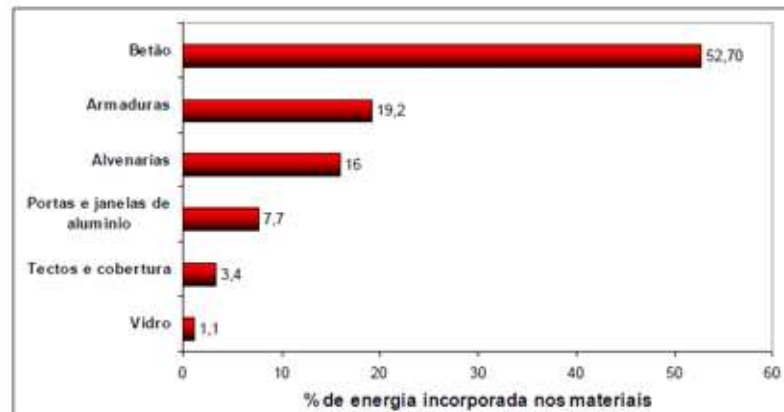


Figura 3.7 - Energia incorporada nos materiais responsáveis pela parcela mais significativa do consumo [102].

Da análise da Figura 3.7 conclui-se que a utilização de betão nas edificações representa mais de 50% da energia incorporada, sendo que o betão e o aço são os materiais que mais contribuem para as emissões de gases com efeitos de estufa. Assim, como forma de reduzir a energia incorporada, é crucial que os projetistas optem por materiais com baixos valores de energia incorporada, como por exemplo, a madeira, que é uma alternativa “sustentável” para fins estruturais e de isolamento. A sua utilização significa uma redução das emissões de carbono de quase 50%, no entanto, existem críticas fundamentadas relativamente à gestão sustentável das florestas e à questão do transporte [102].

O fator “transporte”, também é uma alternativa à redução de energia envolvida na construção dos edifícios, pois devido à utilização de materiais localizados nas proximidades da construção do edifício analisado, foi possível reduzir em 215% a energia despendida [81].

Um *life cycle zero energy building* é aquele em que a energia primária (envolvendo a energia utilizada na operação mais a energia incorporada nos materiais e equipamentos, incluindo sistemas de geração de energia), é igual ou inferior à energia produzida pelos sistemas de energia renovável durante o ciclo de vida do edifício [52].

$$AEU + AEE = 0 \quad (7)$$

Sendo que, AEU, significa a energia utilizada anualmente (*Annual Energy Use*) e AEE, significa a energia incorporada anual (*Annualized Embodied Energy*).

Fazendo a comparação entre um *zero energy building* e um *life cycle zero energy building*, podemos concluir que a energia incorporada é repetidamente ignorada nas definições e metodologias do ZEB. No entanto, a energia utilizada para a construção do edifício pode vir a ser superior à energia consumida durante a fase de operação. Assim, quando a eficiência energética alcançar o limite, a limitação da energia para construção será possivelmente a nova orientação no setor dos edifícios.

3.1.6 GREEN BUILDING

Kibert, definiu o conceito de *green building*, como “*um edifício saudável, projetado, construído, operado e eliminado em ordem da utilização eficiente dos recursos, utilizando uma abordagem ecologicamente correta*” [108]. Nos últimos tempos, o termo “green building” tem ganho popularidade, principalmente, devido aos esforços de várias certificações, na necessidade de medir e quantificar o impacto no meio ambiente de um edifício durante o seu ciclo de vida. Algumas das mais destacadas certificações são: LEED (EUA), BREEAM (Reino Unido), Green Star (Austrália) e CASABEE (Japão).

O conceito é reconhecido pelos critérios sustentáveis de construção, como por exemplo, a escolha otimizada do local de implantação do edifício, onde deverá existir facilidades de conexão à infraestrutura urbana, assim como a facilidade na utilização de transportes públicos por parte dos ocupantes do edifício. Por outro lado, a construção deverá ser executada com materiais sustentáveis, da região, cujo processo de fabrico e de eliminação não deverá ter impacto no ambiente.

O conceito de *green building* também se baseia no conceito de *low energy building*, pela promoção da redução do consumo de energia, pela utilização de energia renovável, pelo aumento da capacidade térmica da envolvente, influenciando a melhoria do desempenho térmico do edifício [108].

3.1.7 NEARLY ZERO ENERGY BUILDING

Na Europa, no contexto da eficiência energética e visando os objetivos propostos para 2020, 2030 e 2050, a União Europeia reformulou a Diretiva 2010/31/UE, delineando a estratégia e os procedimentos para aumentar o desempenho energético dos edifícios, de forma a diminuir as emissões de GEE no setor da construção, integrando dois novos conceitos:

- O princípio dos edifícios com consumo quase nulo de energia (*nearly Zero-Energy Building*);
- O princípio do custo ótimo de rentabilidade.

No âmbito da implementação dos conceitos referidos, de acordo com do artigo 9º, da reformulação da Diretiva 2010/31/UE, os Estados Membros deverão publicar planos nacionais

de ação, descrevendo metodologias e programas de desenvolvimento de eficiência energética, devendo assegurar que [40]:

- O mais tardar em 31 de dezembro de 2020, todos os edifícios novos sejam edifícios com necessidades quase nulas de energia;
- Após 31 de dezembro de 2018, os edifícios novos ocupados e detidos por autoridades públicas sejam edifícios com necessidades quase nulas de energia.

Cada Estado-Membro deve estabelecer a sua própria definição de *nearly Zero Energy Building* (nZEB), que, tendo em consideração as condições climáticas e tecnológicas nacionais, regionais ou locais, estabelecendo para o efeito, um valor limite para o indicador numérico de utilização de energia primária, expressa em kWh/(m².ano) [40].

A utilização da energia primária, como medida qualitativa do desempenho energético dos edifícios por parte da EPBD, permite expressar num só indicador, o consumo de energia primária de diferentes vetores energéticos utilizados (gás, eletricidade, biomassa, etc.) pela aplicação dos respetivos fatores de conversão de energia primária, que desta forma, quantifica proporcionalmente as emissões de CO₂ libertado. Os fatores de conversão de energia primária, deverão ser baseados em valores médios anuais nacionais ou regionais, podendo também ter em conta informação relevante das normas europeias [51].

O REHVA, a fim de ajudar os Estados Membros a definir o conceito e a metodologia do nZEB, elaborou um documento, onde considera que um nZEB é um edifício razoavelmente alcançável, mas não superior ao valor limite nacional de energia primária não-renovável. Este valor deve ser alcançado com a melhor combinação de práticas de medidas de eficiência energética e tecnologias de energia renovável, que podem ter ou não um nível ótimo de rentabilidade. A procura de energia primária líquida deverá ser superior a 0 kWh/(m².ano) [69].

Portugal, adotou a definição do nZEB, descrita na Diretiva 2010/31/UE: “são edifícios com necessidades quase nulas de energia os que tenham um muito elevado desempenho energético, determinado nos termos do presente diploma, em que as necessidades de energia quase nulas ou muito reduzidas são em larga medida satisfeitas com recurso a energia proveniente de fontes renováveis, designadamente a produzida no local ou nas proximidades” [75][40].

Os Estados Membros focam a definição de um nZEB num balanço energético anual, cuja metodologia de cálculo vai diferindo nas categorias de avaliação básica (métrica, fronteira, período, balanço, sistemas de ponderação, políticas nacionais, etc.). As definições encontradas nos Estado Membros referem-se, por exemplo, para diferentes métricas (balanço de energia, fonte de energia, custo de energia e emissões de CO₂), existindo diferentes limites de equilíbrio para cobrir as necessidades de energia consumida, com as respetivas opções de sistemas de utilização/geração de energia de fonte renovável [51].

Alguns estados membros propuseram objetivos mais exigentes do que os propostos pela Diretiva, como é o caso dos edifícios com consumos nulos nos Países Baixos, dos edifícios com balanço energético positivo na Dinamarca e em França, os novos edifícios sem impacto climático na Alemanha e os edifícios sem carbono no Reino Unido [20].

A natureza qualitativa dos critérios apontados pela Diretiva 2010/31/UE, na definição do *nearly zero energy building*, ao não prescrever uma definição uniforme, não descreveu também na metodologia de cálculo de um nZEB [51].

Um estudo desenvolvido pelo *Buildings Performance Institute Europe* (BPIE), propôs três princípios que caracterizam o nZEB, clarificando principalmente, que deve ser definida a fronteira do edifício, de forma a calcular a quota de energia renovável, de energia primária e de emissões de CO₂ [15]. O valor limite da energia primária deve estar no intervalo entre o nível do custo ótimo e o nível dos requisitos mínimos regulamentados na legislação nacional ou regional [15]:

- Quota mínima de participação de energia renovável, entre 50% a 90%;
- Limite máximo de 3 kg CO₂/m²/ano;
- Potencial indicação do consumo de eletricidade (iluminação e equipamentos) no edifício, suscetível de ser limitado, de forma a minimizar o consumo total de energia.

A eficiência energética também está associada à definição do nZEB, considerada como um dos “pilares” para diminuir o consumo de energia primária não-renovável, traduzido no aumento de eficiência dos sistemas técnicos, como é o caso dos equipamentos de climatização, da ventilação, de AQS, da iluminação e dos aparelhos elétricos. Embora, os sistemas de energia renovável não sejam de carácter obrigatório, a sua inexistência, implica a instalação de “sistemas alternativos de eficiência energética elevados”, tais como aquecimento urbano, bombas de calor ou centrais térmicas [40].

3.1.8 IMPACTO ECONÓMICO

O impacto económico de um edifício energeticamente eficiente é geralmente maior quando comparado a um edifício tradicional, devido aos custos adicionais associados às melhorias propostas para envolvente, sistemas técnicos do edifício, assim como, considerando os sistemas de geração de energia que permitem alcançar um balanço nulo de energia. No entanto, a construção e a aplicação de materiais de qualidade superior, asseguram futuras poupanças de energia, sendo que o custo operacional durante o ciclo de vida do edifício é significativamente menor.

Num estudo efetuado tendo por base, economias de diversos países, prevê que os custos adicionais possam subir até 10% em comparação com um edifício tradicional. A tendência, é que o valor decresça a longo prazo, com o crescimento da implementação deste tipo de sistemas. Exemplo disso, são os países que atualmente possuem construções com base nos padrões *passive house*, como é o caso da Alemanha, Áustria, Suécia e Suíça, variando nestes países, o custo adicional da construção entre os 4-6%, para um período médio de retorno de 10 anos [42]. O programa *Passive-On*, estima que o intervalo se situe entre os 3-10% em custos extras em cinco países envolvidos (Portugal, Reino Unido, França, Espanha e Itália) [114].

Estima-se ainda que os edifícios *low energy building* possam valorizar-se no mercado imobiliário entre 5 a 15% [42]. Por sua vez, investimentos em edifícios eficientes geram

sempre um melhor retorno, pois proporcionam uma redução na fatura energética derivado do baixo consumo energético. Sendo expectável que os preços da energia aumentem até 2030, a diferença entre os edifícios convencionais e os *low energy building*, crescerá ainda para maior benefício dos edifícios com maior eficiência energética.

3.2 IMPLEMENTAÇÃO DO CONCEITO

Conforme apresentado no ponto anterior, há diferentes definições de *zero energy building* e cada definição apresenta uma metodologia de cálculo, com o resultado do balanço energético a ser apresentado em diferentes métricas (energia primária, emissões de carbono ou custo de energia) e em diferentes sistemas de ponderação, mas, independente da definição, o balanço energético é sempre exposto em função do equilíbrio entre a procura e a oferta de energia, independentemente do vetor energético.

Sartori [99], apresentou o conceito do balanço energético de um NZEB, conforme se apresenta na Figura 3.8.

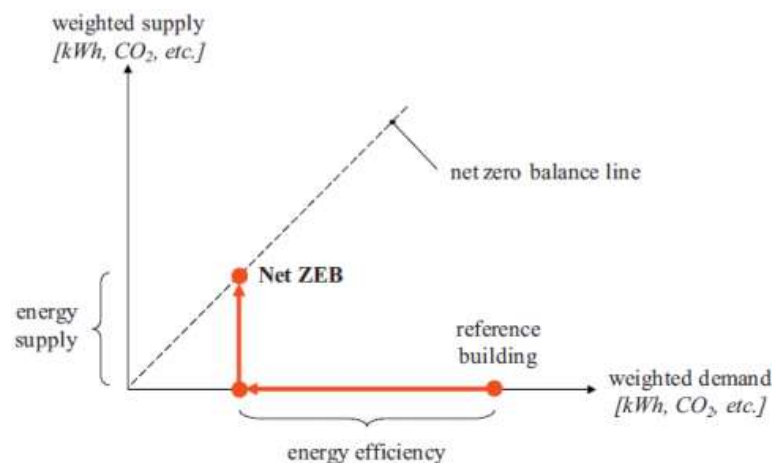


Figura 3.8 - Balanço energético de um NZEB [99].

De acordo com autor [99], o termo *weighted demand* significa a soma de todos os vetores energéticos fornecidos ao edifício por uma infraestrutura da rede, multiplicada pelo respetivo fator de ponderação. Tal como, para o termo *weighted supply*, este é representado pela soma de todos os vetores energéticos exportados pelo edifício, multiplicados pelos respetivos fatores de ponderação. O cálculo do balanço energético corresponde ao equilíbrio entre os dois termos.

Na Figura 3.8, a linha a tracejado representa o requisito para que um edifício se torne um *net-zero energy building*. Assim, qualquer edifício que esteja situado abaixo da linha a tracejado é considerado um *nearly zero energy building* e qualquer edifício que esteja a cima da linha, é considerado um *plus energy building*. Por outro lado, no eixo das abcissas, encontra-se a energia necessária a fornecer ao edifício (carga), e no eixo das ordenadas é representado a

energia exportada ou gerada pelo edifício, proveniente da geração de energia de fonte renovável, em quantidade suficiente para corresponder a um balanço energético nulo [99].

Um edifício pode importar energia proveniente da rede elétrica, rede de gás natural, rede de aquecimento ou arrefecimento urbano (comum no norte e centro da Europa), assim como de biomassa ou outro tipo de combustíveis [99].

O edifício de referência, no gráfico da Figura 3.8, pode representar o desempenho energético de um edifício novo, de acordo com os requisitos mínimos das legislações nacionais ou de um edifício existente. O procedimento para se alcançar um edifício NZEB é constituído assim por dois passos fundamentais:

- Reduzir as necessidades de energia através de medidas de eficiência energética;
- Geração de energia de fontes renováveis localmente (*on-site*).

Existem diversas formas de reduzir as necessidades de energia primária de um edifício, quer pela aplicação de medidas passivas, aumentando os ganhos térmicos naturalmente, de forma a reduzir a energia útil para aquecimento, arrefecimento e ventilação, quer pelas medidas ativas, privilegiando a eficiência dos sistemas técnicos.

As medidas passivas, como uma envolvente bem isolada, uma boa orientação do edifício, o aumento da qualidade térmica dos envidraçados, assim como a redução da permeabilidade ao ar de forma a evitar perdas de energia, podem trazer economia de energia durante o Inverno, sem elevação do sobreaquecimento no Verão, caso haja um adequado controlo dos ganhos solares nesse período. O sobreaquecimento poderá ser evitado por dispositivos de proteção solar (fixos ou móveis) e por medidas de arrefecimento passivo, como a inércia térmica elevada e taxas de ventilação natural durante o período da noite.

As medidas ativas, visam a melhoria do desempenho energético global, pela aplicação de sistemas técnicos de elevada eficiência energética (bombas de calor, caldeiras a gás ou a biomassa, etc.), considerando a integração com sistemas de gestão de energia e a articulação com outras soluções para satisfazer as necessidades de climatização e preparação de AQS, reduzem os custos energéticos, numa perspetiva de médio prazo.

A utilização de sistemas técnicos de energia de fonte renovável, como bomba de calor e caldeiras a biomassa, reduz as necessidades de importação de energia. No caso das bombas de calor, apesar de consumirem energia elétrica, têm uma elevada eficiência energética e produzem energia térmica de fonte renovável. A caldeira a biomassa, tem a vantagem de utilizar um combustível renovável, beneficiada também pelo reduzido fator de conversão de energia primária, privando o edifício da importação energia primária não-renovável.

A geração de energia de fontes renováveis deve ser complementar à redução das necessidades energéticas do edifício, visando compensar o consumo de energia do mesmo, através da instalação de sistemas de preparação de AQS, como coletores solares, a instalação de sistemas de geração de energia elétrica, como painéis fotovoltaicos e aerogeradores [68]. No caso da energia elétrica produzida, esta deve ser destinada para o consumo próprio no edifício, cobrindo o consumo da energia elétrica, para os sistemas técnicos e outras aplicações (iluminação e aparelhos).

O objetivo é aproveitar para o edifício a maior fração possível de energia gerada localmente, e não a sua exportação total, no entanto, face à incompatibilidade das horas de geração com os perfis de consumo, naturalmente que a energia excedida será exportada para a rede, mas a prioridade é que o edifício usufrua ao máximo da energia gerada. Para um balanço energético nulo, a energia exportada pelo edifício, deverá ser suficiente para compensar a energia importada pelo edifício à rede, durante as horas em que a geração é inexistente, e assim desta forma, temos um *net-zero energy building*.

É de salientar que, quanto menor forem as necessidades energéticas do edifício, menor será a energia consumida, e assim, menor será a energia renovável necessária para alcançar um balanço energético nulo. A redução das necessidades de energia é tão ou mais importante, quanto a geração de energia renovável *on-site* (Figura 3.9).

Efetuada uma análise sumária, um edifício pouco eficiente implica possuir elevadas quantidades de energia para satisfazer os níveis de conforto funcional. Para ser considerado NZEB, o edifício terá que gerar grandes quantidades de energia para igualar a energia importada, mas se o edifício tiver um nível de correlação elevado, os “danos” podem ser diminuídos e até vantajosos para o edifício. Significa isto que, se a maior percentagem da energia gerada *on-site* for despendida para o consumo próprio do edifício, então o fluxo de energia entre o edifício e a rede, será menor, visto que, o edifício apenas exportará durante os picos de produção e importará quando a geração não estiver disponível. Na Figura 3.9, o edifício energeticamente mais eficiente, é aquele que necessita de importar mais energia da rede, pois não consegue consumir a maior parte da energia produzida localmente. Ao contrário do edifício menos eficiente, com uma correlação maior de compatibilidade de carga, consegue importar menos energia da rede, porque grande percentagem da energia gerada localmente, tem a possibilidade de ser injetada no edifício pelo autoconsumo.

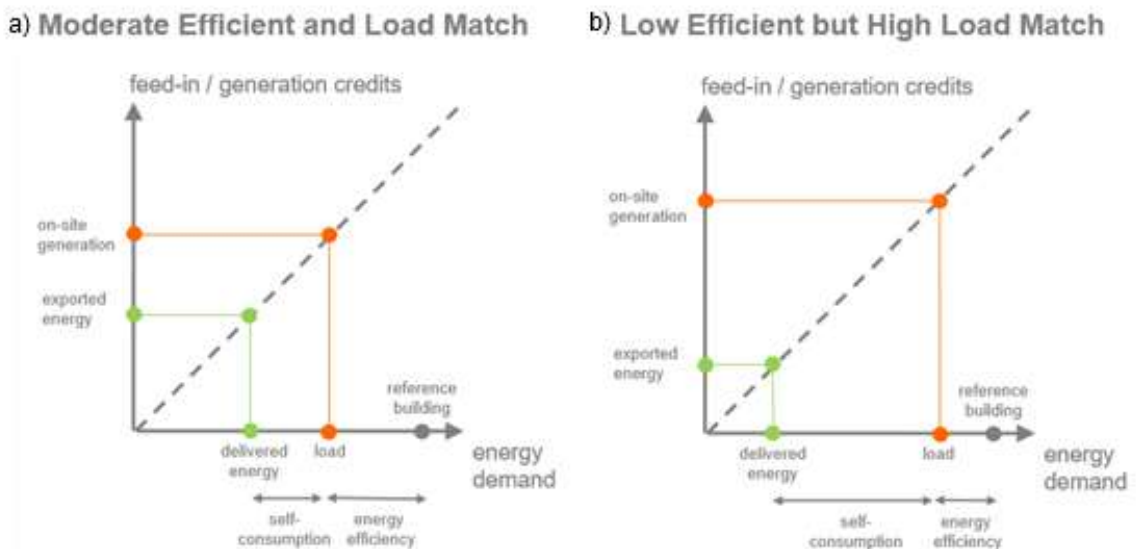


Figura 3.9 - Comparação entre um edifício moderadamente eficiente e um edifício pouco eficiente [104].

Na Figura 3.9, estão representados dois gráficos: a) onde é comparado um edifício moderadamente eficiente e com uma correlação normal entre as necessidades do edifício e o autoconsumo; b) onde é representado um edifício pouco eficiente, mas com uma elevada correlação entre as necessidades do edifício e o autoconsumo. Evidenciando-se que, quanto menor for a energia disponível para o autoconsumo do edifício, maior será a importação de energia na rede, consequentemente, a dependência energética da rede implica uma maior exposição à instabilidade do preço dos combustíveis fósseis, aumentando a fatura energética e contribuindo para a emissão de gases com efeito de estufa.

Segundo a reformulação da Diretiva 2010/31/UE, o cálculo do desempenho energético começa pelo cálculo das necessidades de energia final para diferentes utilizações de energia (aquecimento, arrefecimento, ventilação, AQS e iluminação) e termina com o cálculo da energia primária final, ou seja, o sentido é das necessidades energéticas para a fonte. Na Figura 3.10, observa-se o ciclo completo do cálculo da energia primária de um edifício.

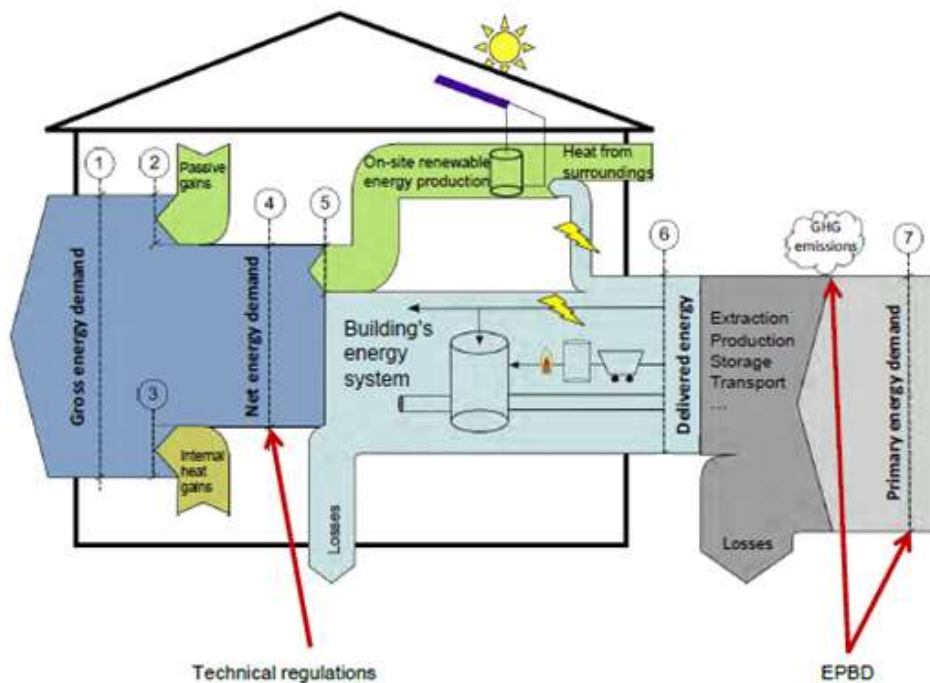


Figura 3.10 - Ciclo das necessidades de energia primária de um edifício [97].

A fase 1 corresponde à energia total bruta do edifício, que é influenciada quantitativamente pela fase 2 e 3, através de estratégias bioclimáticas e dos ganhos de calor interno (correspondente ao calor proveniente da iluminação e dos ocupantes), respetivamente. Desta forma, recorreremos ao primeiro princípio a ser aplicado nos NZEB, reduzir as necessidades de energia útil de utilização do edifício, através do aumento da energia proveniente das fases 2 e 3. Quanto menor for a energia proveniente das fases anteriores, maior será a energia útil necessária fornecer ao edifício (fase 4), de modo a manter as condições de conforto térmico e visual desejadas pelos ocupantes. A fase 4, representa as necessidades de energia útil para aquecimento, arrefecimento, ventilação mecânica, preparação de AQS e iluminação do

edifício, que podem ser suprimidas ou diminuídas através da utilização de energia renovável (fase 5) produzida localmente (aerogeradores, coletores solares, painéis fotovoltaicos, bomba de calor, etc.). A fase 6, representa toda a energia fornecida ao edifício pela rede, resultado da soma de energia dos diferentes vetores energéticos (gás, eletricidade, biomassa, etc.), para alimentar os sistemas técnicos do edifício (caldeiras a gás ou a biomassa, esquentadores, etc..) e os sistemas de energia renovável que possam ser dependentes da importação de energia, como a bomba de calor e os coletores solares, quando apoiados por uma resistência elétrica. O processo acaba, quando a energia final entregue ao edifício é convertida através de fatores de conversão em energia primária, traduzindo toda a energia utilizada para extração, produção, transporte, perdas e armazenamento. A fase 7 é o indicador de energia primária, que representa o valor total da energia primária consumida para produzir uma unidade de energia final utilizada pelo edifício.

3.3 METODOLOGIA DE CÁLCULO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO

Seguidamente são apresentados os princípios básicos elaborados na descrição e caracterização dos detalhes relevantes para a avaliação do desempenho energético de um NZEB. A informação é baseada em Sartori [99], e complementada com informação recolhida no REHVA [69], Kurnitski [68] e Bourelle [10].

3.3.1 FRONTEIRA DO SISTEMA

A definição da fronteira de um edifício, é provavelmente, um dos aspetos mais importantes na metodologia de cálculo de um *net-zero energy building*. A delimitação permite identificar os fluxos de energia que nela são transpostas. A fronteira do sistema é uma combinação de uma fronteira do balanço, definindo quais as utilizações de energia que são contabilizadas no balanço e de uma fronteira física, definindo quais as áreas consideradas e como devem ser tratadas no balanço. Apenas a energia inserida dentro da fronteira do edifício pode ser considerada no balanço energético do edifício, onde são incluídos todos os vetores energéticos importados da infraestrutura e todos os vetores energéticos de fonte renovável exportados para a infraestrutura energética (Figura 3.11).

Como já foi mencionado, a maioria das definições de NZEB, assumem a conexão a uma ou a mais redes de energia, como por exemplo, à rede elétrica, à rede de aquecimento e arrefecimento urbano, à rede de gás e à importação de biomassa. Edifícios *on-grid* têm a vantagem de poder importar e exportar energia para a rede, ao invés dos edifícios *off-grid*, que não assumem conexão à rede, são dependentes de sistemas de geração de energia local, com recurso a combustíveis fósseis e/ou a sistemas de geração de fonte renovável, armazenando a energia em excesso para posterior utilização. Um edifício só poderá ser considerado um NZEB se considerar a existência dos dois sentidos de fluxo de energia, um recetor e um emissor, sendo necessário a delimitação de fronteiras para tal [99].

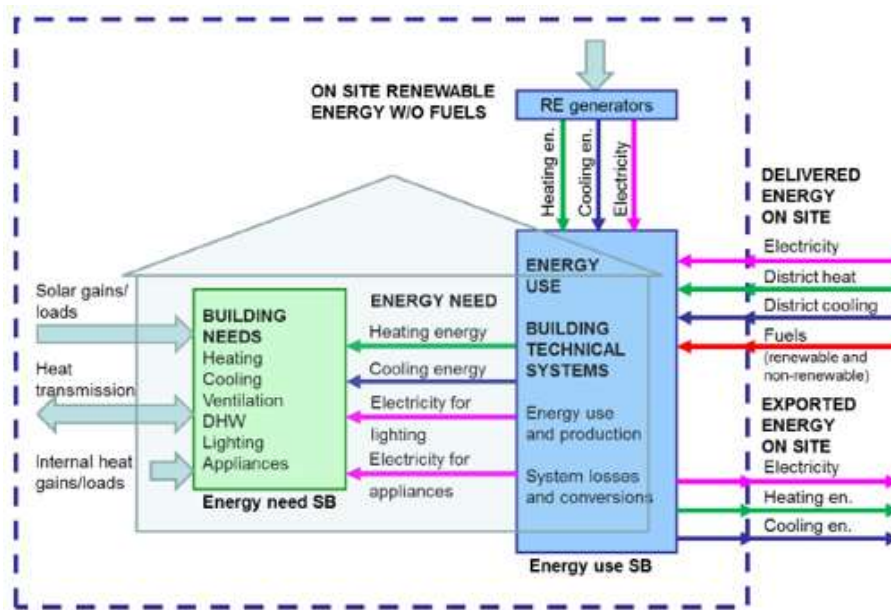


Figura 3.11 - Limite de fronteira de um edifício [69].

3.3.1.1 SISTEMA DE FRONTEIRA DO BALANÇO

A fronteira do balanço determina qual a energia que é contabilizada no cálculo do desempenho energético do edifício. A Diretiva 2010/31/UE, considera que deve ser contabilizada no caso de edifícios residenciais, a energia utilizada para o aquecimento, arrefecimento, ventilação, preparação de água quente e, no caso dos edifícios de serviço, é contabilizada adicionalmente a iluminação, excluindo as escadas rolantes, elevadores e todos os aparelhos utilizados pelos ocupantes [69]. No entanto, os Estados-Membros detêm o critério de incluírem ou excluïrem a iluminação e os aparelhos no balanço energético final, sendo recomendável que sejam incluídos no balanço energético todos os sistemas técnicos e equipamentos relacionados com o consumo de energia [68].

Vários autores consideram que na fase de projeto os fluxos de energia deveriam ser calculados horariamente, introduzindo perfis horários de ocupação e perfis horários das condições climáticas do local de implantação do edifício, mas esta informação constitui uma barreira ao cálculo energético, dada à sua inexistência nas legislações nacionais. Em Portugal, o desempenho energético dos edifícios residenciais e de serviço, é calculado mediante temperaturas médias sazonais, no entanto, nos residenciais o perfil de ocupação é constante, 24 h sob 24 h, assumindo-se nos edifícios de serviço, um perfil horário de ocupação.

A determinação do indicador de desempenho energético em fase de operação do edifício, é praticamente impossível quando não são incluídos todos os consumos do edifício, visto que o aparelho de medição dos fluxos de energia não discrimina as utilizações de energia de dispositivos não incluídos na fronteira do balanço. Uma definição de NZEB que não inclui todos os serviços energéticos operacionais, coloca em causa a verificação do desempenho energético do edifício, exigindo um sistema de medição muito mais sofisticado [99].

3.3.1.2 SISTEMA DE FRONTEIRA FÍSICA

Na definição de uma metodologia consensual para o cálculo da energia primária final, é necessário clarificar os fluxos de energia, assim como a quantidade de energia renovável a considerar. A caracterização da fronteira física de um edifício, é um dos aspetos mais discutidos entre os investigadores [99]. A fronteira física é útil para identificar se a energia de fonte renovável produzida no limite do lote, é *on-site* ou *off-site*, pois esta definição permitirá calcular o balanço energético, conforme será explicado nos seguintes subcapítulos. O REHVA, enaltece a distinção de três fronteiras físicas (Figura 3.12) [69]:

- Fronteira da energia utilizada;
- Fronteira do lote do terreno (*building site*);
- Fronteira da proximidade (*nearby*).

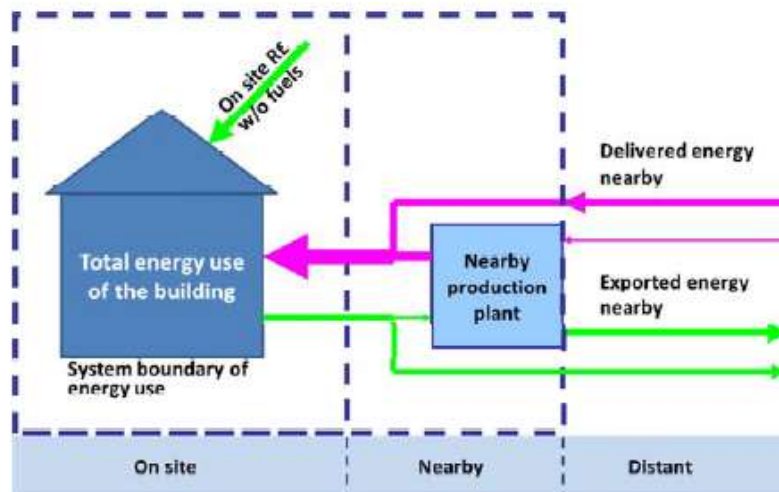


Figura 3.12 - Produção de energia renovável próxima do edifício [69].

- Fronteira da energia utilizada;

A fronteira de energia utilizada, inclui todas as áreas interiores ou exteriores no edifício, onde a energia é utilizada ou produzida, *on-site*, excluindo os sistemas técnicos afetos à conversão de energia renovável no edifício. Só devem ser incluídos os sistemas técnicos do edifício que necessitam de energia importada das redes de energia ou de energia renovável produzida no local [69]. O somatório dos fluxos energéticos para satisfazer as necessidades dos sistemas técnicos do edifício é denominado de “energia útil”.

Uma caldeira a biomassa, ou uma bomba de calor, estão incluídas na fronteira de utilização, apesar de serem capazes de converter energia proveniente de uma fonte renovável, exigem importação de energia da rede. Assim, qualquer sistema técnico que utilize combustíveis, mesmo de origem renovável, está incluído na fronteira de utilização de energia [68].

- Fronteira do lote do terreno (*building site*);

A fronteira do lote do terreno do edifício é a extensão da fronteira que inclui todos os sistemas técnicos do edifício que convertem energia proveniente de fontes renováveis, como por exemplo, os painéis fotovoltaicos, coletores solares, turbinas eólicas e hidroelétrica. Assim, a fronteira é útil para identificar os sistemas de geração renovável local. Se um sistema técnico, estiver instalado no interior do espaço delimitado pela fronteira, é considerado *on-site*. Por outro lado, se estiver fora do local delineado pela fronteira física então será *off-site*.

A título exemplificativo, considerando um edifício específico abastecido por energia proveniente de um sistema fotovoltaico que se encontra no perímetro do lote do edifício, se na definição da fronteira física só for considerado o edifício em questão, então o sistema fotovoltaico é considerado *off-site*. No entanto, se na fronteira física for considerado o perímetro do lote, então o sistema fotovoltaico é considerado, *on-site*. No caso de o sistema fotovoltaico ser propriedade e explorado por uma empresa ou um investidor que não seja o proprietário do edifício, sem ligação contratual ao edifício, o sistema fotovoltaico não poderá ser contabilizado no balanço energético, assim como outros sistemas de energia renovável nas mesmas condições [69].

A energia térmica e/ou elétrica produzida localmente por sistemas de fonte renovável é designada de «energia renovável *on-site*», caracterizada por não exigir a importação de energia da rede, não sendo aplicado um fator de conversão de energia primária [69]. Os combustíveis renováveis, não são considerados como energia renovável *on-site*, pois fazem parte “renovável” da energia primária importada pelo edifício, assim serão sempre afetados por fatores de conversão [68].

A energia térmica extraída do meio ambiente, como a energia geotérmica, é considerada «energia renovável *on-site*», mas a bomba de calor, que exige a importação de energia para a conversão, é considerada que pertence ao limite da utilização de energia. O somatório dos fluxos energéticos na entrada dos sistemas técnicos do edifício é designado de «energia final», incluindo os fluxos de energia importada (fronteira de utilização) e os fluxos de energia renovável gerada para autoconsumo (fronteira do lote do terreno).

- Fronteira de proximidade (*nearby*);

A fronteira de proximidade (*nearby*), é definida num contexto das condições nacionais para incluir a produção de energia renovável nas proximidades que está contratualmente ligada ao edifício. A designação de contratual neste caso, significa que a produção de energia renovável é destinada ao edifício, permitindo que seja utilizado um fator de conversão de energia primária diferente para a energia importada e exportada da produção nas “proximidades”, assegurando que essa nova capacidade conduza a um acréscimo real no *mix* energético das redes de energia [69].

As produções descentralizadas nas proximidades, como as redes urbanas de aquecimento e arrefecimento, caso estejam contratualmente ligadas ao edifício, originam fluxos energéticos entre a unidade de produção e o edifício que poderão ser tratados pelo mesmo método que

os fluxos energéticos *on-site*. Neste caso, a energia térmica poderá ser afetada por um fator de energia primária diferente ao definido a nível nacional, visto que a produção da energia térmica nas redes urbanas de aquecimento e arrefecimento é proveniente de fontes energéticas com reduzido fator de energia primária não-renovável [69]. Por outro lado, caso não seja verificado a ligação contratual, a energia térmica proveniente da rede urbana é tratada como fluxos de energia importada, independentemente da proximidade do local. Este tipo de contratos a longo prazo, é uma forma de o proprietário usufruir de energia renovável e ao mesmo tempo, a empresa detentora da produção de energia nas proximidades, receber também retorno pelo seu investimento, assegurando que essa nova capacidade levará a aumentar o *mix* energético da rede [68].

A fronteira de um sistema pode incluir um edifício ou um grupo de edifícios. Neste último caso, não é necessário que todos os edifícios sejam de balanço quase nulo de energia, mas na contabilização global, é necessário que seja cumprido este requisito. Para este efeito, a integração de um sistema de aquecimento urbano é feita através da partilha da mesma infraestrutura com outros edifícios vizinhos, ao invés dos painéis fotovoltaicos que são implantados numa área restrita do edifício [79].

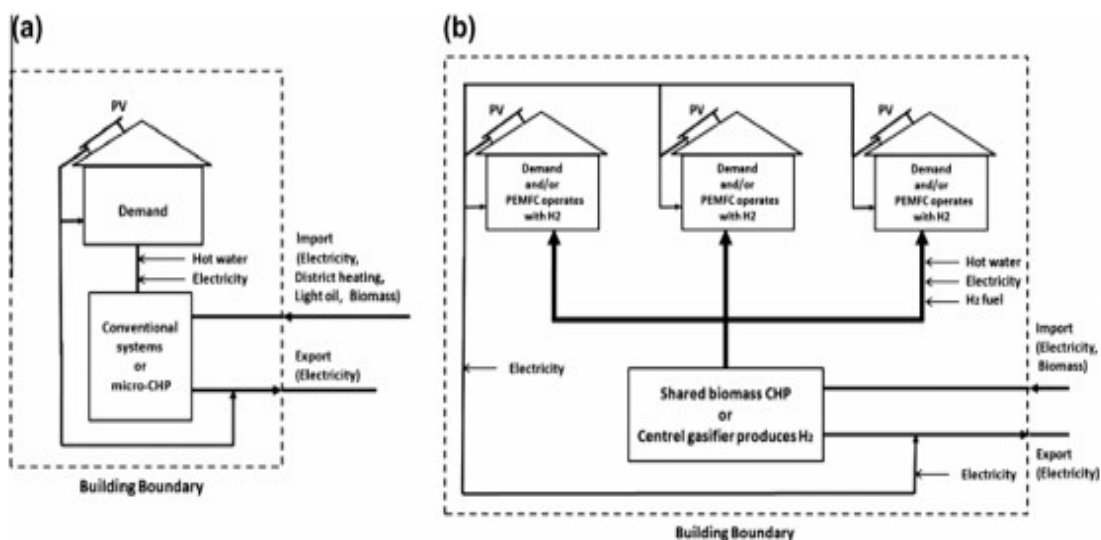


Figura 3.13 - Fronteira do edifício e os respetivos vetores energéticos da energia importada/exportada: a) um edifício isolado; b) uma comunidade de edifícios [79].

Na Figura 3.13 (a) é possível verificar que a fronteira da habitação unifamiliar é definida pela área de implantação do edifício, acrescentando uma pequena área exterior utilizada para a instalação de sistemas de produção de energia de fonte renovável, como a energia solar. Na Figura 3.13 (b), uma combinação de geração de calor e eletricidade (CHP), a uma pequena escala, que é partilhada por vários edifícios. Assim, a fronteira do edifício é estendida ao nível da comunidade de edifícios. O equilíbrio entre a exportação e a importação de energia é realizado pela contabilização dos fluxos energéticos que atravessam o limite da comunidade [79].

Uma definição consistente do NZEB, deverá permitir uma comparação significativa entre edifícios semelhantes em climas idênticos, bem como entre o desempenho energético durante a fase de projeto e a fase de monitorização após a sua edificação. É crucial a análise e a comparação de dados realizados ao edifício, tendo em consideração, possíveis desvios nos resultados, derivados de erros técnicos de operação e/ou de projeto e/ou resultante de diferentes perfis de utilização e de ocupação. Para isso, é necessário clarificar a futura funcionalidade do edifício, ou seja, especificar exatamente os níveis de padrão de conforto e a que condições climáticas o edifício está inserido.

3.3.2 SISTEMA DE PONDERAÇÃO

Na metodologia de cálculo do desempenho energético de um edifício, a energia consumida para satisfazer as diferentes necessidades nominais do edifício provém de diferentes fontes energéticas, como por exemplo, o gás, a eletricidade, os biocombustíveis e energia térmica das redes urbanas. O sistema de ponderação converte as unidades físicas de diferentes vetores energéticos numa métrica uniforme, de forma a permitir a avaliação de uma cadeia energética completa, incluindo processos de conversão, transmissão e distribuição da rede [99]. Neste contexto, o sistema de ponderação é importante, na medida, que atribui fatores de conversão aos vetores energéticos utilizados pelo edifício, no caso da métrica ser a energia primária, dependendo do sistema utilizado, pode ser simétrico, considerando que o mesmo vetor energético importado e exportado pelo edifício, tem o mesmo fator de conversão, e no caso de ser assimétrico, para o mesmo vetor energético, o fator de conversão é diferente nos dois sentidos de fluxo.

3.3.2.1 MÉTRICA

Anteriormente, referiu-se quatro tipos de balanço energético (*site energy*, *source energy*, *energy cost* e *energy emissions*) apresentadas por Torcellini [101], podendo ainda ser acrescentada uma quinta, a exergia pela definição de Kilkis [66]. A métrica utilizada num balanço energético, depende do tipo de balanço adotado. A métrica definida pela Diretiva 2010/31/UE é a energia primária (*source energy*), expressa num indicador numérico, que deverá ser utilizado por todos os Estados-Membros. Em seguida abordam-se três tipos de métrica a utilizar:

- Energia primária;
- Emissões de CO₂;
- Políticas de energia nacionais;

A energia primária é a energia final fornecida ao edifício resultante, da multiplicação da energia útil requerida dos sistemas técnicos pelos fatores de conversão por vetor energético, permitindo, que o edifício possa ser conectado a diversas infraestruturas de energia. Por sua vez, a classificação por emissões de CO₂, é um método que permite quantificar o carbono emitido para a atmosfera, apresentando um resultado mais perceptível de sensibilizar enquanto contexto dos objetivos da União Europeia.

A escolha da métrica, especialmente no enquadramento político, irá afetar o valor relativo dos vetores de energia, importados e exportados pelo edifício, pois nos regulamentos nacionais, muitas das vezes, são considerados fatores de energia primária ajustados, de forma a encorajar o consumo e a produção de alguns desses vetores, como por exemplo, a eletricidade [99]. Exemplos de fatores de conversão, estão documentados na Norma Europeia 15603, mas existem Estados-Membros que utilizam fatores diferentes na legislação nacional e regional. Posto isto, os fatores desenvolvidos não são constantes e podem ser alterados de acordo com as estratégias políticas de energia [105]. A quantificação exata dos fatores de conversão não é fácil de definir, especialmente para a eletricidade e a energia térmica da rede urbana, que dependem de vários fatores, como a eficiência da produção, as diversas fontes de energia que originam a energia final no consumo do edifício e o valor comercial atual ou futuro [99].

- Energia primária

Os edifícios possuem necessidades anuais de energia que precisam de ser satisfeitas, e a energia que o edifício utiliza é designada de energia final, sendo disponibilizada em diversas formas (eletricidade, combustíveis, gás, etc.). No entanto, a quantidade de energia que é fornecida ao edifício é a energia útil de todo um processo da cadeia energética, contrariamente à energia primária, que é a energia total que entra no sistema. Por este motivo, o consumo expresso em energia primária descreve melhor o impacto ambiental da utilização da energia escolhida. Neste sentido, existem fatores de conversão de energia primária, que permitem que seja estimada toda a energia requerida para fornecer uma determinada quantidade de energia ao edifício, devendo incluir pelo menos os seguintes pontos [98]:

- Energia consumida para a produção de uma unidade de energia;
- Energia perdida pelo transporte entre o ponto de produção e o ponto de utilização;
- Energia utilizada para o processo de armazenamento, transmissão, distribuição e outra operação necessária na entrega da energia ao edifício.

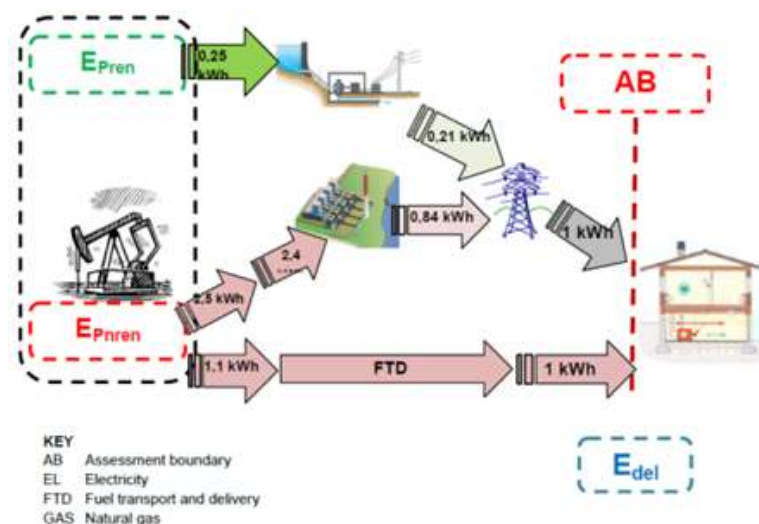


Figura 3.14 - Ciclo da produção de energia.

A Figura 3.14 apresenta o ciclo da energia desde a sua produção até ao ponto de utilização. Considerando que a média da eficiência europeia de uma central de produção de energia elétrica é de 40%, em cada 10 unidades de energia que entra no sistema de produção, apenas 4 unidades são energia útil, o equivalente a 2,5 de fator de conversão de energia primária. Visualizando a Figura 3.14, a cada 1 kWh fornecido ao edifício, são consumidos 2,5 kWh de energia para a sua produção.

Existem duas formas convencionais de definir os fatores de conversão de energia primária [98]:

- Fator de energia primária total: os fatores de conversão representam toda a energia disponibilizada pelo sistema desde a sua produção até ao ponto de utilização (extração, produção e transporte). O fator de energia primária total, resulta do somatório do fator de conversão de energia renovável e a energia não-renovável. Neste caso, o fator de conversão excede a unidade.
- Fator de energia primária não-renovável: os fatores de conversão representam toda a energia disponibilizada pelo sistema desde a sua produção até ao ponto de utilização, mas exclui a componente da energia renovável. Este caso é comum nas redes de *mix* energético, ou seja, quando a energia na rede contém energia proveniente de fontes renováveis. Neste caso o fator de conversão da energia primária renovável poderá ser inferior à unidade.

Considerando dois edifícios diferentes, que consomem a mesma quantidade de energia, mas contendo fatores de conversão de energia primária diferentes. Do ponto de vista de um «*site NZEB*», se os edifícios produzirem a mesma quantidade de energia (através de fonte renovável) do que aquela que consomem, durante o período de um ano, então os edifícios são considerados NZEB, no entanto, do ponto de vista do «*source NZEB*», é referido que os edifícios têm que produzir a mesma quantidade de energia do que aquela que foi consumida mas com base fonte (através a aplicação dos fatores de conversão nos vetores importados e exportados). Porém, pelo ponto de vista do «*source NZEB*», o edifício que tiver o maior fator de conversão de energia primária, é aquele que possui um sistema energético menos eficiente, e conseqüentemente, é aquele que terá que produzir mais energia localmente através de fontes renováveis. Mas do ponto de vista da energia final, ambos os edifícios são semelhantes, pois ambos produzem e consomem a mesma energia, razão pela qual é importante a métrica de classificação por energia primária afeta ao desempenho energético do edifício, pois permite um real impacto no meio ambiente.

Desta forma, entende-se a importância das políticas de energia no impacto energético dos edifícios, podendo favorecer alguns vetores energéticos em detrimento de outros, o que justifica a adoção de valores que não se baseiam apenas em considerações de natureza científica, mas também de natureza ambiental. O cálculo dos fatores de conversão da energia primária da energia existente na rede, depende da forma como a energia é utilizada e distribuída, assim como do enquadramento político dos Estados-membros [15].

Em termos legislativos, em Portugal, o Despacho 15793-D/2013 determina os fatores de conversão de energia primária, sendo eles [34]:

- $F_{pu} = 2,5 \text{ kWh}_{EP}/\text{kWh}$ para a electricidade, independentemente da origem (renovável ou não-renovável).
- $F_{pu} = 1 \text{ kWh}_{EP}/\text{kWh}$ para os combustíveis sólidos, líquidos e gasosos não renováveis.
- $F_{pu} = 1 \text{ kWh}_{EP}/\text{kWh}$ para a energia térmica de origem renovável.

No caso de combustíveis de origem renovável, os fatores de conversão de energia renovável devem ser afetados de um fator de redução face aos efeitos indiretos do transporte [105].

- Emissões de CO₂

A classificação por emissões de dióxido de carbono, permite que seja convertido por cada unidade de energia final utilizada pelo edifício, a quantidade de emissões de carbono associadas à energia primária consumida. Neste sentido, a classificação beneficiará apenas os vetores energéticos com vantagens ambientais. A classificação do desempenho energético NZEB por emissões de CO₂ tem sentido ser utilizada, no contexto dos objetivos propostos até 2020, e no roteiro até 2050, que visa a diminuição das emissões de CO₂ nos edifícios.

No Despacho 15793-D/2013, os fatores de conversão de energia primária para emissões de CO₂ (Quadro 3.4) [34].

Quadro 3.4 - Fatores de conversão de energia primária por vetores energéticos utilizados em Portugal [34].

Fonte de energia	Fator de conversão kgCO ₂ /kWh
Electricidade	0,144
Gasóleo	0,267
Gás Natural	0,202
GPL canalizado (propano)	0,17
GPL garrafas	
Renovável	0,0

- Políticas de Energia Nacional

No âmbito do contexto da eficiência energética, as ações nacionais e os programas de incentivo são a “locomotiva” para se alcançar os objetivos propostos pela União Europeia. Os

edifícios com consumo quase nulo de energia, são um dos pontos fulcrais no sentido da redução das emissões de CO₂ para a atmosfera e na diminuição do consumo de recursos fósseis. É importante que a influência de políticas sustentáveis impere neste sentido. No caso particular dos fatores de conversão de energia primária, as estratégicas políticas podem favorecer ou prejudicar determinados vetores energéticos, sem a necessidade de recorrer à consideração de natureza científica.

Vejamos o seguinte exemplo, no caso da utilização da biomassa e de biocombustíveis como fontes energéticas para satisfazer as necessidades de um edifício, no contexto do balanço energético por emissões de CO₂, estamos perante fontes extremamente atrativas, dado serem energias dotadas de fatores de conversão de energia primária reduzidos. No entanto, a biomassa, face à sua limitada disponibilidade, é um recurso que consumido em grandes proporções conduzirá a uma escassez. Para além de ser utilizada no setor dos edifícios, é utilizada também para outros fins, como a alimentação, constituindo um peso social e económico muito grande. Em certos países e regiões, será politicamente correto o aumento do fator de conversão da biomassa e dos biocombustíveis, com o intuito de reduzir a atração do consumo destas fontes energéticas. Por outro lado, outros países diminuiram os fatores de redução da eletricidade, para que se torne mais atrativo o seu consumo nos edifícios e na expectativa do aumento gradual da contribuição de energia renovável nas infraestruturas da rede nacional [99] [105].

3.3.2.2 SISTEMAS DE PONDERAÇÃO SIMÉTRICO E ASSIMÉTRICO

Existem duas abordagens no sistema de ponderação dos fatores de conversão de energia primária: abordagem de “carga evitada” (ponderação simétrica) e a abordagem de *energy payback* (ponderação assimétrica) [10]. A abordagem mais utilizada pela maioria das definições, é a ponderação simétrica para os vetores de energia importada e exportada. Neste caso, a energia exportada tem um valor de “substituição”, ou seja, irá evitar a produção da mesma quantidade de energia na rede. Pelo contrário, o sistema de ponderação assimétrico considera fatores de conversão de energia primária diferentes para os vetores energéticos importados e exportados do edifício.

- Ponderação simétrica: uma abordagem de “carga evitada”

A produção de energia renovável reduz efetivamente a procura de energia por parte do edifício à rede. No entanto, não garante ao edifício uma independência da rede, a maioria dos métodos até agora considerados nesta tese, baseiam-se na premissa de que a energia renovável produzida localmente por um edifício, evita o consumo de energia primária não-renovável da rede para fornecer a mesma quantidade de energia ao edifício, considerado que ao vetor energético exportado, é aplicado o fator de conversão de energia primária do vetor energético importado pelo edifício à rede.

Nesta perspetiva, o edifício é definido como NZEB, porque para além do balanço nulo de energia, evita o consumo de energia primária na rede, que de outra forma, teria sido importada

para um edifício tradicional (Figura 3.15). Este tipo de abordagem é também conhecido como “carga evitada” [10].



Figura 3.15 - Sistema de ponderação “carga evitada”, adaptado de [10].

O balanço energético baseado no sistema de ponderação da “carga evitada” considera, que a energia renovável produzida localmente e que é exportada para a rede, é afetada por um fator de conversão de energia primária igual ao da energia importada, e não, por um fator que realmente represente a energia incorporada no vetor energético [10]. Ao considerar o exemplo da Figura 3.15, a energia fornecida ao edifício, tem um fator de conversão de energia primária igual a 3, ou seja, por cada unidade utilizada são consumidas 3 unidades para a sua produção e transporte. Neste caso, a energia exportada terá o fator de conversão igual a 3, necessitando apenas de produzir uma unidade de energia para compensar a energia que lhe é fornecida.

Assim, o balanço energético poderá ser calculado por:

$$E_{exp,i}f_{exp,i}^p - E_{del,i}f_{del,i}^p = 0 \quad (8)$$

Observando a equação 8 [10], e considerando que o edifício em questão apenas importa energia elétrica na rede e exporta no mesmo vetor energético, através do método do sistema de ponderação de “carga evitada”, os fatores de conversão de energia primária são iguais, e então o resultado da equação pode ser colocado desta forma:

$$E_{exp,el} = E_{imp,el} \quad (9)$$

Analisando a equação 9 [10], o edifício para alcançar o balanço energético nulo, terá de fornecer energia à rede na mesma proporção quanto aquela que lhe foi fornecida. Este sistema conduz a uma situação paradoxal, quanto menor for a eficiência do processo de produção da energia importada da rede, maior será o fator de conversão de energia primária, e conseqüentemente, maior valorização terá a energia exportada. Ou seja, se a eletricidade fornecida ao edifício for derivada de um processo ineficiente, então a energia exportada do edifício através de fontes renováveis tem um maior valor do que, quando comparado com um processo de produção da energia importada mais eficiente. Assim, quanto maior for a eficiência do sistema da energia importada, maior será a quantidade de energia a exportar para compensar o balanço energético.

- Ponderação assimétrica: *energy payback*

O sistema de ponderação *energy payback* exige que seja restituída ao sistema energético, a energia consumida pelo edifício durante o seu ciclo de vida. A abordagem do sistema permite que seja avaliado o impacto ambiental do processo de construção e operação do edifício. De forma a perceber este método, é preciso entender que a energia primária não está incluída somente nos fatores de ponderação, mas também se encontra incorporada nos elementos construtivos do edifício bem como nas tecnologias renováveis [10].

Ao contrário do sistema de ponderação “*carga evitada*”, em que, o edifício para ser classificado de NZEB necessita apenas de compensar a energia final consumida, o sistema de ponderação *energy payback* (Figura 3.16) exige que seja “paga”, não a energia final, mas a energia primária utilizada para produzir a energia final.

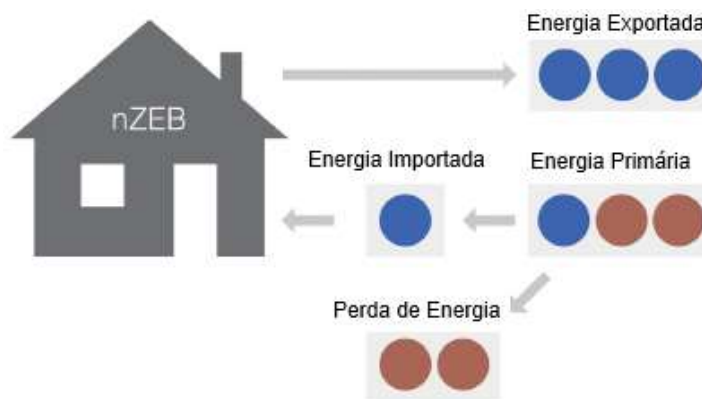


Figura 3.16 - Sistema de ponderação *energy payback*, adaptado de [10].

Tal como ilustra a Figura 3.16, uma rede energética que forneça 1 unidade ao edifício, mas que, por sua vez, consumiu 3 unidades para produzir essa unidade, obrigará o edifício a produzir 3 unidades para compensar a energia primária da cadeia energética. Este princípio resolve o problema associado à ponderação simétrica, pois a diferenciação de fatores de ponderação para a energia fornecida e exportada, beneficia a rede energética mais eficiente.

A equação seguinte, proposta por Bourelle [10], traduz o balanço energético *energy payback* entre a energia importada e exportada no contexto da fonte energética.

$$\Delta E_{source} = \sum (E_{exp,i}) - \sum (E_{del,i} f_{del,i}^p) - \sum (E_{emb,building}^p) - \sum (E_{emb,RES}^p) \quad (10)$$

Na equação 10, é possível observar que a energia exportada não é multiplicada por nenhum fator de conversão de energia primária, sendo obtida através da subtração da energia primária do vetor energético importado $\sum (E_{del,i} f_{del,i}^p)$, da energia primária incorporada nos materiais do edifício $\sum (E_{emb,building}^p)$ e da energia primária incorporada nos equipamentos de produção de

energia renovável $\Sigma(E_{emb,RES}^p)$. Para o edifício obter um consumo nulo de energia, terá que exportar tanta ou mais energia, quanto aquela que foi utilizada na importação de energia da rede e a que está incorporada no edifício.

Apesar dos sistemas de fonte renovável converterem energia renovável em energia útil, é necessária uma quantidade significativa de energia primária de origem não-renovável para a sua construção e manutenção durante o ciclo de vida.

3.3.3 BALANÇO ENERGÉTICO

O balanço energético de um *net-zero energy building* é calculado, como já foi referido anteriormente, pelo equilíbrio entre a procura de energia e a oferta desta. No entanto, o balanço poderá ser calculado através de diferentes formas, dependendo da disponibilidade de dados para estimar ou monitorizar o consumo próprio. Este último, é a fração da energia gerada localmente por sistemas de fonte renováveis que é utilizada diretamente no edifício, no entanto, torna-se variável no tempo, visto que é dependente dos padrões de consumo energético dos utilizadores finais.

Na Figura 3.17, estão representados três tipos de balanço: 1) balanço energia importação/exportação, quando existe a possibilidade de estimar em projeto ou monitorizar em fase de operação o consumo da energia produzida localmente; 2) balanço de energia carga/geração, quando tal estimativa ou monitorização não são possíveis de se realizar; 3) balanço através da utilização de valores líquidos mensais de carga e geração, sendo o método designado por balanço líquido mensal.

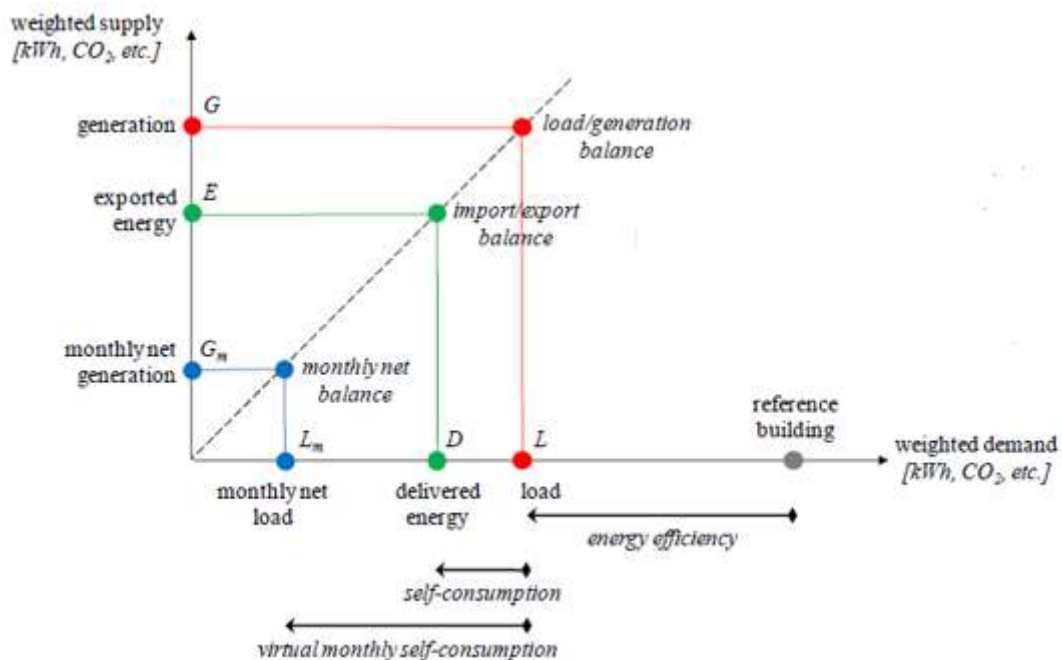


Figura 3.17 - Balanços energéticos: energia importada/exportada, carga/geração e balanço líquido mensal [99].

O balanço carga/geração, tal como mostra o gráfico, contempla todas as necessidades de energia do edifício e toda a energia gerada. No balanço importação/exportação, a energia importada é a energia real importada da rede, resultado da subtração da energia de autoconsumo à carga do edifício (Energia importada (D)= Carga (I) – autoconsumo (*self-consumption*)), assim como, a energia exportada é o resultado da subtração da energia de autoconsumo à energia gerada (Energia exportada (E)= Geração (G) – autoconsumo (*self-consumption*)). O balanço mensal, têm uma carga e uma geração menor que as restantes, porque, tal como o nome indica, contempla apenas a energia mensal.

Os diferentes balanços energéticos, podem contemplar diferentes períodos, sendo que este deve ser determinado, de forma a que, durante esse período, um edifício possa atingir o objetivo de NZEB. Um balanço anual, incluiria toda a energia importada e exportada, permitindo que a energia gerada no Verão pudesse compensar maiores consumos durante o período de aquecimento, o Inverno. Um período mais curto, como um balanço sazonal ou mensal, proporciona um menor “stress” na rede elétrica, mas exige ao edifício uma maior aplicação de medidas de eficiência de energia, assim como o armazenamento de energia gerada localmente e sistemas de geração mais estáveis, para atingir um balanço nulo, sem elevados ganhos solares. A Diretiva 2010/31/UE, considera para o cálculo do desempenho energético, o período de balanço como anual, expresso em kWh/m².ano [40].

Alguns países adotaram o balanço energético mensal, utilizando painéis fotovoltaicos para gerar eletricidade para autoconsumo, mas neste caso, é definido um limite de energia exportada para a rede mensalmente, não podendo ser superior à energia importada pelo edifício no respetivo mês. Isto significa que nos meses de Verão, que são caracterizados por picos de produção energética, a energia produzida em excesso e exportada para a rede, não poderá ser contabilizada no balanço energético [69].

- Balanço de energia exportada/importada (*export/import*)

A condição expressada pelo método energia exportada/importada (equação 11) é satisfeita quando a procura de energia por parte do edifício é totalmente compensada pela energia produzida por fontes renováveis localmente, durante um período de tempo, normalmente um ano [99].

$$E_{del,i} f_{del,i} - E_{exp,i} f_{exp,i} \geq 0 \quad (11)$$

Neste método, à soma da energia importada pelo edifício ($E_{del,i}$) é subtraída a energia exportada ($E_{exp,i}$), que de acordo com Sartori [99], este último é o vetor expresso em (kWh/ano) ou em (kWh/m².ano) que quantifica o fluxo de energia entre o edifício e a rede, multiplicados pelos fatores de conversão de energia primária, respetivamente. Face à falta de informação temporal sobre os perfis de ocupação, de utilização e à inexistência de normas nacionais e internacionais capazes de dar orientações sobre este ponto, o balanço energético através deste método, é difícil de estimar durante a fase de projeto, uma vez que carece de uma monitorização realista entre a interação da rede com o edifício e da energia renovável produzida, contabilizando todos os fluxos energéticos [55].

- Balanço de energia carga/geração (*load/generation*)

O balanço de energia total, obtém-se pela diferença entre a energia produzida no local (*generated*) e a energia total consumida pelo edifício durante a fase operacional, carga (*load*). Este método têm a particularidade de poder não considerar os fluxos de energia entre a rede e o edifício.

A maioria das legislações europeias não possuem metodologias para estimar a energia consumida pelo edifício, mas por outro lado, o método de carga/ geração evidencia ser o método mais indicado para a fase de projeto. Este método é um cálculo independente, que não necessita de quantificar a energia para autoconsumo, correspondendo apenas à energia gerada e a energia fornecida, tal como demonstra a equação seguinte:

$$\sum_i (G_i f_{exp,i}) - \sum_i C_i f_{del,i} = 0 \quad (12)$$

O balanço energético é nulo, quando a parcela G_i (energia total gerada localmente por sistemas de fonte renovável) iguala a parcela C_i (energia necessária fornecer ao edifício durante a sua operação). É o equivalente a assumir, que, por cada vetor energético, a carga é inteiramente satisfeita pela energia da rede, e a energia gerada localmente é completamente exportada para a rede, contudo, o balanço entre a carga e a energia gerada têm que se anular para que o edifício seja um NZEB [99].

- Balanço líquido mensal

O balanço líquido mensal tem a vantagem de ser simples de implementar, embora não seja independente da interação com a rede. O balanço é calculado baseado num «autoconsumo virtual mensal» não carecendo de simulações detalhadas ou estimativas de autoconsumo, pois a metodologia de cálculo é semelhante ao método geração/carga, mas referente apenas os valores mensais. No final do ano, são somados todos os balanços mensais.

$$\sum_i g_{m,i} f_{exp,i} - \sum_i l_{m,i} f_{del,i} = 0 \quad (13)$$

$$\text{“Geração”} \quad g_{m,i} = \sum_m \max[0, g_i - c_i] \quad (14)$$

$$\text{“Carga”} \quad l_{m,i} = \sum_m \max[0, c_i - g_i] \quad (15)$$

O balanço mensal permite uma maior aproximação entre a geração de energia e os perfis de consumo para cada mês, traduzindo um maior valor de energia destinada para o autoconsumo, assumindo uma compatibilidade máxima entre o edifício e os sistemas de geração. Embora os valores de consumo próprio mensal virtual sejam aproximações,

forneem alguma informação relativamente à interação sazonal do edifício com as redes de energia [99].

3.3.4 DESEMPENHO ENERGÉTICO

Em Portugal, para os edifícios de habitação, o indicador de desempenho energético é obtido pela razão entre o consumo energético de um edifício específico e o consumo energético de um edifício de referência, pela equação descrita no Despacho 15793-J/2013 [37].

$$R_{NT} = \frac{N_{tc}}{Nt} \quad (16)$$

Sendo o N_{tc} o valor das necessidades nominais anuais de energia primária do edifício e o Nt é o valor limite regulamentar para as necessidades nominais anuais de energia primária, referente ao edifício de referência. O cálculo das necessidades nominais anuais de energia primária de um edifício de habitação, é determinada, respeitando as disposições do regulamento de desempenho energético dos edifícios de habitação, pela soma das necessidades nominais de energia útil para aquecimento, arrefecimento, preparação de AQS e ventilação mecânica, com a multiplicação pelos valores de conversão de energia primária para cada vetor energético, subtraindo a energia de fonte renovável produzida no local, traduzido pela equação 17:

$$N_{tc} = \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{i,k} N_{ic}}{\eta_k} \right) f_j^p + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} \delta N_{vc}}{\eta_k} \right) f_j^p + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} Q_a}{A_p \eta_k} \right) f_j^p + \sum_j \frac{W_{vm,j}}{A_p} f_j^p - \sum_i \frac{E_{ren,i}}{A_p} f_i^p \quad (17)$$

Em que N_{ic} e N_{vc} são as necessidades nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento, respetivamente, expressas em kWh/(m².ano); Q_a representa as necessidades de energia útil para preparação de AQS (kWh/ano); W_{vm} é a energia elétrica necessária ao funcionamento dos ventiladores (kWh/ano); $E_{ren,i}$ é a energia produzida a partir da fonte de energia renovável i , energia para consumo próprio (kWh/ano); η_k representa a eficiência do sistema k , que toma o valor 1 no caso de sistemas para aproveitamento de fontes de energia renovável, à exceção de sistemas de queima de biomassa sólida; A_p é a área útil de pavimento, expressa em m²; O f_j^p e o f_i^p representam os fatores de conversão da energia primária (kWh_{ep}/kWh); j representa todas as fontes de energia, incluindo as de origem renovável; i representa as fontes de energia renovável; δ é um fator igual a 1, exceto para o uso de arrefecimento, em que pode tomar o valor 0 sempre que o fator de utilização de ganhos térmicos seja superior ao respetivo fator de referência, o que representa as condições em que o risco de sobreaquecimento se encontra minimizado.

O edifício que se pretende conhecer o desempenho energético, é comparado com um edifício de referência, ou seja, é efetuado o mesmo procedimento para o edifício de referência, com

a mesma orientação, a mesma área de envolvente exterior e interior, a mesma tipologia e sistemas técnicos, divergindo apenas nos valores característicos que são os propostos pela legislação em vigor.

3.3.4.1 INDICADOR DE ENERGIA PRIMÁRIA

O indicador de energia primária resume todos os vetores energéticos importados e exportados num único resultado. Segundo o REHVA [69], o objetivo do indicador é analisar a utilização de combustíveis fósseis ou outras fontes de energia não-renovável poluentes no edifício, multiplicados, respetivamente, pelos fatores de energia primária não-renovável, como demonstra a equação 18. O fator de conversão de energia primária não-renovável é dado pela diferença entre o fator de conversão total, subtraído da parcela renovável.

O indicador de energia primária pode ser utilizado para definir o nível de desempenho energético de um *nearly/net-zero energy building* [69].

$$EP_p = \frac{E_{p,nren}}{A_{net}} = \frac{\sum_i(E_{del,i}f_{del,nren,i}) - \sum_i(E_{exp,i}f_{exp,nren,i})}{A_{net}} \quad (18)$$

Onde EP_p - indicador de energia primária (kWh/(m² ano)); $E_{p,nren}$ - indicador de energia primária não-renovável (kWh/ano); $E_{del,i}$ - energia fornecida ao edifício por tipo de energia (kWh/ano); $E_{exp,i}$ - energia exportada pelo edifício por tipo de energia (kWh/ano); $f_{del,nren,i}$ - fator de conversão de energia útil não-renovável em energia primária por tipo de energia fornecida ao edifício; $f_{exp,nren,i}$ - fator de conversão de energia útil não-renovável em energia primária por tipo de energia exportada pelo edifício; A_{net} - área de pavimento útil do edifício (m²).

3.3.4.2 INDICADOR DE EMISSÕES DE CO₂

O indicador de emissões de CO₂, providencia informação adicional das consequências ambientais dos vetores energéticos utilizados, no contexto da libertação de CO₂ para a atmosfera durante a fase de transformação da energia. Este indicador obtém-se pela razão entre o coeficiente de emissões de CO₂ (soma de quantidade as emissões de CO₂ para a atmosfera por unidade de energia fornecida ao edifício, subtraindo as emissões evitadas pela produção de energia de fonte renovável) pela área de pavimento útil do edifício (equação 19). Porém, o coeficiente de emissões pode também incluir emissões de outros gases com efeito de estufa, como o metano [69].

$$EP_{CO_2} = \frac{m_{CO_2}}{A_{net}} = \frac{\sum_i(E_{del,i}K_{del,i}) - \sum_i(E_{exp,i}K_{exp,i})}{A_{net}} \quad (19)$$

Onde EP_{CO_2} - indicador de emissões de CO₂ (gCO₂/(m².ano)); m_{CO_2} - quantidade de emissões de CO₂ libertadas (gCO₂/ano); $E_{del,i}$ - energia fornecida ao edifício por vetor energético (kWh/ano); $E_{exp,i}$ - energia exportada pelo edifício por vetor energético (kWh/ano); $K_{del,i}$ -

coeficiente de conversão de energia útil em emissões de CO₂ por vetor energético fornecido ao edifício; $K_{exp,i}$ – coeficiente de conversão de energia útil em emissões de CO₂ por vetor energético exportado pelo edifício; A_{net} – área de pavimento útil do edifício (m²).

3.3.4.3 FRAÇÃO DE ENERGIA RENOVÁVEL

Embora seja introduzido no relatório do REHVA [69], o cálculo da fração de energia renovável no consumo energético, a Diretiva 2010/31/UE não exige que seja calculada nos edifícios com consumos quase nulos de energia. O indicador da fração de energia renovável (RER), é complementar ao indicador da energia primária, uma vez que as energias renováveis são uma medida para reduzir a energia primária não-renovável, o objetivo principal da Diretiva 2010/31/UE [68].

A fração de energia renovável (RER) é a razão entre o consumo de energia primária de fonte renovável e o consumo de energia primária total (equação 20), considerando que os fluxos de energia que atravessam a fronteira do edifício, são ponderados com os respetivos fatores de energia primária, cuja expressão é a seguinte:

$$RER_p = \frac{\sum_i E_{ren,i} + \sum_i ((f_{del,tot,i} - f_{del,nren,i}) E_{del,i})}{\sum_i E_{ren,i} + \sum_i (E_{del,i} f_{del,tot,i}) - \sum_i (E_{exp,i} f_{exp,tot,i})} \quad (20)$$

A quantidade de energia renovável consumida no edifício, inclui a energia renovável produzida no local, $\sum_i E_{ren,i}$, e a energia renovável importada, $\sum_i ((f_{del,tot,i} - f_{del,nren,i}) E_{del,i})$. A energia importada, $\sum_i (E_{del,i})$ é ponderada com o fator de energia primária renovável (diferença entre os fatores de energia primária total e não-renovável). O consumo de energia primária total (denominador) inclui a energia renovável produzida localmente, $\sum_i E_{ren,i}$, e a energia primária total importada, $\sum_i (E_{del,i} f_{del,tot,i})$, às quais é subtraída a energia primária total exportada, $\sum_i (E_{exp,i} f_{exp,tot,i})$.

As energias renováveis contabilizadas na equação 20, incluem a energia solar térmica, a solar elétrica, a eólica, a hidroelétrica, a energia renovável proveniente de fontes de calor ambiente por bombas de calor, combustíveis de origem renovável e energia renovável gerada nas proximidades. As bombas de calor não são vistas apenas como sistemas técnicos do edifício que exigem importação de energia elétrica, mas também sistemas capazes de extrair energia térmica a partir de fontes do meio ambiente [68]. A energia solar passiva pertence à fronteira do sistema de necessidades energéticas, e não à energia renovável, portanto, não é contabilizada no cálculo do RER. A fronteira de utilização de energia renovável, indicando quais os fluxos de energia relevantes para o cálculo do RER, estão demonstrados na Figura 3.11, do capítulo da fronteira do sistema.

Se a energia renovável produzida nas proximidades for fornecida ao edifício através da rede urbana de aquecimento ou arrefecimento, será utilizado um fator primário diferente daquele que se considera para a rede ou para o *mix* energético, mas unicamente se estiver contratualizado [68]. Por padrão, a energia exportada compensa o *mix* energético da rede, assim como no caso da energia térmica, proveniente da rede de aquecimento ou

arrefecimento urbano. Para a energia fornecida, são considerados o fator de energia primária total e o fator de energia primária não renovável [69]. Para a energia renovável produzida *on-site* e nas proximidades, em Portugal, o fator de energia primária total é de 2.5, fator de conversão igual à energia elétrica importada da rede nacional.

3.3.5 CARACTERÍSTICAS DA COMPATIBILIDADE DE CARGA TEMPORAL

Os edifícios estão geralmente conectados à rede, havendo a necessidade de quantificar os fluxos de energia que interagem com a mesma. É fundamental que a rede esteja preparada para fornecer energia elétrica ao edifício durante os picos de consumo e preparada para receber a energia exportada pelo edifício durante os picos de produção. Posto isto, é expectável que um *net-zero energy building* tenha uma relação constante, sem variar em demasia, a geração de energia local e a energia consumida da rede. Assim, o conhecimento desta informação permite um dimensionamento energético adequado ao edifício, evitando-se sobrecargas e mantendo as tensões dos fluxos energéticos dentro dos limites prescritos.

São apresentadas duas características da compatibilidade de carga [99]:

- Compatibilidade de carga (compatibilidade entre a geração de energia no local e as necessidades do edifício);
- Interação com a rede (compatibilidade entre a energia exportada para a rede e as necessidades da rede).

Para a avaliação destas duas características, os indicadores devem ser calculados para cada vetor energético separadamente. A compatibilidade de carga e a interação com a rede são dependentes do tipo de vetor energético utilizado e da resolução temporal. Quando o abastecimento de energia é baseado em combustíveis fósseis, torna-se irrelevante a sua determinação, mas quando é utilizado energia elétrica, assume um papel fundamental [98].

A incompatibilidade de carga temporal ocorre ao nível horário/diário, existindo um diferendo na produção instantânea com as necessidades de consumo do edifício, assim como a nível sazonal, o que acontece na maioria dos climas, a geração de maior quantidade de energia ocorre na estação de Verão, não coincidindo com o maior consumo de energia do edifício, na estação de Inverno [106]. Posto isto, a produção horária de energia renovável encontra-se limitada em disponibilidade com as necessidades do edifício. Os edifícios que utilizam sistemas de produção de energia *on-site*, beneficiam da vantagem da sua disponibilização imediata para autoconsumo e pela independência das exigências políticas da infraestrutura da rede local.

- Compatibilidade de carga

A compatibilidade temporal entre o autoconsumo e a produção para cada vetor energético reflete a capacidade de um edifício trabalhar em sinergia com a rede. Quando há uma correlação fraca entre a carga e a geração de energia, principalmente a carga durante o Inverno e a geração durante o Verão, o edifício está fortemente dependente da rede. Se, pelo contrário, a carga e a geração forem fortemente correlacionados, o edifício tem uma maior

hipótese de ajustar o autoconsumo, o armazenamento e a exportação de energia em resposta aos sinais da rede. A correspondência da carga pode ser abordada na fase de projeto por cálculos ou por simulações entre a carga e geração, sem necessidade de conhecer ou estimar o autoconsumo [99].

Para além da classificação no âmbito do balanço de energia anual, os edifícios NZEB podem ser caracterizados por outros indicadores que caracterizem a interação entre a carga e a geração e a sua ligação com a rede [51].

Indicadores para a compatibilidade de carga podem ser considerados os seguintes:

- Índice de Fração de Energia Renovável (*on-site energy fraction*);
- Índice de Compatibilidade de Energia renovável (*on-site energy matching*).

O índice de fração de energia renovável representa a fração da procura de energia que é compensada pela energia renovável gerada localmente. Na ausência de armazenamento, é determinado pela razão entre o autoconsumo e as necessidades de energia do edifício.

O índice de compatibilidade de energia renovável é a fração de energia renovável produzida localmente que é injetada no edifício para satisfazer as necessidades. É determinada pela razão entre o autoconsumo e a produção de energia no local [98].

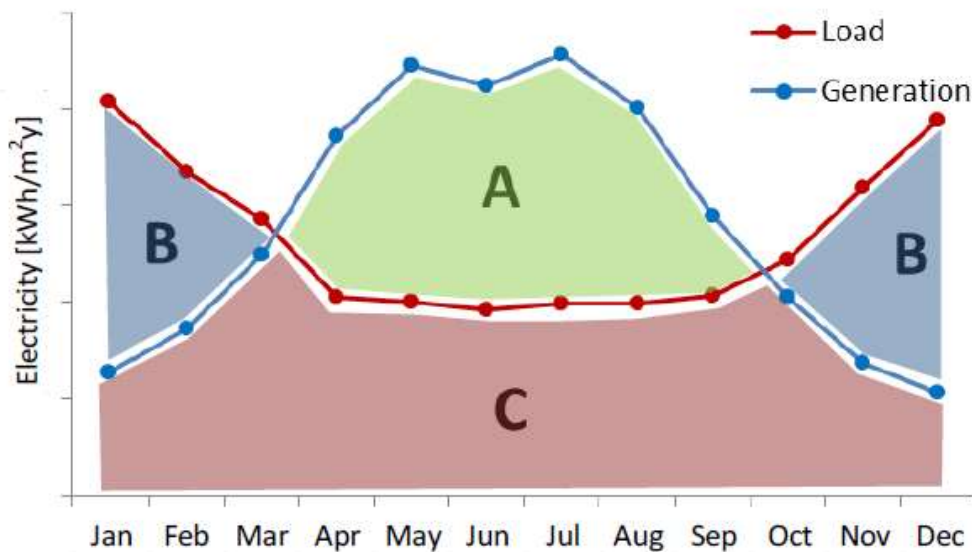


Figura 3.18 - Perfil de consumo e geração local de um edifício [98].

A Figura 3.18 representa as necessidades de energia elétrica de um edifício e a geração local de energia elétrica de fonte renovável, a incompatibilidade de carga do edifício poderá ser observada pela diferença entre o perfil de maior produção de energia, nos meses de Verão e o perfil de maior consumo de energia, nos meses de Inverno. Se o edifício utilizar vetores energéticos como o gás ou a biomassa, o gráfico revelava uma carga mais plana ao longo do

ano, porque durante o Inverno, as necessidades energéticas para aquecimento seriam satisfeitas com recurso a combustíveis, diminuindo, deste modo, a energia elétrica importada para os sistemas de aquecimento e a distribuição sazonal seria mais equilibrada.

A área verde, designada pela letra A, corresponde à energia que se encontra em excesso pela produção de energia renovável e que é exportada para a rede. A área azul, designada pela letra B é a área correspondente à energia importada da rede para compensar todas as necessidades de consumo de energia do edifício. Por sua vez, a área C, corresponde à energia renovável consumida pelo edifício (autoconsumo) através da geração “in situ”. A carga total do edifício, ou seja, o consumo total do edifício é dado pela área B + C, e a produção total da energia renovável “in situ” é a soma da área C + A. Concluindo, o índice de fração de energia renovável é apresentado pela razão $\frac{C}{B+C}$, e o índice de compatibilidade de energia renovável, a razão $\frac{C}{A+C}$ [98].

Os indicadores são influenciados pelo perfil de consumo e pela funcionalidade do edifício. De acordo com o REHVA [69], um sistema fotovoltaico pode satisfazer cerca de 60 a 80% das necessidades globais de um edifício, mas quando o sistema é avaliado horariamente, os índices de compatibilidade de carga caem para 30 %, podendo ser mesmo inferiores caso não se tome medidas de gestão de carga ou armazenamento de energia.

Um sistema fotovoltaico de grandes dimensões dificilmente melhora o índice de compatibilidade da carga, a menos que o edifício possua um equipamento de armazenamento de energia elétrica ou apresente um perfil de consumo semelhante ao perfil de produção de energia. O armazenamento de energia, é uma das soluções que pode ser utilizada no edifício, através de baterias recarregáveis, sempre que a produção supera o consumo do edifício.

- Interação com a rede

Para avaliar a interação entre um NZEB e a rede a que está conectado, é necessário conhecer o perfil de importação/exportação de energia. Para isso é essencial ter informação adicional sobre as características da rede, concretamente as condições da capacidade entre a carga normal do edifício e o pico de consumo do mesmo, os preços das tarifas a que o edifício está sujeito e os fatores de emissão de carbono da rede. Por outro lado, a interação com a rede deve ser planeada com base em dados de medição ou simulação. Na fase de projeto de um NZEB é importante conhecer os perfis de utilização e de ocupação (habitação, industrial, escolar) [106].

O índice de interação da rede representa a variabilidade (desvio padrão) do fluxo de energia (exportação líquida) num ano, normalizado com o maior valor absoluto. A exportação líquida do edifício é definida como a diferença entre a energia exporta e importada durante um determinado intervalo de tempo [105]. Assim, os projetistas dos edifícios NZEB, possuem como objetivo primordial aumentar a flexibilidade da interação com a rede, que consiste na capacidade de o edifício coincidir a geração local com as necessidades das redes locais.

4 SISTEMA FOTOVOLTAICO

Durante a última década, devido ao desenvolvimento da tecnologia dos painéis fotovoltaicos e da inserção de medidas políticas que promovem e facilitam a sua implementação, a produção de eletricidade através de energia solar cresceu cerca de 40% no mundo. No entanto, esta tecnologia representa apenas 0,2% da produção mundial de eletricidade e 4,7% da energia renovável, excluindo a energia hidroelétrica [53].

Como forma de produção de energia elétrica, a tecnologia PV (Painel Fotovoltaico) permite que 10% da população mundial rural tenha acesso a energia elétrica [16]. Este tipo de sistema possui um elevado potencial de interesse em países em vias de desenvolvimento, quer devido às extensas áreas territoriais sem abastecimento da rede de eletricidade, quer por não envolver grandes custos na construção de infraestruturas. Por outro lado, em termos ambientais, a sua aplicação permite o aumento da eficiência energética global nos edifícios, permitindo desta forma reduzir as emissões de dióxido de carbono (CO₂) para a atmosfera. Um estudo liderado pelo *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) [80], concluiu que durante o ciclo de vida dos painéis fotovoltaicos, incluindo o processo de fabrico do sistema, a sua manutenção e eliminação, corresponde no total, 40 gCO₂eq/kWh de energia primária, ao invés dos 1000 gCO₂eq/kWh de energia primária utilizada numa central de carvão. Comparando o ciclo de vida de cada um, a maioria das emissões de CO₂ numa central de carvão, ocorrem durante a queima de combustíveis fósseis e no caso dos painéis fotovoltaicos, as emissões estão no fabrico dos painéis.

O efeito fotovoltaico, observado pela primeira vez em 1839 por Edmund Becquerel, consiste na existência de uma corrente elétrica, ao expor à luz dois elétrodos de prata num eletrólito. No entanto, a eficiência destes sistemas era tão reduzida, que o desenvolvimento de células solares com interesse científico só teve início em 1954, quando Chapam e respetivos colaboradores, do *Bell Laboratory* (EUA), publicaram o primeiro artigo sobre células em silício, com uma eficiência de 4,5% [16].

Tratando-se de uma fonte de energia limpa, inesgotável, de produção silenciosa, com um custo de manutenção reduzido, quando comparado com outros sistemas, possui a vantagem de fácil instalação, sobre as coberturas dos edifícios, conhecidos como BAPV (*Building-Adapted PV Systems*) - ou integrados nas coberturas ou fachadas, sistemas designados de BIPV (*Building-Integrated PV Systems*) [9].

No contexto da instalação dos sistemas fotovoltaicos, no caso dos BIPV, a sua utilização, geralmente associada a edifícios novos, é integrada como parte da envolvente do edifício, estabelecendo uma relação simbiótica entre o projeto arquitetónico, as propriedades funcionais e a conversão de energia numa regeneração da economia do edifício [9].

Assim, o BIPV, pode substituir um elemento do revestimento, permitindo uma redução dos custos, mas também pode ser enquadrado na reabilitação de coberturas de edifícios

existentes. No caso dos BAPV, os painéis fotovoltaicos são adicionados posteriormente ao edifício, como é possível observar na Figura 4.1 a).

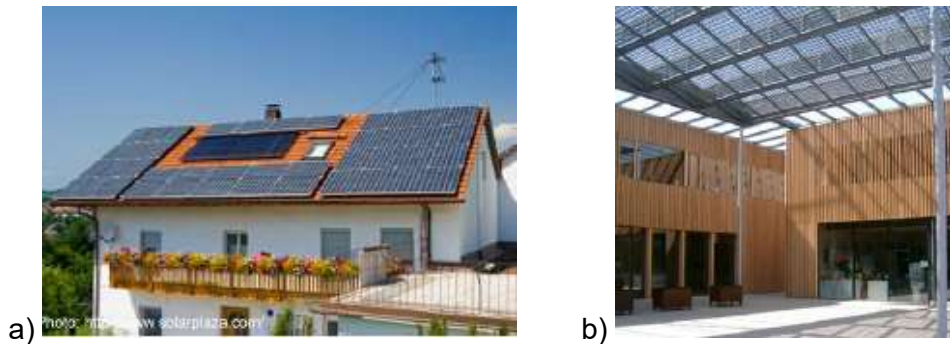


Figura 4.1 - Instalação de painéis fotovoltaicos: a) *Building-Adapted PV Systems* (BAPV) b) *Building-Integrated PV Systems* (BIPV)

O tempo de retorno energético dos painéis fotovoltaicos é definido como o tempo necessário para produzir energia suficiente para compensar a energia gasta no seu fabrico. No caso dos painéis “standards”, o tempo situa-se entre os 2 e 3 anos. Tendo em consideração, que o tempo médio de vida útil de um painel fotovoltaico é de pelo menos 20 anos, este é capaz de produzir cerca de 10 vezes mais energia, do que a energia necessária durante o seu processo de fabrico [13]. Deste modo, a rentabilidade de um sistema de painéis fotovoltaicos não é determinada apenas pelo custo do investimento inicial, mas também pela eficiência do sistema instalado, a área de instalação e exposição solar. No entanto, existem outros fatores que condicionam o desempenho de um sistema fotovoltaico, como fatores ambientais: temperatura e vento e ainda fatores relacionados com a relação utilizador - tecnologia. Em termos de eficiência do painel fotovoltaico, apenas 82% da energia total produzida (produção líquida) é proveniente do campo de geradores, existindo uma pequena percentagem de energia que é perdida na sua conversão, como é, o exemplo das perdas internas por degradação nos módulos (5%), das perdas térmicas (7,12%) e das perdas por acumulação de poeiras nos módulos (5,86%) [16]. Ainda se considerarmos todo o processo de produção, distribuição e consumo, as perdas atingem os 38% do total de energia produzida pelas células PV. No caso de sistemas com acumulação de energia com baterias há que considerar ainda as perdas associadas aos ciclos de carga e descarga [16].

A indústria da tecnologia fotovoltaica tem tido um enorme crescimento nos últimos anos, influenciando consideravelmente os preços dos mercados. Em média, o preço dos módulos diminuiu cerca de um quinto, e no caso dos sistemas em quase um terço [61]. Apesar do elevado custo dos painéis fotovoltaicos, existe um rápido retorno do investimento.

4.1 AUTOCONSUMO

Através do desenvolvimento e da inovação das tecnologias dos sistemas de produção de energia renovável, impulsionados pelas políticas adotadas pela União Europeia, assistimos a

uma revolução no mercado da energia. A definição de autoconsumo, pode ser explicada pela energia produzida por um sistema fotovoltaico que é consumida diretamente pelo produtor, que usualmente é o proprietário do sistema. No entanto, para o proprietário, a implementação de sistemas fotovoltaicos tornar-se-á mais atrativa, para além das qualidades de uma solução sustentável e inesgotável, quando for alcançado a paridade da rede, definindo-se esta, como o ponto de inflexão no desenvolvimento da energia renovável, mais especificamente, da energia fotovoltaica, em que o custo unitário de 1 kWh produzido por energia de fonte renovável é inferior ao custo de 1 kWh comprado na rede [18].

O resultado da implementação destes sistemas nos edifícios, a pequena escala, é bastante benéfico para os agregados familiares e empresas, permitindo consumir a energia produzida localmente, de forma instantânea ou diferida através de armazenamento descentralizado, o que se traduz na diminuição dos custos da eletricidade, incentivando ainda a padrões de consumo inteligentes. Os consumidores passivos estão-se a tornar *prosumer's* (produtores e consumidores de energia de fonte renovável). Os sistemas fotovoltaicos permitem responder às necessidades de consumo, apresentando uma elevada taxa de autoconsumo e de autossuficiência [65].

O nível de autoconsumo depende do perfil de carga, das condições atmosféricas locais e da tecnologia do sistema de produção utilizado. A motivação de um *prosumer*, reside na expectativa de produzir energia elétrica mais barata do que a compra de energia elétrica da rede, providenciando níveis de independência energética suficientes para mitigar os efeitos financeiros da instabilidade da rede [65]. No entanto, é expectável que os edifícios comerciais e industriais obtenham rácios de autoconsumo superiores aos edifícios residenciais, podendo atingir valores entre os 50% - 80%. Isto porque existe uma maior correlação entre o consumo (grande utilização de equipamentos de refrigeração) e a produção de energia durante o dia. O pouco espaço disponível nas coberturas dos edifícios pode ser um obstáculo aos índices de autossuficiência.

A maior dificuldade do autoconsumo, prende-se no desequilíbrio entre os períodos de pico de produção de energia e os períodos de consumo. No entanto, existem várias formas de atenuar o problema, como por exemplo, através da utilização de um controlador (domótica), que otimiza a utilização de alguns aparelhos eletrónicos, como por exemplo, os equipamentos de refrigeração e as máquinas de lavar loiça e roupa. Ao ajustar os horários de funcionamento, aumenta-se o consumo para o período de maior produção de energia. Por outro lado, no caso de equipamentos com influência direta no conforto térmico do edifício, podem ser ligados durante o período de produção, aparelhos de ar condicionado e sistemas de aquecimento de águas sanitárias, aproveitando depois a inércia térmica do edifício para armazenar a energia térmica despendida [61].

Existem dois conceitos que não devem ser confundidos: o autoconsumo e a autossuficiência. O autoconsumo é o rácio de energia produzida localmente pelo sistema fotovoltaico e a energia para consumo próprio, enquanto a autossuficiência, é o rácio da energia renovável utilizada para cobrir as necessidades energéticas do edifício [72]. De acordo com o gráfico da Figura 4.2, os dois conceitos deverão ser iguais para se alcançar um *net-zero energy building* [70].

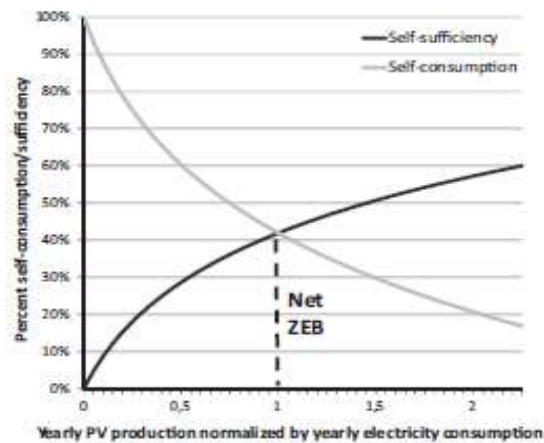


Figura 4.2 - Autoconsumo vs autossuficiência num NZEB [70].

É previsível que haja uma resposta positiva dos mercados de energia elétrica, ocorrendo oscilações das taxas de venda da energia, ou seja, uma tarifa mais baixa nos períodos de maior produção e uma tarifa mais elevada nos períodos de maior procura e oferta limitada [18]. É de salientar, que nem toda a eletricidade gerada localmente pelos *prosumers* é utilizada pelo edifício, que devido à incompatibilidade de carga, é entregue à rede.

4.1.1 PARIDADE DA REDE

A paridade da rede para o autoconsumo direto representa a ótima situação de que, 100% da eletricidade produzida é autoconsumida, o que geralmente não é possível. Os “produtores” de energia renovável, injetam a eletricidade que não é consumida no edifício e recebem uma recompensa monetária para que o projeto seja viável. A paridade da rede é alcançada quando o custo da geração de eletricidade local é igual ao custo do preço da energia comprada na rede (Figura 4.3).

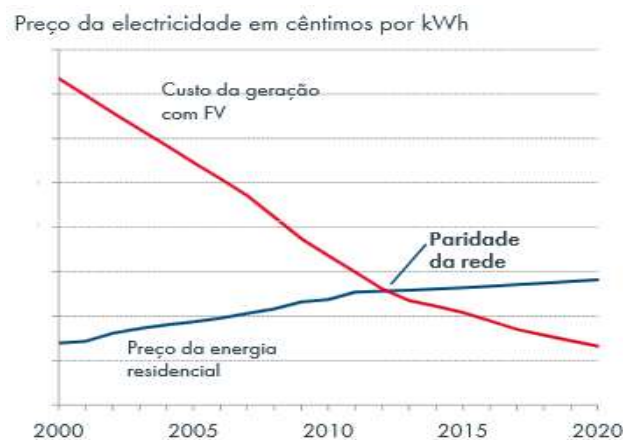


Figura 4.3 - Exemplo da definição de paridade da rede.

Embora os benefícios dos sistemas fotovoltaicos na redução dos gases com efeito de estufa sejam relativamente claros, os impactos no sistema energético, ainda não são compreendidos. Estes impactos na integração do sistema energético precisam de ser avaliados para que o custo total do PV seja quantificado [28]. Por conseguinte, é essencial compreender o custo total do sistema fotovoltaico, que resulta da soma do custo da eletricidade gerada (*Levelized Cost Of Electricity* - LCOE) e o custo do sistema PV. Este último é definido como o custo total das infraestruturas adicionais e/ou custos operacionais adicionais para o sistema como resultado da integração da geração de energia fotovoltaica (Figura 4.4) [28].

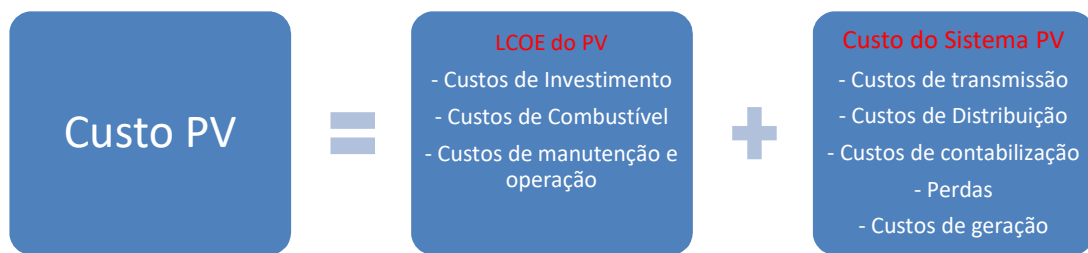


Figura 4.4 - Fatores envolvidos na determinação do custo do sistema fotovoltaico.

O parâmetro que determina o custo de geração da eletricidade, é LCOE, que representa o custo por kWh da energia gerada por diferentes tecnologias. Esta é determinada pelo custo de produção de energia, compreendendo todos os custos ao longo do ciclo de vida do sistema, o que inclui o investimento inicial (fabrico, aquisição do material, instalação, projeto de desenvolvimento), as operações e manutenções, os custos de combustíveis e os custos de capital [28]. O LCOE para um sistema de painéis fotovoltaicos é o rácio entre o custo total de produção (€) e o total de energia produzida (kWh) durante o ciclo de vida útil do sistema. Para determinar a competitividade de gerar energia via painéis fotovoltaicos é importante determinar o custo da geração de energia e comparar com o preço de compra de eletricidade à rede.

No entanto, para o investidor, a definição de LCOE pode não ser a mais correta, tendo mais sentido comparar o total de poupanças geradas pelo sistema fotovoltaico instalado (autoconsumo) com o total de despesas, caso o mesmo não estivesse instalado.

A competitividade de um sistema fotovoltaico depende da localização, da tecnologia, do custo do investimento e do custo de manutenção e operação. A competitividade de um sistema fotovoltaico é atingida quando o sistema produz eletricidade mais barata do que outros sistemas de produção de eletricidade poderiam fornecer ao mesmo tempo [28].

Em 2015, segundo um relatório do estudo dos mercados globais, promovido pelo *Deutsche Bank*, cerca de 30 dos 60 países estudados, já alcançaram a paridade da rede, como por exemplo, a Itália, a Alemanha, a França, a China, o Japão, a Índia, o México, entre outros, tal como demonstra a Figura 4.5. De acordo com os dados, Portugal é um dos países em que o custo de produção de energia solar através dos painéis fotovoltaicos é mais barata do que o preço de retalho da eletricidade da rede [57].

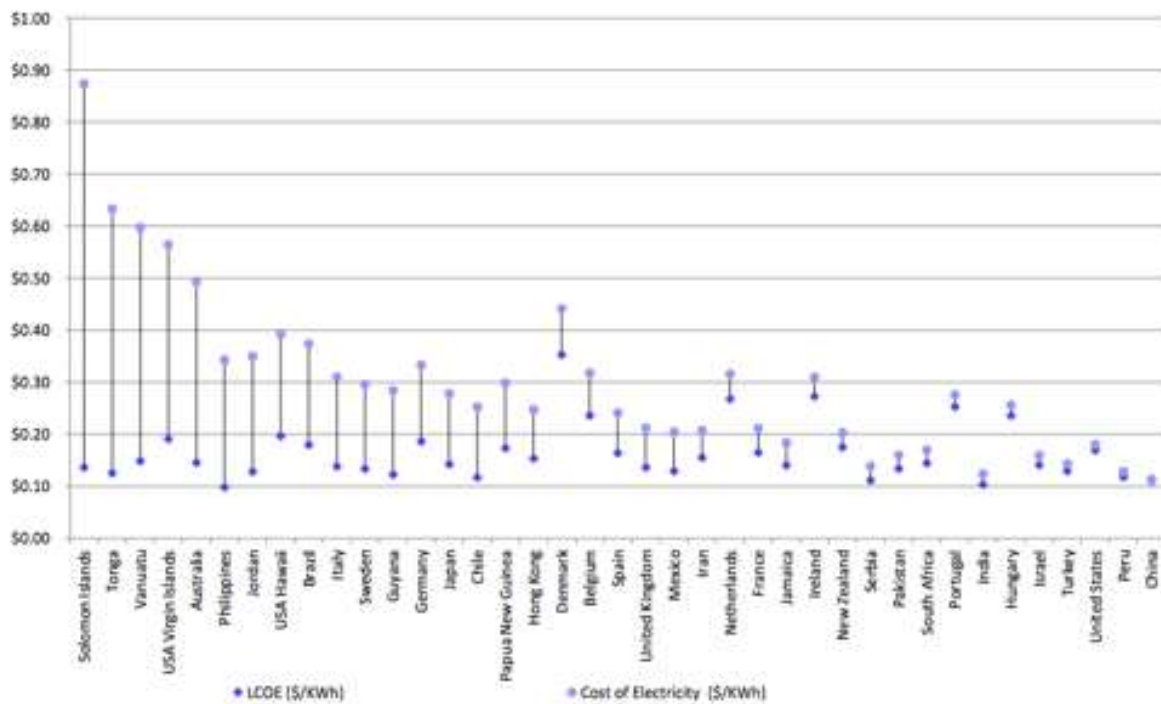


Figura 4.5 - Lista de países que alcançaram a paridade da rede [57].

O indicador de LCOE, calcula os custos totais de um sistema produtor de energia elétrica durante o ciclo de vida do sistema, incluindo os custos de investimento (CAPEX) e os custos de manutenção e operação (OPEX). O investimento capital (CAPEX) de um sistema fotovoltaico pode ser dividido em dois componentes, o módulo fotovoltaico e os elementos integrantes do sistema (estrutura de assentamento, cabos, inversores, transformadores, infraestrutura de ligação à rede, planeamento, documentação e outros). Já os custos de operação e manutenção (OPEX), incluem os custos de substituição ou de reparação de componentes por avaria ou pela degradação anual dos módulos solares de reparações técnicas [103].

O LCOE é definido pela equação 21 [32]:

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}} \quad (21)$$

em que:

I_t - representa o custo de investimento no ano t ;

M_t - são as despesas de operações e manutenção no ano t ;

F_t - representa os custos da utilização de combustível no ano t , que é zero para os PV;

E_t - representa a eletricidade produzida no ano t ;

r - representa a taxa de desconto;

N - representa o período de investimento em anos;

A taxa de desconto é o parâmetro utilizado na análise de investimentos e permite atualizar os preços numa análise do tipo *cash flow* (valor atualizado líquido). Quanto maior for o risco de um investimento, maior é a taxa de desconto atribuída. Em geral, é utilizado um valor mínimo entre 6,0 a 7,0% [32].

Estima-se que o LCOE diminuirá em 30-50% de 2014 até 2030, dependendo do volume de crescimento do sistema [103]. Um estudo liderado pela *International Energy Agency* [59], estimou que em Portugal, o LCOE com uma taxa de desconto de 3% é de 96 USD/MWh, 7% de 132 USD/MWh, e com uma taxa de desconto de 10% é de 162 USD/MWh. No caso dos sistemas PV em edifícios comerciais, para uma taxa de desconto de 7%, o custo é de 121 USD/MWh.

Os Quadros 4.1 e 4.2 apresentam dois casos para o valor do LCOE de sistemas fotovoltaicos residenciais, com o mesmo valor de investimento de 1 350 €/kWp, à taxa de desconto de 2% para os custos de manutenção e operação, para o ciclo de vida de 20 anos, considerando uma geração anual de 1000 kWh/ano (Quadro 4.1) e uma geração anual de 1300 kWh/ano (Quadro 4.2) [63]. Os dois sistemas têm o mesmo custo de investimento (kWp), ou seja, a instalação é feita nas mesmas condições, mas um sistema beneficia de condições climáticas mais propícias a uma maior geração de eletricidade, conduzindo que, quanto maior for a geração de energia pelo sistema fotovoltaico, menor será os valores de todos os componentes do LCOE total.

Quadro 4.1 – LCOE de um sistema fotovoltaico com uma produção anual de 1 000 kWh/kWp/ano [63].

	Preço	LCOE Sistema Fotovoltaico	LCOE Capital (OPEX)			LCOE O&M (CAPEX)	LCOE Total		
	[€/kWp]	[cent €/kWh]	[cent €/kWh]			[cents €/kWh]	[cent €/kWh]		
Taxa de desconto		0%	3%	5%	10%	2%	3%	5%	10%
Fabrico	910	4,55	1,39	2,4	5,1	1,82	7,76	8,77	11,54
Aquisição e Instalação	300	1,5	0,46	0,79	1,7	0,6	2,56	2,89	3,8
Encargos (tarifas, licença e seguro)	140	0,7	0,21	0,37	0,79	0,28	1,19	1,35	1,77
Total	1350	6,75	2,06	3,56	7,59	2,7	11,51	13,01	17,11

Quadro 4.2 – LCOE de um sistema fotovoltaico com uma produção anual de 1 300 kWh/kWp/ano [63].

	Preço	LCOE Sistema Fotovoltaico	LCOE Capital (OPEX)			LCOE O&M (CAPEX)	LCOE Total		
	[€/kWp]	[cent €/kWh]	[cent €/kWh]			[cent €/kWh]	[cent €/kWh]		
Taxa de desconto		0%	3%	5%	10%	2%	3%	5%	10%
Equipamento	910	3,50	1,07	1,85	3,97	1,40	5,97	6,75	8,87
Aquisição & Instalação	300	1,15	0,36	0,61	1,31	0,47	1,97	2,23	2,93
Encargos (tarifas, licença e seguro)	140	0,54	0,16	0,28	0,61	0,22	0,92	1,04	1,37
Total	1350	5,19	1,59	2,75	5,90	2,08	8,85	10,01	13,17

É de salientar que os preços dos componentes dos sistemas fotovoltaicos, têm vindo a diminuir, tal como se observa na Figura 4.6 [63].

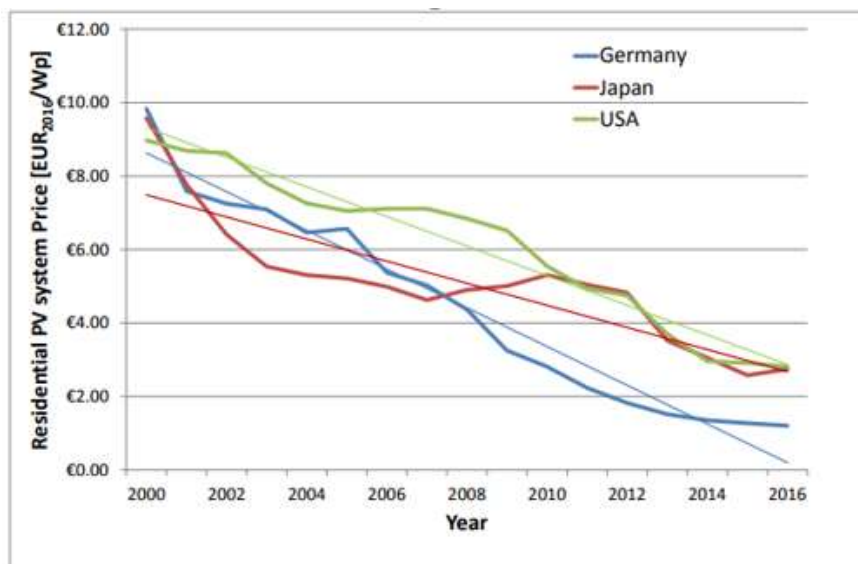


Figura 4.6 - Evolução do preço de sistemas fotovoltaicos na última década [63].

Em setembro de 2016, a média mundial para o preço da geração de eletricidade de um sistema residencial, sem encargos fiscais, foi de 1,49 €/Wp, superior a 25% à média europeia,

com 1,21 €/Wp. Porém, se for adicionado a este último valor, os custos dos encargos fiscais, para taxas, licenças e seguros, sem incluir o financiamento e o IVA, o preço médio europeu aumenta para 1,35 €/Wp [63].

No segundo semestre de 2015, o preço médio da eletricidade nos edifícios residenciais na Europa, segundo o Eurostat, foi de 0,211 €/kWh, incluindo taxas fixas, sendo que, os encargos fixos variam entre 20 e 170 euros, dependente do Estado-Membro e do distribuidor da rede, situando-se a variação do preço da eletricidade entre 0,075 e 0,26 €/kWh [63].

Considera-se que o preço do módulo fotovoltaico seja reduzido para metade e o preço dos restantes elementos do sistema fotovoltaico possam diminuir em mais de 35% até 2030, conduzindo a uma redução de cerca de 45% nos custos de investimento relativo à aquisição e instalação de sistemas fotovoltaicos. Esta redução não é provocada por grandes avanços na tecnologia, mas sim, uma causa-efeito de esforços contínuos na redução de materiais, o aumento da eficiência e o desenvolvimento nos processos de fabrico. Ao mesmo tempo, os custos de manutenção e de operação nos sistemas PV deverão diminuir em 30% até 2030 [103].

4.1.2 PRINCIPAIS FUNCIONALIDADES

O aproveitamento da energia solar precisa de ser ajustado à procura energética. Quando a energia produzida não corresponde à procura pontual de um consumidor, torna-se obrigatório um apoio complementar. Existem dois tipos de apoio ao sistema fotovoltaico, o sistema *on-grid*, diferenciado por ser conectado à rede local e o sistema *off-grid*, que inclui os sistemas de armazenamento (baterias de acumulação de energia) e os sistemas complementares de produção de energia (sistema híbridos).

Consideram-se, portanto, três grupos de sistemas fotovoltaicos (Figura 4.7):

- Autoconsumo de ligação à rede local – *on-grid*;
- Autoconsumo isolado – *off-grid*;
- Autoconsumo híbrido – *off-grid*.

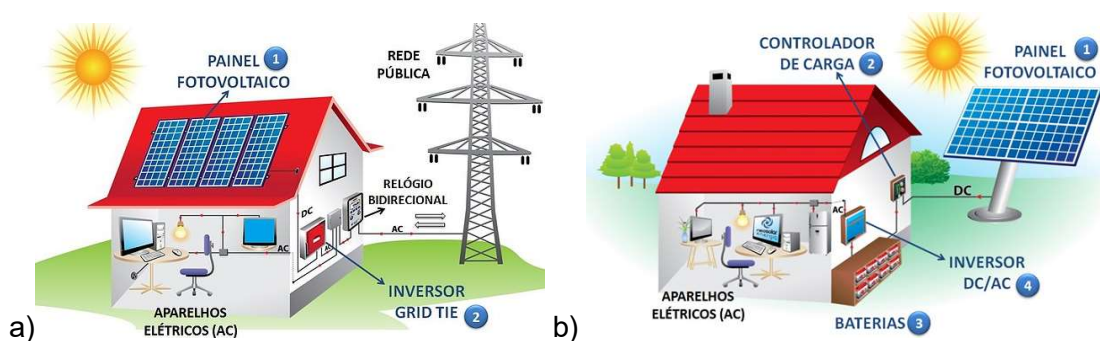


Figura 4.7 - Tipos de sistemas fotovoltaicos: a) sistemas *on-grid*; b) sistemas *off-grid*;

Dependente do tipo de apoio complementar ao sistema fotovoltaico, os elementos que constituem os sistemas são:

- Módulos Fotovoltaicos (ambos os sistemas);
- Inversor (ambos os sistemas);
- Contador bidirecional ou unidirecional (ambos os sistemas);
- Regulador de carga (sistema *off-grid*);
- Bateria de armazenamento de energia (sistema *off-grid*).

O processo de conversão inicia-se com o aproveitamento da radiação solar incidente num módulo fotovoltaico, sendo este último constituído por um conjunto de células fotovoltaicas. A eficiência destas células é definida como o quociente entre a potência da radiação que incide na sua superfície e a potência elétrica disponível nos seus terminais. Uma célula típica apresenta uma eficiência de 15%, significando que 85% da energia proveniente da irradiação é “desperdiçada” [65]. Em termos práticos, quanto menor for a eficiência das células fotovoltaicas, maior terá de ser as dimensões do sistema fotovoltaico para atingir um determinado valor de produção. Após o processo de conversão da energia solar em energia elétrica, esta última é direcionada para os inversores solares, que têm a tarefa de converter a corrente elétrica contínua gerada (sinal DC) em corrente elétrica alternada (sinal AC), para que a energia possa ser injetada na rede nacional ou ser injetada na rede doméstica. Caso existam inversores “autónomos”, estes convertem a energia gerada, estando apta para ser utilizada por todos os equipamentos/aparelhos existentes no edifício. Mas o inversor, ainda contempla a capacidade de desconectar o sistema fotovoltaico da rede, se os níveis de corrente, tensão e frequência não estiverem dentro dos padrões aceitáveis da rede convencional elétrica, e ainda, isolar o sistema fotovoltaico, quando o mesmo estiver a ser alvo de manutenções [65].

Se ao sistema fotovoltaico for adicionada uma bateria de armazenamento de energia, é expectável, principalmente nos edifícios residenciais, que a produção ao longo do dia não coincida com os períodos de consumo por parte dos utilizadores, então, a energia elétrica produzida pelos painéis fotovoltaicos, que não é injetada diretamente no edifício, é acumulada nas baterias de armazenamento, para utilização em períodos em que a produção é insuficiente para as necessidades.

Por outro lado, no caso dos sistemas ligados à rede, a energia elétrica produzida poderá ser acumulada nas baterias durante o período de tarifas mais baixas na compra de energia à rede contratual, e descarregar toda energia armazenada durante as tarifas mais altas, conduzindo a uma poupança na fatura energética. O funcionamento de uma bateria de armazenamento é caracterizado pela transformação da energia elétrica gerada pelo sistema fotovoltaico em energia potencial química, e quando a energia acumulada é utilizada, dá-se o processo inverso. O tempo de vida útil de uma bateria de armazenamento está dependente de diversos fatores, como a quantidade de ciclos de carga e descarga, a temperatura de funcionamento e a profundidade de descarga, considerando que o seu ciclo de vida termina quando a sua capacidade atinge os 80% da capacidade nominal [49].

A utilização de baterias de armazenamento obriga à existência de um regulador de carga, cuja função é controlar o seu estado de carga [58]: assegurando o carregamento da bateria, evitando a sobrecarga da bateria, bloqueando a corrente inversa entre o painel fotovoltaico e

a bateria e ainda prevenindo a ocorrência de descargas profundas (no caso de baterias chumbo-ácido).

Na instalação do sistema fotovoltaico e de modo a garantir as melhores condições de recepção da radiação solar, o sistema fotovoltaico deve garantir que as células não estejam sombreadas, pois caso assim seja, há uma perda da energia de duas maneiras, pela redução da energia gerada pela célula e pelo aumento das perdas nas células sombreadas que afetam todo o módulo. Deve-se, portanto, ter-se atenção aos sombreamentos provocados por chaminés, antenas parabólicas, prédios situados nas proximidades, árvores, postes, linhas aéreas de eletricidade e telefone, entre outros [58].

- Sistemas de autoconsumo ligados à rede local

Este tipo de sistema é caracterizado por estar conectado à rede pública local, não existindo baterias nem reguladores de carga no sistema, embora seja possível adicionar à rede local baterias de acumulação de energia como *backup's* do sistema fotovoltaico. Este sistema está normalmente associado ao regime de produtor-consumidor e ao regime de simplesmente produtor. O primeiro regime permite utilizar para consumo próprio a eletricidade gerada localmente e injetar na rede apenas o excesso de produção, a troco de uma compensação financeira. No regime de simplesmente produtor, é injetada na rede toda a eletricidade gerada localmente.

No caso da produção descentralizada, a ligação à rede permite que o edifício aceda à compra de energia elétrica junto da rede local quando a energia produzida pelo sistema fotovoltaico é inferior à energia consumida localmente, que na ausência de baterias, acontece maioritariamente durante o período noturno. No entanto, este fato encontra-se muito dependente do perfil de carga do edifício, das necessidades energéticas e das características do sistema fotovoltaico. A Figura 4.8 apresenta um perfil de consumo de um edifício residencial (área a azul), abastecido por energia proveniente de um sistema de painéis fotovoltaicos, com ligação à rede local. A área a laranja representa o perfil de energia produzida pelo sistema PV [55].

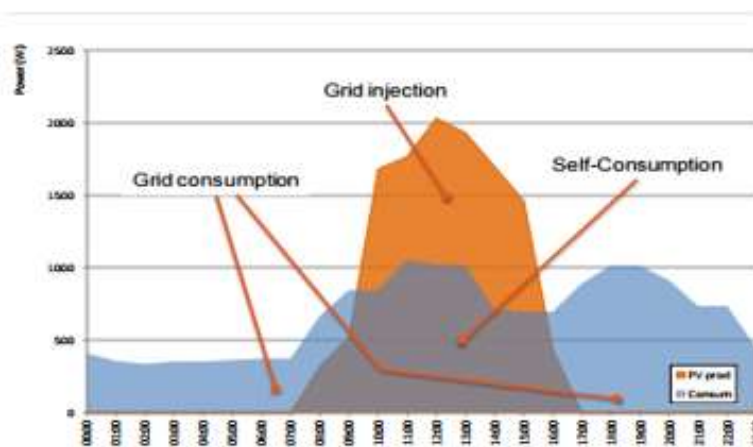


Figura 4.8 - Comparação entre o perfil de produção e o perfil de consumo [55].

Como é expectável, o sistema atinge o pico de produção durante o dia, sendo superior à energia consumida. Para a energia não ser desperdiçada, a mesma é direccionada para a rede local. Este caso ocorre na maioria dos edifícios residenciais, que devido ao perfil de carga durante o dia, apresentam um rácio de autoconsumo muito baixo, ao contrário dos edifícios comerciais, em que o pico de consumo ocorre durante o dia, fato que é explicado pelo uso de sistemas de AVAC e outros equipamentos.

- Sistemas de Autoconsumo Isolados ou Autónomos

Os sistemas de autoconsumo isolados ou autónomos, também designados por sistemas *off-grid* são geralmente mais económicos, e por norma, são aplicados em situações onde a rede pública de distribuição de energia não existe, seja por razões técnicas e/ou económicas, tal como acontece em países subdesenvolvidos, onde as infraestruturas elétricas não cobrem todo o território. No entanto, estes tipos de sistemas, também podem ser utilizados individualmente, como por exemplo, em aparelhos eletrónicos, em sinalização rodoviária, em iluminação pública ou privada e/ou em sistemas de bombagem de água. Num sistema isolado, se não existir armazenamento, os recetores consomem instantaneamente a energia produzida, e como não necessitam de baterias, são económicos.

Quando um sistema é utilizado para responder a grandes quantidades de consumo de energia, em momentos de indisponibilidade solar, ou quando a produção excede o consumo instantâneo, os sistemas autónomos utilizam um acumulador de energia, para colmatar as necessidades energéticas do recetor (Figura 4.9). Caso o sistema tenha ligação à rede *on-grid*, a própria rede elétrica cumpre a função de apoio.

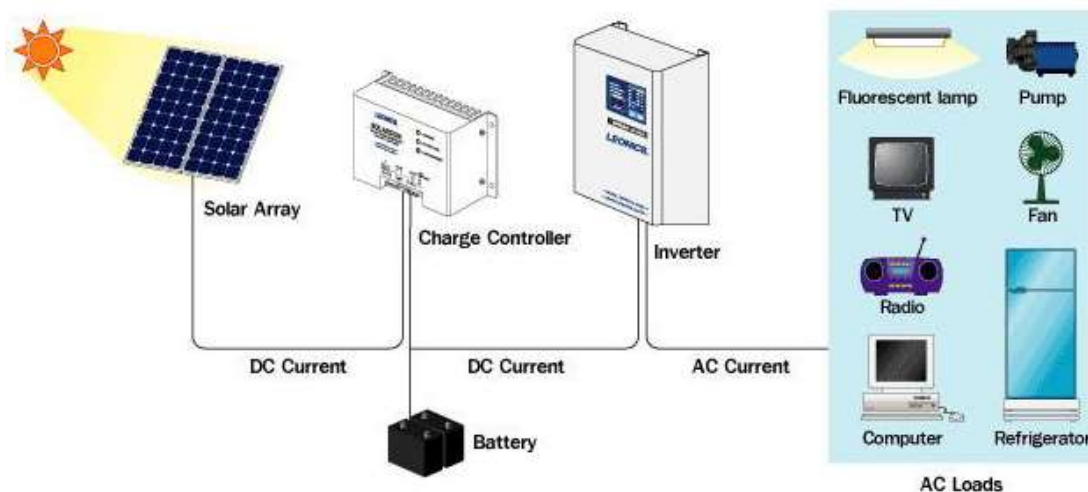


Figura 4.9 - Sistema de autoconsumo isolado ou autónomo [116].

A combinação entre painéis fotovoltaicos e baterias de armazenamento, conduzem a um aumento descentralizado da produção de energia e a um maior nível de autoconsumo. Com a tendência da redução do preço das baterias, assim como uma maior evolução tecnológica

das mesmas, garantindo um maior ciclo de vida, é previsível que haja uma crescente desconexão de edifícios à rede.

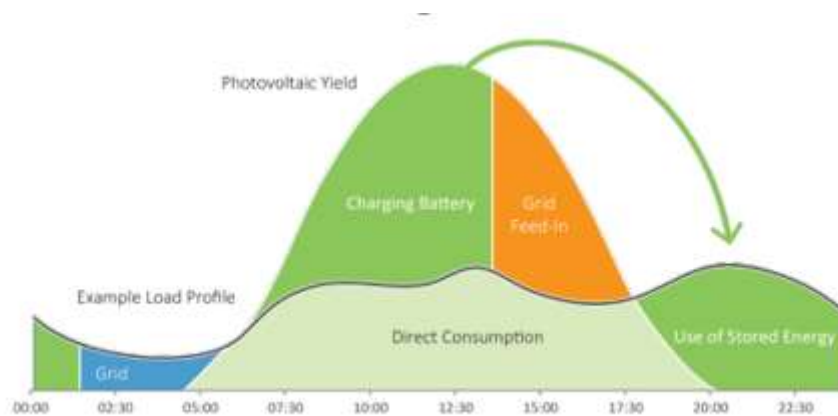


Figura 4.10 - Exemplo de um perfil de consumo e produção de um sistema de autoconsumo fotovoltaico com capacidade de armazenamento [49].

No gráfico da Figura 4.10, podemos analisar, que a zona a verde é a energia produzida localmente através dos painéis fotovoltaicos que é armazenada e utilizada posteriormente no edifício. Ou seja, durante o dia, parte da energia produzida é consumida instantaneamente pelo edifício e a energia excedida durante os picos de produção, é armazenada na bateria de apoio ao sistema, que posteriormente será utilizada quando o sistema fotovoltaico estiver indisponível. No entanto, dado que, por norma, nos edifícios residenciais o pico de consumo acontece no período noturno, a bateria poderá não ter capacidade para satisfazer totalmente as necessidades energéticas do edifício, e será requisitada energia à rede elétrica local.

Atendendo ao fato que o custo do armazenamento está diretamente relacionado com a quantidade de energia que pode ser armazenada, as baterias encarecem bastante o preço do sistema fotovoltaico, se o edifício necessitar de grandes quantidades de energia elétrica durante o período noturno, ou se o edifício estiver localizado em climas com reduzidos horários de exposição à radiação solar. Em edifícios desconectados, *off-grid*, terá de ser estudado uma solução viável para este problema, pois ou se adiciona um segundo apoio, como os sistemas híbridos, ou será necessário um controlo de gestão de energia eficiente, para que o edifício não seja condicionado pela falta de energia.

- Sistemas de autoconsumo híbrido

Um sistema híbrido, tal como a semântica da palavra sugere, consiste na conjugação de um sistema fotovoltaico com outro tipo de sistema de produção de energia, através de energia de fonte não-renovável, como por exemplo, um gerador a diesel ou a gás, ou então em combinação com outro sistema de fonte de energia renovável, como, por exemplo, a energia eólica [58]. Esta última combinação poderá dar mais garantias, se coexistir um conjunto de fatores propícios a um bom aproveitamento do vento. Os geradores a diesel, operam em

regiões remotas sem possibilidade de acesso à rede elétrica, enquanto que os desenvolvimentos em biogás e em energia eólica representam novas oportunidades.

A coexistência dos diferentes sistemas (Figura 4.11), permitirá uma maior fiabilidade e continuidade do sistema, pois será possível fornecer energia elétrica nos períodos onde o sistema fotovoltaico não se encontra disponível, mesmo não existindo rede elétrica.

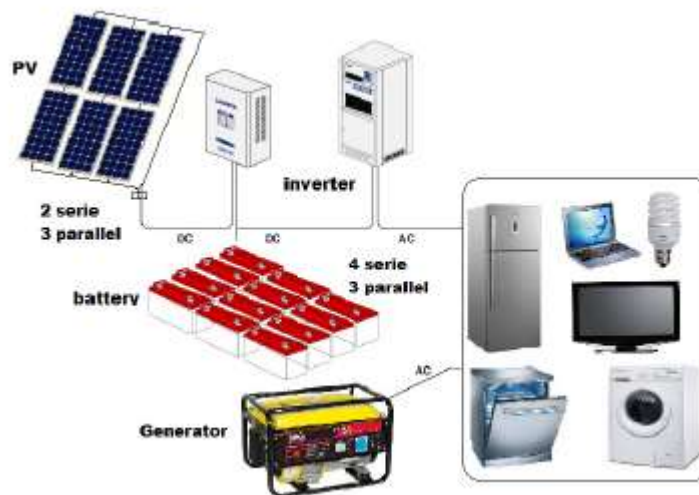


Figura 4.11 - Esquema elétrico de um sistema híbrido com gerador [107].

Em termos económicos, o baixo custo de aquisição de um motor a combustível fóssil, quando comparado com um sistema de fonte de energia renovável pode parecer vantajoso, mas no contexto de energia “limpa”, a poluição gerada por um motor alimentado a combustíveis fósseis, assim como, a poluição sonora e o alto custo de manutenção, poderão ser desvantagens a ponderar.

4.2 INCENTIVOS À ENERGIA FOTOVOLTAICA

4.2.1 NET-METERING E NET-BILING

Existem vários incentivos à produção descentralizada, permitindo que os produtores sejam compensados pela energia gerada localmente através de fontes de energia renovável.

O modelo de *net-metering*, fornece à rede local a energia produzida e que não foi consumida (Figura 4.12) [55].

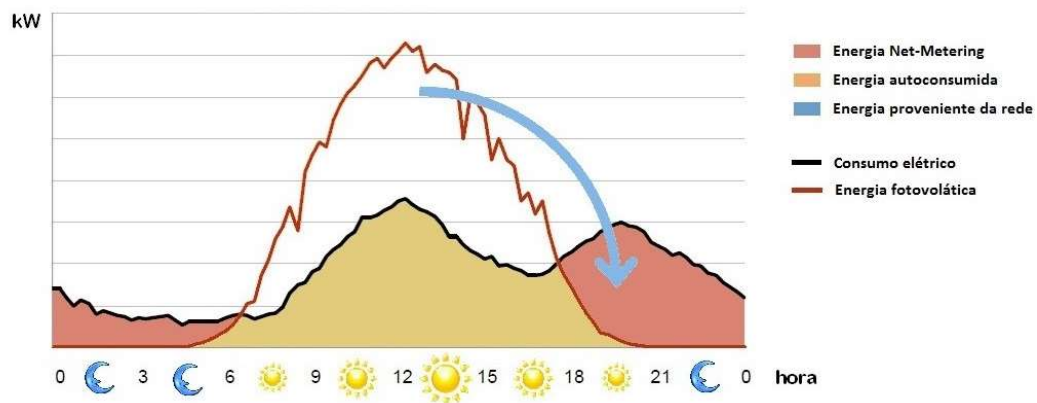


Figura 4.12 - Exemplo do modelo *net-metering* [113].

Em alguns países, onde a modalidade de *net-metering* é aplicada, os *prosumers*, apenas pagam o consumo líquido, ou seja, a diferença entre a energia consumida e a energia injetada, não diferenciado o valor da eletricidade durante o período de pico de consumo e os restantes períodos (o valor de produção e de consumo são avaliadas fixamente com o mesmo preço). O excesso energético enviado de volta à rede, pode ser novamente vendido ao preço de mercado [91]. Para este efeito, é utilizado um medidor bi-direcional que têm a capacidade de registar todos os fluxos de energia, em ambas as direções, da ligação entre o edifício e a rede local. Deste modo, o contador aumenta por cada kWh que o consumidor compra à rede e diminui por cada kWh que o consumidor vende à rede.

Por outro lado, o *net-billing* mede os kWh consumidos e separa o que é gerado nos diferentes períodos horários (horas de ponta e horas de vazio), valorizando a energia por valores diferentes. Enquanto o autoconsumo assume uma rede de energia (os kWh's produzidos são consumidos localmente existindo a redução da fatura da eletricidade naturalmente), o *net-billing* assume dois tipos de fluxos de energia que têm valores diferentes. Neste caso, a compensação para o excesso de eletricidade terá um valor inferior do preço da eletricidade. Trata-se, portanto, de uma compensação económica do valor da produção fotovoltaica sobre o valor de consumo durante um período de tempo [55] [7].

4.2.2 TARIFAS *FEED-IN*

No modelo das *Feed-in-Tariffs* (FiT), os *prosumers* possuem níveis de pagamento, que podem ser diferenciados tendo em conta os custos da geração de energia (do tipo de tecnologia, tamanho do projeto, qualidade da fonte de energia e o local de implantação). São feitos contratos a longo termo, de 10 a 25 anos, sendo atraentes para os investidores pela segurança transmitida [26]. A política de pagamento das FiT's pode ser categorizada como independente ou dependente do preço do mercado.

A maioria dos países adaptou a categoria do preço fixo (independentemente do mercado). Ou seja, apesar da flutuação do preço da energia elétrica na rede, a compensação a oferecer

pela eletricidade gerada em excesso e injetada na rede será sempre paga a um valor fixo, podendo prejudicar ou beneficiar os *prosumers*.

Os sistemas FiT são conhecidos pelo sucesso na implantação de grandes quantidades de energia eólica, biomassa e solar (parques concentrados de fotovoltaicos), principalmente na Alemanha, Dinamarca e Portugal. A maior vantagem dos sistemas FiT é a segurança a longo prazo da compensação financeira, que reduz consideravelmente os riscos de investimento [91].

Numa abordagem alternativa, os pagamentos FiT podem ser oferecidos como um prémio ou bónus, denominados por *Feed-In Premiums* (FiP), acima do preço de mercado prevalecente. Os *prosumers* neste caso, recebem uma compensação para a eletricidade que não é consumida e é injetada na rede. Para incentivar os consumidores a procurar formas de aumentar o consumo direto da produção local, apenas a eletricidade fornecida acima de um determinado rácio (por exemplo 30%) pode receber uma tarifa *premium*, sendo esta a forma de remuneração da produção de energia de fonte renovável preferida pelo IEA e pela Comissão Europeia, na medida em que introduzem um bónus acrescentado ao preço de energia do mercado [18].

A tarifa FiP adiciona um bónus ao preço médio no mercado spot de energia elétrica, que depende de como o mercado se comporta, enquanto a tarifa FiT enquadra pagamentos com um preço fixo, independente do mercado. O prémio pode ser fixado, o que pode conduzir a uma sobrecompensação se os preços do mercado estiverem elevados, ou uma subcompensação se o preço do mercado for baixo traduzindo-se numa lacuna financeira que resulta da diferença entre o preço do mercado e a tarifa *feed-in* [96].

4.2.3 COMPARAÇÃO ENTRE MODELOS

No Quadro 4.3 apresenta-se uma síntese dos anteriores modelos de incentivo à produção descentralizada.

Quadro 4.3 - Gama de modelos de contratos da perspetiva dos *prosumers*. Adaptado de [41]

	<i>Net-billing</i>	<i>Net-metering</i>	<i>Tarifas Feed-in</i>	<i>Tarifas Feed-in Premium</i>
Autoconsumo	Sim	Sim	Sim	Sim
Receitas da energia autoconsumida	Compensação da energia produzida e dos custos de consumo	Poupança na fatura energética	Poupança na fatura energética	Poupança na fatura energética
Receitas adicionais da energia autoconsumida	Não	Não	Não	<i>Premium</i>
Encargos com a ligação à RESP	Não	Não	Não	Não
Receitas da energia excesso	\leq Preço da energia do mercado	$=$ Preço da energia do mercado	$<$ Preço da energia do mercado	$>$ Preço da energia do mercado
Prazo máximo de compensação	Longo-prazo	Longo-prazo	Curto-prazo	Curto-prazo

4.3 LEGISLAÇÃO EM PORTUGAL

O cumprimento dos objetivos da União Europeia para 2020 no contexto da eficiência energética e das energias renováveis, exigiu uma mudança de paradigma nas legislações nacionais. Em Portugal, o Decreto-Lei 153/2014 veio substituir o Decreto-Lei 363/2007, tendo sido este o primeiro documento de apoio à produção renovável descentralizada, enquadrando-se no Plano Nacional para a Eficiência Energética (PNEE 2010). Por sua vez este Decreto-Lei 153/2014, veio incentivar a produção de energia elétrica em pequena escala para o autoconsumo, invertendo, deste modo, o paradigma de elevada dependência energética que Portugal detinha do exterior e considerando o autoconsumo com elevado potencial para financiar a produção de energias “limpas” [73][77].

A primeira geração de produção de energia renovável descentralizada promovia o contrato de compra e venda de energia entre os proprietários da microgeração com a rede pública de energia, em regimes bonificados e geral, permitindo aos respetivos investidores um retorno interessante [73]. A energia produzida é compatibilizada com a energia da rede através de um inversor, sendo posteriormente quantificada por um contador de produção. O processo apresentava-se bastante rentável a médio/longo prazo, pois os distribuidores compravam energia a um preço mais elevado do que a que vendiam. A taxa do regime bonificado decaiu ao longo dos anos (Figura 4.13), reduzindo o ganho potencial da microprodução.

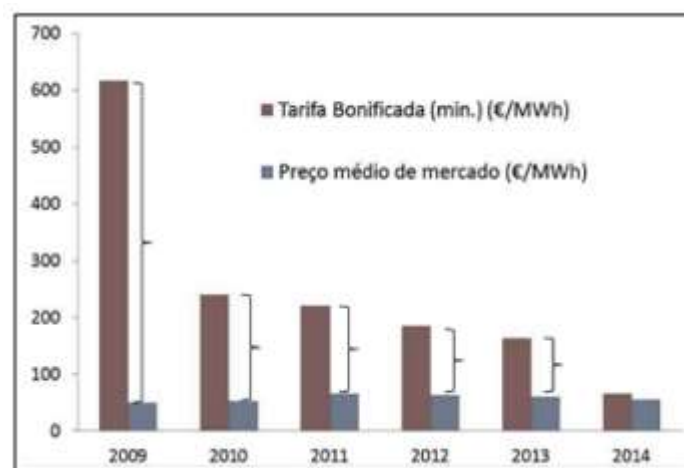


Figura 4.13 - Microprodução: tarifa bonificada vs preço médio de mercado [46].

O Decreto-Lei 153/2014, introduz o conceito de autoconsumo, permitindo aos produtores injetar no edifício a energia produzida e dando a possibilidade de vender a energia em excesso à rede pública, através de um contrato de venda. Ciente desta realidade, a Comissão Europeia concluiu da necessidade de dar maior importância ao cenário da energia que não é autoconsumida e que posteriormente é injetada na rede ao preço do mercado. Caso seja oferecida uma taxa mais baixa para a compra de energia excedida na rede durante um período do dia, os consumidores seriam incentivados a consumir a maior parte da energia durante os períodos de maior produção. Ao invés, caso a tarifa de compra de energia excedida seja mais alta, poderá incentivar ao aumento da produção e ao consumo numa forma em que é mais benéfica para a venda na rede, adiando ou evitando de todo a necessidade de novos investimentos em políticas energéticas [43].

Concretamente, o Decreto-Lei 153/2014, dividiu a produção de energia elétrica em duas modalidades: Unidade de Produção para Autoconsumo (UPAC) e Pequena Produção (PP), ambas com ou sem ligação à RESP (Rede Elétrica de Serviço Público) [77]. A primeira modalidade é destinada a pequenos produtores que pretendem consumir a energia gerada, podendo esta ser injetada diretamente no edifício e apenas o excedente é vendido à RESP, enquanto que a segunda modalidade, é destinada somente à comercialização total da energia produzida. As vantagens da nova legislação relativamente à descentralização da produção de energia são inúmeras, face ao anterior Decreto-Lei 363/2007:

- Menor exposição à oscilação dos preços de energia, uma vez que se reduz a quantidade de energia elétrica proveniente da rede pública;
- Redução da fatura da eletricidade devido ao consumo da energia produzida localmente pelo proprietário;
- Redução das emissões de gases com efeito de estufa, devido à produção de energia através de fontes renováveis;
- Retorno do investimento num período inferior ao de vida útil da UPAC;
- Aumento da eficiência energética, através da alteração dos comportamentos dos proprietários relativamente às UPAC, isto é, o utilizador deverá colocar em

funcionamento os equipamentos no período de injeção de energia produzida, de modo a aumentar a eficiência energética;

- Aumento da facilidade de acesso e do número de instalações de produção de energia renovável, influenciado o aceleração do processo de desenvolvimento da tecnologia.

4.3.1 UNIDADE DE PRODUÇÃO PARA AUTOCONSUMO (UPAC)

A unidade de produção para autoconsumo de fonte renovável, é caracterizada por ser uma modalidade que permite consumir a energia produzida localmente, ou seja, é destinada para satisfazer as necessidades de consumo, e em casos especiais, os excedentes podem ser injetados na RESP, com a celebração de um contrato de venda. O objetivo desta produção é adequar a capacidade de produção ao regime de consumo, minimizando a injeção de energia na RESP (Figura 4.14).

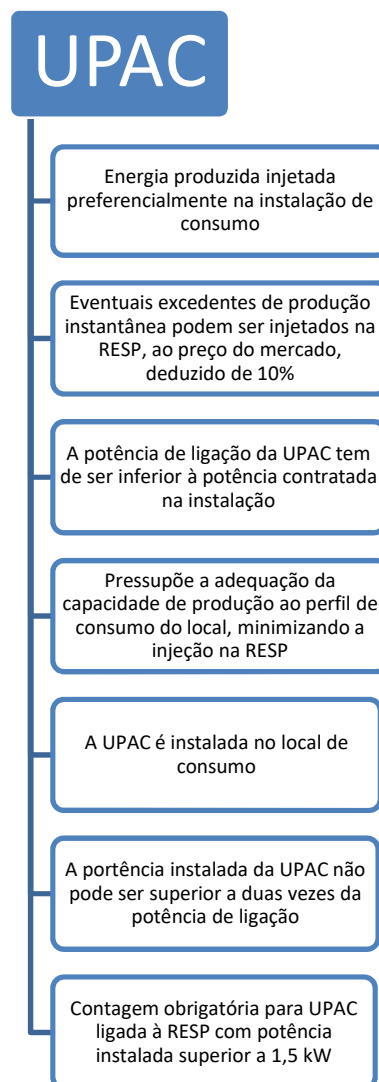


Figura 4.14 - Principais características da UPAC [77].

A legislação facilita ainda, em termos de burocracia, a instalação de uma UPAC, sendo que:

- Processo gerido via plataforma eletrónica;
- Mera comunicação prévia entre 200W - 1,5 kW;
- Registo + certificado de exploração entre 1,5 kW - 1 MW;
- Licença de produção + exploração > 1 MW;
- Remuneração da energia excedida:

A energia produzida que não é gasta no edifício pode ser injetada na RESP, sendo compensada ao preço do mercado, depois de deduzido 10%, correspondente a um valor para compensar os custos da injeção. Sempre que a energia proveniente de uma UPAC, cuja capacidade não ultrapasse 1 MW e exista um contrato com os CUR (Comercializadores de Último Recurso) para a venda do excedente de energia, o preço pago ao produtor poderá ser calculado através da seguinte fórmula [77]:

$$R_{UPAC,m} = E_{fornecida,m} \times OMIE_m \times 0,9 \quad (22)$$

Onde:

- $R_{UPAC,m}$ – remuneração da eletricidade fornecida à RESP no mês 'm', em euros;
- $E_{fornecida,m}$ – a energia fornecida no mês 'm', em kWh;
- $OMIE_m$ – valor resultante da média aritmética simples dos preços do fecho do Operador do Mercado Ibérico de Energia (OMIE) para Portugal (mercado diário), relativos ao mês 'm', em €/kWh;
- m – mês a que se refere a contagem da eletricidade fornecida à RESP. O valor 0,9 corresponde a uma redução de 10% feita à energia fornecida, para colmatar os custos de injeção.

Caso a potência instalada seja superior a 1,5 kW e a potência da UPAC atingir 1% da potência instalada do SEM (Sistema Elétrico Nacional), encontrando-se ligada à rede, é necessário pagar uma compensação mensal fixa ao SEN nos primeiros 10 anos após a obtenção do certificado de exploração.

4.3.2 UNIDADE DE PEQUENA PRODUÇÃO (UPP)

A unidade de pequena produção substitui os anteriores regimes de microprodução e miniprodução, tornando o investimento menos rentável e com um período de amortização do investimento mais longo. O regime de pequena produção permite ao produtor vender a totalidade da energia elétrica à RESP proveniente apenas de energias renováveis, baseando-se esta, numa só tecnologia e com uma potência de ligação à rede inferior a 250 kW (Figura 4.15 e 4.16).

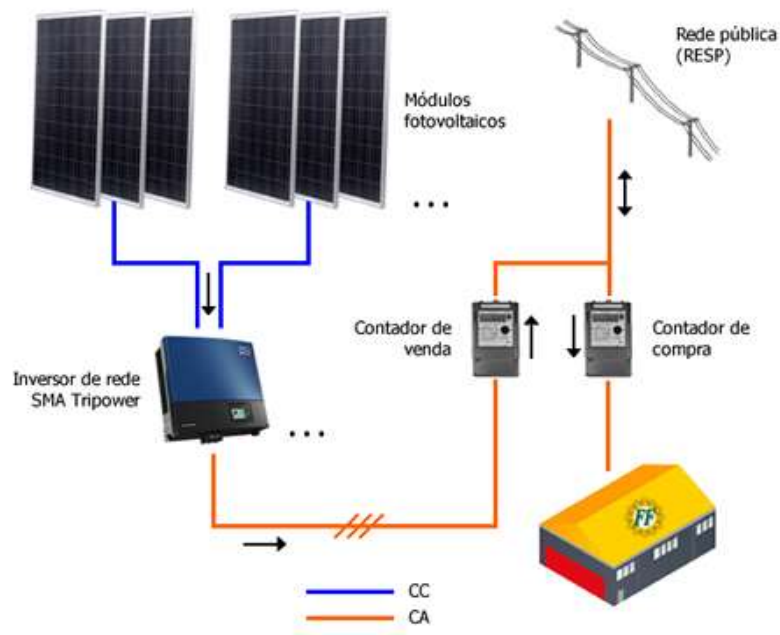


Figura 4.15 - Esquema da UPP com equipamento de contagem.

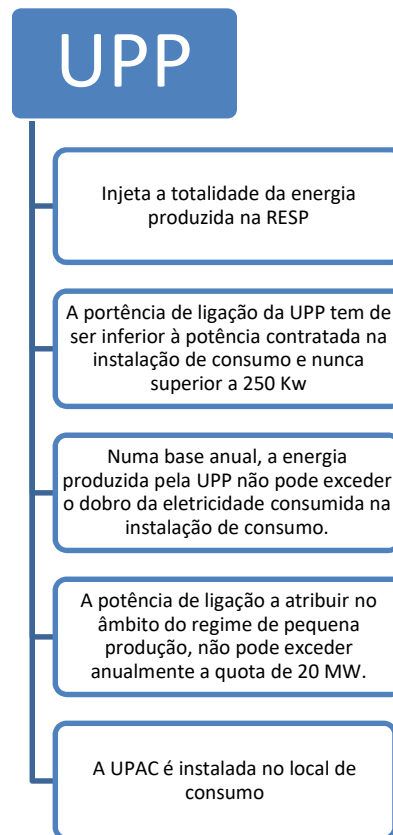


Figura 4.16 - Principais características da UPP [77].

A energia elétrica entregue e vendida à RESP, é remunerada pela tarifa atribuída num modelo de licitação, no qual os concorrentes oferecem descontos à tarifa de referência, em três categorias:

- Categoria I – Instalação somente de UPP;
- Categoria II – Instalação de UPP e tomada elétrica para o carregamento de veículos elétricos;
- Categoria III – Instalação de UPP e coletores solares térmicos.

A energia injetada na RESP fora dos limites estabelecidos no contrato celebrado para a UPP, não é remunerada.

5 NÍVEIS ÓTIMOS DE RENTABILIDADE

Em 2010, a reformulação da Diretiva 2002/91/CE relativa ao desempenho energético dos edifícios, a Diretiva 2010/31/UE, determinou que, cada Estado-Membro deve aumentar o seu nível de exigência na regulamentação do desempenho energético dos edifícios, de modo a que, em 2020, todos os edifícios novos, sejam edifícios com necessidades quase nulas de energia, designados por *nearly Zero Energy Buildings* (nZEB). Concretamente, a Diretiva 2010/31/UE, estabelece ainda que os requisitos mínimos para o desempenho energético dos edifícios tenham em vista um equilíbrio ótimo em termos de rentabilidade dos investimentos efetuados e dos custos de energia economizados ao longo do ciclo de vida. Deste modo, o princípio do custo ótimo de rentabilidade auxilia pela primeira vez os Estados Membros, na definição dos requisitos mínimos de desempenho energético dos edifícios, não condicionando a sua viabilidade económica apenas em função do custo de investimento inicial, mas sim na procura de soluções eficientes para o ciclo de vida do edifício [40]. O quadro metodológico do princípio, descrito no Regulamento Delegado (UE) 244/2012, especifica as regras para a comparação de medidas passivas, que recorrem a fontes de energia renováveis e de conjuntos e variantes dessas medidas, com base no desempenho energético e no custo atribuído à sua implementação [94].

O custo ótimo de rentabilidade é definido pelo desempenho energético (expresso em energia primária) mais baixo durante o ciclo de vida estimado do edifício, em função do menor custo das medidas aplicadas. Para além do progresso económico e tecnológico que poderá causar nos Estados-Membros, o quadro metodológico dos níveis ótimos de rentabilidade, é uma ferramenta de aproximação ao conceito nZEB, abrangendo as melhores soluções tecnológicas na avaliação do nível de desempenho energético, aliadas ao menor custo extra [67].

Como já foi mencionado anteriormente, os Estados Membros estão encarregues de estabelecer valores limite do consumo de energia primária não-renovável para os edifícios, de forma a alcançarem a definição de um nZEB. Um valor limite superior, menos ambicioso, deve ser atingido com recurso ao princípio do custo ótimo, enquanto um limite inferior, poderá ser atingido com a melhor combinação de medidas tecnológicas disponíveis, que poderá ser ou não o custo ótimo [8].

A promoção da metodologia nos Estados Membros beneficia a sensibilização do potencial da poupança de energia nos edifícios, que, através de medidas de eficiência energética e de recurso a energias de fonte renovável, são suficientes, para que, em combinação, possam atingir um objetivo adequado para edifícios com consumo de energia nulo. No momento atual, existe uma lacuna tecnológica que precisa de ser superada até 2020, que ainda não é percebida. No entanto, as reduções nos custos de investimento, o aumento da eficiência energética de sistemas técnicos e soluções de armazenamento de energia podem influenciar positivamente a viabilidade de edifícios quase zero.

A metodologia do cálculo dos níveis ótimos de rentabilidade está descrita no Regulamento Delegado (UE) 244/2012 da Comissão, que complementa a Diretiva 2010/31/UE. No Regulamento citado anteriormente, é referido que, o ponto ótimo de rentabilidade deverá coincidir com os requisitos mínimos do desempenho energético das respetivas legislações nacionais e regionais dos Estado-Membros. Se a diferença entre ambos for superior a 15%, os Estados-Membros devem elaborar um relatório a justificar o resultado ou apresentar soluções a adotar na próxima revisão da metodologia. Desta forma, os requisitos mínimos dos edifícios acompanham o desenvolvimento económico do país, aumentando a eficiência energética dos edifícios, diminuindo o consumo de energia primária não-renovável e as emissões de CO₂ [94]. Apenas 13 Países (de 27), incluído Portugal, estabeleceram requisitos mínimos não superiores a 15% do nível ótimo de rentabilidade [20].

A metodologia de cálculo do Regulamento Delegado (UE) 244/2012 é considerada como um instrumento de proximidade aos nZEB, no contexto dos objetivos em 2020, existindo atualmente, uma lacuna financeira, derivado da diferença entre o custo ótimo e o custo do edifício nZEB, e uma lacuna ambiental, resultado de uma diferença entre os desempenhos energéticos, que deverão ser ultrapassados até 2020. Contudo, a aproximação é possível devido a fatores que são suscetíveis de estar sujeitos a alterações até 2020. No caso da lacuna financeira, esta, será minimizada pela redução dos custos de componentes tecnológicos e o aumento do preço da energia (o preço médio da energia para o período 2021-2051 pode ser considerado superior à média para 2011-2041). Em relação à lacuna ambiental, a alteração do menor consumo de energia primária, será provocada por uma redução do fator de energia primária para a eletricidade da rede, razão explicada pelo aumento da *mix* energética, envolvendo uma maior percentagem de energia de fonte renovável [8].

A atual tecnologia relacionada com a poupança de energia, eficiência energética e energia renovável, em combinação, são suficientes para alcançar o objetivo de um edifício nZEB. Neste contexto, a metodologia de cálculo do custo ótimo avalia o custo total dos pacotes/variantes aplicadas ao edifício de referência pelo consumo de energia primária que estas implicam.

A metodologia deverá ser introduzida em edifícios novos e existentes, cujo ciclo de vida é de 30 anos, para o caso de edifícios residenciais e de 20 anos, para o caso de edifícios não residenciais. O cálculo do custo global das medidas de eficiência energética (expresso em valor atual líquido) inclui os custos da aquisição e instalação de todos os materiais envolvidos, os custos dos equipamentos dos sistemas técnicos e sistemas de produção de energia renovável (com os respetivos custos de manutenção), os custos de energia utilizada, os custos residuais dos materiais e eliminação dos mesmos (opcional) [20].

Para auxiliar os Estados Membros no cálculo dos níveis ótimos de rentabilidade, a Diretiva 2010/31/UE identificou as seguintes etapas:

- Definição dos edifícios de referência;
- Identificação dos pacotes de medidas de eficiência energética;
- Cálculo da procura de energia primária;
- Cálculo dos custos globais;
- Determinação do nível ótimo de rentabilidade;

- Adaptação dos pacotes de medidas para um balanço energético nulo e reavaliação dos níveis ótimos.

5.1 EDIFÍCIOS DE REFERÊNCIA

A metodologia do Regulamento Delegado (UE) 244/2012 especifica como comparar a introdução de medidas de eficiência energética e/ou medidas que incorporem as energias de fonte renovável a um edifício, relacionando o seu desempenho energético com o custo de implementação das medidas. O edifício em análise, será designado por edifício de referência, podendo representar um edifício novo ou um edifício existente.

As orientações do regulamento, para o caso da definição dos níveis ótimos de rentabilidade a nível nacional, aludem para um edifício de referência ser estabelecido por um exemplo real ou através da criação de um edifício elaborado virtualmente que inclua os materiais e os sistemas técnicos mais utilizados no parque edificado nacional, uma vez que é impossível calcular a rentabilidade ótima para cada caso específico.

Para além disso, o regulamento, exige aos Estados Membros que identifiquem pelo menos um edifício de referência para as seguintes categorias [20]:

- Habitações unifamiliares e multifamiliar;
- Edifícios de comércio e serviço.

Para cada uma destas categorias, devem ser estabelecidos os parâmetros padrão de ocupação, área de construção, densidade do edifício (que expressa o rácio área envolvente/fator de volume), características da envolvente com os valores dos coeficientes térmicos, e eficiência dos sistemas técnicos com a respetiva quota de utilização de energia [94].

Em Portugal, a área edificada corresponde a cerca de 452.000.00 m², dos quais 77% corresponde a edifícios de habitação. Tornando-se assim visível, a importância de desenvolver uma estratégia a longo prazo, que permita promover a renovação dos edifícios existentes, contribuindo para um aumento da eficiência energética e da qualidade do parque edificado, alterando o paradigma das últimas décadas [39]. A certificação energética levada a cabo pela ADENE, possibilita um conhecimento profundo sobre o imobiliário existente, devido à criação de uma base estatística que permite a caracterização energética desses edifícios, representando assim uma amostra do parque edificado português. Deste modo, a informação recolhida permitirá determinar o potencial de poupança energética, possibilitando a interpretação de dados e respetivos pontos de melhoria das políticas energéticas nacionais a fim de reduzir a quantidade de emissões de CO₂.

5.2 MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Ao edifício de referência, deverão ser aplicados pacotes de medidas de eficiência energética, ou seja, soluções que reduzem a procura de energia primária não-renovável do edifício. É recomendação da Diretiva 2010/31/UE, que as medidas sejam combinadas em pacotes, uma

vez que, as medidas aplicadas em conjunto poderão ser mais eficazes na relação custo/desempenho energético do que as medidas isoladas.

Primeiramente, deve ser prioridade a aplicação de medidas passivas ao edifício de referência, de forma a reduzir a dependência energética. Estas medidas estão relacionadas com a envolvente do edifício (paredes exteriores, cobertura, envidraçados), com técnicas passivas de arrefecimento (ventilação natural), e de técnicas de redução do consumo de energia elétrica (iluminação natural). Posteriormente, são aplicadas soluções de procura de energia, como são exemplos, a substituição e/ou instalação de equipamentos de climatização de elevada eficiência e a instalação de equipamentos de utilização/produção de fonte de energia renovável, mesmo quando não há o objetivo de consumo quase nulo de energia.

Embora as medidas que envolvam fontes de energia renovável sejam importantes no balanço energético final, é recomendação da Diretiva 2010/31/UE que o cálculo do desempenho energético seja no sentido das necessidades para a fonte de energia (Figura 5.1). Deste modo, a prioridade continua a ser a redução da energia primária a fornecer ao edifício, e que grande parte desta seja a partir de fontes renováveis, tal como exemplifica o esquema seguinte [64].

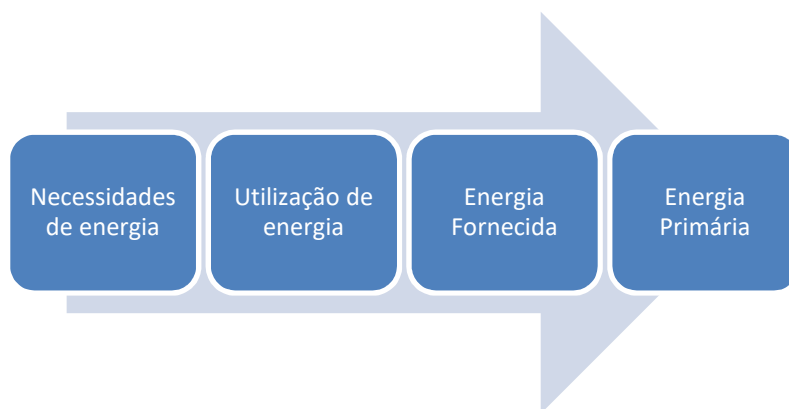


Figura 5.1 - Exemplo ilustrativo do método de cálculo.

As medidas a submeter ao edifício na metodologia do custo ótimo de rentabilidade, não deverão ser aplicadas isoladamente, pois mesmo com a presença de medidas de eficiência não-renovável, uma combinação de medidas poderá contribuir para a redução do consumo de energia primária e de CO₂. Como por exemplo, uma determinada espessura de isolamento, poderá desempenhar um rendimento ótimo mais elevado, quando implementada individualmente, do que, quando implementada no pacote de medidas. Geralmente, menores espessuras de isolamento proporcionam uma rentabilidade ótima maior, quando aplicadas em conjunto com outras medidas de procura de energia, fato que, poderá ser explicado pela eficiência do sistema e o custo de instalação do sistema de aquecimento e/ou arrefecimento.

Face ao número de possíveis soluções dentro de cada categoria, a Comissão Europeia recomenda que se aplique ao edifício, no mínimo, 10 combinações, pois quanto maior for o número de combinações realizadas, maior será o nível de precisão da medida mais adequada

para o edifício em questão [94]. Neste caso, o objetivo do custo ótimo de rentabilidade é de identificar qual a combinação que proporciona a maior redução económica no consumo de energia primária em função da sua rentabilidade, considerando o custo de investimento e o retorno financeiro estimado. A regulamentação não impõe a aplicação de uma medida ambiciosa que não seja rentável, nem a mesmo a longo prazo, apesar dos benefícios ambientais.

5.3 NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

O desempenho energético dos edifícios, de acordo com a Diretiva 2010/31/UE, como já foi mencionado anteriormente, é expresso em energia primária, sendo determinado com base no consumo anual utilizado para satisfazer as necessidades associadas ao funcionamento do edifício, de forma a alcançar ou manter o conforto interior desejado. Na metodologia de cálculo do desempenho energético, primeiramente, são calculadas as necessidades nominais de energia final para aquecimento e arrefecimento, através do balanço entre os ganhos energéticos passivos e as perdas de energia pela envolvente. Em segundo lugar, é calculado a energia final para todas as utilizações (aquecimento, arrefecimento, AQS, ventilação e iluminação), subtraindo depois a energia térmica e elétrica produzidas *in situ*, através de fontes de energia renovável (bombas de calor, coletores solares, painéis fotovoltaicos, entre outros). Em terceiro lugar, é calculada a energia primária não-renovável associada às necessidades de energia final do edifício, determinada pela multiplicação dos fatores de conversão de energia primária para cada vetor energético. Em último lugar, o desempenho energético será calculado pelo balanço entre o vetor da energia primária exportada para a rede e a energia primária não-renovável importada pelo edifício [64].

Nos limites de fronteira dos sistemas propostos na EN 15603:2008, a energia renovável produzida, *in situ*, não faz parte da energia fornecida (importada) ao edifício, como por exemplo, a energia elétrica da rede, o gás natural ou os *pellets*, multiplicados pelos respetivos fatores de conversão de energia primária. Tornando-se relevante, uma adaptação à Norma Europeia, para que as soluções de energia renovável entrem em concorrência direta com outras soluções do lado da procura de energia. Assim, desta forma, independentemente do vetor energético associado ao sistema, assegura-se a finalidade de encontrar a solução que efetivamente apresenta o menor consumo de energia, sem discriminação nem favorecimento de determinada tecnologia ou equipamento. É natural que a implementação de sistemas de fonte renovável seja mais atrativa em termos de eficiência de custos do que outros sistemas, mas a metodologia de cálculo deve ser sempre em função da solução que garanta o menor consumo de energia final [64].

5.4 CUSTOS GLOBAIS

A expressão «custos globais» é transposta da norma EN 15459 e é designada na literatura por «análise dos custos do ciclo de vida» [64]. O cálculo do custo global do pacote de medidas toma em consideração o investimento inicial, manutenção e a soma dos custos anuais. Este último, resulta de um valor atual líquido, utilizando uma taxa de desconto para contabilizar

todos os fluxos de caixa durante o ciclo de vida do edifício avaliado. Ou seja, não são contabilizados os aumentos ou diminuições dos custos dos materiais, energia e/ou manutenção associados à aplicação das medidas, pois os custos são estimados utilizando as taxas de crescimento real constantes, sem a instabilidade da inflação.

No cálculo do nível ótimo de rentabilidade, o valor atual líquido poderá ser avaliado sob diferentes perspectivas, destacando a distinção entre a perspectiva social ou macroeconómica e a perspectiva financeira ou microeconómica. A perspectiva social ou macroeconómica é caracterizada pelas preocupações da sociedade relacionadas com a diminuição do consumo de energias de origem fóssil ao nível ambiental e na saúde. O cálculo é realizado mediante a contabilização de todos os custos associados ao edifício, adicionando o custo associado às emissões de CO₂. A perspectiva financeira, para além da contabilização de todos os custos associados ao edifício, considera todas as taxas e subsídios aplicáveis ao investimento, mas não considerando os custos relacionados com as emissões [94].

Para o cálculo do custo global associado a cada uma das combinações de eficiência energética, é necessário calcular os respetivos custos de investimento, os custos de manutenção e os custos associados ao consumo de energia. Para a perspectiva privada a taxa de desconto deve ser de 6%, enquanto para a perspectiva social a taxa deve ser de 3% [94].

O custo global do ciclo de vida dos edifícios pode ser alcançado sob duas vertentes, do ponto de vista privado e do ponto de vista social. A diferença entre ambas prende-se com a inclusão de impostos e encargos financeiros na perspectiva privada e pela inclusão dos custos de carbono na perspectiva social.

Na perspectiva social ou macroeconómica, o cálculo é efetuado pela seguinte equação [94]:

$$C_g(\tau) = C_I + \sum_j \left[\sum_{i=1}^{\tau} (C_{(a,i)}(j) \cdot R_d(i) + C_{c,i}(j)) - V_{f,\tau}(j) \right] \quad [€/m^2] \quad (23)$$

Na perspectiva financeira ou microeconómica, o cálculo é efetuado pela seguinte equação [94]:

$$C_g(\tau) = C_I + \sum_j \left[\sum_{i=1}^{\tau} (C_{(a,i)}(j) \cdot R_d(i)) - V_{f,\tau}(j) \right] \quad [€/m^2] \quad (24)$$

em que:

τ - período de cálculo;

$C_g(\tau)$ - custo global (relativo ao ano inicial τ_0) no período de cálculo;

C_I - custo do investimento inicial para a medida ou conjunto de medidas j ;

$C_{c,i}(j)$ - custo do carbono para a medida ou conjunto de medidas j durante o ano i ;

$C_a(j)$ - custo anual no ano i para a medida ou conjunto de medidas j ;

$V_{f,\tau}(j)$ - valor residual da medida ou conjunto de medidas j no final do período de cálculo (em relação ao ano inicial τ_0);

$R_d(i)$ - fator de desconto no ano i , com base na taxa de desconto r a calcular a partir da seguinte expressão:

$$R_d(p) = \left(\frac{1}{1 + \frac{r}{100}} \right)^p \quad (25)$$

Na Figura 5.2, é demonstrado a relevância da variação dos custos globais (somatório entre os custos de manutenção, dos custos de energia e dos custos de investimento) na implementação de pacotes de medidas na análise ao custo ótimo de rentabilidade de um edifício.

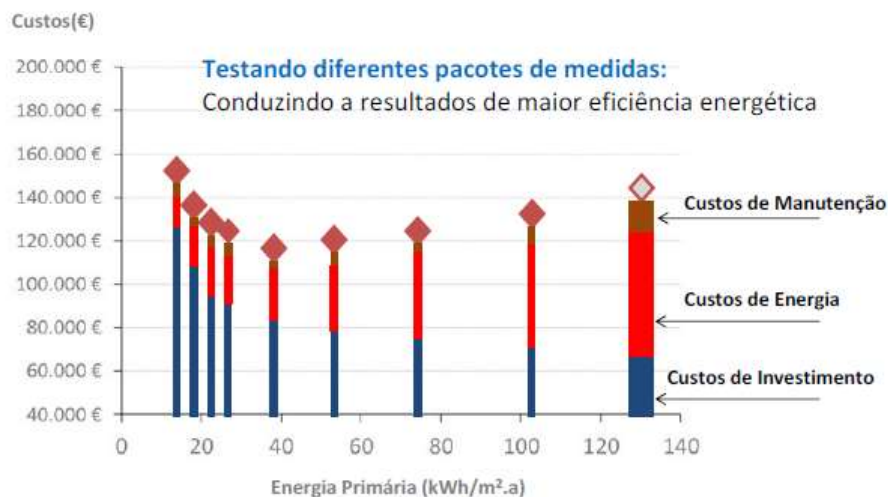


Figura 5.2 - Metodologia para obtenção dos níveis ótimos de rentabilidade [5].

O nível ótimo de rentabilidade é encontrado pelo valor de custo global mais baixo entre os pacotes de medidas aplicadas ao edifício de referência, sendo expectável, que um aumento do custo de investimento conduza a um menor custo de energia.

O período para a projeção dos custos de um edifício residencial é considerado de 30 anos, período pelo qual o edifício é sujeito a uma renovação importante, incluindo a melhoria do edifício e a adaptação a uma nova realidade face às mudanças das necessidades dos seus ocupantes. O ciclo de vida do edifício poderá ter uma duração superior ou inferior ao período de cálculo, mas o método dos custos globais permite ter em consideração o valor residual das componentes do edifício. O valor residual permite expressar o valor final do elemento, após a sua depreciação no final de vida útil. Em termos de cálculo, se os componentes (isolamento, envidraçados, sistemas técnicos) ainda possuírem tempo de vida útil, o valor residual atualizado deverá ser subtraído ao custo global, impondo que no final do período de cálculo,

os investimentos nas medidas a aplicar não possuem nenhum valor. No Quadro 5.1 estão dispostos os ciclos de vida estimados para cada componente.

Quadro 5.1 - Ciclos de vida estimados - elementos e sistemas do edifício.

Elementos / Sistemas	Vida útil (anos)
Isolamento térmico	50
Envidraçados	40
Sistemas de arrefecimento e/ou aquecimento	20
Sistemas de preparação de AQS	20
Sistemas baseados em fontes de energia renovável	20

Por exemplo, nos equipamentos de aquecimento, como a caldeira, cujo período de vida útil é de 20 anos, no final do respetivo ciclo deverão ser substituídos por novos equipamentos, devendo amortizar-se os custos de substituição por metade do valor dos equipamentos substituídos (valor residual). Ou seja, durante um período de 30 anos (Figura 5.3), deverá ser incluído o valor do investimento inicial, novamente o valor do custo de substituição, amortizando o valor residual da componente substituída. Os custos relacionados com a substituição de componentes devido a problemas de funcionamento, são contabilizados nos custos de manutenção.

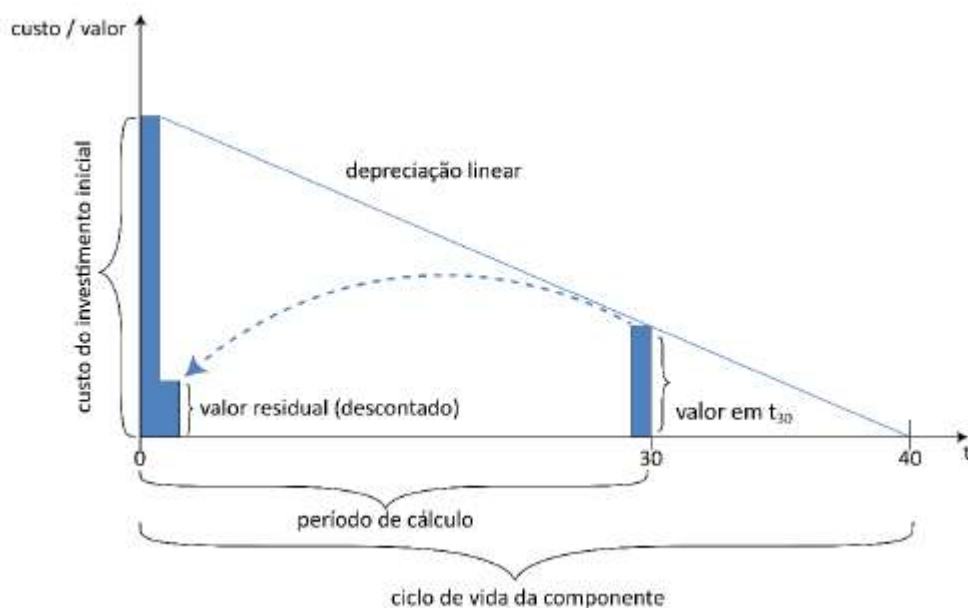


Figura 5.3 - Cálculo do valor residual da componente de um edifício [64].

Para o cálculo dos custos globais, existem quatro custos a considerar, que se descreve seguidamente:

- Custo de investimento inicial;
- Custo anual do pacote/variante da medida;
- Custos das emissões de gases com efeito de estufa;
- Custos de eliminação (opcional).

Seguidamente apresenta-se a síntese de cada custo apresentado anteriormente.

- **Custo de investimento inicial**

O custo de investimento inicial é calculado contabilizando, o valor do custo associado à mão de obra, aquisição de materiais e equipamentos utilizados. Uma vez, que a metodologia do custo ótimo de rentabilidade incide sobre a comparação de medidas (ao invés da avaliação dos custos totais para o investidor e para o utilizador do edifício) podem ser omitidos os seguintes custos:

- Custos relativos a componentes que não influenciam o desempenho energético do edifício;
- Custos que são idênticos para todas as medidas avaliadas para um determinado edifício de referência.

Na perspetiva privada, os custos de investimento deverão ser acrescentados a contribuição do Imposto de Valor Acrescentado (IVA) em vigor, de 23%.

- **Custo anual do pacote/variante da medida**

O custo anual é composto por:

- Custo de funcionamento, caracterizado pelo somatório dos custos do consumo de energia (resultado do cálculo do desempenho energético e das tarifas de energia), custos de manutenção (inspeções, adaptações, limpeza e reparações) e o custo operacional (relacionados com seguros, impostos, etc.);
- Custos de substituição periódica.

O custo energético, na prática, é traduzido pela conversão do consumo anual de energia primária em unidades financeiras. Esta categoria de custos depende de diversos fatores, como as tarifas da energia, a eficiência energética e as necessidades de climatização do edifício. De acordo com o anexo II do Regulamento Delegado (UE) 244/2012, as tendências da evolução do custo dos combustíveis e da eletricidade são fornecidas pela comissão Europeia e atualizados duas vezes por ano.

As receitas financeiras resultantes da energia elétrica produzida por sistemas de fonte renovável podem ser deduzidas nos custos anuais. A opção de incluir tais receitas, levará

naturalmente à inclusão de todos os impostos, taxas e subsídios, que apenas poderia ser incluída a nível da perspectiva financeira [64].

- Custos das emissões de gases com efeito de estufa

Para o cálculo da rentabilidade ótima a nível macroeconómico, o Regulamento Delegado (UE) 244/2012 exige que os custos das emissões de gases com efeito de estufa sejam tomados em consideração. Para isso, basta multiplicar a soma das emissões anuais de gases com efeito de estufa emitidos pelo edifício pelo preço por tonelada de CO₂. Os preços estimados são equivalentes aos preços praticados pelo Regime de Comércio de Licenças de Emissão da União Europeia (RCLE EU), no âmbito da redução de emissões de gases, obrigando as empresas a restituir direitos de emissão equivalentes ao total das suas emissões de CO₂, originando, deste modo, um sistema de limitação e comércio de emissões (“*cap and trade*”). Os preços estipulados são de 20 euros por tonelada de carbono até 2025, 35 euros até 2030 e 50 euros após 2030 [94].

- Custos de eliminação

Os custos de eliminação, sendo opcional, podem ser subtraídos ao valor final do período de cálculo, contemplando os custos de demolição no final da vida útil de edifício ou componente do edifício, que incluem a demolição, a remoção de componentes do edifício que não tenham chegado ao fim da sua vida útil, o transporte e a reciclagem.

5.5 NÍVEL ÓTIMO DE RENTABILIDADE

Na determinação do nível ótimo de rentabilidade do desempenho energético para cada edifício, é necessário diferenciar dois conceitos, o custo efetivo e o custo ótimo. Os termos estão relacionados entre si, mas são diferentes, sendo o custo ótimo um caso especial do custo efetivo. Deste modo, o custo efetivo é identificado quando o custo da implementação da medida ou do conjunto de medidas é inferior ao valor dos benefícios resultantes do tempo de vida da medida, quando comparada com um cenário de referência. Se o valor do custo atual líquido for positivo, resultado da equação dos custos globais, então, a ação é considerada como “custo efetivo”. O custo ótimo é relacionado com uma ação ou uma combinação de ações, que maximiza o valor atual líquido [117].

Para entender melhor o conceito de custo efetivo, observando a Figura 5.4, as medidas rentáveis são todos os pacotes de medidas de eficiência energética que apresentam valores de custos globais inferiores ao custo global do edifício de referência, que deste modo, são igualmente consideradas como medidas de custo efetivo. As medidas poderão ser consideradas não rentáveis, quando o custo de implementação é superior aos benefícios a obter durante o período de vida dessa medida, ou sempre que, o custo de implementação seja superior ao custo global do edifício de referência.

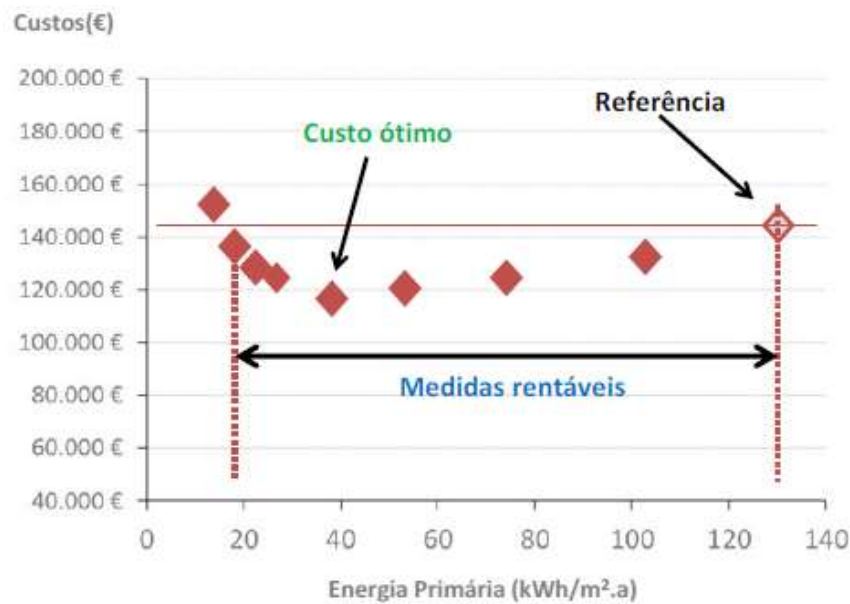


Figura 5.4 - Metodologia para obtenção dos níveis ótimos de rentabilidade [99].

Na análise à metodologia do cálculo do custo ótimo de rentabilidade, encontra-se à direita, na Figura 5.4, o custo global relativo ao edifício de referência, sobre o qual é efetuado a comparação dos resultados obtidos pela aplicação de pacotes de medidas de eficiência energética. Ao centro, no ponto de inflexão da curva (ponto de custo ótimo), encontram-se as soluções construtivas que apresentam o maior equilíbrio entre custos de implementação das medidas e os desempenhos energéticos do edifício. Entre o ponto de inflexão da curva e o edifício de referência, encontram-se, as soluções tecnicamente deficitárias em termos de climatização passiva, cujo custo de energia, desempenha um papel importante dentro do custo global das soluções. À esquerda da concavidade encontram-se as soluções que estão mais próximas do conceito nZEB, apresentando custos totais mais elevados, mas com custos de energia bastante reduzidos, refletindo uma grande independência, face a oscilações do custo de energia.

6 CASO ESTUDO “ECO-POWER ZERO RESIDENCE”

O projeto “*Eco Power Zero Residence*”, pretende ser o primeiro *resort* de luxo autossustentável e com zero emissões de CO₂ na Europa, que será composto por 20 moradias unifamiliares. Localizado na freguesia da Mexilhoeira Grande, concelho de Portimão, a arquitetura do empreendimento foi elaborada pelo arquiteto João Nuno Laranjo, e a estratégia energética foi delineada pelo arquiteto francês Henrich Fitger. Tratando-se de um projeto pioneiro, com reconhecido valor no mercado, os benefícios da construção deste empreendimento refletem-se em termos ambientais, pelo elevado desempenho energético (traduzido no reduzido consumo de energia e pela utilização de equipamentos de elevada eficiência), pela qualidade do ar interior e exterior, pelo conforto térmico e pelo aumento da durabilidade do ciclo de vida, servindo de modelo para futuros projetos e empreendimentos. No entanto, na data final da dissertação, o projeto do empreendimento encontra-se suspenso.



Figura 6.1 - Empreendimento “Eco Power Zero Residence”.



Figura 6.2 - Perspetiva em 3D da moradia unifamiliar.

6.1 METODOLOGIA DE CÁLCULO DO CASO DE ESTUDO

No âmbito do presente tema da dissertação, o referido caso de estudo, teve como objetivo alcançar os requisitos de um edifício com consumo nulo de energia, com elevados padrões de conforto térmico, mas que ao mesmo tempo, se apresentasse como uma solução viável no contexto económico. Adotou-se a abordagem de cálculo dos níveis ótimos de rentabilidade, sustentada pelo Regulamento Delegado (UE) 244/2012, que através, da comparação de medidas de eficiência energética aplicadas ao edifício de referência, é possível encontrar a solução que apresenta o melhor custo benefício.

O caso de estudo foi dividido em seis passos:

1. Caracterização do edifício de referência (classe A);

Delineou-se as soluções construtivas do edifício em estudo, de acordo com a arquitetura e respeitando as exigências dos requisitos mínimos da legislação em vigor, de forma a representar um edifício novo, sem grande exigência térmica e económica, para posteriormente introduzir ao edifício combinações de soluções de eficiência energética e analisar, de que forma, é possível alcançar um NZEB, e quais os custos inerentes a este conceito.

2. Análise ao desempenho energético e económico, da aplicação de medidas passivas isoladas no contexto da redução das necessidades de energia útil de aquecimento e arrefecimento do edifício de referência;

Para diminuir a exaustividade das combinações de medidas de eficiência energética, primeiramente procedeu-se à análise isolada das estratégias passivas, para conhecer quais são as características das variáveis que conduzem a menores custos globais associados a um desempenho energético elevado. Posteriormente, formulou-se um conjunto de combinações com as variáveis com maior influência, para a aplicar ao edifício de referência, de forma, a proceder à avaliação dos níveis ótimos de rentabilidade.

Para estudar o desempenho energético das diferentes soluções, utilizou-se a folha de cálculo de avaliação do comportamento térmico e do desempenho energético de edifícios, do Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico da Construção (ITECONS), com base no Decreto-Lei 118/2013. O desempenho energético é expresso em energia primária anual, considerando apenas a utilização de energia para aquecimento, arrefecimento, AQS e ventilação mecânica, respeitando o novo roadmap de 2016.

3. Avaliação do custo ótimo de rentabilidade de pacotes de medidas passivas.

O cálculo do custo ótimo de rentabilidade é realizado através da aplicação de combinações entre medidas de eficiência energética ao edifício de referência. Começando com os requisitos mínimos atuais, aumentando gradualmente a sua exigência até ao nível do *net-zero energy building*, tanto no desempenho energético como no desempenho financeiro.

Para a análise dos níveis ótimos de rentabilidade recorreu-se à legislação em vigor, do Regulamento Delegado (UE) 244/2012, especificando um período de cálculo correspondente a 30 anos. O ciclo de vida económico do edifício será traduzido pela contabilização de todos

os custos associados à construção, operação e manutenção do edifício. No estudo do edifício, optou-se por utilizar apenas a metodologia de cálculo macroeconómica para a determinação do nível ótimo de rentabilidade. Esta metodologia permite incluir os custos de emissões de carbono, sendo o cálculo mais sensível no contexto da redução das emissões de CO₂. O regulamento propõe uma análise de sensibilidade para o cálculo macroeconómico com duas taxas de desconto, mas a análise sugerida não foi realizada, tendo sido utilizada para o cálculo, a taxa prescrita de 3%.

$$C_g(\tau) = C_I + \sum_j \left[\sum_{i=1}^{\tau} (C_{(a,i)}(j) \cdot R_d(i) + C_{c,i}(j)) - V_{f,\tau}(j) \right] \text{ [€/m}^2\text{]} \quad (26)$$

One o τ , corresponde ao período de cálculo, o $C_g(\tau)$ apresenta o custo global (relativo ao ano inicial τ_0) no período de cálculo, o C_I expõe o custo de investimento inicial para a medida ou conjunto de medidas j , o $C_a(j)$ corresponde ao custo anual no ano i para a medida ou conjunto de medidas j , o $V_{f,\tau}(j)$ apresenta o valor residual da medida ou conjunto de medidas j no final do período de cálculo (em relação ao ano inicial τ_0) e o $R_d(i)$ é o fator de desconto no ano i , com base na taxa de desconto r a calcular a partir da seguinte expressão:

$$R_d(p) = \left(\frac{1}{1 + \frac{r}{100}} \right)^p \quad (25)$$

Na parcela dos custos anuais, contabilizou-se somente os custos referentes à manutenção dos equipamentos e das soluções construtivas. Os custos de energia de cada combinação, está de acordo com a evolução dos preços da energia a longo prazo sugerida pelo Eurostat (anexo IV).

Na análise ao custo ótimo de rentabilidade, pretende-se avaliar a relação entre as necessidades de energia primária, em função dos custos globais das medidas aplicadas, variando os fatores do custo de energia (das diversas fontes utilizadas) e os custos de investimento (variando as taxas de desconto). A avaliação da variabilidade de todos estes fatores revela-se de extrema importância, para se ter a percepção da amplitude do seu impacto nos resultados, em diferentes cenários. Resultando o gráfico que se apresenta na Figura 6.3.

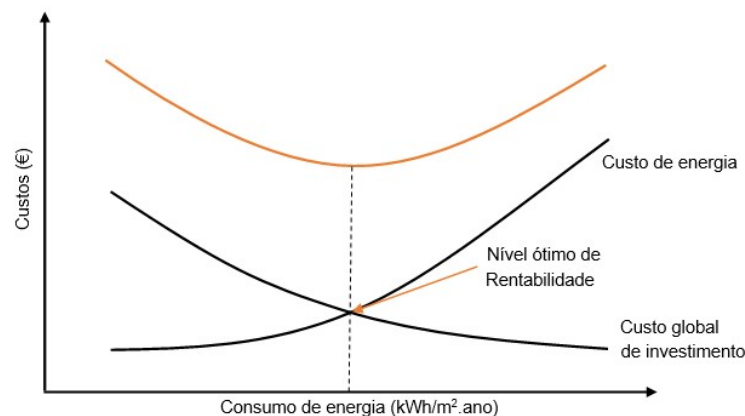


Figura 6.3 - Curva do custo ótimo de rentabilidade

O valor dos custos globais poderá ser calculado em conformidade com a abordagem dos «custos completos», que neste registo, poderá ser omitido os custos dos elementos que não influenciam diretamente o desempenho energético do edifício, e os custos dos elementos que são iguais em todas as medidas aplicadas [94]. Portanto, foi opção para o presente caso de estudo a utilização da abordagem dos «custos completos». O custo global do investimento inicial das soluções, está associado à aquisição do equipamento/material, à mão de obra, aos meios auxiliares da instalação e manutenção, cuja informação foi recolhida através de orçamentos recebidos e com recurso ao programa *gerador de preços*, do CYPECAD. Todos os cálculos dos custos globais efetuados nos subcapítulos seguintes, encontram-se no Anexo II.

No que diz respeito à intervenção na envolvente, o custo global do investimento é calculado pelo preço da aquisição do material multiplicado pela área total a intervir, incluindo todos os encargos nela inseridos. No caso dos sistemas técnicos, o custo de investimento corresponde ao custo da aquisição e da respetiva instalação, com todos os acessórios inerentes ao seu bom funcionamento.

4. Avaliação do custo ótimo de rentabilidade, da aplicação de sistemas de procura de energia de fonte renovável e não-renovável ao edifício de referência;

À solução do custo ótimo encontrada, introduziu-se sistemas de procura de energia renovável e não-renovável, elaborando-se medidas ou conjunto de medidas, que seguem uma hierarquia e têm particular incidência, na redução das necessidades de energia primária, pela otimização de sistemas de climatização e preparação de AQS de elevada eficiência. Novamente, avalia-se os níveis ótimos de rentabilidade para encontrar a solução com o melhor desempenho energético associada ao menor custo global.

5. Introdução de sistemas de produção de energia renovável;

Posteriormente, às combinações de sistemas de procura de energia, com as menores necessidades de energia primária não-renovável, foram adicionados sistemas de produção de energia renovável (painéis fotovoltaicos).

O cálculo da energia elétrica de fonte renovável gerada no edifício, para autoconsumo, foi dimensionada através do programa SCE, disponibilizado pela DGEG. Relativamente à compatibilidade de carga temporal, como a legislação nacional não apresenta perfis de consumo dos ocupantes, o autoconsumo para suprimir as necessidades de energia para arrefecimento, foram calculadas para cada cenário, considerado que, o perfil de consumo é diário (24), repartindo as necessidades de energia útil para arrefecimento pelo período da estação de arrefecimento 2928 h (4 meses), assim como, as necessidades de energia útil para aquecimento, corresponde ao período da estação de aquecimento, de 4,8 meses.

6. Análise ao balanço energético.

Para a avaliação do balanço energético final das soluções com sistemas de geração de energia elétrica de fonte renovável no local, utilizou-se as definições e metodologias de dois tipos de balanço (balanço carga vs geração e balanço importação vs exportação) para dois sistemas de ponderação diferentes (fatores de conversão de energia primária), simétrico e

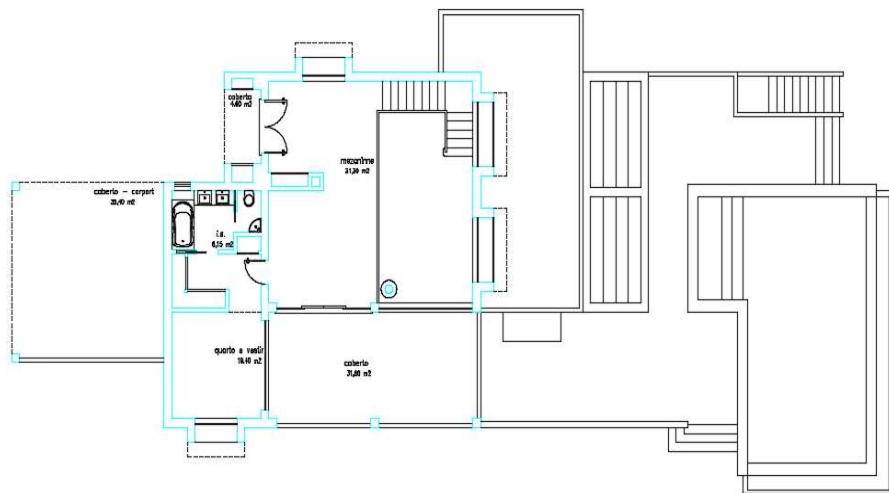


Figura 6.5 - Planta de arquitetura do rés do chão.

No Quadro 6.1, apresenta-se um resumo das características gerais do edifício.

Quadro 6.1 - Caracterização do edifício em estudo.

Funcionalidade	Habitação Unifamiliar
Enquadramento	Licença de Edificação
Latitude	Não definida
Longitude	Não definida
Altitude	20
Distância à costa	Inferior a 5 Km
Edifício situado	Periferia de zona urbana
Zona climática Inverno	I1
Zona climática Verão	V3
Tipologia	T3 (4 ocupantes)
N.º de Pisos	2
Área de pavimento útil (m ²)	189,1
Envolvente exterior opaca (m ²)	241,46
Envidraçados (m ²)	78,92
Elementos enterrados (m ²)	161,58

6.2.1 SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

As soluções construtivas do edifício foram delineadas em conformidade com os requisitos de conceção para edifícios novos, ao abrigo do REH. O objetivo foi definir um edifício tradicional, sem elevadas exigências térmicas e económicas, de modo a que, ao aplicar medidas de eficiência energética, para alcançar um edifício com consumo nulo de energia, fosse possível avaliar o impacto económico e encontrar o ponto de rentabilidade ótimo das soluções.

No decorrer do presente capítulo, a designação de edifício de referência, é remetido para o edifício do caso de estudo, que contempla todas as soluções construtivas base e nele, posteriormente, serão submetidas todas as medidas de eficiência energética, para avaliação do desempenho energético. A designação de edifício de referência, não está relacionado com o edifício de comparação na folha de cálculo do ITECONS.

As soluções seguintes, são referentes ao edifício de referência, podendo sofrer alterações no decorrer da investigação. Cujos cálculos encontram-se discriminados no Anexo I.

Implementou-se o sistema ETICS em todas as paredes em contacto com o exterior ou com o terreno. O sistema é indicado para corrigir as pontes térmicas planas, reduzindo as condensações interiores, protegendo a estrutura e a alvenaria dos choques térmicos, aumentando assim o ciclo de vida do edifício. Neste sentido as paredes exteriores são constituídas, do exterior para o interior, por 0,5 cm de reboco (camada de primário com a camada base, incluindo a armadura em fibra de vidro), 6 cm de isolamento térmico (placas de Poliestireno Expandido Moldado (EPS)), tijolo furado maciço de 20 cm e 1,5 cm de estuque tradicional.

Na semicave, as paredes de betão armado servem de suporte para aplicação exterior de materiais impermeabilizantes e de placas de poliestireno expandido extrudido (XPS) de 6 cm, cujas características são as mais apropriadas às condicionantes dos elementos em contacto com o terreno, devido à sua elevada resistência mecânica em comparação com outros isolamentos. Na face interior das paredes, é aplicado 1,5 cm de estuque tradicional. A parede interior em contacto com a corete (cujo Btr é de 0.8) será composta por 1,5 cm de estuque tradicional, tijolo furado maciço de 11 cm e 6 cm de XPS face às imposições do atual regulamento.

O pavimento do piso térreo é composto, por uma camada de enrocamento de espessura 20 cm sob um filtro geotêxtil, seguido por 15 cm de massame de betão armado, uma barreira pára-vapor, uma camada de enchimento de 12 cm, isolamento térmico XPS de 3 cm, camada de regularização de 2 cm e por fim 1 cm de ladrilho cerâmico.

Por sua vez, o pavimento intermédio é constituído por 1 cm de ladrilho cerâmico sobre uma betonilha de regularização, seguido de uma camada de enchimento de betão leve (Leça 700 kg/m³) de 12 cm, laje de betão armado de 18 cm e 1,5 cm de estuque tradicional na face interior.

A cobertura exterior em terraço, encontra-se definida de acordo com o sistema invertido (isolamento térmico sobre a impermeabilização), sendo constituída do exterior para o interior, por 1 cm de ladrilho cerâmico, camada de regularização de 2 cm, 6 cm de isolamento térmico

(XPS), tela de impermeabilização, 10 cm de uma betonilha de enchimento de betão leve com as devidas pendentas, laje de betão armado com 18 cm e estuque projetado com 1,5 cm.

Relativamente, aos envidraçados aplicados no projeto base são divididos em 4 tipos:

- Vãos envidraçados simples, de correr, com caixilharia metálica com corte térmico, de vidro duplo, sendo constituídos do interior para o exterior, por 5 mm + 8 mm (Cx. De ar) + 6 mm. Os envidraçados apresentam um fator solar ($g_{L,v}$) de 0,78, com proteção de estores de réguas plásticas, de baixa permeabilidade ao ar e de cor clara. Vãos presentes nos quartos e sala;
- Vãos envidraçados simples giratórios, com caixilharia metálica com corte térmico, de vidro duplo, sendo constituídos do interior para o exterior por 5 mm + 8 mm (Cx. De ar) + 6 mm. Os envidraçados apresentam um fator solar ($g_{L,v}$) de 0,78, com proteção de estores de réguas plásticas, de baixa permeabilidade ao ar e de cor clara. Vãos presentes na *mezzanine* e numa das circulações;
- Vãos envidraçados simples fixos, com caixilharia metálica com corte térmico, de vidro duplo, sendo constituídos do interior para o exterior por 5 mm + 8 mm (Cx. De ar) + 6 mm. Os envidraçados apresentam um fator solar ($g_{L,v}$) de 0,78, com proteção de estores de réguas plásticas, de baixa permeabilidade ao ar e de cor clara. Vãos presentes na sala;
- Vãos envidraçados simples giratórios, com caixilharia metálica com corte térmico, de vidro duplo, sendo constituídos do interior para o exterior por 5 mm + 6 mm (Cx. De ar) + 8 mm (capa PLANITHERM 4S). Os envidraçados apresentam um fator solar ($g_{L,v}$) de 0,48, sem proteção. Vãos presentes nas instalações sanitárias.

As características dos materiais utilizados nas soluções construtivas, foram obtidas através das fichas técnicas dos fornecedores e da consulta do ITE 50, LNEC. Apresentando-se no Quadro 6.2, um resumo dos coeficientes de transmissão térmica dos elementos do edifício.

Quadro 6.2 - Coeficientes de transmissão térmica dos elementos da envolvente.

Elemento	U W/m ² .°C (solução)	U W/m ² .°C (máximo)
Parede exterior	0,407	0,5
Ponte térmica Plana	0,506	Verifica
Caixa de Estore	0,884	Verifica
Muro de Betão Exterior	0,477	0,5
Parede Enterrada	0,498	Sem requisitos
Parede interior	0,453	0,5
Envidraçados	< 2,8	Verificado

Tendo em consideração os elementos construtivos, a inércia térmica do edifício é forte, conforme o cálculo na folha de cálculo do ITECONS.

6.2.2 VENTILAÇÃO NATURAL

No sentido da sustentabilidade destes edifícios, optou-se pela não inclusão da ventilação mecânica, nem no edifício de referência, nem nas medidas de melhoria de eficiência energética. A opção da utilização de ventilação natural, é uma estratégia de baixo custo para a melhoria da qualidade do ar interior (AQI), já que permite o controlo dos níveis de poluentes no interior do edifício através da renovação do ar. A ventilação natural também é por si própria, uma estratégia de arrefecimento durante a estação de Verão, considerando a existência da abertura dos envidraçados durante o período noturno.

A ventilação natural do edifício será cruzada, com a entrada de ar nos principais compartimentos (salas e quartos) através da instalação de grelhas autorreguláveis a 10 Pa sobre as caixilharias dos envidraçados, modelo *Invisivent Evo AK*, com um caudal de 8,0 l/s/m (28,8 m³/h/m), conforme as Figuras 6.6 e 6.7, apresentando um coeficiente de isolamento sonoro a sons de condução aérea padronizado de $D_{n,e,w}(C; C_{tr}) = 42(0; -2)dB$. A grelha autorregulável permite que o ventilador reaja a diferentes pressões, mantendo o fluxo de entrada de ar constante, minimizando as perdas de energia. A saída de ar viciado, será efetuado através de condutas verticais individuais nas instalações sanitárias, posicionadas a aproximadamente 2,1 m do pavimento, de área de 100 cm² (Ø125), para garantir a extração de 45 m³/h de ar, com saída da evacuação de ar, aproximadamente, a 1,0 acima do nível da cobertura em terraço. Existe apenas uma instalação sanitária, que face às suas características, optou-se pela utilização de duas grelhas fixas permanentemente abertas para a entrada e saída de ar, instaladas em orientações opostas com um diâmetro de 75 mm. Para a cozinha, procedeu-se à instalação de uma boca de extração, por cima do fogão, em conformidade com os requisitos da norma EN 13142.

O caudal de ar auferido pelo edifício, resultou da “Folha de Cálculo VENTILACAO_Rph_2014”, uma ferramenta de cálculo da ventilação para edifícios de habitação e para pequenos edifícios de comércio e serviços, disponibilizada pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), resultando um valor de 0,45 renovações por hora (h⁻¹).

Nas Figuras 6.4 e 6.5, é apresentado a localização das grelhas autorreguláveis (cor verde), das condutas verticais individuais (de cor ciano, com círculos a cheio e com uma seta) e ainda as grelhas fixas permanentemente abertas (a cor ciano, com a designação dos diâmetros).

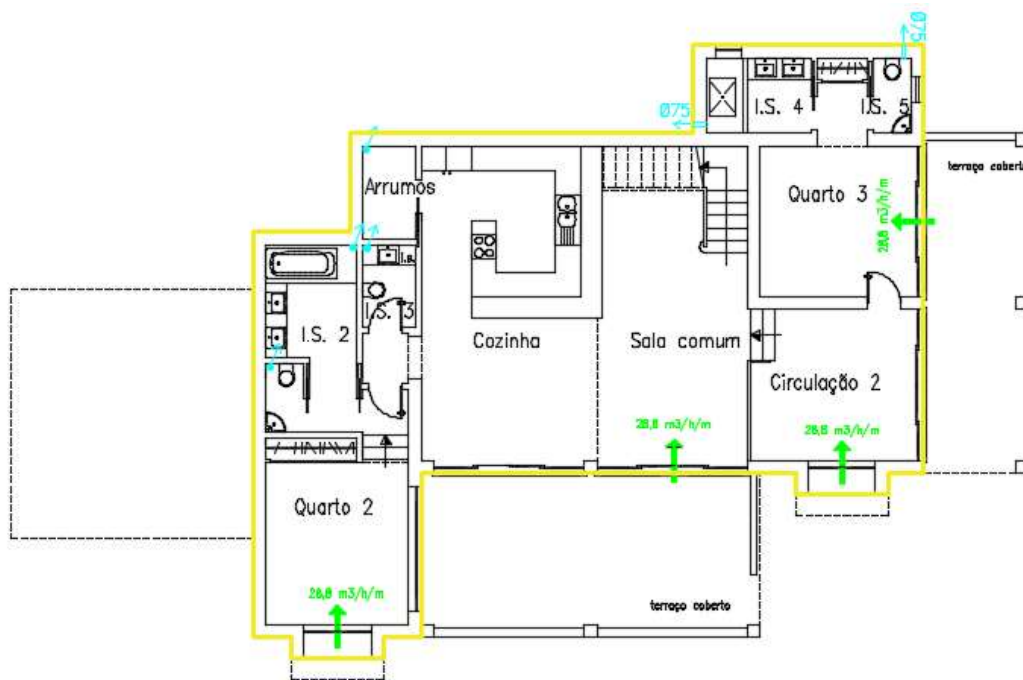


Figura 6.6 - Projeto da ventilação natural na planta da semicave.

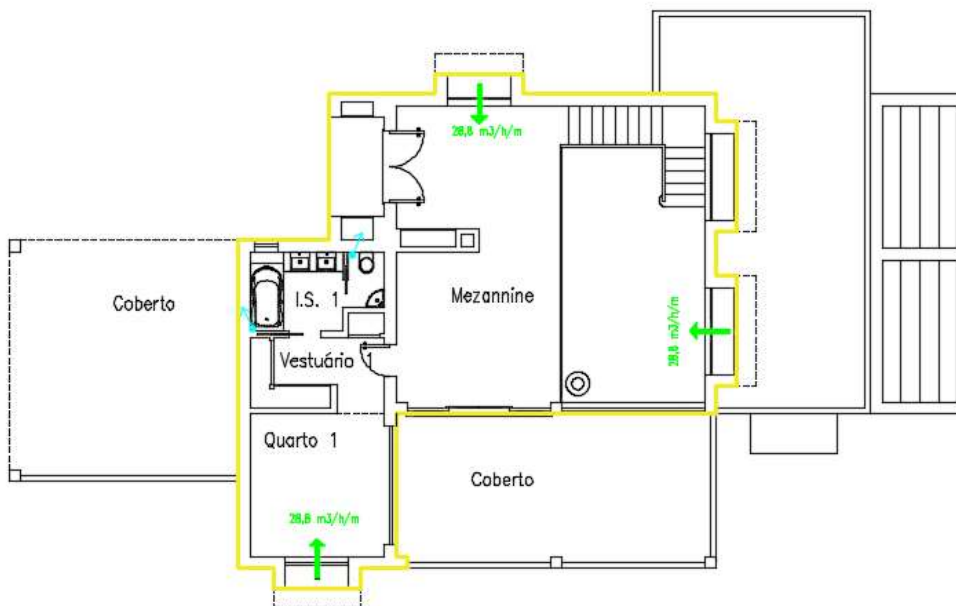


Figura 6.7 - Projeto da ventilação natural na planta do rés do chão.

As perdas por renovação de ar, apresentam um papel importante, pois quanto maior for a taxa de renovação horária, maior será as necessidades de energia útil para aquecimento, assim

como, quanto menor for a taxa de renovação horária, menor será as necessidades de energia útil para arrefecimento.

6.2.3 DESEMPENHO ENERGÉTICO

O desempenho energético do edifício de referência, com as soluções construtivas desenvolvidas anteriormente, respeitando os pormenores e as disposições do projeto de arquitetura, foi calculado através da folha de cálculo do ITECONS. O edifício não dispõe de climatização, assumindo que a procura de energia é caracterizada pelos sistemas técnicos por defeito, ao abrigo do REH, considerando uma resistência elétrica de eficiência de 1 para o aquecimento e um *chiller* de eficiência 3, para o arrefecimento. Naturalmente, as necessidades de energia primária final são elevadas e ostentam um valor longe do objetivo desta dissertação, alcançar um edifício NZEB.

Utilizando os fatores de energia primária de acordo com o Despacho 15793-D/2013, o desempenho energético é indicado no Quadro 6.3 (cujo cálculo regulamentar está demonstrado no Anexo VII), que apresenta duas colunas referentes aos valores de cálculo, sendo que na primeira, estão os valores do edifício de referência do caso de estudo (de acordo com as soluções construtivas iniciais) e na segunda, os valores do edifício de referência da folha de cálculo, que limita os valores das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento, energia útil para preparação de água quente sanitária e as necessidades nominais anuais globais de energia primária.

Quadro 6.3 - Desempenho energético do edifício de referência.

Sigla	Descrição	Valor	Ref.	
Nic	Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (kWh/m ² .ano)	12,32	33,42	
Nvc	Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (kWh/m ² .ano)	15,03	18,97	
Qa	Energia útil para preparação de água quente sanitária (kWh/ano)	2377	2377	Ntc/Nt
Eren	Energia produzida a partir de fontes renováveis (kWh/ano)	1899	1962	Classe Energética
Eren,ext	Energia exportada proveniente de fontes renováveis (kWh/ano)	0		A
Ntc	Necessidades nominais anuais globais de energia primária (kWh _{ep} /m ² .ano)	50,12	130,45	

6.3 SOLUÇÕES PASSIVAS

O edifício de referência foi dimensionado considerando todos os requisitos mínimos da legislação em vigor, o Decreto-Lei 118/2013. Não possuindo qualquer tipo de equipamento de climatização, existe apenas um sistema de energia renovável (coletores solares), de carácter obrigatório, para o aquecimento de águas quentes sanitárias. A intenção do edifício de referência, é ser similar a um edifício tradicional, com os requisitos atuais e sem grande exigência em termos de custos extras. Ao edifício de referência são aplicadas diferentes medidas de eficiência energética, avaliando o nível de desempenho energético e económico.

A prioridade deve ser dada à implementação de medidas passivas, que para além da influência direta na redução da carga térmica (ganho ou perda de calor), incidem diretamente na redução do consumo de climatização, reduzindo assim, a dependência energética e evitando a necessidade de investimentos avultados na produção de energia renovável. Antes de elaborar os pacotes de soluções de eficiência energética, procedeu-se à investigação isolada da influência dos seguintes fatores:

- Orientação do edifício;
- Sombreamentos (pelas fixas não estruturais);
- Melhoria da qualidade térmica dos envidraçados;
- Incremento da espessura do isolamento térmico no pavimento térreo;
- Incremento da espessura do isolamento térmico na cobertura exterior;
- Incremento da espessura do isolamento térmico na envolvente vertical opaca exterior;

Após a análise do custo ótimo de rentabilidade de cada fator mencionado, elaborou-se o pacote de combinações de medidas de eficiência energética que conduzem ao custo global mais baixo, em função da diminuição da procura de energia primária, considerando os custos de investimento, manutenção, valor residual e custos de energia. A análise decorreu como está exemplificado na Figura 6.8, em que, a medida ou o conjunto de medidas cujos os benefícios não compensam o custo de implementação (pontos a vermelho), são consideradas não rentáveis, enquanto que, as que minimizam esse custo global indicam os níveis ótimos de rentabilidade (pontos a azul).

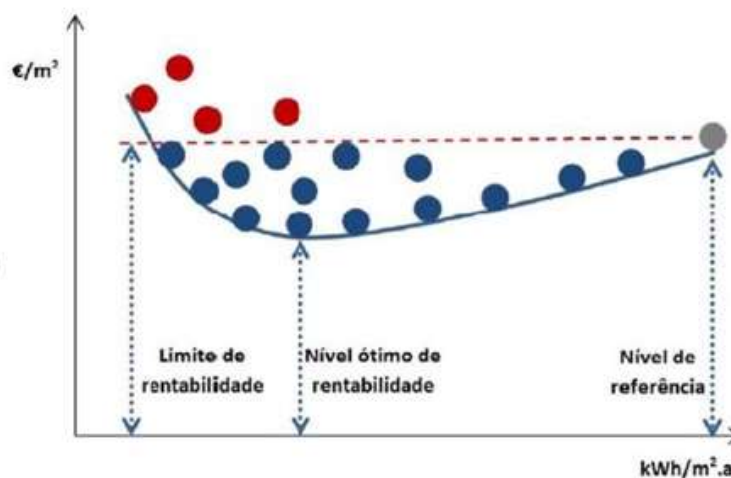


Figura 6.8 - Relação entre a rentabilidade positiva e o nível ótimo de rentabilidade [6].

6.3.1 ORIENTAÇÃO DO EDIFÍCIO

Para estudar a sensibilidade das necessidades de aquecimento e arrefecimento com a alteração da orientação do edifício, foram realizadas simulações para analisar a variação das necessidades de energia útil para climatização em função das orientações das fachadas do edifício. A forma de como o edifício está disposto para o trajeto de rotação do sol, é fundamental para a redução do consumo de energia útil, principalmente, durante a estação de aquecimento, potencializando os ganhos solares.

No projeto de arquitetura, não foi definido a orientação do edifício, que na fase do dimensionamento do edifício de referência, optou-se, por orientar a fachada com maior área de envidraçados para Sudeste (Figura 6.9). Neste ponto da dissertação, é verificado que a orientação escolhida, é a mais indicada para o edifício em questão.



Figura 6.9 - Alçado do edifício em estudo com a maior área de envidraçados.

Foram testadas quatro orientações, cujo o nome de cada interação é designado pela orientação da fachada com a maior área de envidraçados, observando-se ainda que, 95% dos envidraçados estão distribuídos apenas por duas fachadas. No Quadro 6.4, é possível analisar os ganhos solares em função da área de envidraçados do edifício.

Quadro 6.4 - Ganhos solares (kWh/ano) de Inverno e Verão para diferentes orientações.

		Orientação Sul	Orientação Sudoeste	Orientação Sudeste	Orientação Este
Área de envidraçados orientados para Sul (m ²)		35,98	0	0	39,00
Área de envidraçados no Quadrante Sul (m ²)		35,98	39,98	74,98	39,00
Ganhos Solares brutos	Verão kWh/ano	4648,57	4931,81	3882,84	5256,95
Ganhos solares brutos	Inverno kWh/ano	9020,86	8946,85	8926,61	8588,49

A melhor orientação do edifício deve ser avaliada em função da energia despendida para satisfazer o conforto térmico dos ocupantes. De acordo com o Quadro 6.4, as orientações a Sudoeste e a Este proporcionam os maiores ganhos solares no Verão, impondo desta forma, os maiores consumos de energia útil para arrefecimento, ultrapassando também, os valores limites impostos pela legislação, razão pela qual, estas orientações serão desprezadas. Por outro lado, a orientação a Sul é interessante a nível de ganhos solares durante o Inverno, diminuindo sensivelmente, as necessidades de energia útil para aquecimento, mas em comparação com a orientação a Sudeste, aumenta em 25% as necessidades de energia para arrefecimento.

No entanto, apesar da orientação a Sudeste não possuir envidraçados orientados a Sul, tem praticamente todos os envidraçados no quadrante Sul, significando que aproveita grande parte da radiação solar durante o Inverno, sendo protegida pelas palas de sombreamento durante o Verão.

Após a análise ao custo ótimo de rentabilidade das orientações, em termos económicos, o gráfico da Figura 6.10, confirma que a melhor solução é a orientação a Sudeste, sendo aquela que, apresenta os menores ganhos solares durante o Verão, e praticamente os mesmos ganhos solares durante o Inverno, como as restantes orientações.

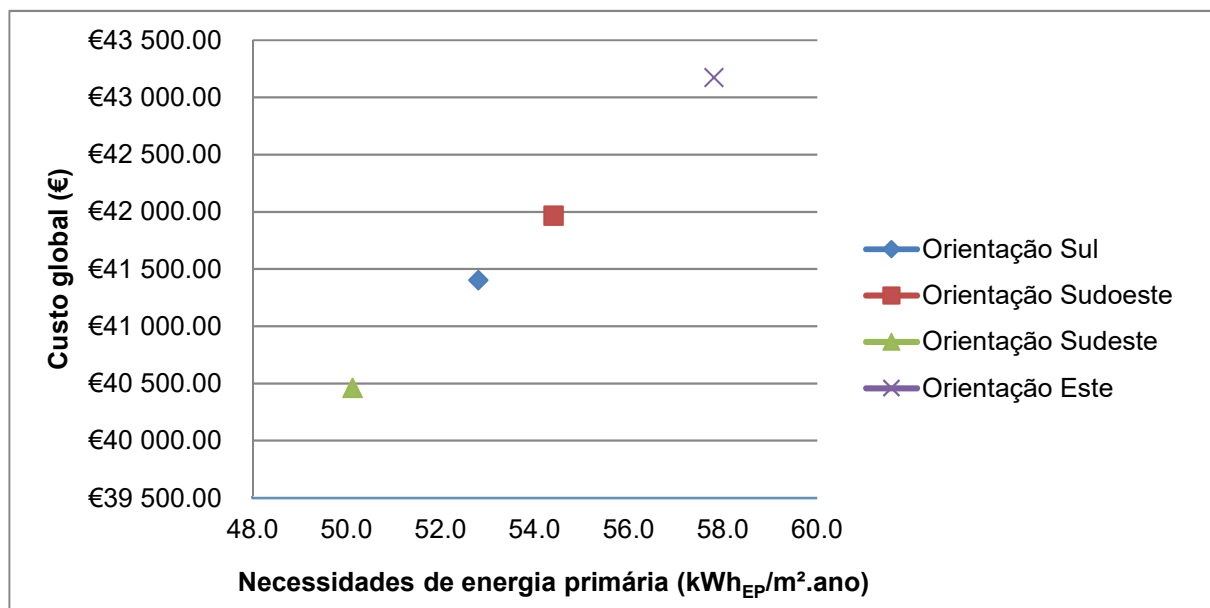


Figura 6.10 - Custo ótimo de rentabilidade das orientações do edifício.

A orientação a Este, é a solução que apresenta os valores mais elevados, quer em custos globais, quer em necessidades energéticas, face ao fraco controlo dos ganhos solares. Comparando a solução de orientação Sudeste (melhor desempenho energético) e a orientação a Este (pior desempenho energético), existe uma diferença de eficiência energética de 15%, tornando-se assim, numa medida com resultados relevantes para alcançar um edifício com consumo nulo de energia.

De salientar, que os custos referenciados no gráfico são os custos globais, mas o custo de investimento inicial e manutenção, nestes casos, são iguais para todas as orientações. No entanto, as diferenças dos valores nas soluções, prendem-se com o custo total da energia elétrica e das emissões de carbono durante o ciclo de vida do edifício (30 anos), que variam em função da redução das necessidades de energia útil para a climatização do edifício.

6.3.2 SOMBREAMENTOS

O projeto de arquitetura do atual edifício em estudo, possui palas de sombreamento verticais e horizontais em todos os vãos envidraçados, à exceção das instalações sanitárias e dos envidraçados cujo sombreamento é provocado pela estrutura do edifício. As palas de sombreamentos previnem a entrada da radiação solar direta no Verão, funcionando assim, como uma proteção solar e uma estratégia de arrefecimento. Na Figura 6.11, apresenta-se um exemplo das palas projetadas para o edifício.

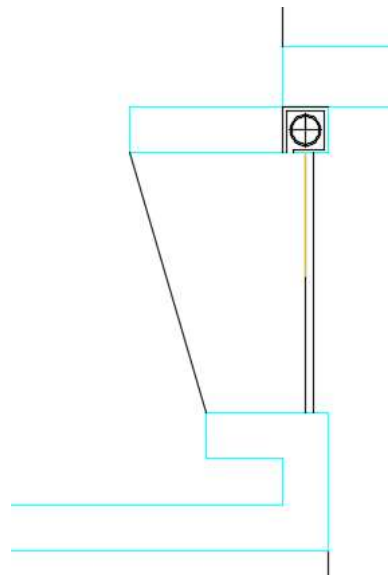


Figura 6.11 - Pormenor de uma pala de sombreamento.

Foi efetuada uma análise à influência das palas de sombreamento na redução das necessidades de energia útil para aquecimento e arrefecimento (Figura 6.12), avaliando o condicionamento da ação das palas sobre os ganhos solares. Neste sentido, realizou-se quatro iterações com soluções diferentes da solução de referência, em que a variável corresponde às dimensões das palas de sombreamento.

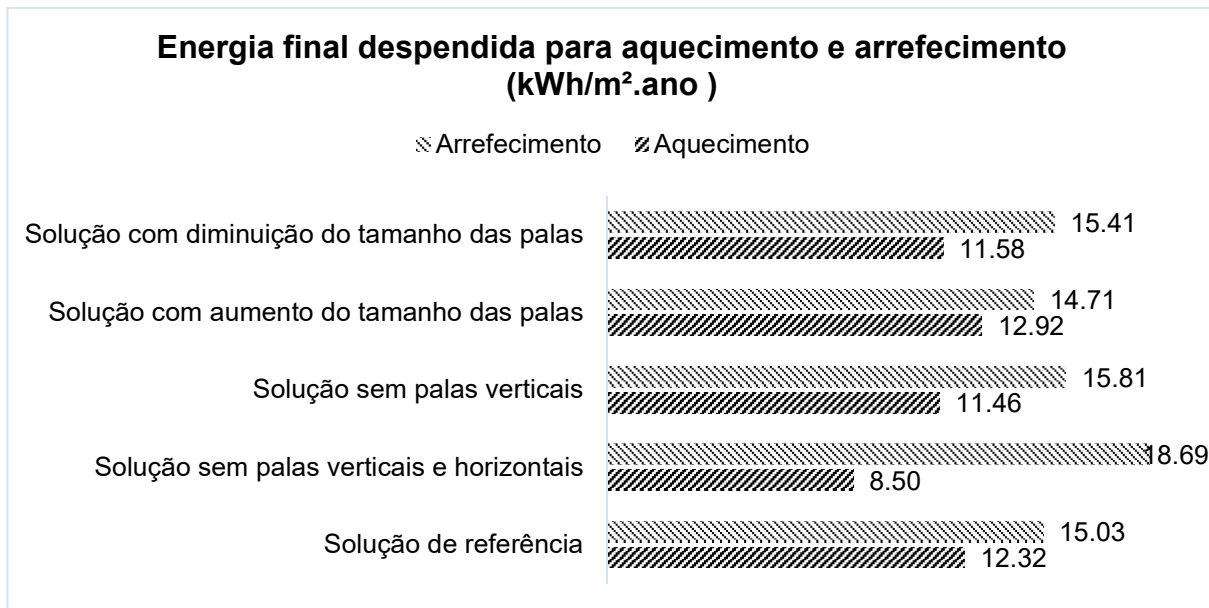


Figura 6.12 - Necessidades de energia útil despendida para climatização em função da alteração das dimensões das palas de sombreamento.

Analisando o gráfico da Figura 6.12, a solução sem palas verticais e horizontais, apresenta a maior redução das necessidades de energia útil para aquecimento, razão explicada pelo aumento dos ganhos solares anuais. Por outro lado, a ausência de palas permite uma maior área de incidência da radiação solar direta na envolvente não opaca, colocando o edifício em risco de sobreaquecimento, durante a estação de Verão. No sentido oposto, a solução com o aumento das dimensões das palas, é a única solução que diminui as necessidades de energia útil para arrefecimento.

Seguidamente, na Figura 6.13 apresenta-se a análise ao custo ótimo das soluções anteriores, sendo que, neste caso, não existem custos de investimento associados, portanto, o custo global é influenciado somente pela redução dos custos de energia, que varia dependente das necessidades de energia útil para aquecimento e arrefecimento.

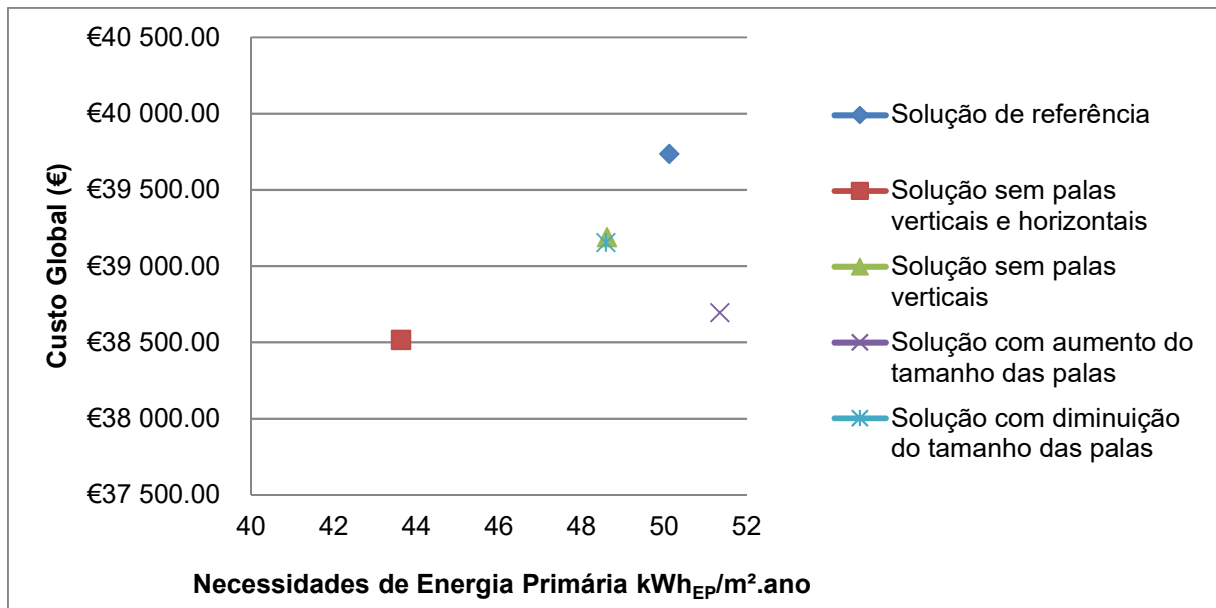


Figura 6.13 - Custo ótimo de rentabilidade com alteração das dimensões das palas de sombreamento.

Na análise à rentabilidade ótima das soluções ensaiadas, a solução que não apresenta sombreamentos, é a que revela o menor custo global e o menor consumo de energia primária, razão explicada, por uma redução significativa da energia útil para aquecimento, mas por outro lado, aumenta em mais de 20%, a energia útil para arrefecimento. O resultado é explicado pelo “peso” da energia útil para aquecimento no balanço final de energia primária. Como foi explicado anteriormente, o edifício de referência não possui sistemas de climatização, assumindo por defeito, a resistência elétrica de eficiência 1 para aquecimento e o *chiller*, de eficiência 3, para o arrefecimento. Por este motivo, as necessidades de energia primária são mais “sensíveis” no aumento/diminuição da energia útil para aquecimento do que no aumento/diminuição da energia útil para arrefecimento.

A solução com a diminuição das dimensões das palas, é a solução mais equilibrada no âmbito das necessidades de energia útil para climatização, que desta forma foi a solução escolhida para ser adaptada ao edifício de referência posteriormente no subcapítulo 6.3.7.

6.3.3 ENVIDRAÇADOS

Atendendo às conjunturas do edifício de referência (ganhos solares, sombreamentos e condições climáticas), elaborou-se um conjunto de soluções de vidros distintos a enquadrar no edifício, considerando que, o vidro a implementar não pode ser escolhido apenas em função das suas qualidades, como um coeficiente de transmissão térmica e um fator solar reduzido (*low-e*), mas sim, pela sua influência nas necessidades de energia útil para aquecimento e arrefecimento.

Normalmente, os componentes dos envidraçados (vidro e caixilharia), apresentam elevados coeficientes de transmissão térmica comparativamente à envolvente opaca, sendo também, responsáveis pelas trocas de calor entre o interior e o exterior do edifício. Os envidraçados representam a principal forma de entrada da radiação solar no edifício, cuja as características têm influência direta nas necessidades de energia útil para climatização.

No edifício de referência, considerou-se a inclusão da caixilharia metálica com corte térmico em todos os envidraçados, assim como nas soluções testadas para este efeito. Nas soluções testadas, as áreas das caixilhariias dos envidraçados apresentam valores inferiores a 30 % em relação à área total do envidraçado, que, dependente do perfil do caixilho aplicado, pode favorecer a resistência térmica deste material, permitindo obter um melhor desempenho térmico dos envidraçados. Quando menor for a correlação entre a área de caixilho e a área de vidro, maior é a importância das características do caixilho.

No cálculo do custo total dos vidros, a subtração da área da caixilharia à área total dos vãos, será multiplicada pelo preço €/m² dos vidros em questão, de acordo com a equação:

$$C_v = C_{v,i} * (A_{j,i} - A_{cax,i}) \quad (27)$$

em que:

C_v - Custo do investimento inicial da aplicação dos vidros (€);

$C_{v,i}$ - Custo do vidro do tipo i (€/m²);

$A_{j,i}$ - Área da janela do tipo i (m²);

$A_{cax,i}$ - Área da caixilharia do tipo i (m²);

No Quadro 6.5, são apresentadas as diversas características dos vidros a ensaiar no edifício.

Quadro 6.5 - Características dos vidros a aplicar no edifício de referência.

	Solução de referência	Solução A	Solução B	Solução C	Solução D	Solução E
Ug (W/m ² .°C)	3,1	2,1	1,6	1,1	2	1,4
Fator solar	0,78	0,62	0,62	0,63	0,48	0,44
Capa	Normal	Low-e	Low-e	Low-e	Low-e	Low-e
Cx. De ar	Ar	Ar	Ar	Argón	Ar	Ar
Preço (€/m ²)	20,61	22,9	22,9	27,9	25,04	37,25

As características do tipo de vidro selecionado para integrar o conjunto de soluções a aplicar no edifício de referência, foram calculadas com recurso ao programa CALUMEN, disponibilizado gratuitamente pela *Saint-Gobain Glass*. A solução de referência corresponde às características de uma janela comum. Assim, efetuou-se as iterações com as soluções mencionadas na folha de cálculo, assumindo como forma de comparação entre as soluções, as necessidades de energia útil para aquecimento e arrefecimento, visto que as características do vidro influenciam diretamente os ganhos solares no edifício (Figura 6.14).

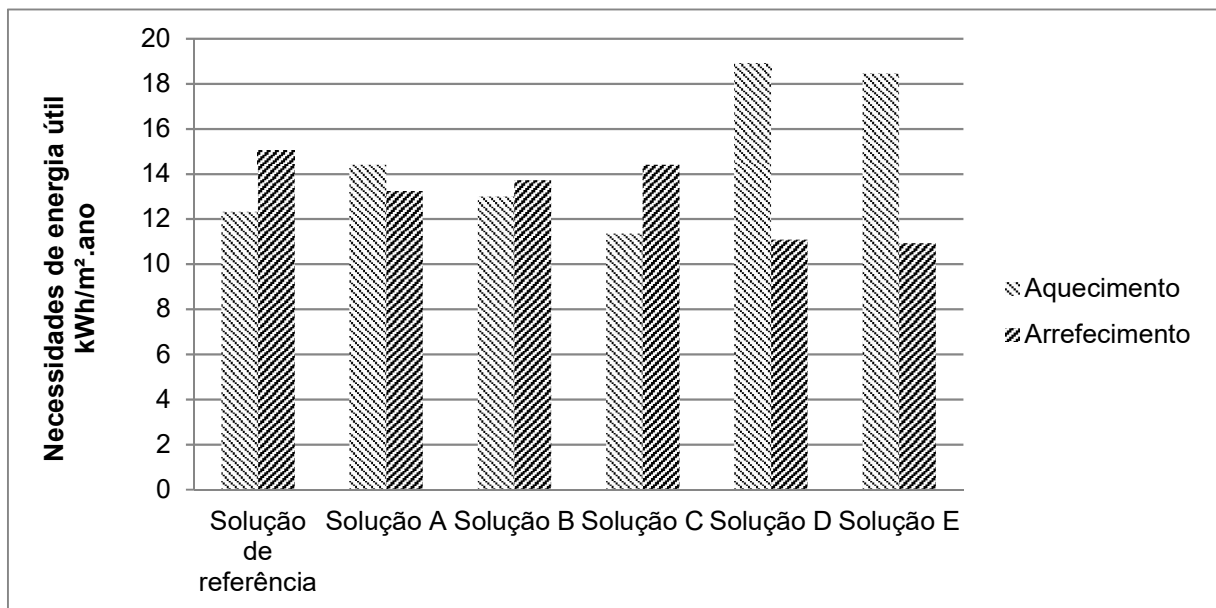


Figura 6.14 - Necessidades de energia útil para climatização em função do tipo de vidro.

O fator solar indica a fração de energia que efetivamente atravessa o envidraçado, sendo transmitida para o interior do edifício. Quanto menor for o fator solar do vidro, menor será a quantidade de energia transmitida. As soluções ensaiadas, apresentam fatores solares mais baixos em comparação com os fatores solares dos envidraçados do edifício de referência, razão pela qual as necessidades de energia útil para arrefecimento diminuíram, para além de estar associada ao condicionamento da luminosidade natural no interior do edifício. A solução D e E, apresentaram um incremento em mais de 50% na energia útil para aquecimento, explicado pela redução da energia transmitida pelo envidraçado à habitação, condicionando os ganhos solares durante a estação de Inverno. As soluções A, B e C, apresentaram um equilíbrio nas necessidades de energia para climatização.

Para analisar a efetividade da influência das soluções apresentadas, recorreu-se à análise do custo ótimo de rentabilidade (Figura 6.15), pela perspetiva social, para entender qual a solução que apresenta o menor consumo de energia primária face ao investimento da solução.

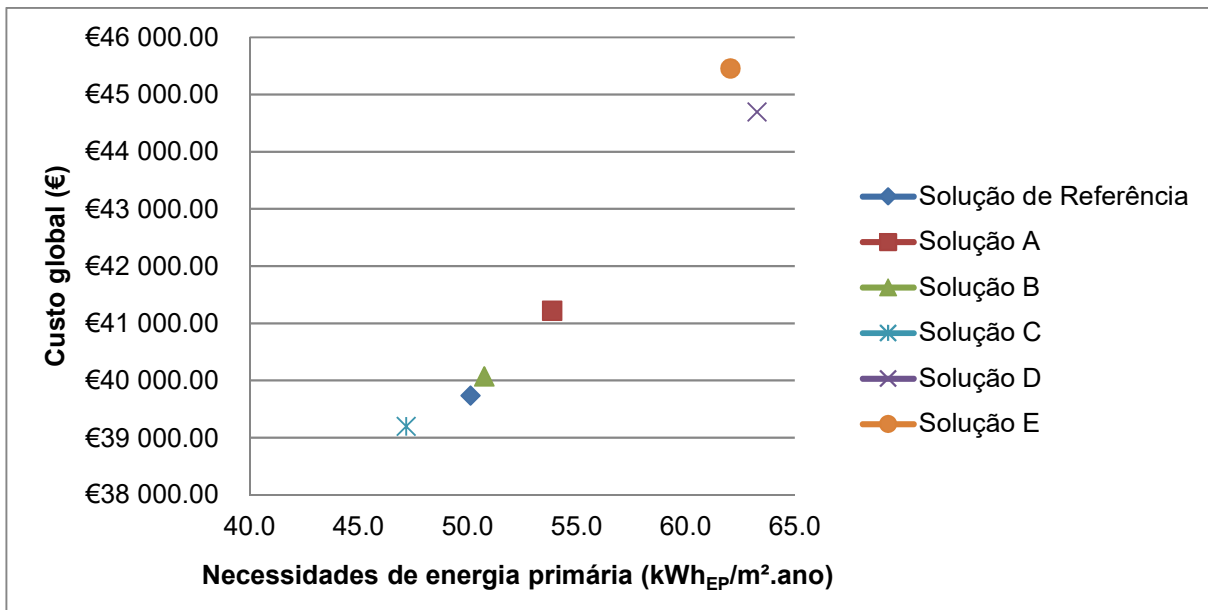


Figura 6.15 - Custo ótimo de rentabilidade dos envidraçados.

Observando o gráfico da Figura 6.15, podemos concluir que, a única solução que apresenta vantagem energética, face ao custo de investimento inicial e manutenção, em comparação com a solução de referência, é a solução C, refletindo uma melhoria de cerca 7% em energia primária final. O aumento da energia primária não-renovável nas restantes soluções, é reflexo do aumento das necessidades de energia útil para o aquecimento. A diminuição do fator solar nos envidraçados, reduziu em grande parte os ganhos solares durante a estação de Inverno, disparando os consumos de energia útil para manter o conforto térmico no interior da habitação.

6.3.4 ISOLAMENTO TÉRMICO NO PAVIMENTO TÉRREO

As trocas de energia também acontecem no pavimento em contacto com o terreno, embora sejam menores do que as que existem com a envolvente exterior, é relevante para este estudo, perceber qual a influência da diminuição destas perdas na redução das necessidades de energia útil do edifício e se, o aumento da espessura do isolamento térmico, apresenta benefício no custo de energia do edifício perante o seu investimento.

O custo de investimento de cada solução, foi calculado mediante multiplicação da área de pavimento em contacto com o terreno pelo preço do XPS por m², de acordo com a equação X:

$$C_{pav} = C_{XPS,i} * A_{pav,térreo} \quad (28)$$

em que:

C_c - Custo total do investimento inicial do isolamento térmico no pavimento (€);

$C_{XPS,i}$ - Custo do isolamento térmico (XPS) de espessura i (€/m²);

A_c - Área de pavimento em contacto com o terreno (m²);

As soluções aplicadas no edifício são as seguintes:

Quadro 6.6 - Soluções do incremento do isolamento térmico no pavimento térreo.

Solução	Sentido descendente U (W/m ² .°C)	Sentido ascendente U (W/m ² .°C)	XPS (€/m ²)
XPS 3 cm	0,853	0,729	4,36
XPS 4 cm	0,682	0,600	5,54
XPS 5 cm	0,568	0,510	6,93
XPS 6 cm	0,487	0,443	8,32
XPS 8 cm	0,398	0,369	11,09

Seguidamente, apresenta-se na Figura 6.16, o resultado do cálculo do custo ótimo de rentabilidade.

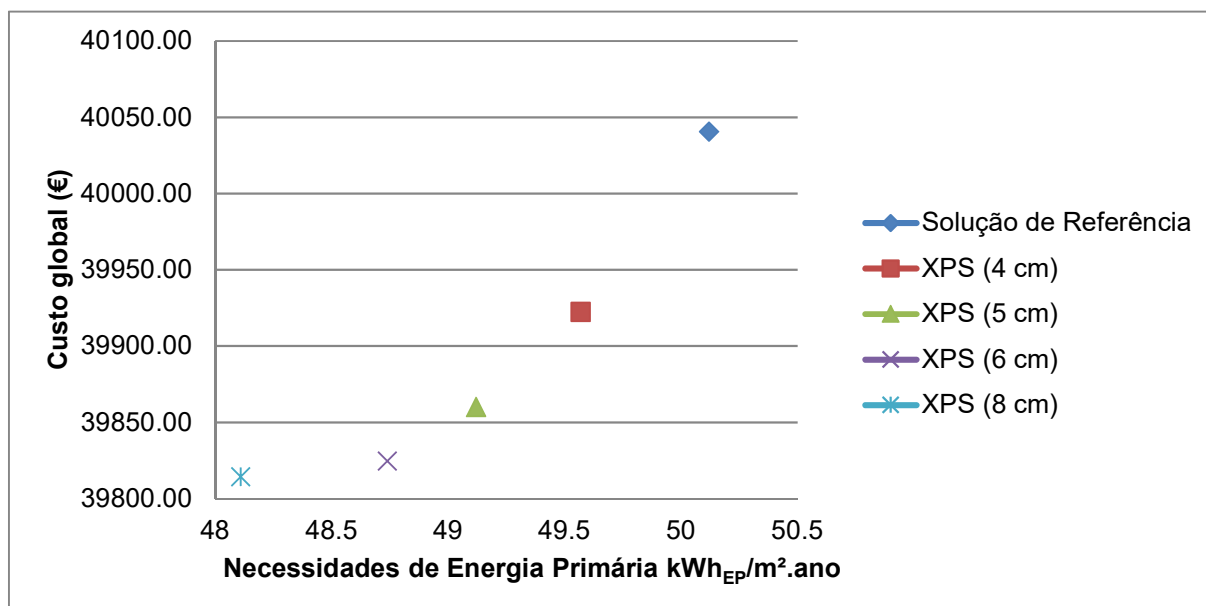


Figura 6.16 - Custo ótimo de rentabilidade ao incremento da espessura do isolamento térmico no pavimento térreo.

É possível denotar na Figura 6.16, que, com o aumento da espessura do isolamento no pavimento térreo, o custo global (custo de investimento e de energia) acompanha a diminuição da energia primária final da solução. A solução melhor custo-benefício é a solução com 8 cm de XPS, apresentando uma melhoria de cerca 5% em relação ao edifício de referência e uma redução na fatura de energia de aproximadamente 25,92 € anualmente. No cálculo do investimento inicial, apenas foi considerado o custo da aquisição do material, não sendo adicionada, a parcela referente à mão-de-obra, por se considerar que é igual em todas as soluções. Para o valor do custo global, considerou-se a soma das parcelas do custo do investimento inicial, do valor residual e do custo de energia, porém, o custo da manutenção foi considerado nula.

6.3.5 ISOLAMENTO TÉRMICO NA COBERTURA EXTERIOR

A redução do coeficiente de transmissão térmica na cobertura exterior, têm como consequência, a limitação do fluxo de calor entre o interior e o exterior da habitação, levando à menor necessidade de arrefecer e aquecer o meio ambiente. O custo da implementação do isolamento na cobertura é calculado por:

$$C_c = C_{XPS,i} * A_{c,ext} \quad (29)$$

em que:

C_c - Custo do investimento inicial do isolamento térmico na cobertura (€);

$C_{XPS,i}$ - Custo do material de isolamento térmico (XPS) de espessura i (€/m²);

A_c - Área da cobertura em contacto com o exterior (m²);

No Quadro 6.7, são apresentados os coeficientes de transmissão térmica em função do incremento da espessura de isolamento térmico, com os respetivos preços por m² de isolamento.

Quadro 6.7 - Coeficientes de transmissão térmica e preços (€/m²) do isolamento térmico na cobertura exterior.

Solução	Sentido descendente U (W/m ² .°C)	Sentido ascendente U (W/m ² .°C)	XPS (€/m ²)
XPS 6 cm	0,400	0,389	8,32
XPS 8 cm	0,324	0,316	11,09
XPS 10 cm	0,272	0,267	15,23
XPS 12 cm	0,234	0,231	18,20
XPS 14 cm	0,206	0,203	21,32

O aumento da espessura do isolamento, conduz à diminuição das necessidades de energia útil para aquecimento e arrefecimento, traduzindo uma redução da importação de energia primária não-renovável para satisfazer as necessidades de conforto térmico dos ocupantes. No cálculo do custo global da medida, pela perspetiva social, para além do custo do investimento inicial do isolamento térmico na cobertura (C_c) e do custo da manutenção em função da espessura do isolamento aplicado, foi considerado o valor residual do material e o custo de energia total da medida. O menor custo global em função do menor consumo de energia primária, resulta a solução de custo ótimo de rentabilidade.

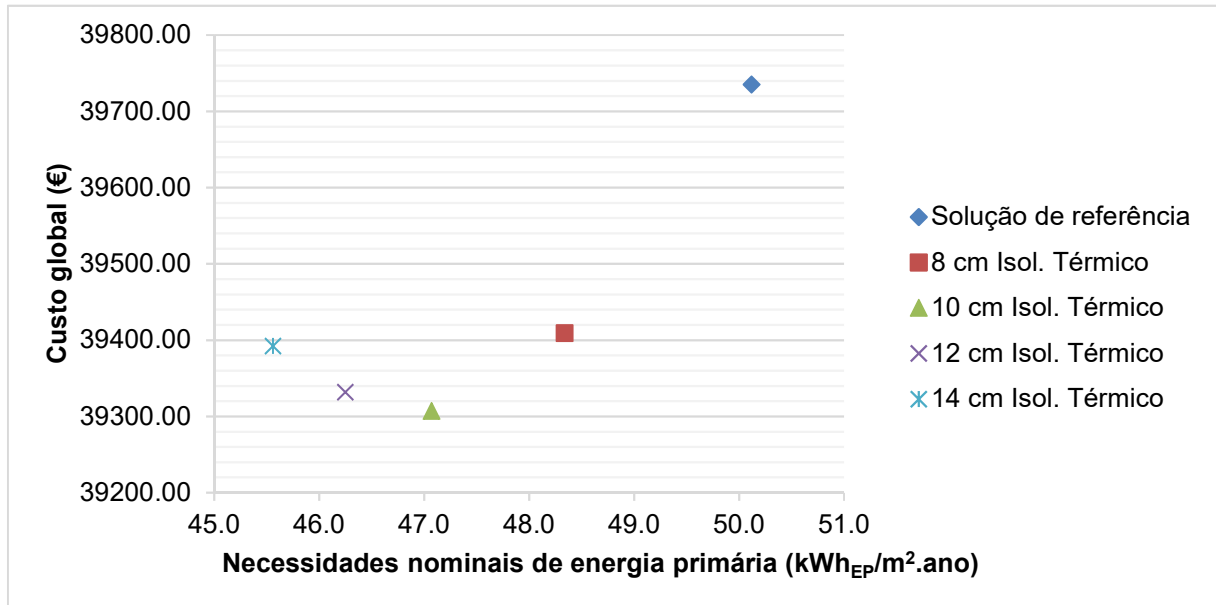


Figura 6.17 - Custo ótimo de rentabilidade das medidas com incremento da espessura do isolamento térmico na cobertura exterior.

No gráfico da Figura 6.17, a solução de custo ótimo é a solução com 10 cm de isolamento térmico. Apesar do aumento do custo de investimento inicial da solução ótima, em comparação com a solução de referência, estimada em cerca de 860 € (referente apenas ao incremento da espessura), existe uma redução na fatura anual de energia, em 34,18 €, sendo suficiente para o custo global da solução ótima durante o ciclo de vida, ser inferior à solução de referência, em 350 €. A eficiência energética da solução ótima aumentou aproximadamente 6%.

No entanto, todas as soluções testadas apresentam benefícios superiores ao custo de implementação da medida, razão pela qual, o valor respetivo do custo global é sempre menor em relação ao custo global da solução de referência. A solução de 14 cm de isolamento térmico, apresenta uma eficiência energética superior, em 8 % em relação à solução de referência.

6.3.6 ISOLAMENTO TÉRMICO NA ENVOLVENTE VERTICAL OPACA EXTERIOR

A aplicação de isolamento térmico na envolvente opaca vertical é uma medida que influencia as necessidades de energia útil para climatização do edifício, quanto maior for a área de exposição da envolvente exterior opaca, maior será a influência da espessura de isolamento.

Na elaboração do custo inicial do incremento da espessura do isolamento térmico, contabilizou-se o custo por m² de isolamento (EPS e XPS) multiplicado pela respetiva área. Nesta medida, existem dois tipos de isolamento térmico, o EPS, aplicado nas paredes de alvenaria exterior e o XPS, aplicado no muro de suporte em contacto com o terreno e com o exterior. O custo total da aplicação destes dois materiais, é dado pela seguinte equação:

$$C_{ISO_ver_ext} = C_{XPS,i} * A_{MS,ext} + C_{EPS,i} * A_{PAR,ext} \quad (30)$$

em que:

$C_{ISO,par}$ - Custo do investimento inicial do isolamento térmico na envolvente opaca vertical exterior (€/m²);

$C_{XPS,i}$ - Custo do isolamento térmico (XPS) de espessura i (€/m²);

$A_{MS,ext}$ - Área do muro de suporte em contacto com o exterior e terreno (m²);

$C_{EPS,i}$ - Custo do isolamento térmico (EPS) de espessura i (€/m²);

$A_{PAR,ext}$ - Área da parede de alvenaria exterior (m²);

A eficiência desta medida depende do coeficiente de transmissão térmica do material, quanto menor for o coeficiente, menor será a transferência de calor através da envolvente. Apresenta-se no Quadro 6.8, um resumo dos valores dos coeficientes térmicos utilizados nas soluções testadas, em função do incremento da espessura de isolamento.

Quadro 6.8 - Coeficientes de transmissão térmica e preços (€/m²) do isolamento térmico na envolvente opaca vertical.

Solução	Parede exterior U W/m ² .°C	Ponte térmica plana U W/m ² .°C	Muro de suporte exterior U W/m ² .°C	EPS 100 (€/m ²)	XPS (€/m ²)
ETICS 6 cm	0,407	0,506	0,477	7,92	8,32
ETICS 8 cm	0,332	0,395	0,391	10,56	11,09
ETICS 10 cm	0,280	0,324	0,321	13,20	15,23
ETICS 12 cm	0,242	0,274	0,286	15,84	18,20
ETICS 14 cm	0,214	0,238	0,249	18,48	21,32

Desta forma, é estimado o desempenho económico das soluções em função do custo global na perspetiva social (Figura 6.18). Além do custo de investimento inicial, do custo da manutenção e do valor residual das soluções aplicadas, são também considerados os custos de energia.

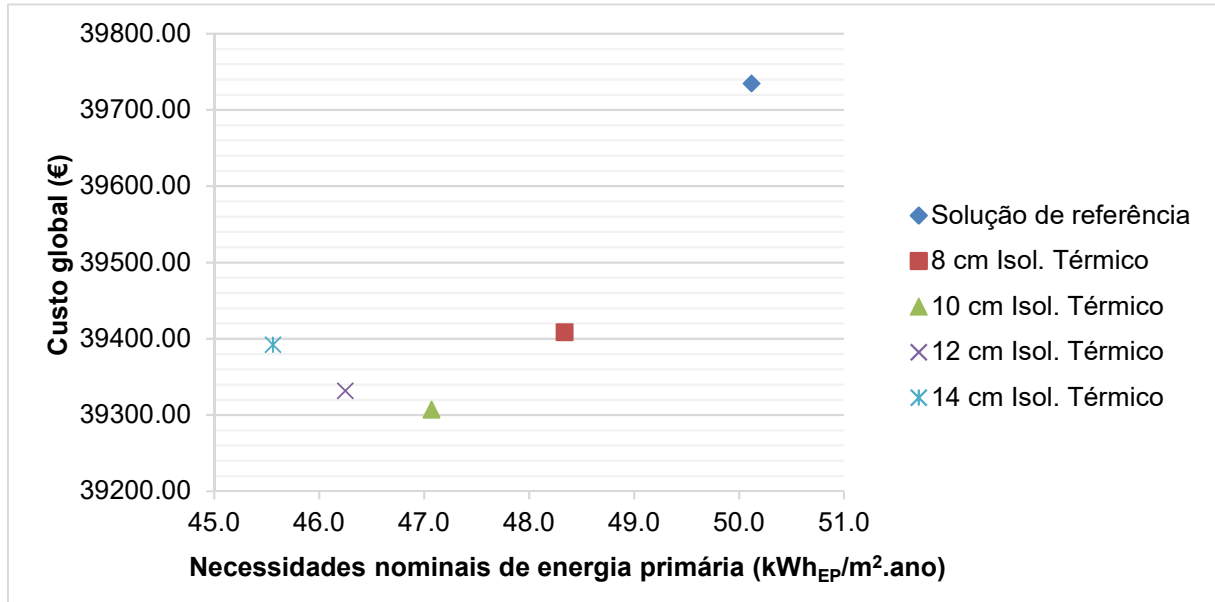


Figura 6.18 - Custo ótimo de rentabilidade do incremento da espessura do isolamento na envolvente opaca exterior.

O incremento da espessura do isolamento térmico, conduz à diminuição do consumo de energia primária, idêntico à concavidade da curva de rentabilidade do custo ótimo da cobertura exterior (Figura 6.17). A solução de custo ótimo, é a solução com 10 cm de isolamento térmico na envolvente opaca vertical exterior, refletindo uma eficiência energética superior a 6%, em relação à solução de referência. A poupança na fatura energética, para um período de 30 anos do ciclo de vida do edifício, em comparação com a solução de referência, é de 985 €, face aos mais de 556 €, referente à soma dos custos de investimento inicial, manutenção, emissões de CO₂ e valor residual.

É compreendido que, o custo de investimento inicial aumente com o incremento da espessura de isolamento, mas todas as soluções, apresentam a particularidade da definição do custo efetivo, ou seja, o custo da implementação da medida é inferior ao valor do benefício no final do ciclo de vida do edifício. Explicado pela redução da importação de energia para satisfazer as necessidades de energia para climatização, influenciando desta forma, também a redução da quantidade de emissões de CO₂.

A solução de 14 cm de isolamento térmico apresenta uma melhoria de eficiência energética de 10 %, em relação à solução de referência, refletindo uma poupança no custo energético de 1472 € no final do período de 30 anos.

6.3.7 CUSTO ÓTIMO DE RENTABILIDADE

Neste estudo, para simplificar o número de iterações, elaborou-se 24 combinações com base nos resultados obtidos anteriormente, provando a influência da interação de diferentes variáveis no desempenho energético do edifício. As combinações apresentadas, para além da diferença das espessuras de isolamento térmico e do tipo de vidro em relação ao edifício de referência, alterou-se também as dimensões das palas de sombreamento, para a diminuição do tamanho das palas verticais e horizontais (após se ter verificado o aumento do desempenho energético no subcapítulo 6.3.2) e efetuou-se uma mudança da caixilharia metálica com corte térmico para PVC.

A solução de referência, apresentada no Quadro 6.9, é uma reformulação da primeira solução de referência apresentada, com as soluções ótimas encontradas durante o estudo isolado das medidas passivas, contemplando apenas as soluções ótimas da orientação, sombreamento, caixilharia e tipo de vidro.

Durante a investigação ao edifício caso de estudo, verificou-se que algumas das combinações associadas aos sistemas técnicos, apresentavam curvas de rentabilidade semelhantes a uma função exponencial, pois a diminuição da energia primária era acompanhada pelo aumento constante dos custos globais.

Após uma reflexão sobre o problema, concluiu-se que, nas combinações em que as variáveis das soluções passivas são associadas a sistemas de procura de energia (sistemas técnicos de climatização e AQS), a redução dos custos de energia sob influência do isolamento térmico, são praticamente impercetíveis, face ao elevado investimento dos sistemas técnicos, provocando, um aumento do custo de investimento global muito superior à redução do custo do consumo de energia. Face a este fato, optou-se por analisar as medidas passivas isoladamente, centrando os custos de investimento nos isolamentos, caixilharia e envidraçados para encontrar o ponto do custo ótimo, que posteriormente será utilizado para analisar a aplicação de diversos sistemas técnicos.

Importa referir, que no âmbito de uma melhor sintetização e perceção dos resultados obtidos, em alusões futuras, os conjuntos de medidas de eficiência energética são referidas pela nomenclatura definida no Quadro 6.9.

Quadro 6.9 - Combinações de medidas passivas aplicadas ao edifício de referência.

Solução	Paredes exteriores (cm)	Cobertura exterior (cm)	Pavimento Térreo (cm)	Material Caixilharia	Envidraçados
Solução Referência	6	6	3	Metálica C/Térmico	Ug=3,1 W/m.°C; g=0,78
A.1	6	8	5	PVC	Ug=3,1 W/m.°C; g=0,78
A.2	6	10	6	PVC	Ug=3,1 W/m.°C; g=0,78
A.3	6	12	8	PVC	Ug=3,1 W/m.°C; g=0,78
B.1	8	6	5	PVC	Ug=3,1 W/m.°C; g=0,78
B.2	10	6	6	PVC	Ug=3,1 W/m.°C; g=0,78
B.3	12	6	8	PVC	Ug=3,1 W/m.°C; g=0,78
C.1	8	8	3	PVC	Ug=3,1 W/m.°C; g=0,78
C.2	10	10	3	PVC	Ug=3,1 W/m.°C; g=0,78
C.3	12	12	3	PVC	Ug=3,1 W/m.°C; g=0,78
D.1	8	8	5	PVC	Ug=3,1 W/m.°C; g=0,78
D.2	10	10	6	PVC	Ug=3,1 W/m.°C; g=0,78
D.3	12	12	8	PVC	Ug=3,1 W/m.°C; g=0,78
E.1	6	8	5	PVC	Ug=1,1 W/m.°C; g=0,63
E.2	6	10	6	PVC	Ug=1,1 W/m.°C; g=0,63
E.3	6	12	8	PVC	Ug=1,1 W/m.°C; g=0,63
F.1	8	6	5	PVC	Ug=1,1 W/m.°C; g=0,63
F.2	10	6	6	PVC	Ug=1,1 W/m.°C; g=0,63
F.3	12	6	8	PVC	Ug=1,1 W/m.°C; g=0,63
G.1	8	8	3	PVC	Ug=1,1 W/m.°C; g=0,63
G.2	10	10	3	PVC	Ug=1,1 W/m.°C; g=0,63
G.3	12	12	3	PVC	Ug=1,1 W/m.°C; g=0,63
H.1	8	8	5	PVC	Ug=1,1 W/m.°C; g=0,63
H.2	10	10	6	PVC	Ug=1,1 W/m.°C; g=0,63
H.3	12	12	8	PVC	Ug=1,1 W/m.°C; g=0,63

O nível ótimo de rentabilidade, foi encontrado mediante o cálculo dos custos globais na perspectiva social (Figura 6.19), à taxa de desconto de 3%, associada aos custos do investimento inicial, manutenção, custo de energia e ainda a inclusão dos custos do carbono.

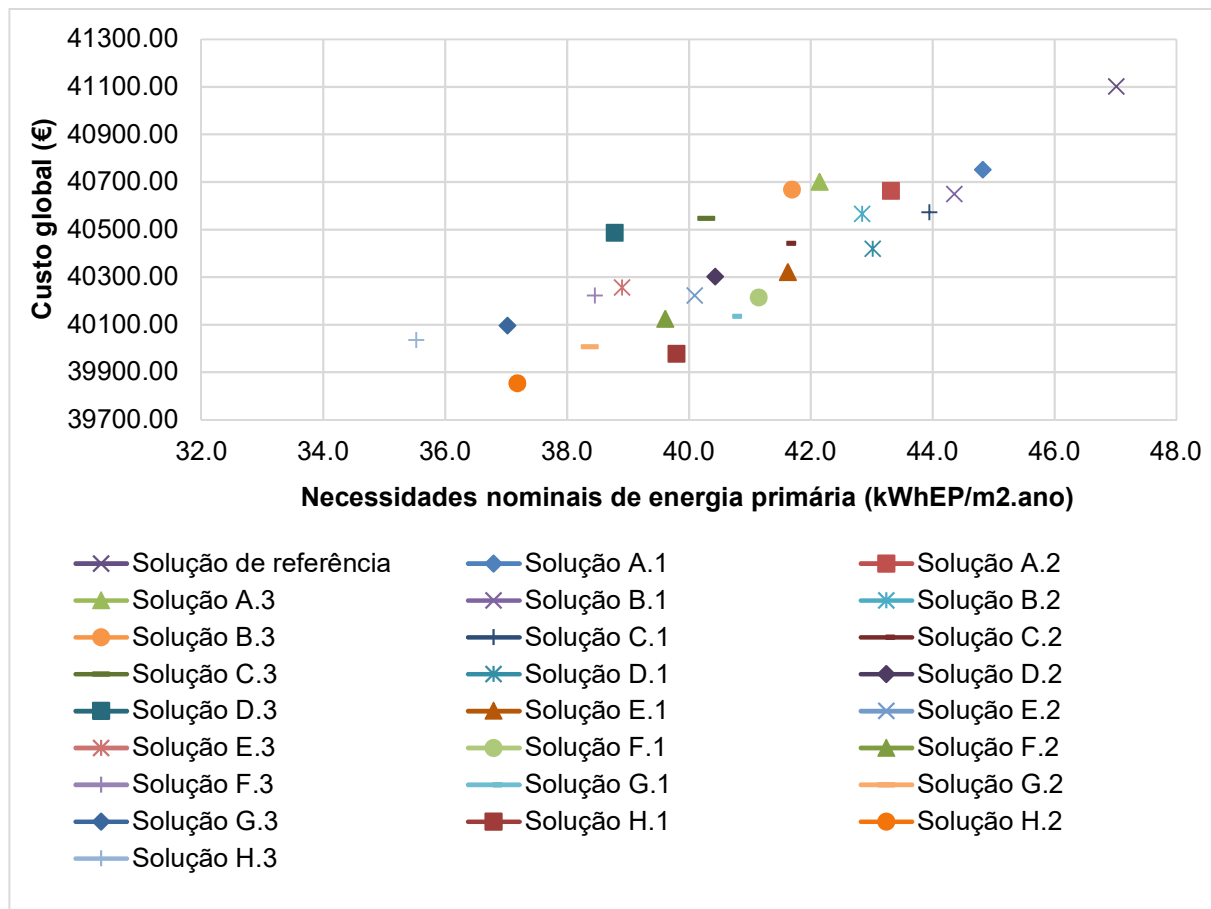


Figura 6.19 - Custo ótimo de rentabilidade das combinações de soluções passivas.

Verifica-se que, todas as combinações de medidas passivas aplicadas ao edifício de referência, apresentam ser soluções de custo efetivo, pois ostentam valores de custos globais inferiores ao edifício de referência. Quanto menor forem as trocas de energia com o exterior, pelo aumento da espessura de isolamento, menor será a energia disponibilizada para satisfazer as necessidades de energia dos ocupantes, assim como, menor será a fatura energética do edifício e maior será a independência da variação dos preços de energia da rede.

Na elaboração das combinações, metade destas (A.1 - D.3) apresentam um vidro com as mesmas características do edifício de referência e a outra metade (E.1 - H.3) é combinada pelo vidro que apresenta o custo ótimo, anteriormente verificado. Posto isto, é perceptível que as soluções E.1 - H.3, cujo o vidro tem um reduzido coeficiente térmico, apresentam melhores desempenhos energéticos, cerca de 13% mais eficientes do que a mesma solução, mas com as características do tipo vidro da solução de referência.

A solução do custo ótimo é encontrada, no intervalo entre 39 000€ e 40 500 € dos custos globais, e corresponde à solução H.2, representando a solução que com o maior equilíbrio entre os custos globais (investimento, manutenção e custo de energia), face ao desempenho energético. Em termos de poupança no custo de energia entre a solução H.2 e a solução de referência, existe uma diferença anual de 126 €, que no final do período de cálculo, aumenta para 3180 €. O custo extra desta solução, no investimento inicial, em relação à solução de referência, situa-se nos 1516,42 €, devido à melhoria dos coeficientes térmicos das envolventes exteriores (paredes, coberturas e pavimento), assim como, no aumento da qualidade do tipo de vidro aplicado. A diferença é dilatada, pela redução do custo das emissões de carbono, onde a solução H.2 reduziu em mais de 235 € no final do ciclo de vida.

A solução que apresenta a maior redução das necessidades de energia primária é a solução H.3, refletindo uma melhoria de cerca 25% em relação à solução de referência. Os custos de energia das soluções que se encontram entre a solução H.2 e a solução de referência, revelam um elevado “peso” nos custos globais, refletindo assim, uma grande dependência energética, ficando expostos à variação dos preços da rede.

O Quadro 6.10, apresenta detalhadamente a comparação entre a solução H.2 e o edifício de referência.

Quadro 6.10 - Comparação dos indicadores de desempenho energético entre a solução de custo ótimo (H.2) e o edifício de referência.

Necessidades de energia		Solução H.2	Edifício de referência	Eficiência energética	
Energia para aquecimento	kWh/m ² .ano	7,40	11,05	33,03%	Mais eficiente
Energia para arrefecimento	kWh/m ² .ano	14,25	15,09	5,56%	Mais eficiente
Energia útil para AQS	kWh/m ² .ano	2377	2377	0,00%	
Energia primária global	kWh _{EP} /m ² .ano	37,18	47,01	20,91%	Mais eficiente

Com esta análise de sensibilidade, procurou-se conhecer a influência das características da envolvente do edifício no desempenho energético, sem a influência preponderante dos sistemas de climatização.

6.4 SISTEMAS DE PROCURA DE ENERGIA

Nesta fase, a análise ao edifício centra-se na eficiência energética dos sistemas de procura de energia, submetidos à solução H.2, que passou a ser o edifício de referência, sem qualquer

tipo de climatização. O objetivo é verificar qual a combinação de sistemas com melhor relação custo-benefício, sendo esta, uma solução com o menor consumo de energia primária associada ao menor custo global.

Neste ponto, o balanço de energia primária é referente às necessidades de energia para o aquecimento, arrefecimento e AQS, que apenas no ponto seguinte, serão avaliados os consumos de energias despendidos para a alimentação dos equipamentos domésticos e iluminação, pois na avaliação de um edifício com consumo nulo de energia, é importante considerar todos os consumos existentes no edifício, para que o edifício se aproxime o mais possível da realidade.

Apesar do objetivo inicial, alcançar um edifício com consumo nulo de energia, e este ser apenas alcançado, com recurso aos sistemas de produção de energia de fonte renovável para reduzir a energia importada, nesta fase da investigação, o foco centra-se na análise do custo ótimo de rentabilidade dos sistemas de procura de energia. Para que seja fácil de identificar qual a solução com o menor consumo de energia primária, com o abastecimento total de energia da rede e apenas no ponto seguinte (subcapítulo 6.5), serão introduzidos os sistemas de produção de energia elétrica (painéis fotovoltaicos). Os cálculos dos desempenhos energéticos das próximas soluções, encontram-se no Anexo III.

6.4.1 COMBINAÇÕES DE SISTEMAS DE PROCURA DE ENERGIA

O edifício de referência (solução H.2) responde positivamente, a todos os requisitos mínimos da legislação em vigor, o Decreto-Lei 118/2013. Apesar de não possuir qualquer tipo de equipamento de climatização, para além dos por “defeito”, considerados pela legislação, é dotado de um sistema de energia renovável, o sistema solar térmico para preparação de AQS. A intenção deste edifício de referência, é ser semelhante a um edifício tradicional, com os requisitos atuais, sem grande exigência, em termos de custos adicionais. Posteriormente é submetido a avaliação ao nível de desempenho energético e económico, através de diferentes combinações de medidas de eficiência energética, de forma aproximar-se de um edifício com consumo nulo de energia.

No Quadro 6.11, estão expostas as medidas energéticas associadas aos equipamentos que realizam o arrefecimento, o aquecimento e a preparação de AQS, que efetivamente, são as únicas medidas que importação energia.

À solução H.2, vista anteriormente, como a solução de custo ótimo, dentro das medidas passivas de eficiência energética, são adicionadas diferentes combinações de sistemas técnicos. No entanto, esta solução, já contempla um sistema solar térmico, unicamente para a preparação de águas quentes sanitárias.

Naturalmente, outros sistemas convencionais poderiam ser considerados nas combinações elaboradas, no sentido de melhorar as soluções para climatização e preparação de AQS. No entanto, a possibilidade de que alguns sistemas convencionais desempenhem múltiplas funções (aquecimento, arrefecimento e AQS) adiciona complexidade aos cálculos. Os sistemas utilizados nas soluções, são os mais comuns no mercado nacional.

Quadro 6.11 - Combinações dos sistemas técnicos.

Identificação	Combinações			
	Aquecimento	Arrefecimento	AQS	Apoio AQS
H.2.1	Ar condicionado	Ar condicionado	Termossifão	Resistência elétrica
H.2.2	Ar condicionado	Ar condicionado	Circulação forçada	Esquentador
H.2.3	Caldeira de condensação	-----	Circulação forçada	Caldeira de condensação
H.2.4	Caldeira a <i>pellets</i>	-----	Circulação forçada	Caldeira a <i>pellets</i>
H.2.5	Bomba de calor	Bomba de calor	Circulação forçada	Bomba de calor
H.2.6	Caldeira a <i>pellets</i>	Ar condicionado	Circulação forçada	Caldeira a <i>pellets</i>
H.2.7	Salamandra + Ar condicionado	Ar condicionado	Circulação forçada	Salamandra + Resistência elétrica
H.2.8	Bomba de calor + Salamandra	Bomba de calor	Circulação forçada	Bomba de calor
H.2.9	Salamandra + Ar condicionado	Ar condicionado	Circulação forçada	Esquentador

A utilização da caldeira de condensação em detrimento das caldeiras convencionais, deve-se ao fato, de a eficiência térmica ser superior, pois trabalha com base no princípio de aproveitar a energia libertada pelo vapor de água contido nos gases provenientes da combustão ao passar ao estado líquido.

No entanto, o objetivo desta dissertação é avaliar a rentabilidade energética do edifício do caso de estudo e não conduzir uma investigação exaustiva sobre as eficiências dos equipamentos ou das combinações passíveis de instalar no edifício. No Quadro 6.12, são apresentadas as eficiências de todos os equipamentos utilizados.

Quadro 6.12 - Características dos equipamentos aplicados nas medidas de eficiência energética.

Sistema Técnico	Função	Fonte de Energia	Potência (kW)	n_k	$n_{ref,k}$	$n_{nominal}$	$F_{pu,i}$
Esquentador	Apoio AQS	Gás propano	22,1	0,87	0,89	0,84	1
Ar condicionado	Aquecimento	Eletricidade	3,25	4,15	2,9	3,0	2,5
	Arrefecimento	Eletricidade	3,9	3,21	3,4	3,4	2,5
Caldeira de condensação	Aquecimento e AQS	Gás propano	30,6	1,068	0,89	$92\% \leq n \leq 89\%$	1
Caldeira de chão 18 kW	Aquecimento e AQS	Biomassa	18	0,93	0,89	$92\% \leq n \leq 89\%$	1
Bomba de calor	Aquecimento e AQS	Eletricidade	3,9	4,1	3,7	3,7	2,5
	Arrefecimento	Eletricidade	3,43	4,08	3,4	3,4	2,5
Salamandra	Aquecimento	Biomassa	8	0,84	0,89	0,84	1
Salamandra	Aquecimento e AQS	Biomassa	22,5	0,90	0,89	0,84	1

A utilização de duas salamandras diferentes, deve-se às diferentes funções a que estão destinadas. Ambas estão situadas na sala (local útil), realizando o aquecimento interior correspondente a 58% da área total da fração, mas no caso da salamandra com a eficiência de $\eta=90\%$, para além do aquecimento interior do espaço, esta realiza também, o aquecimento de águas sanitárias, através de tubagens devidamente isoladas. O fato desta salamandra estar instalada num local útil, só funciona durante a estação de Inverno, cuja duração corresponde a 5 meses. O apoio à preparação de águas quentes sanitárias durante os restantes meses, deverá ser apoiado por uma resistência elétrica.

Considerou-se ainda, que os sistemas de aquecimento central são complementados pela instalação de radiadores ou ventiloconvetores nos compartimentos principais da habitação. Os circuitos dos radiadores são ligados ao depósito do sistema de circulação forçada, com duas serpentinas, que através da ligação a um apoio convencional, (caldeira a biomassa, bomba de calor, caldeira a gás propano ou serpentina elétrica), aquecerá a água no interior do depósito. Na opção da bomba de calor, cuja função destina-se à climatização (aquecimento e arrefecimento) e preparação de AQS, para além do depósito de águas quentes sanitárias com duas serpentinas (a primeira para a ligação aos dispositivos de consumo de água quente e a segunda com ligação aos painéis solares, é necessário um depósito adicional para a deposição de águas frias para posterior circulação até aos ventiloconvetores nos compartimentos principais.

O sistema de ar condicionado apresenta um funcionamento similar ao da bomba de calor, mas não atende à preparação de AQS. O sistema utilizado, é um *multi-split* “ar-ar”, com uma unidade exterior e seis unidades interiores de distribuição em cada compartimento do edifício.

Relativamente aos sistemas solares térmicos escolhidos, foram utilizados dois tipos de sistemas, o sistema termossifão e o sistema de circulação forçada. A origem da utilização de diferentes sistemas solares deveu-se ao tipo de combinação entre equipamentos, assim como à necessidade de recorrer a diferentes apoios à preparação da água quente proveniente do sistema solar.

Os sistemas solares térmicos foram dimensionados tendo em conta 0.651 m² de coletor solar por pessoa, com orientação para Sul, azimute 0° e inclinação de 35°. As alturas angulares dos obstáculos no horizonte foram consideradas de 20°, de acordo com o Despacho 15793-k/2013, no caso de edifícios localizados fora das zonas urbanas.

Sistema termossifão:

- 2 coletores solares modelo FCC-2S, de área 3,88 m²
- Depósito horizontal de águas quentes com capacidade de 300 l, modelo TS 300 – 1E
- Resistência elétrica incorporada no depósito, de eficiência 93%.

O cálculo da energia renovável proveniente do sistema solar foi feito com recurso ao programa gratuito SCE.ER, disponibilizado pelo DGE, resultando um valor de 1899 kWh/ano de energia térmica, correspondendo a 80% das necessidades de energia útil para AQS.

O sistema de circulação forçada escolhido, têm as seguintes características:

- 2 coletores Junkers FKC – 2S, de área 4,50 m²
- Depósito SK 300 – 5 ZB Solar (Uma Serpentina)
- Depósito SKE 290 – 5 Solar (Dupla Serpentina)

O depósito de uma serpentina foi utilizado no sistema H.2.2, com o apoio do esquentador a gás propano, instalado em série, ou seja, aquece a água que já saí quente do depósito, quando a mesma não está à temperatura desejada. O cálculo da energia proveniente deste sistema solar é de 2058 kWh/ano, correspondendo a 86% das necessidades de energia útil para AQS.

O depósito de acumulação de águas quentes do sistema solar de duas serpentinas, para além do aquecimento de águas sanitárias, ainda realiza o aquecimento central da habitação através do apoio direto ao depósito, de outros sistemas (caldeira, salamandra, bomba de calor), com ligação a dispositivos de emissão de calor no interior das divisões. O cálculo da energia proveniente deste sistema solar, é de 2117 kWh/ano, correspondendo a 87% das necessidades de energia útil para AQS. A diferença entre a produção de energia nos dois sistemas de circulação forçada, é devido aos diferentes valores de perdas estáticas dos depósitos utilizados (capacidade do depósito em manter a água a 65°C num período de 24 h) e às perdas de energias localizadas durante o processo do sistema considerado. A prioridade da utilização de energia para AQS é dada aos sistemas solares térmicos, complementados posteriormente pelos sistemas de apoio convencional.

6.4.2 DESEMPENHO ENERGÉTICO

O método sazonal, adotado em Portugal, assume o uso permanente dos equipamentos de climatização durante as estações de aquecimento e arrefecimento para o cálculo das necessidades nominais de energia. Sendo que, não é considerado o comportamento dos ocupantes, o método não reflete o perfil de climatização da habitação e, por conseguinte, os consumos reais de energia. Perante este fato, os resultados apresentados são de uma perspectiva do edifício e não do ocupante, estimando as necessidades de consumo de energia em função da climatização permanente em todas as divisões, além de que, se os compartimentos principais estiverem climatizados, considera-se que toda a área do edifício está climatizada.

Neste caso, como não há produção de energia elétrica de fonte renovável, o balanço energético é calculado apenas pela subtração da produção de energia térmica de fonte renovável às necessidades globais de energia primária, para satisfazer as exigências do conforto térmico no interior do edifício. O desempenho energético final é expresso em energia primária não-renovável.

O RESP é o valor referente à fração de energia renovável utilizada no consumo energético. Naturalmente, as soluções com maior percentagem são as que beneficiam de sistemas de fonte renovável, como a caldeira a biomassa e o sistema solar térmico.

A solução H.2 é o ponto de partida para a avaliação do custo ótimo de rentabilidade dos equipamentos envolvidos nas soluções apresentadas. Como esta solução, não apresenta qualquer equipamento para climatização e como todas as soluções têm as mesmas necessidades de energia útil para aquecimento, arrefecimento e AQS, quanto maior for a eficiência energética dos equipamentos aplicados, menor será a procura de energia primária por parte do edifício. Mas, a energia primária não-renovável é influenciada diretamente pela aplicação de fatores de conversão de energia primária, quanto maior for o fator de conversão, menor é a importância da utilização de sistemas com eficiências elevadas.

O Quadro 6.13, mostra como as opções de sistemas técnicos influenciam o vetor de energia primária não-renovável, uma vez que esta variável é influenciada pelas eficiências e pelos fatores de conversão associados ao vetor energético utilizado.

Quadro 6.13 - Desempenho energético das soluções testadas (H.2 - H.2.9)

	H.2	H.2.1	H.2.2	H.2.3	H.2.4	H.2.5	H.2.6	H.2.7	H.2.8	H.2.9
Necessidades de energia primária (kWh_{EP}/m².ano)										
Necessidades de energia primária aquecimento	18,51	4,46	4,46	6,93	7,96	4,51	7,96	6,63	6,99	7,16
Necessidades de energia primária arrefecimento	11,87	11,1	11,1	11,87	11,87	8,73	11,1	11,1	8,73	11,1
Necessidades de energia primária AQS.	16,84	16,84	12,82	12,48	12,67	12,03	12,67	14,09	12,41	12,82
Ventilação mecânica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Necessidades globais de energia primária	47,22	32,4	28,38	31,28	32,5	25,27	31,73	32,35	28,32	31,08
Consumo de energia renovável (kWh_{EP}/m².ano)										
Energia Solar	10,04	10,04	10,88	11,19	11,19	11,19	11,19	11,19	12,16	10,88
Energia térmica (Biomassa)	0	0	0	0	9,44	0	9,44	5,42	5,08	5,27
Energia Elétrica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Indicadores de desempenho energético										
Energia primária não-renovável (kWh _{EP} /m ² .ano)	37,18	22,36	17,5	20,09	11,87	14,08	11,1	15,21	10,89	14,93
Energia exportada para a Rede (kWh _{EP} /m ² .ano)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RESP (Energia renovável %)	0,21	0,31	0,38	0,36	0,63	0,44	0,65	0,52	0,62	0,52
Emissões de CO ₂ (tonCO ₂ /ano)	1,01	0,61	0,49	0,59	0,32	0,38	0,3	0,41	0,3	0,42

Analisando apenas as necessidades de energia primária para aquecimento e arrefecimento, depreende-se que as soluções H.2.1, H.2.2 e H.2.5 apresentam os valores mais baixos, utilizando como equipamentos de procura de energia, a bombas de calor e sistemas *multi-*

split, com elevadas eficiências energéticas. Embora estes equipamentos utilizem fatores de conversão de 2.5 (vetor energético da eletricidade, o valor mais alto em relação aos restantes vetores de energia), ostentam os valores mais baixos de necessidades de energia primária em relação às restantes soluções. No entanto, se for comparado com o sistema de recurso a biomassa, as bombas de calor e *multi-splits* apresentam uma eficiência energética bem superior ao sistema de biomassa para a climatização, mas em contrapartida, os sistemas de recurso à biomassa são considerados, energia de fonte renovável, portanto o fator de conversão de energia não-renovável é 0, significando que a energia não será contabilizada no balanço energético anual, reduzindo consideravelmente a energia primária global e as emissões de CO₂.

A solução H.2.8 apresenta o valor de importação de energia mais baixo, ou seja, com o menor consumo de energia primária não-renovável, relevando ser a solução com o melhor desempenho energético, preconizado por combinar uma bomba de calor e uma salamandra a biomassa instalada na sala. A vantagem deste sistema é explicada pelos níveis elevados de eficiência da bomba de calor para, o arrefecimento de 100% da área da habitação, para o apoio aos painéis solares para a realização de AQS e ainda responsável pelo aquecimento da área que não é recetiva do calor proveniente da salamandra, correspondendo a 49% da fração. A solução apresenta uma eficiência energética superior a 76%, quando comparada com a solução de referência (H.2).

A solução H.2.1 apresenta o maior valor de emissões de CO₂, reflexo da utilização do vetor energético, o gás propano, para o aquecimento central e preparação de AQS. O equipamento utilizado, o esquentador, para além de uma eficiência diminuta em relação a outros sistemas, exigindo deste modo, a importação de grandes quantidades de energia, o fator de conversão de energia primária em emissões de CO₂, ser superior aos demais.

Ao analisar os resultados obtidos, conclui-se que não é possível alcançar um edifício com consumos nulos de energia apenas com sistemas de produção de energia térmica, como coletores solares, biomassa ou bombas de calor. O aumento da potência destes sistemas para aumentar a quantidade de energia renovável a fornecer ao edifício, aumenta simplesmente a energia desperdiçada, além de que, a ausência de uma ligação a uma rede urbana de aquecimento ou arrefecimento não permite que a energia produzida em excesso seja exportada. Atendendo que a energia primária referenciada nas soluções, é apenas referente ao consumo de energia para climatização e AQS, torna ainda mais difícil o balanço energético se a fronteira do balanço de energia inclui-se a energia despendida para a iluminação e equipamentos elétricos. Nesta perspetiva, é intrínseco a necessidade de um edifício recorrer a sistemas de produção de energia elétrica através de fontes renováveis localmente para compensar a energia importada (independentemente do vetor energético), para no final alcançar um balanço energético nulo.

6.4.3 CUSTO ÓTIMO DE RENTABILIDADE

Pretendendo determina-se a solução com melhor desempenho energético seria a melhor solução custo efetivo, procedeu-se à análise do custo ótimo de rentabilidade das soluções com sistemas de procura de energia (Figura 6.20).

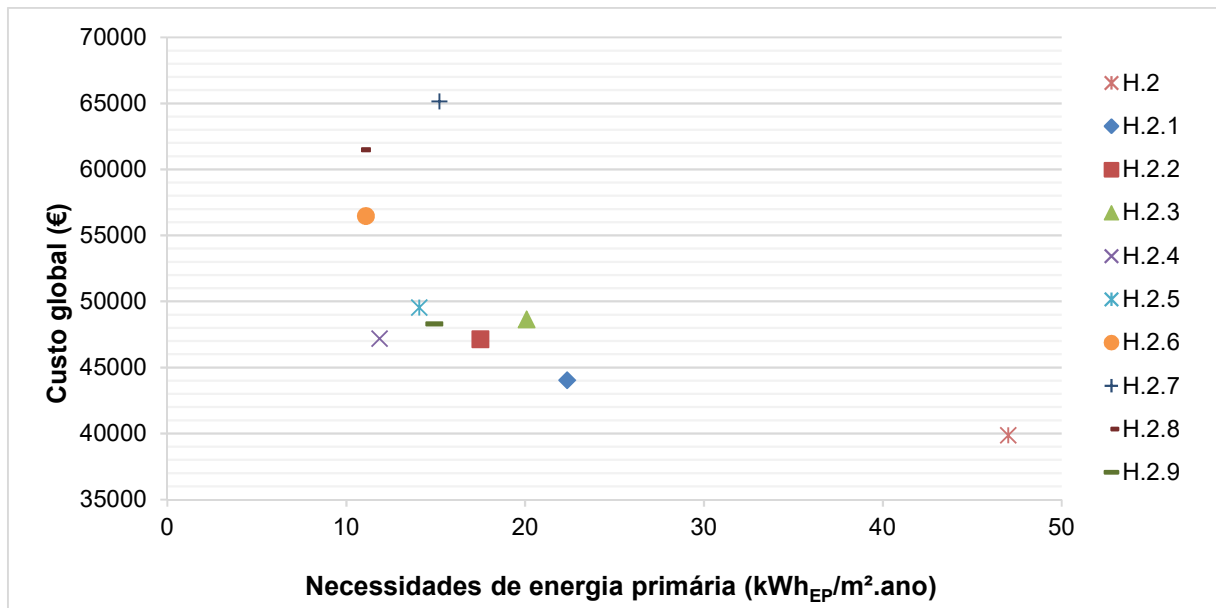


Figura 6.20 - Custo ótimo de rentabilidade de sistemas técnicos de procura de energia.

Tal como feito anterior, o método de cálculo do custo global das soluções, foi obtido através da perspetiva social, associada ao custo de investimento inicial, custo de manutenção, custo energético, valor residual e adicionalmente, o custo do carbono. Deste modo, a escolha da utilização dos vetores energéticos, influencia os resultados finais das soluções, tanto na energia primária final não-renovável, através dos valores dos fatores de conversão, como no custo global da solução, através do custo de emissões de CO₂.

Naturalmente, todas as soluções aplicadas apresentam custos globais superiores à solução de referência (H.2), razão explicada pela introdução de sistemas de procura de energia. A interpretação do gráfico da Figura 6.20, mostra que a melhor solução custo efetivo é a H.2.4, dotada de uma caldeira a biomassa para satisfazer as necessidades de energia para aquecimento e apoio ao AQS, contrariamente à solução H.2.8, anteriormente analisada como a solução que apresenta o melhor desempenho energético.

Efetivamente, um desempenho energético elevado pode ser traduzido numa redução significativa de custos de energia, tal como a solução H.2.8, que apresenta uma redução de custos de energia em 1520 €, para o período de 30 anos, em relação à solução H.2.4. Portanto, numa primeira análise, a solução H.2.8 evidencia ser a solução mais atrativa, mas avaliando o custo global de implementação da medida, é perceptível que o custo de investimento, manutenção e valor residual são superiores ao valor dos benefícios resultantes da aplicação da medida, que, quando comparada com a solução H.2.4, representa um investimento económico superior a 15.814 €. Este valor, é reflexo da instalação de todos os equipamentos inerentes ao bom funcionamento do sistema, assim como os elementos de emissão de calor ou de refrigeração, instalados no interior das habitações (sejam eles, radiadores, ventiloconvetores ou unidades interiores de ar condicionado), encarecendo desta forma bastante as soluções.

As soluções com maior custo de investimento (H.2.6; H.2.7; H.2.8), são as que conciliam a instalação de equipamentos de biomassa e equipamentos elétricos de elevada eficiência para as necessidades de climatização e de AQS. A determinação da atratividade do investimento resume-se no menor custo de investimento possível. Mas quando são combinados sistemas técnicos que só desempenham uma função, geralmente é superior aos benefícios resultantes durante o ciclo de vida estimado. Esta situação, pode ser ultrapassada pela instalação de equipamentos que desempenham múltiplas funções, a preços competitivos.

A solução que revela o maior custo energético é a H.2.3, apesar de possuir uma eficiência superior à da caldeira a biomassa e o mesmo fator de ponderação, o custo de energia do gás propano é cerca de 4 vezes maior do que a biomassa. Uma vez analisado o custo ótimo, recorre-se à energia fotovoltaica para colmatar a quantidade de necessidades energéticas necessárias para se obter no mínimo um balanço energético nulo, mas apenas nas soluções com reduzidas necessidades de energia primária não-renovável.

6.5 SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE ENERGIA RENOVÁVEL

Para atenuar a dependência de energia do edifício à rede, adicionou-se às soluções que apresentavam o consumo de energia primária não-renovável mais baixo, sistemas de painéis fotovoltaicos com uma potência inferior a 1,5 kW para autoconsumo. A Figura 6.21, exemplifica a disposição dos painéis fotovoltaicos no edifício. A energia produzida localmente, é utilizada para compensar as necessidades de energia para aquecimento, arrefecimento e AQS, mas apenas quando as mesmas utilizam sistemas de procura de energia elétrica.

A configuração ótima destes sistemas, depende do correto dimensionamento dos seus componentes, para que possa ser aproveitado, o potencial máximo do equipamento e a localização do edifício, sem que haja excesso de desperdício da energia elétrica produzida. Face à funcionalidade do edifício e à inexistência de depósitos de armazenamento de energia elétrica, os painéis fotovoltaicos foram dimensionados de acordo com as necessidades de procura de energia do edifício durante as horas de produção, maximizando a compatibilidade de carga entre o edifício e a rede.



Figura 6.21 - Imagem em 3D do edifício em estudo.

6.5.1 CARACTERIZAÇÃO DAS COMBINAÇÕES

Foram considerados diferentes sistemas fotovoltaicos nas diversas soluções, dimensionados mediante das necessidades do consumo de energia elétrica (Quadro 6.14).

Quadro 6.14 - Características das medidas de energia renovável.

Identificação	Combinações
H.2.10	H.2.4 + Instalação de sistema fotovoltaico de 2 painéis
H.2.11	H.2.4 + Instalação de sistema fotovoltaico de 4 painéis
H.2.12	H.2.5 + Instalação de sistema fotovoltaico de 6 painéis
H.2.13	H.2.6 + Instalação de sistema fotovoltaico de 6 painéis
H.2.14	H.2.7 + Instalação de sistema fotovoltaico de 6 painéis
H.2.15	H.2.8 + Instalação de sistema fotovoltaico de 6 painéis
H.2.16	H.2.9 + Instalação de sistema fotovoltaicos de 4 painéis

Os sistemas de produção de energia elétrica de fonte renovável, são constituídos por painéis fotovoltaicos, com módulos policristalinos, modelo Sharp ND – R2050A5, com uma potência máxima de 0,250 kW por módulo.

Os módulos apresentam uma área unitária de 1,65 m², orientados a sul, com inclinação de 35°. De forma a calcular o autoconsumo mais realista possível, optou-se por calcular a energia disponibilizada para aquecimento, arrefecimento e AQS em cálculos individualizados, no entanto, apresenta-se no Quadro 6.15, a energia elétrica gerada anualmente em função da quantidade de painéis fotovoltaico, recorrendo ao programa SCE.ER, da DGEG.

Quadro 6.15 - Produção de energia elétrica de fonte renovável.

	Sistema fotovoltaico de 2 módulos	Sistema fotovoltaico de 4 módulos	Sistema fotovoltaico de 6 módulos
Produção de energia elétrica	702 kWh/ano	1404 kWh/ano	2109 kWh/ano

Pela inexistência de perfis de consumo do edifício e pela inexistência dos mesmos a nível da legislação nacional e internacional, considerou-se que o consumo elétrico para climatização é de 24 horas, mas admitindo, que este consumo de energia, no caso do arrefecimento, têm uma duração de 4 meses (equivalente a 2348 horas) e no caso do aquecimento têm uma duração de 4,8 meses [90]. Desta forma, existem 3 meses anualmente, em que a energia produzida em grande parte é injetada na rede, por não haver consumo de energia para

equipamentos de climatização, à exceção da eventual existência do apoio elétrico à preparação de AQS, em que o autoconsumo do edifício será anual, dado que as necessidades dos ocupantes para AQS são constantes.

Em suma, na folha de cálculo do ITECONS, existe a necessidade de diferenciar a fração de energia elétrica produzida de fonte renovável para diferentes utilizações, neste sentido, a energia produzida para autoconsumo foi calculada individualmente.

No gráfico da Figura 6.22, é apresentada para cada solução, a energia elétrica produzida a partir de fontes renováveis no local de implantação do edifício, em função do número de painéis fotovoltaicos instalados. A barra com as riscas para a direita revela a energia disponibilizada para autoconsumo e a barra com as riscas para a esquerda, a energia produzida em excesso que é injetada na rede, sendo que, a energia total produzida é dada pelo somatório das anteriores parcelas. A diferença da energia destinada para autoconsumo nas diferentes soluções, é explicada pela procura de energia do edifício, que, quanto maior for as necessidades de energia elétrica para consumo no edifício, maior será a energia renovável injetada no edifício durante as horas de produção.

À exceção da solução H.2.10, que têm a menor quantidade de painéis fotovoltaico entre as restantes soluções, a energia elétrica exportada na maioria dos casos, representa mais do que 70 % do total de energia elétrica produzida, evidenciando uma correlação fraca entre o autoconsumo do edifício e a geração de energia.

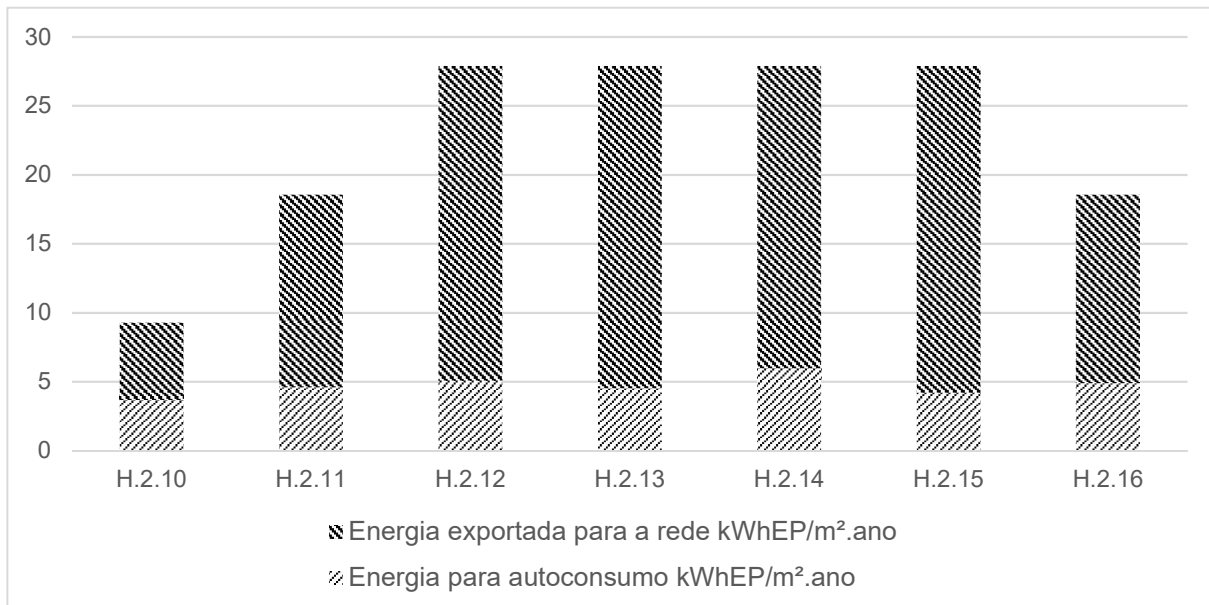


Figura 6.22 - Energia elétrica produzida localmente nas diversas soluções.

No gráfico da Figura 6.23, é avaliado a interação entre as necessidades de consumo do edifício e o sistema de geração de energia elétrica local, designada como compatibilidade de carga, correspondendo à capacidade de o edifício coincidir a geração local com a própria

carga. Quanto maior for o consumo de energia durante as horas de produção, maior será a compatibilidade de carga.

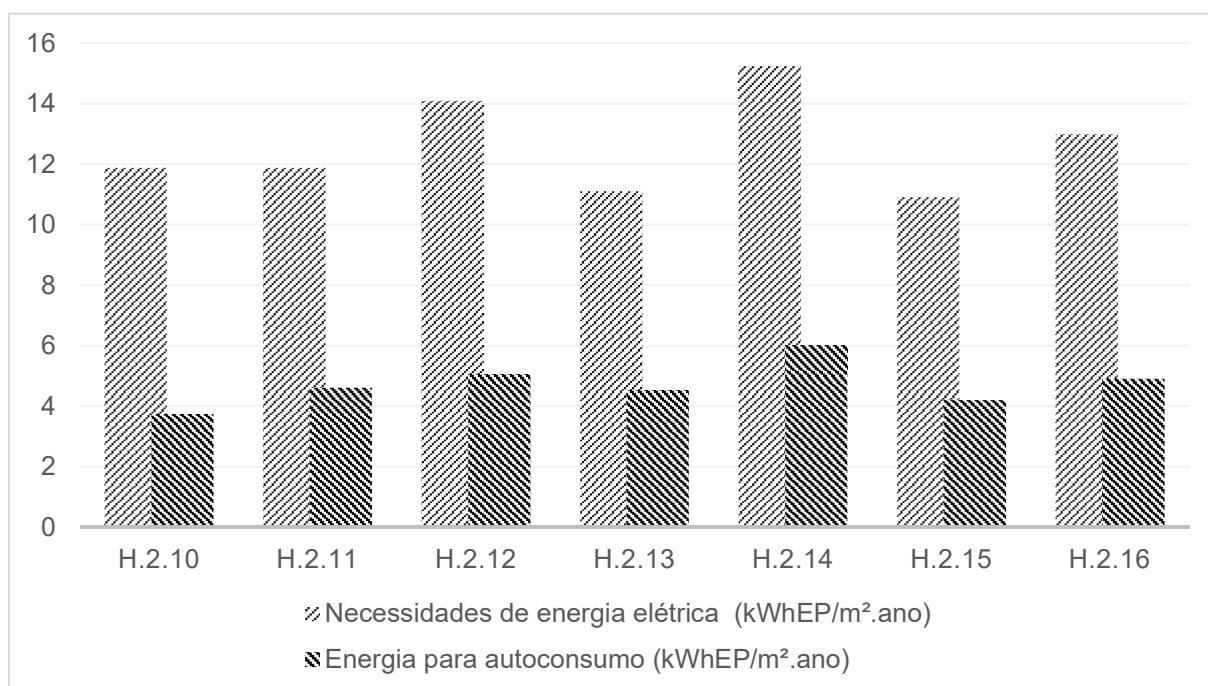


Figura 6.23 - Compatibilidade de carga das soluções ensaiadas.

As soluções que correspondem a maiores necessidades de energia elétrica, são as que são providas da maior percentagem de utilização de sistemas técnicos com recurso à eletricidade. A permanência dos valores de consumo elétrico demonstrados pelas soluções, superiores a 11 kWh_{EP}/m².ano, são explicados pela utilização permanente de sistemas elétricos para satisfazer as necessidades de energia para arrefecimento. Assim como, a variação das necessidades de energia elétrica entre as soluções, está relacionada com a utilização de combustíveis líquidos ou sólidos para satisfazer as necessidades de energia de climatização e AQS.

A compatibilidade de carga é dividida em dois indicadores, descritos no Quadro 6.16, avaliados apenas para o vetor de energia elétrica.

Quadro 6.16 - Compatibilidade de carga entre as soluções.

	H.2.10	H.2.11	H.2.12	H.2.13	H.2.14	H.2.15	H.2.16
Índice de Fração de Energia Renovável	31,42%	38,75%	35,87%	40,72%	39,34%	38,48%	37,75%
Índice de Compatibilidade de Energia renovável	40,18%	24,78%	18,11%	16,21%	21,44%	15,03%	26,41%

O índice de fração de energia renovável apresenta a parcela da procura de energia que é coberta pela energia renovável gerada localmente, descrita como a razão entre o autoconsumo e as necessidades globais de energia para um determinado vetor energético. As soluções que apresentam melhores índices de “*Fração de Energia Renovável*”, são as que não utilizam ou reduzem a energia elétrica para satisfazer as necessidades de energia para aquecimento (através de combustíveis) durante o Inverno, onde existe uma menor produção de energia elétrica por fonte renovável e aproveitam a maior produção de energia no Verão para satisfazer grande parte da procura de energia elétrica para os sistemas de arrefecimento. As soluções H.2.4, H.2.13 e H.14 são exemplo da conjectura anterior, pois apresentam sistemas alimentados a biomassa para satisfazer as necessidades de energia primária para aquecimento.

O índice de compatibilidade de energia renovável exibe a razão entre a energia para autoconsumo e a energia produzida no local. Se a correlação entre a geração e a carga for bem dimensionada, é considerada forte, sendo possível consumir a maior parte da energia que é produzida. No Quadro 6.20, apenas a solução H.2.10 apresenta uma correlação considerável, explicado pela utilização somente de dois painéis fotovoltaicos, equilibrando a energia para autoconsumo e a energia em excesso para injeção na rede.

6.5.2 DESEMPENHO ENERGÉTICO

Deste modo, o dimensionamento dos sistemas de produção de energia elétrica de fonte renovável, deve estar de acordo com o perfil de ocupação do edifício. No Quadro 6.17, é apresentado um resumo do desempenho energético das soluções testadas, de modo a que seja possível analisar individualmente cada valor.

Quadro 6.17 – Desempenho energético das soluções testadas (H.2.10-H.2.16)..

	H.2.10	H.2.11	H.2.12	H.2.13	H.2.14	H.2.15	H.2.16
Necessidades de energia do edifício (kWh _{EP} /m ² .ano)							
Energia primária para aquecimento	7,96	7,96	4,51	7,96	7,16	7,18	7,16
Energia primária para arrefecimento	11,87	11,87	8,73	11,1	11,1	8,73	11,1
Energia primária para AQS	12,67	12,67	12,03	12,67	14,09	12,41	12,82
Ventilação mecânica	0	0	0	0	0	0	0
Necessidades globais de energia primária	32,5	32,5	25,27	31,73	32,35	28,32	31,08
Consumo de energia renovável (kWh _{EP} /m ² .ano)							
Energia Solar	-11,19	-11,19	-11,19	-11,19	-11,19	-12,16	-10,88
Energia térmica (Biomassa)	-9,44	-9,44	0	-9,44	-5,95	-5,27	-5,27
Energia Elétrica	-3,73	-4,6	5,05	-4,52	-5,98	-4,19	-4,9
Indicadores de desempenho energético							
Energia primária não-renovável (kWh _{EP} /m ² .ano)	8,14	7,27	9,03	6,58	9,23	6,7	10,03
Energia exportada para a rede (kWh _{EP} /m ² .ano)	5,55	13,96	22,83	23,36	21,91	23,69	13,66
RESP (Energia renovável %)	0,92	1,21	1,55	1,53	1,40	1,60	1,12

Com a aplicação do sistema fotovoltaico, as necessidades de energia primária não-renovável, entendidas também, energia a importar da rede, reduziram consideravelmente. A solução H.2.14 apresenta uma melhoria em relação à solução H.2.7 (a mesma solução, mas com adição dos painéis fotovoltaicos) de 60% no desempenho energético, apresentando ser a solução mais próxima da definição de um edifício com consumo nulo de energia.

A vantagem da solução H.2.14 em relação às restantes, reside na utilização de combustível renovável durante o Inverno (a biomassa), para satisfazer todas as necessidades de energia primária para aquecimento e a utilização de um sistema elétrico eficiente (*multi-split*) para satisfazer as necessidades de energia para arrefecimento, com a particularidade da energia elétrica consumida pelo *multi-split*, ser proveniente da geração dos painéis fotovoltaicos, durante o período de maior produção de energia, o Verão.

As soluções que atingem valores de percentagem de energia renovável superiores a 100% (todas as soluções exceto a H.2.10), produzem mais energia renovável quanto aquela que é possível ser consumida pelo edifício, significando que existe energia em excesso, que será injetada na rede, podendo também ser utilizada para cobrir a energia elétrica da iluminação e equipamentos, estudo que será efetuado no subcapítulo 6.8. Mas, recorde-se, o desempenho energético apresentado no Quadro 6.17, é apenas referente às necessidades de energia primária para AQS, aquecimento e arrefecimento.

Na prática não é possível obter um edifício com consumo nulo de energia apenas através de medidas passivas e sistemas técnicos eficientes, existindo sempre a necessidade de dotar o edifício de sistemas de produção para alimentar iluminação, equipamentos.

6.6 CUSTO ÓTIMO DE RENTABILIDADE DAS MEDIDAS DE EFICIÊNCIA DE ENERGIA

Após o estudo individualizado das soluções passivas com sistemas de procura de energia renovável e não-renovável e das soluções com sistemas de geração de energia renovável, procedeu-se à comparação de todas as soluções estudadas, na procura da solução ótima (Figura 6.24).

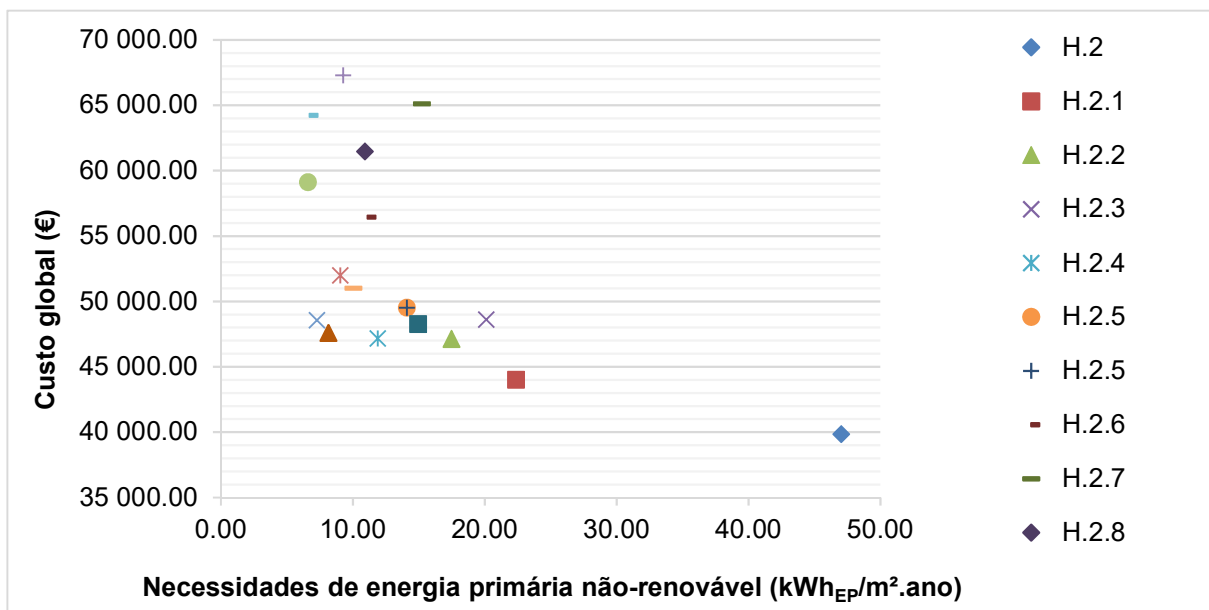


Figura 6.24 - Custo ótimo de rentabilidade das combinações de medidas de eficiência energética.

Na interpretação do gráfico da Figura 6.24, a solução H.2.10 é a solução de custo ótimo, composta por uma caldeira a *pellets* para aquecimento central e apoio ao sistema de circulação forçada para a realização de AQS, e um sistema de geração de energia renovável de 2 painéis fotovoltaicos. Muito perto desta solução, está a solução H.2.11, com um custo global superior a 981 € em relação à solução H.2.10. A diferença entre estas duas soluções, reside na quantidade de painéis fotovoltaicos, que são quatro na solução H.2.11. Este é um

bom exemplo, que nem sempre a produção de grandes quantidades de energia elétrica é positiva para o edifício. Pois, apesar do investimento inicial da solução H.2.11, ser superior a 1262,70 € em relação à H.2.10, a primeira apenas consegue reduzir na fatura energética cerca de 281,6 € no final do período de 30 anos. A diferença no autoconsumo destas duas soluções é mínima, apesar do sistema H.2.11 produzir praticamente o dobro da energia do sistema H.2.10, o edifício está limitado pela compatibilidade de carga e terá que exportar grande parte da energia produzida para a rede, tal como visto, no Quadro 6.16, em que a compatibilidade de carga é maior na solução H.2.10. Mas do ponto de vista do edifício com consumo nulo de energia, o excesso de energia é positivo, para compensar a energia importada. Nos custos globais, a inserção de sistemas de produção local de energia elétrica de fonte renovável tem impacto apenas no custo de investimento e de manutenção, a receita do custo de exportação de energia excedida não pode ser contabilizada, pois a análise ao custo ótimo de rentabilidade é de acordo com o princípio da perspetiva social.

Em comparação com a solução de referência (H.2), a solução H.2.10 apresenta uma eficiência energética de 577 % e uma diferença de 14500€ em termos de investimento inicial, manutenção e valor residual, mas uma redução no custo de energia de 6760€.

6.7 BALANÇO ENERGÉTICO

O desempenho energético do edifício, de acordo com a Diretiva 2010/31/UE, é expressa em energia primária, que se obtém pela aplicação dos fatores de conversão de energia primária aos respetivos vetores energéticos utilizados pelo edifício. Este método é designado por *source energy balance* [101], cujo balanço energético é calculado pelo equilíbrio entre a energia importada e a energia exportada do edifício, que baseado no sistema de ponderação simétrica, para cada vetor de energia é aplicado o mesmo fator de ponderação à procura e à oferta de energia.

Para o caso de estudo, foram analisados dois tipos de balanço energético (balanço carga vs geração e balanço energia importada vs energia exportada) para cada uma das soluções apresentadas no Quadro 6.14 (H.2.10 - H.2.16). O balanço líquido mensal não foi estudado, uma vez que não se dispõe de informação suficiente para o seu desenvolvimento, como mencionado anteriormente, este balanço é calculado pelos valores de carga e geração mensal e a ferramenta de cálculo utilizada do ITECONS, apresenta valores de cargas anuais, para além de considerar cargas constantes de consumo de energia útil durante períodos sazonais.

No balanço carga vs geração, assume-se que os perfis de carga e geração são incompatíveis, pelo que a energia despendida para autoconsumo é nula, desprezando a interação entre o edifício e a infraestrutura energética, a geração de energia renovável tem que compensar completamente todas as necessidades de energia do edifício. O balanço importação vs exportação, é o que apresenta a informação mais detalhada, com base nos fluxos energéticos trocados entre o edifício e a infraestrutura energética, a quantidade de energia para autoconsumo poderá ser estimada “virtualmente” na fase de projeto, ou monitorizada durante a fase de funcionamento do edifício.

Para cada tipo de balanço energético, considerou-se dois sistemas de ponderação, simétrico e assimétrico. De acordo com o desenvolvimento do capítulo 3, da metodologia de cálculo de um edifício *net-zero energy building*, no Quadro 6.18 estão descritos os critérios e os subcritérios para o edifício em estudo.

Quadro 6.18 - Critérios e subcritérios relevantes para a caracterização de NZEB, com base no quadro comum para uma metodologia de cálculo de desempenho energético [99].

	Fronteira de balanço	Aquecimento, Arrefecimento, Preparação de AQS, Ventilação (nula)
Fronteira do sistema	Fronteira de utilização de energia	Depende da solução de oferta de energia
	Fronteira física	Local de implantação do edifício
	Fronteira de proximidade	Não considerada
Sistema de ponderação	Métrica	Energia primária
	Indicador de desempenho energético	Necessidades de energia primária
	Simetria do sistema de ponderação	Simétrico e Assimétrico
Balanço NZEB	Período do balanço	Anual
	Tipo de balanço	Balanço carga/geração e balanço exportação/importação
	Eficiência energética	Depende da solução considerada
	Compatibilidade de carga temporal	Depende do sistema fotovoltaico

6.7.1 BALANÇO DE ENERGIA COM PONDERAÇÃO SIMÉTRICA

No balanço de energia com ponderação simétrica, os fatores de conversão foram considerados de acordo com o Despacho 15793-D/2013, considerando que a energia elétrica gerada localmente, tem um fator de conversão de energia primária igual à energia elétrica importada da rede, de 2.5. Desta forma, a legislação portuguesa apresenta-se de acordo com a abordagem “carga evitada”, ou seja, a energia elétrica gerada localmente evita o consumo

de energia primária não-renovável da rede ao fornecer a mesma quantidade de energia ao edifício.

Um sistema de ponderação simétrico é atrativo para o aumento da energia elétrica de fonte renovável, entrando em concorrência direta com as soluções do lado da procura, o que está em consonância com a finalidade de não discriminar nem favorecer uma determinada tecnologia. No presente edifício em estudo, este está a ser beneficiado pela rede, quanto pior for o sistema de produção de energia elétrica na rede, menor será a energia necessária produzir, para compensar a energia final importada da rede e alcançar um balanço energético nulo.

No Quadro 6.19, está exposto o valor final do balanço energético de cada solução, para os dois tipos de balanço, carga vs geração e importação vs exportação. No primeiro balanço, o valor da carga, é efetivamente, as necessidades globais de energia não-renovável, sendo subtraída à geração, valor da soma de toda a energia renovável produzida pelo edifício. Se a geração for igual à carga, então estamos perante um edifício *net-zero energy building*, se a geração for superior à carga, o balanço é positivo e o edifício é considerado um *plus energy building*. Mas, no caso de a carga ser superior à geração, o balanço é negativo e poderá ser considerado um edifício com estatuto *nearly zero energy building*, se a participação de energia renovável estiver entre 50% a 90% e a quantidade de emissões for inferior a 3 kg CO₂/m²/ano.

No segundo balanço, é calculada a energia necessária a importar, ou seja, às necessidades globais de energia primária não-renovável é subtraída a energia renovável para autoconsumo, e a energia exportar, é a diferença entre a energia renovável total produzida e a energia despendida para o autoconsumo. No entanto, como os dois balanços são coerentes um com o outro, o resultado final será o mesmo.

Quadro 6.19 - Balanços de energia com ponderação simétrica.

Balanço Carga/Geração				Balanço Importação/Exportação			
	Carga	Geração	Balanço		Importada	Exportada	Balanço
H.2.10	32,5	29,91	-2,59	H.2.10	8,14	5,55	-2,59
H.2.11	32,5	39,19	6,69	H.2.11	7,27	13,96	6,69
H.2.12	25,27	39,07	13,80	H.2.12	9,03	22,83	13,80
H.2.13	31,73	48,51	16,78	H.2.13	6,58	23,36	16,78
H.2.14	32,35	45,03	12,68	H.2.14	9,23	21,91	12,68
H.2.15	28,32	45,31	16,99	H.2.15	6,7	23,69	16,99
H.2.16	31,08	34,71	3,63	H.2.16	10,03	13,66	3,63

Interpretando os resultados do Quadro 6.19, o balanço carga vs geração e balanço importação vs exportação, são exatamente iguais, a diferença reside na metodologia de cálculo: o primeiro fornece informação precisa da quantidade de energia exigida pelo edifício e a geração total de energia renovável, enquanto o segundo fornece apenas informação relativamente à quantidade de energia necessária para compensar a energia importada, alcançando a definição de um edifício com consumo nulo de energia (NZEB), ou um edifício positivo, *plus energy building*.

A Figura 6.25, ilustra o gráfico que expõe todos os resultados do balanço carga/geração, e a Figura 6.4, os resultados do balanço importação/geração, com a representação da linha neutra (a preto), representando a posição dos edifícios com consumo nulo de energia (*Net-Zero Energy Buildings* (NZEB)). Todas as soluções que se situam por baixo desta linha, são classificadas de nZEB, todos os que se situam acima, são classificados de *plus energy building*.

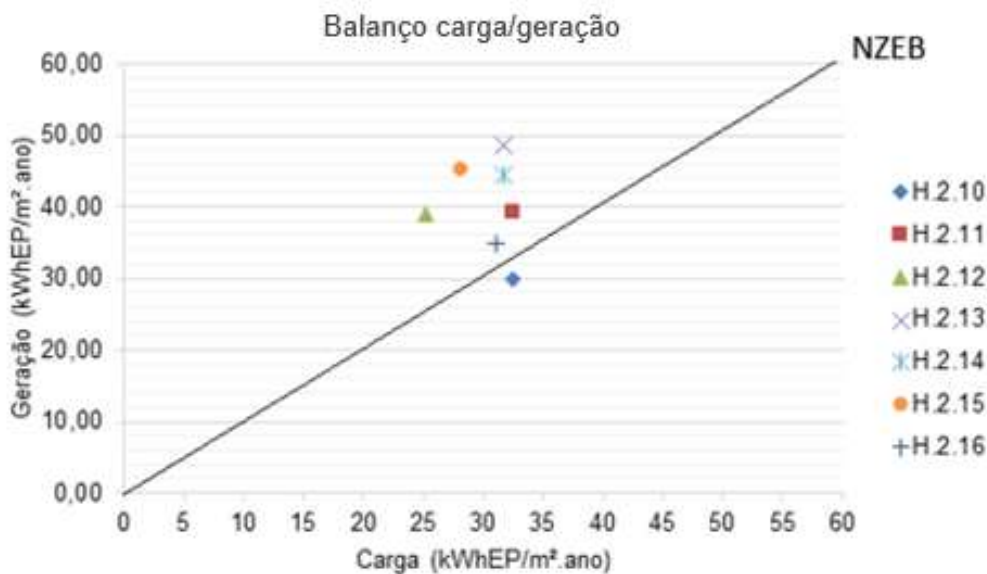


Figura 6.25 - Balanço energético carga/geração, com sistema de ponderação simétrico.

Neste caso (Figura 6.25), não existe nenhuma solução sobre a linha do NZEB, logo, não existe nenhum edifício com consumo nulo de energia. Somente a solução H.2.10, não apresenta um balanço energético positivo, a energia produzida em excesso, não é suficiente para cobrir as necessidades de energia primária importada pelo edifício, para satisfazer os consumos de climatização e preparação de AQS. As restantes soluções, alcançaram a definição de um *plus energy building*, produzindo mais energia do que aquela que é consumida pelo edifício.

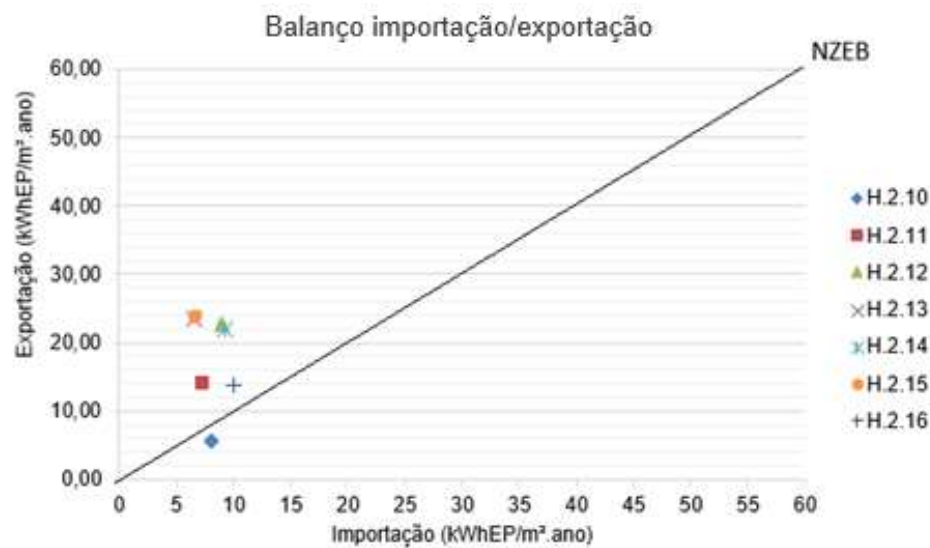


Figura 6.26 - Balanço energético importação/exportação, com sistema de ponderação simétrico.

O gráfico 6.25 e 6.26, apresentam os mesmos resultados, a diferença reside apenas no tipo de balanço.

6.7.2 BALANÇO DE ENERGIA COM PONDERAÇÃO ASSIMÉTRICO

No balanço assimétrico, para além de se exigir ao edifício, a compensação da energia final entregue pela rede (balanço simétrico), o edifício necessita de devolver toda a energia interveniente no processo de produção até ao consumidor final (produção, transporte, armazenamento e fornecimento). Neste sentido, o edifício precisa de produzir mais energia do que aquela que consome de forma a alcançar um balanço energético nulo, considerando que, o fator de conversão de energia primária para energia renovável produzida e exportada é de 1 e os fatores de conversão de energia primária da energia importada da rede, continuam a ser os descritos no Despacho 15793-D/2013.

Com base num sistema de ponderação assimétrico, quanto menor for o fator de conversão de energia primária renovável, menor será o impacto que a produção elétrica gerada no local tem no balanço energético. Portanto, quando a energia produzida localmente excede o consumo de energia na habitação, a energia injetada na rede poderá ter um efeito negativo no balanço anual energético do edifício.

Quadro 6.20 - Balanços de energia com ponderação assimétrica.

Balanço Carga/Geração			Balanço Importação/Exportação				
	Carga	Geração	Balanço		Importada	Exportada	Balanço
H.2.10	32,5	24,34	-8,16	H.2.10	10,38	2,22	-8,16
H.2.11	32,5	28,05	-4,45	H.2.11	10,03	5,58	-4,45
H.2.12	25,27	22,34	-2,93	H.2.12	12,06	9,13	-2,93
H.2.13	31,73	31,78	0,05	H.2.13	9,292	9,34	0,05
H.2.14	32,35	28,29	-4,06	H.2.14	12,82	8,76	-4,06
H.2.15	28,32	28,58	0,26	H.2.15	9,214	9,48	0,26
H.2.16	31,08	23,57	-7,51	H.2.16	12,97	5,46	-7,51

Dos resultados do Quadro 6.20, verifica-se que só duas soluções atingem um balanço energético praticamente nulo. As restantes, cujo o balanço é negativo, é necessário aumentar as dimensões do sistema fotovoltaico, para produzir anualmente, tanta energia quanto aquela que é importada da rede. A solução H.2.13 e H.2.15) que alcançaram um balanço energético praticamente nulo, apresentaram a menor importação de energia primária não-renovável entre as soluções apresentadas, que aliadas à produção de energia elétrica de fonte renovável de 6 painéis fotovoltaicos, alcançaram o estatuto de um *NZEB*.

As Figuras 6.27 e 6.28, expõem os resultados do Quadro 6.20, sendo que, novamente, a linha de cor preta, representa os edifícios *Net-Zero Energy Buildings* (NZEB).

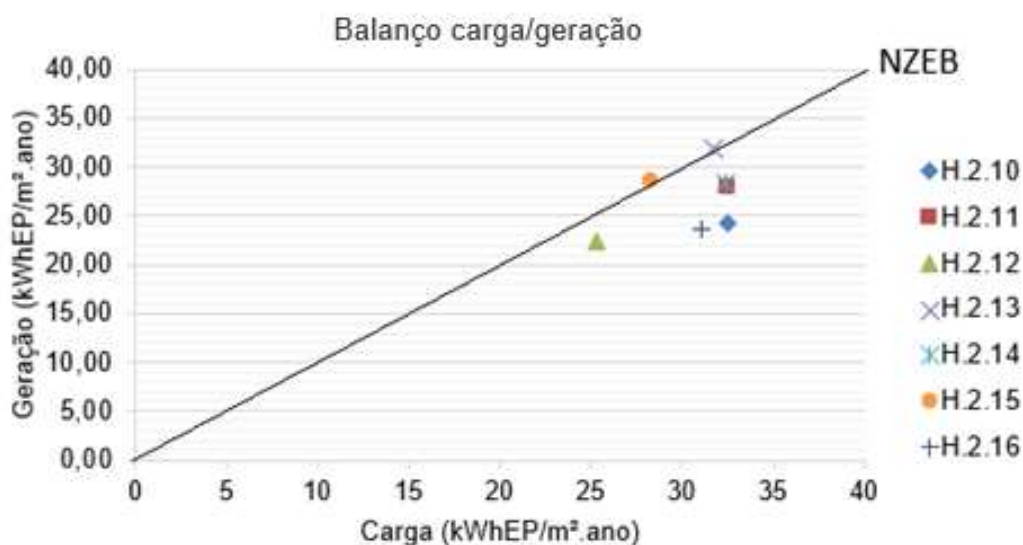


Figura 6.27 - Balanço energético carga/geração, com sistema de ponderação assimétrico.

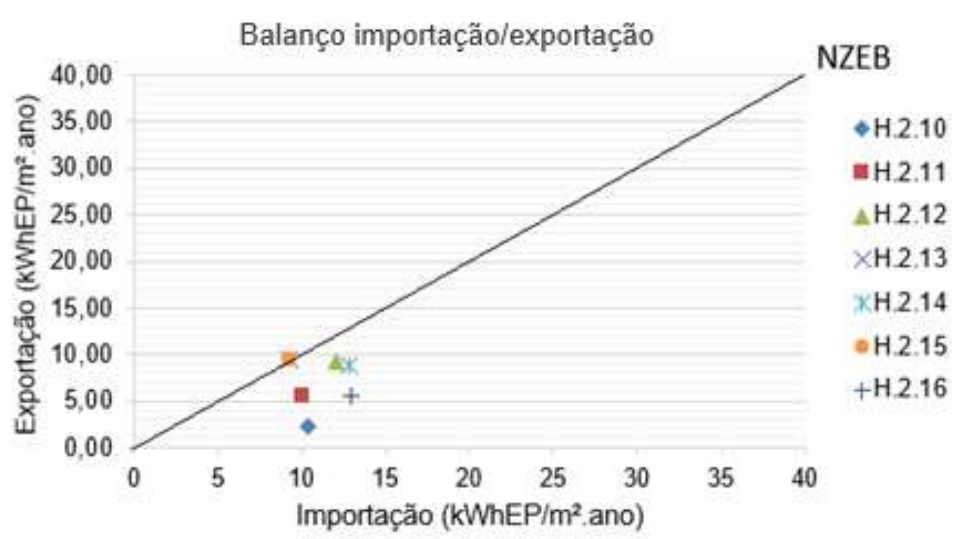


Figura 6.28 - Balanço energético importação/exportação, com sistema de ponderação assimétrico.

A solução de custo ótimo de rentabilidade (H.2.10), anteriormente analisada, é a solução que apresenta o balanço energético anual mais negativo, por ter apenas dois painéis fotovoltaicos e não conseguir compensar as necessidades de energia não-renovável.

6.7.3 BALANÇO ENERGÉTICO FINAL

Neste ponto, serão adicionados ao balanço de energia anual, os consumos de energia para iluminação e equipamentos domésticos. Assim, desta forma, é possível analisar o edifício de uma forma “holística” do ponto de vista do consumo energético.

À energia primária não-renovável, das soluções anteriores, com os sistemas de geração de energia elétrica, é adicionado a energia primária dos consumos previstos de iluminação e equipamentos domésticos do edifício. O objetivo, é analisar a quantidade de energia elétrica necessária produzir localmente, para que o balanço anual seja nulo.

Para a determinação dos consumos de energia elétrica para iluminação, considerou-se que os cálculos dos requisitos de iluminação em cada divisão do edifício, são baseados na norma EN 12464-1. Numa estimativa de um perfil diário de utilização, foram calculados os consumos anuais de eletricidade para uma habitação, cujas luminárias utilizadas são led.

Quadro 6.21 - Consumos anuais de energia elétrica para iluminação.

Divisão	Área	EN 12464-1	Fluxo Luminoso	Horas/dia	Consumo
	m ²	LUX	Lm	h	kWh/ano
Quarto 1	12,24	300	3672	1	80,42
Vestuário 1	6,72	100	672	0,2	2,94
I.S 1	6,19	200	1237	0,3	8,13
Mezanine	31,27	200	6253,5	0,2	27,39
Escadas	5,22	100	521,8	0,2	2,29
Sala comum	41,05	200	8210,5	3	539,43
<i>Kitchenette</i>	17,63	500	8815	2	386,10
Circulação 1	1,74	100	174	0,2	0,76
Quarto 2	16,30	300	4888,5	1	107,06
I.S 2	9,41	200	1882	0,3	12,36
I.S 3	2,56	200	511,5	0,3	3,36
Arrumos	2,87	100	287	0,1	0,63
Circulação 2	13,86	100	1386	0,2	6,07
Quarto 3	13,20	300	3960	1	86,72
I.S 4	8,86	200	1772	0,3	11,64
Total					1275,30

No Quadro 6.22, estão descritos os consumos de energia elétrica dos equipamentos domésticos utilizados, de acordo com um perfil de consumo designado de “Família Ecológica”, que representa uma família com maior sensibilidade na eficiência energética, possuindo eletrodomésticos mais eficientes [27].

Quadro 6.22 - Consumos anuais de equipamentos domésticos de uma “Família Ecológica” [27].

Equipamento	Família ecológica kWh/ano	Classe
Computador	95	-
Audiovisual	220	-
Combinado	140	A
Arca congeladora	225	A
Máq. Lavar roupa	36	A
Máq. Lavar loiça	53	A
Forno elétrico	250	-
Total	1019	

Considerando os consumos energéticos anuais referentes à iluminação e equipamentos domésticos, anualmente, o balanço energético global do edifício será de 2294,30 kWh/ano de energia útil, equivalente a 30,33 kWh_{EP}/m².ano em energia primária final, considerando o valor de 2.5 como fator de conversão. Somando este valor, às necessidades de energia primária não renovável de cada solução, resulta o consumo energético total, ou seja, a energia necessária importar da rede para satisfazer todas as necessidades de consumo.

De acordo com a equação 4, o balanço energético final é dado pela subtração da energia a importar à energia exportada pelo edifício à rede, que será verificada considerando o sistema de ponderação simétrico (Quadro 6.23) e o sistema de ponderação assimétrico (Quadro 6.24). O objetivo desta análise é verificar qual é a quantidade de painéis fotovoltaicos necessários para produzir energia elétrica suficiente, para compensar a energia importada pelo edifício, de forma a que o balanço final seja nulo.

Quadro 6.23 - Balanço energético global, com sistema de ponderação simétrico.

		H.2.10	H.2.11	H.2.12	H.2.13	H.2.14	H.2.15	H.2.16
Necessidades de energia primária não-renovável para aquecimento, arrefecimento e AQS		8,14	7,27	9,03	6,58	9,23	6,7	10,03
Consumo anual elétrico (iluminação e equipamentos domésticos).	kWh _{EP} /m ² .ano	30,33	30,33	30,33	30,33	30,33	30,33	30,33
Consumo energético total		-38,47	-37,60	-39,36	-36,91	-39,56	-37,03	-40,36
Energia elétrica renovável exportada para a rede		5,55	13,96	22,83	23,36	21,91	23,69	13,66
Balanço energético final		-32,92	-23,64	-16,53	-13,55	-17,67	-13,34	-26,71

Quadro 6.24 - Balanço energético global, com sistema de ponderação assimétrico.

		H.2.10	H.2.11	H.2.12	H.2.13	H.2.14	H.2.15	H.2.16
Necessidades de energia primária não-renovável para aquecimento, arrefecimento e AQS		10,378	10,03	12,06	9,292	12,818	9,214	12,97
Consumo anual elétrico (iluminação e equipamentos domésticos).	kWh _{EP} /m ² .ano	30,33	30,33	30,33	30,33	30,33	30,33	30,33
Consumo energético total		-40,71	-40,36	-42,39	-39,62	-43,15	-39,55	-43,30
Energia elétrica renovável exportada para a rede		2,22	5,58	9,13	9,34	8,76	9,48	5,46
Balanço energético final		-38,49	-34,78	-33,26	-30,28	-34,39	-30,07	-37,84

Nenhuma das soluções estudadas, por ambos os sistemas de ponderação, alcançou a definição de um *net-zero energy building*, nem mesmo as soluções que apresentaram resultados positivos anteriormente, contabilizando apenas os consumos de energia primária para aquecimento, arrefecimento e preparação de AQS. Quando se adiciona os consumos elétricos dos ocupantes é necessária energia primária da rede para satisfazer todas as necessidades.

O sistema de painéis fotovoltaicos para produção de energia elétrica de fonte renovável é insuficiente para compensar a energia importada pelo edifício. Às soluções consideradas, é necessário adicionar mais módulos fotovoltaicos, para que o balanço seja positivo.

Caso se adicione mais um sistema fotovoltaico de seis módulos, cuja produção é de 2109 kWh/ano (27,88 kWh_{EP}/m². ano), é possível atingir o balanço energético nulo em todas as soluções, à exceção da solução H.2.10.

No balanço energético assimétrico, considerando o fator de conversão de energia primária de 1 para a energia elétrica gerada localmente, é necessário instalar, para além dos seis módulos fotovoltaicos existentes (11,15 kWh_{EP}/m².ano), mais quatro sistemas de seis módulos no caso das soluções H.2.10, H.2.11, H.2.14 e H.2.16, cuja produção anual será de 44,61 kWh_{EP}/m².ano e mais três sistemas de seis módulos para as soluções H.2.12, H.2.13 e H.2.15, cuja produção anual será de 33,46 kWh_{EP}/m².ano, para que as soluções possa atingir a definição de um *net-zero energy building*. Apesar de este tipo de balanço energético, se apresentar como o balanço mais realístico, porque efetivamente, não é dependente da eficiência do processo de produção de energia importada da rede, e sendo considerado o valor real de conversão de energia primária para a energia elétrica gerada, apresenta-se como um balanço exigente no contexto económico, exigindo ao edifício capacidade suficiente para a instalação de 24 e 18 módulos fotovoltaicos e um investimento de 8702 € (s/IVA) e 6589 € (s/IVA) respetivamente.

7 CONCLUSÕES

A reformulação da Diretiva 2010/31/UE contribuiu de forma positiva para as reduções de emissões de carbono para a atmosfera, impondo prazos aos Estados Membros, que em 2020, todos os edifícios sejam de consumo quase nulo de energia. A reformulação da Diretiva apontou também, a metodologia de cálculo da rentabilidade de custo ótimo como um instrumento de proximidade aos edifícios com consumo quase nulo de energia.

Na presente dissertação, não existiu o objetivo de “simplesmente” alcançar um edifício com consumo nulo de energia através da melhor solução, ou seja, através da solução que apresenta o melhor desempenho energético. Naturalmente, com um grande investimento no edifício, através da aplicação de materiais de grande qualidade térmica, como isolamentos e envidraçados, assim como a utilização da melhor tecnologia do mercado para satisfazer as necessidades de energia e a instalação de grandes áreas painéis fotovoltaicos para produzir energia, é possível alcançar um edifício com consumo nulo de energia. Neste caso, a metodologia adotada, foi primeiramente, conhecer quais as medidas passivas, pela relação entre a análise económica e o desempenho energético, consideradas as soluções de custo ótimo.

Em alguns dos aspetos estudados, como o isolamento térmico na cobertura e nas paredes exteriores, naturalmente que, com o incremento da espessura, verificou-se a melhoria no desempenho energético, no entanto, esta, não é acompanhada pela diminuição do custo global da solução, que a partir dos 10 cm de espessura, o investimento deixou de compensar a diminuição do custo de energia. Ao contrário do isolamento térmico no pavimento térreo, que à medida que se aumentou a espessura, o custo global diminuiu sempre, apesar de um abrandamento na diferença de custos globais entre soluções, a partir dos 6 cm de espessura, significando que, mesmo que compense o investimento, não é muito justificável face à energia primária reduzida.

Nos envidraçados, foi averiguado que, nem sempre a solução mais cara, com a melhor qualidade térmica, apresenta-se como a solução com o melhor desempenho energético, pois este, depende das orientações onde os envidraçados estão inseridos. Um envidraçado com um reduzido fator solar, influencia de forma positiva as necessidades de energia para arrefecimento, reduzindo os ganhos solares no Verão, mas influencia de forma negativa as necessidades de energia para aquecimento. No entanto, de uma perspetiva global, alguns edifícios poderão ser beneficiados por este aspeto, necessitando de um fator solar reduzido para corresponder positivamente aos requisitos mínimos exigidos pelo regulamento nacional, sendo esta, uma análise intransmissível entre edifícios. O mesmo se aplica à orientação e aos sombreamentos.

Um dos objetivos desta análise, prendia-se com o conhecimento da influência isolada destes fatores no edifício, e encontrar o custo ótimo de cada medida. Porém, após a combinação das medidas passivas com melhor desempenho energético e económico, verificou-se que a solução de custo ótimo, era a solução que conjuga os custos ótimos de rentabilidade de cada

solução isolada, ou seja, 10 cm de isolamento térmico para cobertura e paredes, 6 cm de isolamento térmico no pavimento, o vidro com o menor coeficiente de condutibilidade térmica mas com o maior fator solar, a melhor orientação (sudeste) e a solução com a diminuição das palas de sombreamento.

Face a esta conclusão, utilizou-se a solução H.2 para testar as medidas ativas, adicionando-se sistemas de procura de energia. A razão pela qual, não foram testadas combinações relacionando diferentes soluções passivas com soluções ativas, como por exemplo, o mesmo equipamento, mas com diferentes medidas passivas, foi porque os custos de investimento das soluções ativas são muito superiores às soluções passivas (os equipamentos de grande eficiência energética também são, por sua vez, os mais dispendiosos). Ao aplicar diferentes medidas passivas no edifício e apesar de estas influenciarem a redução das necessidades de energia, os custos de investimento das soluções ativas são sempre superiores aos custos de energia influenciadas por estas, que desta forma, tornaria a análise da influência das medidas passivas, subjetiva. Até porque, as variações das necessidades de energia primária eram mínimas.

As soluções que mais se destacam, no contexto da adição dos sistemas técnicos, são as que são integradas de equipamentos que têm elevadas eficiências, assim como, os que utilizam como fonte, a energia renovável. A caldeira a biomassa, que, apesar de apresentar uma eficiência, de quase 4 vezes inferior à bomba de calor utilizada ou ao sistema de ar condicionado, além de ser beneficiada pela aplicação de um fator de conversão de energia primária de 1, é contabilizada com energia renovável, não entrando no valor final das necessidades de energia primária do edifício, visto que é descontada posteriormente. Confirmando-se assim, que a solução que integra uma caldeira a biomassa, para a realização de AQS e aquecimento central, apesar de não oferecer nenhum sistema de arrefecimento, é a solução de custo ótimo de rentabilidade.

Posteriormente, introduziu-se ao edifício a segunda parte da metodologia, adicionou-se sistemas de produção de energia elétrica, para compensar a energia elétrica a consumir pelo edifício. Nesta fase é necessário ter em atenção algumas condicionantes, como por exemplo, o dimensionamento correto do sistema. Pois, ao analisar os sistemas fotovoltaicos envolvidos nas soluções, o que apresenta a melhor compatibilidade de carga é a solução que apenas detém dois painéis fotovoltaicos, significando que devido ao perfil dos ocupantes, não é possível consumir instantaneamente toda a energia que está a ser produzida, logo, quanto maior for o número de painéis, maior será a energia produzida e injetada na rede.

As soluções que apresentam um melhor desempenho energético, para além de serem as que têm um maior número de painéis fotovoltaicos, são as que detêm a maior percentagem de equipamentos elétricos e que efetivamente, podem consumir uma significativa parte de energia de que estão a produzir. Quando o edifício é provido de equipamentos com recurso a energia renovável, como as *pellets*, apresenta um perfil de consumo de energia elétrica mais linear, ou seja, na estação de Inverno, período onde existe poucas horas de sol e por consequente uma menor produção de energia elétrica, o edifício não necessita de energia elétrica para alimentar o sistema de aquecimento. No Verão, o edifício é beneficiado por conter equipamentos elétricos para arrefecimento no período de maior exposição solar. Por este fato, resulta ser a solução H.2.13 a solução que apresenta o melhor desempenho energético, no entanto, a solução de custo ótimo é a solução H.2.10.

No cálculo do balanço energético, utilizou-se dois tipos de balanço, importação/exportação e carga/geração, para dois tipos de sistemas de ponderação, o simétrico e o assimétrico. Concluindo-se que, quando é aplicado o sistema de ponderação simétrico, o edifício chega mais facilmente ao estatuto de *net-zero energy building*, pois a energia produzida e exportada para a rede, é beneficiada com um fator de ponderação igual àquela que é importada, significando que, é beneficiada pela “ineficiência” da rede, ou seja, quanto maior for a ineficiência do processo de produção de energia, maior será o fator de conversão de energia primária, logo, menor produção de energia será necessária para compensar a energia importada. O oposto é, o sistema de ponderação assimétrica, que independentemente do fator de ponderação da energia importada, a energia exportada para a rede, assume sempre o valor de 1. Assim, no balanço energético, a parcela de energia exportada assume um menor valor, relevando que é necessário produzir mais energia para compensar a energia importada, como se pode observar no Quadro 7.1.

Quadro 7.1 - Comparação entre sistema de ponderação assimétrico e simétrico.

	Sistema de ponderação assimétrico			Sistema de ponderação simétrico		
	Importada	Exportada	Balanço	Importada	Exportada	Balanço
H.2.10	10,38	2,22	-8,16	8,14	5,55	-2,59
H.2.11	10,03	5,58	-4,45	7,27	13,96	6,69
H.2.12	12,06	9,13	-2,93	9,03	22,83	13,80
H.2.13	9,29	9,34	0,05	6,58	23,36	16,78
H.2.14	12,82	8,76	-4,06	9,23	21,91	12,68
H.2.15	9,21	9,48	0,26	6,7	23,69	16,99
H.2.16	12,97	5,46	-7,51	10,03	13,66	3,63

O Quadro 7.1 e comparando os resultados obtidos nos subcapítulo 6.7.1 e 6.7.2, é comprovado o que já foi explicado anteriormente. A solução de custo ótimo, a solução H.2.10, em nenhuma das metodologias aplicadas, com os sistemas de ponderação simétrico e assimétrico, atinge a classificação de edifício com consumo nulo de energia. No entanto, a solução H.2.11, semelhante à solução H.2.10, diferenciando apenas na adição de dois painéis fotovoltaicos, atinge a condição de NZEB apenas no sistema de ponderação simétrico, apresentando-se também na metodologia do custo ótimo de rentabilidade, como a segunda solução com o melhor custo benefício. O custo adicional, entre a solução de referência inicial e a solução H.2.11 é de 23 535 €.

Importa realçar, que a regulamentação apenas considera a energia despendida para o consumo de climatização, AQS e ventilação mecânica. No entanto, no estudo efetuado, optou-se por adicionar uma estimativa dos consumos elétricos para equipamentos domésticos e iluminação, em consonância com a função do edifício e a respetiva área (subcapítulo 6.7.3),

por forma a perceber, qual a quantidade de energia elétrica necessária produzir para alcançar o balanço energético nulo.

Naturalmente que, para o balanço de ponderação simétrica, é necessário colocar menos painéis fotovoltaicos, cerca de 18 painéis fotovoltaicos, do que para o balanço de ponderação assimétrica, 24 painéis fotovoltaicos, para todas as soluções.

Concluindo, a solução de custo ótimo (H.2.10) não atinge em nenhuma das situações estudadas, o estatuto de NZEB, mas a solução que está mais perto do custo ótimo, H.2.11, atinge o estatuto no sistema de ponderação simétrico, difere da solução com melhor desempenho energético, H.2.13, no custo global, em 10 565 €. Considera-se, portanto, que é justificável optar pela solução H.2.13, mesmo não sendo a solução de custo ótimo.

Porém, apesar de se encontrar soluções que conseguiram atingir o estatuto NZEB, nessas soluções, não foram incluídos os consumos de energia para equipamentos domésticos e iluminação, que desta forma, não refletem o consumo real de um edifício. No final, a diferença entre a solução de referência inicial e a solução H.2.13 com o acréscimo de 24 painéis fotovoltaicos para atingir uma classificação NZEB para a pior situação (sistema de ponderação assimétrico), é de 42 802€.

Não é difícil para um edifício, atingir o estatuto de NZEB. Se todos os edifícios fossem alvo de estudos minuciosos, dedicados a encontrar a solução que mais se adequada, por forma a reduzir efetivamente as necessidades de energia útil para climatização, com a introdução de sistemas de fonte renovável, como a caldeira a biomassa e painéis fotovoltaicos, é possível atingir, sem grande esforço financeiro, o estatuto de NZEB.

No contexto real, na construção do edifício, o valor extra de 42 802€ em relação ao edifício de referência, (não estão incluídos os encargos fiscais, nem os custos associados aos estudos prévios e monitorização anual. No entanto, o grande problema nestes edifícios, será a compatibilidade de carga, devido ao desfasamento da hora de produção de energia e a hora de maior consumo. A inserção de, por exemplo, 30 painéis fotovoltaicos para compensar todos os consumos elétricos, significa também grande desperdício para o edifício, pois praticamente toda a energia produzida localmente, não poderia ser consumida diretamente pelo edifício e seria injetada na rede, impondo também outra questão, a área necessária a disponibilizar para a instalação de 30 painéis fotovoltaicos.

Considera-se que este estudo, pode constituir uma boa base para o desenvolvimento do projeto do empreendimento “Eco-Power Zero Residence”. No entanto, para trabalhos futuros, dever-se-ia atingir o mesmo objetivo proposto nesta dissertação, alcançar um edifício com consumo nulo de energia, através de simulações dinâmicas, para melhor compreensão do impacto das medidas de eficiência energética no edifício.

É importante desenvolver mais estudos em torno das soluções passivas, em detrimento das soluções ativas, pois estas soluções, são mais económicas, garantindo bons resultados no desempenho energético e devem ser antecipadamente introduzidas durante a projeção do edifício.

8 BIBLIOGRAFIA

- [1] A.J., Marszal, P. Heiselberg, *Zero Energy Building definition – a literature review - A technical report of subtask A*. Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme. 02/06/2010, 1-16, International Energy Agency, Aalborg
- [2] Afionis, S., *The European Union in International Climate Change Negotiations*. Abingdon, Oxon, Routledge, Taylor & Francis Group, 2017.
- [3] Agência Portuguesa do Ambiente & Governo de Portugal. *Roteiro Nacional de Baixo Carbono 2050: Opções de Transição para uma Economia de Baixo Carbono competitiva em 2050*.
- [4] Alencar, M. S. *A Análise de Fourier e o Aquecimento Global*, http://www.difusaocientifica.com/artigos/Aquecimento_Global_Fourier.pdf. [Acedido a 01/10/2016]
- [5] Almeida, M. *Reabilitação Energética de Edifícios Residenciais – Soluções de Custo Ótimo*. Seminário Eficiência Energética, Que Futuro?, 21 de fevereiro de 2014, Auditório Camara Municipal de Barcelos, 1-46.
- [6] Almeida, M., Ferreira, M. & Rodrigues, A. *Reabilitação energética do Parque Residencial: metodologia para determinação de soluções de custo ótimo*. Revista Materiais de Construção, agosto de 2013, 30-37, APCMC - Associação Portuguesa dos Comerciantes de Materiais de Construção.
- [7] Alves, C., *Net metering: definição de metodologia e estudo de caso*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologias – Universidade Nova de Lisboa. 2014.
- [8] Atanasiu, B. *et al. Principles for nearly Zero-energy Buildings: Paving the way for effective implementation of policy requirements*. Buildings Performance Institute Europe (BPIE), 2011.
- [9] Basnet, A. *Architectural Integration of Photovoltaic and Solar Thermal Collector Systems into buildings*. Dissertação de Mestrado. Norwegian University of Science and Technology: Faculty of Architecture and Fine Arts.
- [10] Bourelle, J.S., Andresen, I. & Gustavsen, A. *Energy payback: an attributional and environmentally focused approach to energy balance in net zero energy buildings*; Energy and Buildings 65, outubro de 2013, 84-92, Elsevier.
- [11] BP, Energy Outlook 2016.
- [12] Brandão, N. *Análise de Soluções Construtivas e Tecnológicas para Edifícios Passivos em Portugal*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade do Porto, 2008.

- [13] Brito, M. & Silva, J. *Energia fotovoltaica: conversão de energia solar em electricidade*. O Instalador, julho 2006.
- [14] BSCD Portugal – Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável. *O potencial económico da eficiência energética Ação 7 – Demonstrar o valor gerado por projetos de eficiência energética*. Novembro de 2015. http://www.vda.pt/xms/files/Noticias/2015/O_potencial_economico_da_eficiencia_energetica.pdf. [Acedido a 01/10/2016]
- [15] Buildings Performance Institute Europe (BPIE) *Nearly Zero Energy Buildings definitions across Europe*. http://bpie.eu/uploads/lib/document/attachment/128/BPIE_factsheet_nZEB_definitions_across_Europe.pdf [Acedido a 10/03/2016] [52]
- [16] Carvalho, P. *Modelação e Simulação de Sistemas Fotovoltaicos*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa: Departamento de Engenharia Mecânica, 2013.
- [17] Comissão Europeia, B. *Uma energia sustentável, segura e a preços acessíveis para europeus*, Serviço das Publicações da União Europeia, Luxemburgo, 2015.
- [18] Comissão Europeia. Commission staff working document: Best practices on Renewable Energy Self-consumption. 15/07/2015. http://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/1_EN_autre_document_travail_service_part1_v6.pdf [Acedido a 01/04/2016]
- [19] Comissão Europeia. *EU Reference Scenario 2016: Energy, Transport and GHG Emissions Trends to 2050*. 20/07/2016. https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/20160713%20draft_publication_REF2016_v13.pdf [Acedido a 30/10/2016]
- [20] Comissão Europeia. *Relatório da comissão ao parlamento europeu e ao conselho: Progressos alcançados pelos Estados-Membros para atingir níveis ótimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético*. 29/07/2016. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:52016DC0464&from=PT>. [Acedido a 01/04/2016]
- [21] Comissão Europeia. *Relatório da comissão ao parlamento europeu e ao conselho: Progressos dos Estados-Membros na via para edifícios com necessidades quase nulas de energia*. Comissão Europeia, Bruxelas, 2013.
- [22] Comissão Europeia. *Relatório da comissão ao parlamento europeu, ao conselho, ao Comité económico e social europeu e ao comité das regiões: Relatórios sobre os progressos em termos de energias renováveis*. Comissão Europeia, Bruxelas, 2015.
- [23] Comissão Europeia. *Uma estratégia para uma energia competitiva, sustentável e segura*. 14/09/2015. <http://eur-lex.europa.eu/legalcontent/PT/TXT/HTML/?uri=LEGISSUM:en0024&from=PT> [Acedido a 20/03/2016]
- [24] Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões, *Estratégia da EU para o Aquecimento e a Refrigeração*, 2016.

- [25] Concerted Action EPBD, *Implementing the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD)*, ADENE, Lisboa, 2015.
- [26] Couture, T., Cory, K., Kreycik, C. & Williams, E. *A Policymaker's Guide to Feed-in Tariff Policy Design*. julho 2010. <http://www.nrel.gov/docs/fy10osti/44849.pdf> [Acedido a 05/04/2016]
- [27] Dias, S., *Os sistemas energéticos para habitação autossustentável em clima Português: simulação e análise energética*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Lisboa: Faculdade De Ciências, Departamento De Engenharia Geográfica, Geofísica E Energia, 2015
- [28] D. Pudjianto, P. Djapic, J. Dragovic, G. Strbac, *Grid integration Cost of Photovoltaic Power Generation*, Imperial College London, setembro 2013.
- [29] D'Agostino, D., Bertoldi, P., *Evaluation of the European status towards the achievement of nearly zero energy Buildings (nZEBs)*, Proceedings of 8th International conference improving efficiency in commercial Buildings, 1-3 abril 2014, Frankfurt, Alemanha, 28-39, Luxemburgo, Publications Office of the European Union.
- [30] D'Agostino, D. *Assessment of the progress towards the establishment of definitions of Nearly Zero Energy Buildings (nZEBs) in European Member States*. Journal of Building Engineering, 05/2015, 20-32, Elsevier.
- [31] *Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de abril*. Diário da República — I Série - A — n.º 67, 04-04-2006, 2468 – 2512.
- [32] Deliverable “Grid parity definition, PV Parity project”, Energy Research Centre of the Netherlands (ECN), March 2012.
- [33] Despacho (extrato) n.º 15793-C/2013. Diário da República, 2.ª série — n.º 234, 3/12/2013, 35088(9).
- [34] Despacho (extrato) n.º 15793-D/2013. Diário da República, 2.ª série — n.º 234, 3/12/2013, 35088(13).
- [35] Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013. Diário da República, 2.ª série — n.º 234, 3/12/2013, 35088(13).
- [36] Despacho (extrato) n.º 15793-I/2013. Diário da República, 2.ª série — n.º 234, 3/12/2013, 35088(13).
- [37] Despacho (extrato) n.º 15793-J/2013. Diário da República, 2.ª série — n.º 234, 3/12/2013, 35088(13).
- [38] Direção Geral de Energia e Geologia, Renováveis, Estatísticas rápidas – n.º137 – março de 2016.
- [39] Direção Geral de Energia e Geologia. *Estratégia Nacional para a Renovação de Edifícios*. 2014. http://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/PT-Art4BuildingStrategy_pt.pdf. [Acedido a 02/03/2016]

- [40] Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho: *Energy Performance of Buildings Directive* (reformulação), Jornal Oficial da União Europeia, 2010.
- [41] EPIA, *Self Consumption Of PV Electricity*, julho 2013, [http://www.solarpowereurope.org/fileadmin/user_upload/documents/Policy_Papers/Self_and_direct_consumption - Final version of the Position Paper 02.pdf](http://www.solarpowereurope.org/fileadmin/user_upload/documents/Policy_Papers/Self_and_direct_consumption_-_Final_version_of_the_Position_Paper_02.pdf) [Acedido a 25/03/2016]
- [42] European Commission, *Low energy Buildings in Europe: Current State of play, definitions and best practice*, Directorate D – New and Renewable Energy Sources, Energy Efficiency & Innovation, Bruxelas, setembro de 2009.
- [43] European Commission. *2015 Annual Report*. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2015.
- [44] Feist, W., Schnieders, J (2009) *Energy efficiency – a key to sustainable housing* The European Physical Journal Special Topics 15/09/2009, 141-153, Passivhaus Institut, Darmstadt, Germany.
- [45] Fernandes, A., Guerra, M., Ribeiro, R. & Rodrigues, S. *Relatório do Estado do Ambiente 2016*. Agência Portuguesa do Ambiente, 2016.
- [46] Fernandes, J., *Estudo de Viabilidade de Sistema de Autoconsumo com Autoprodução Renovável Eólica*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2015.
- [47] Gaivão, J. *Princípios para a aplicação do conceito Passive House em Portugal*. Tese de Mestrado, Universidade do Minho, 2012.
- [48] Garrana, R., *Avaliação do êxito do Protocolo de Quioto em Portugal*. Dissertação de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior de Economia e Gestão, 2011.
- [49] Guimarães, B. *Análise da Viabilidade Económica da Instalação de um Sistema de Autoconsumo Fotovoltaico numa Habitação*. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto: Faculdade de Engenharia. 2016 .
- [50] Henriques, A., *Metodologia para cálculo das emissões de gases de efeito de estufa associadas a edifícios*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, 2008.
- [51] Hermelink, A.; Schimschar, S.; Boermans, T. *Towards Nearly Zero-Energy Buildings; Definition of Common ciples Under the EPBD, Final Report*, 14 de fevereiro de 2013. https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/nzeb_full_report.pdf. [Acedido a 03/05/2016]
- [52] Hernandez, P., Kenny, P. *From net energy to zero energy buildings: defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB)*, Energy and Buildings 42, junho de 2010, 815–821.
- [53] Hernández-Moro, J. & Martínez-Duart, J.M. *Analytical model for solar PV and CSP electricity costs: Present LCOE values and their future evolution*. Renewable and Sustainable

Energy Reviews 20, abril 2013, 119-132, Elsevier.

[54] Hui, S. C. M., *Zero energy and zero carbon buildings: myths and facts*. Proceedings of the International Conference on Intelligent Systems, Structures and Facilities (ISSF2010): Intelligent Infrastructure and Buildings, 12/01/2010, Kowloon Shangri-la Hotel, Hong Kong, China, pp. 15-25.

[55] IEA - International Energy Agency. *Review and Analysis of PV Self-Consumption Policies*. 2016. <http://www.vindogsol.dk/assets/iea-pvps---self-consumption-policies---2016.pdf> [Acedido a 01/04/2016]

[56] IEA - International Energy Agency. *The passivhaus standard in european warm climates: design guidelines for comfortable low energy homes: Part 3. Comfort, climate and passive strategies*. 2007.

[57] Industrials Clean Technology. *Industry Solar - 2015 Outlook*. Deutsche Bank Markets Research, 8/01/2015.

[58] Instituto Superior Técnico. *Energia Fotovoltaica -Manual sobre Tecnologias, Projecto e Instalação*. Janeiro de 2014.

[59] International Energy Agency, Nuclear Energy Agency & Organisation for Economic Co-Operation and Development. *Projected Costs of Generating Electricity 2015 Edition*. 30 de setembro de 2015. <https://www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2015/7057-proj-costs-electricity-2015.pdf> [Acedido a 18/03/2016]

[60] International Energy Agency. *Energy and Climate Change: World Energy Outlook Special Report*. International Energy Agency, 2015.

[61] International Energy Agency. *Technology Roadmap: Solar Photovoltaic Energy*. 2014. https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapSolarPhotovoltaicEnergy_2014edition.pdf [Acedido a 01/03/2016]

[62] International Monetary Fund. *World Economic Outlook October 2015: Adjusting to Lower Commodity Prices*. International Monetary Fund, 2015.

[63] Jaeger-Waldau, A. *PV Status Report 2016*, Publications Office of the European Union, 2016 [125]

[64] Jornal Oficial da União Europeia, *Comunicações e Informações*. 19 de abril de 2012. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=OJ:C:2012:115:FULL&from=PT> [Acedido a 01/04/2016]

[65] Kaestel, P. & Gilroy-Scott, B. *Economics of pooling small local electricity prosumers— LCOE & self-consumption*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 51, 2015, 718-729, Elsevier.

- [66] Kılıç, Ş., *A Nearly Net-Zero Exergy District as a Model for Smarter Energy Systems in the Context of Urban Metabolism*. Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems (Volume 5, Issue 1), 2017, 101-126.
- [67] Kurnitski, J. *et al*, *Cost optimal and nearly zero energy performance requirements for buildings in Estonia*. Estonian Journal of Engineering, setembro de 2013, 183–202.
- [68] Kurnitski, J. *Nearly Zero-Energy Building's (nZEB) definitions and assessment boundaries*. In *Cost Optimal and Nearly Zero-Energy Buildings (nZEB)*, 7-30.
- [69] Kurnitski, J. *Technical definition for nearly zero energy buildings*. REHVA Journal, 05/2013, 22-28.
- [70] Luthander, R., Nilsson, D., Palm, J. & Widen, J. *Photovoltaic self-consumption in buildings: A review*. Applied Energy 142, 15/03/2015, 80-94, Elsevier.
- [71] Macedon D. Moldovan et al., *Solar heating & cooling energy mixes to transform low energy buildings in nearly zero energy buildings*, Energy Procedia 48 (2014) 924 – 937.
- [72] Marszal. A.J., Heiselberg, P., Bourrelleb, J.S., Musallc, E. Voss, K., Sartorid, I. & Napolitano, A. *Zero Energy Building – A review of definitions and calculation methodologies*. Energy and Buildings 43, abril 2011, 971-979, Elsevier.
- [73] Ministério da Economia e da Inovação. *Decreto-Lei n.º 363/2007 de 2 de novembro*. Diário da República, 1.ª série — n.º 211 — 2-11-2007 – 7978 – 7984.
- [74] Ministério da Economia e da Inovação. *Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 de abril*. Diário da República — I Série - A nº 67, 04-04-2006, 2411-2415.
- [75] Ministério da Economia e do Emprego. *Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto*. Diário da República — I Série - A nº 159, 20-08-2013, 4988-5005.
- [76] Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. *Decreto-Lei n.º 40/90 de 6 de fevereiro*. Diário da República n.º 31/1990, Série I - 06-02-1990, 409-504.
- [77] Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. *Decreto-Lei n.º 153/2014 de 20 de outubro*. Diário da República, 1.ª série — n.º 202, 20-10-2014, 5298 – 5311.
- [78] Ministério do Equipamento, do Planeamento e da Administração do Território. *Decreto-Lei n.º 118/ 98 de 7 de maio*, Diário da República, 1.ª série-A – Nº 105 – 7-5-1988, 2114 – 2129.
- [79] Mohamed, A.; Hasan, A.; Siren, K. *Fulfillment of net-zero energy building (NZEB) with four metrics in a single family house with different heating alternatives*. Elsevier. 2014.385–399.
- [80] NREL- National Renewable Energy Laboratory. *Life Cycle Greenhouse Gas Emissions from Solar Photovoltaics*. Novembro de 2012. <http://www.nrel.gov/docs/fy13osti/56487.pdf>. [Acedido a 26/04/2016]

- [81] Oliveira, C., Reaes Pinto, A., *Características de sustentabilidade de materiais de construção renováveis*. Revista Arquitectura Lusíada, N. 3, 2.º semestre 2011, 63-75, Lisboa.
- [82] Omer, A. M. *Low Energy Building Materials: An overview*. Environment 2010: Situation and Perspectives for the European Union, 6 a 10/05/2003, Porto, 1-6. Porto: FEUP, Porto.
- [83] Pan, W. *A cluster analysis of Zero Carbon Buildings*, Zero Carbon Building Journal (Volume 3), Janeiro 2015, p. 6-15, Edge Media Limited.
- [84] Parlamento Europeu e do Conselho. *Directiva 2009/28/CE de 23 de abril de 2009*. Jornal Oficial da União Europeia, 5/6/2009, L140/16 – L 140/62.
- [85] Parlamento Europeu e do Conselho. *Directiva 2009/125/CE de 21 de outubro de 2009*. Jornal Oficial da União Europeia, 31/10/2009, L285/10 – L 285/35.
- [86] Parlamento Europeu e do Conselho. *Directiva 2010/30/UE de 19 de maio de 2010*. Jornal Oficial da União Europeia, 18/6/2010, L153/1 – L153/12.
- [87] Parlamento Europeu e do Conselho. *Directiva 2010/31/UE de 19 de maio de 2010*. Jornal Oficial da União Europeia, 18/6/2010, L153/13 – L153/35.
- [88] Parlamento Europeu e do Conselho. *Directiva 2012/27/UE de 25 de outubro de 2012*. Jornal Oficial da União Europeia, 14/11/2012, L315/1 - L315/56.
- [89] Pires, Ana., *Quantificação ambiental em edifícios: estudo de um caso prático*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2013.
- [90] *Portaria n.º 349-B/2013 de 29 de novembro*. Diário da República, 1.ª série — n.º 232 — 29/11/2013, 6624-(18) - 6624-(29).
- [91] Poullikkas, A. *A comparative assessment of net metering and feed in tariff schemes for residential PV systems*. Sustainable Energy Technologies and Assessments, Volume 3, setembro 2013, 1-8, Elsevier.
- [92] Presidência do Conselho de Ministros. *Resolução do Conselho de Ministros n.º 29/2010*. Diário da República, 1.ª série — N.º 73 — 15 de abril de 2010, 1289-1296.
- [93] Presidência do Conselho de Ministros. *Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013*. Diário da República, 1.ª série, n.º 70, 10/04/2013, 2022-2091.
- [94] *REGULAMENTO DELEGADO (UE) N.º 244/2012 DA COMISSÃO de 16 de janeiro de 2012*. 21/03/2012. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:081:0018:0036:PT:PDF> [Acedido a 01/03/2016]
- [95] Rode, C. & Eriksen, K. *Specification and Assessment Criteria of Active Houses*. Central Europe towards sustainable Building 2013, Praga.

- [96] Šajin, N.: EPRS | European Parliamentary Research Service. *Electricity 'Prosumers'*. Novembro 2016. [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2016/593518/EPRS_BRI\(2016\)593518_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2016/593518/EPRS_BRI(2016)593518_EN.pdf). [Acedido a 05/03/2016]
- [97] Salom, J. *et al.* *Analysis of Load Match and Grid Interaction Indicators in NZEB with High-Resolution Data*. outubro de 2013. https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/iea_pdf/endbericht_201417_iea_shc_task40_ebcannex_52_anhang05.pdf [Acedido a 10/05/2016].
- [98] Sartori, I. *et al.* *Zen Nearly Zero Energy Neighborhoods Final report on common definition for nZEB renovation D.1.2 Report*. 21/11/2014. https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/2406471/A%252Bcommon%252Bdefinition%252Bfor%252BnZEB%252Brenovation_D1.2.pdf?sequence=3&isAllowed=y. [Acedido a 01/03/2016]
- [99] Sartori, I., Napolitano, A., Voss, K. *Net zero energy buildings: a consistent definition framework*, Energy and Buildings 48, 2012, 220-232.
- [100] Tadeu, S. *Rentabilidade de Reabilitação Energética de Edifícios*. Tese de Doutoramento, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra, 2015.
- [101] Torcellini, P., Pless, S. & Deru, M. *Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition*. ACEEE Summer Study, 14-18/08/2006, California, 1-15, National Renewable Energy Laboratory (NREL), California.
- [102] Torgal, F, Jalali, S (2011). *Energia Incorporada em Materiais de Construção versus Operacional*. Revista Internacional Construlink; Nº 27 Vol. 9, junho de 2011, 5–12.
- [103] Vartiainen, E. Masson, G. & Breyer, C. *PV LCOE in Europe 2014-30; Final Report, 23 June 2015*. Secretariat of the European Photovoltaic Technology Platform. 2015.
- [104] Voss, K. Musal, M. *Richtung Nullenergiehaus, Zero energy building*, 21/09/2011, Muttenz, 1-38, Energie Apero.
- [105] Voss, K., Sartori, I & Lollini, R. *Nearly -zero, Net zero and Plus Energy Buildings – How definitions & regulations affect the solutions* REHVA J. 06/2012, 23–27.
- [106] Voss, Karsten *et al.* *Load Matching and Grid Interaction of Net Zero Energy Buildings. Proceedings of EuroSun 2010: International Conference on Solar Heating, Cooling and Buildings: 28 September - 1 October 2010, Graz, Austria*. TAPIR Akademisk Forlag. 2010.
- [107] Yilmaz, S., Ozcalik H., Aksu, M & Karapinar, C. *Dynamic Simulation of a PV-Diesel-Battery Hybrid Plant for Off Grid Electricity Supply*. Energy Procedia 75, agosto 2015, 381-387, Elsevier.
- [108] Zalejska-Jonsson, A. - *Low-energy residential buildings: Evaluation from investor and tenant perspectives*, Tese de Licenciatura, Royal Institute of Technology, 2011.
- [109] Zero (Associação Sistema Terrestre Sustentável) & APREN (Associação de Energias Renováveis). *2016 – Um ano de recordes com consumo de eletricidade em Portugal*

assegurado em 64% por fontes renováveis. 4-01-2017.
http://www.apren.pt/fotos/editor2/comunicado_apren_zero_recordes_2016.pdf [Acedido a 20/03/2016]

[110] http://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php/Energy_production_and_imports/pt [Acedido a 21/01/2017]

[111] <http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&plugin=1&language=en&pcode=tsdcc310> [Acedido a 15/03/2016]

[112] <http://www.adene.pt/indicador> [Acedido a 15/03/2016]

[113] <http://www.agrotecnologica.pt/index.php/oferta-comercial/energiasrenov%C3%A1veis/autocconsumo-fotovoltaico.html>) [Acedido a 17/03/2016]

[114] <http://www.eerg.it/passive-on.org/CD/5.%20Long%20Description/Passive-On%20-20Long%20Description%20-%20Portugues.pdf> [Acedido a 01/10/2016]

[115] <http://www.passivhaus.pt/>. [Acedido a 01/10/2016]

[116] <http://www.solar-street-light.com/solar-power-system/254-solar-off-grid-pv-system.html>. [Acedido a 15/03/2016]

[117] <http://www.southzeb.eu> [Acedido a 24/02/2016]

[118] https://europa.eu/european-union/topics/energy_pt. [Acedido a 05/03/2016]

[119] https://passipedia.org/basics/what_is_a_passive_house [Acedido a 15/05/2016]

[120] https://passiv.de/former_conferences/Passive_House_E/passivehouse_definition.html [Acedido a 20/05/2016]

ANEXO I – COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA DAS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

Quadro – Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede exterior.

Descrição	Tijolo Furado 20 + 6 cm EPS (0,036 W/m.°C)				
1	Zona corrente				
	Parede exterior				
		e (m)	λ (W/m.°C)	R_t (m ² .°C/W)	M (kg/m ²)
Isolamento	U - EPS 100	0.060	0.036	1.667	1.260
Diversos	Estuques s/inertes tradicional	0.015	0.400	0.038	11.250
	Argamassas e rebocos tradicionais	0.005	1.300	0.004	9.500
Cx. De ar					
Alvenaria	Tijolo furado de 20	0.200		0.580	126.600
	Espessura Total	0.280		2.288	137.85
	Resistência Superficial	0.17		U (W/m².°C)	
				0.407	

Quadro – Cálculo do coeficiente da transmissão térmica da PTP da parede exterior.

Descrição	Viga 20 cm + 6 cm EPS (0,036 W/m.°C)				
2	Ponte Térmica Plana				
	Parede exterior				
		e (m)	λ (W/m.°C)	R_t (m ² .°C/W)	M (kg/m ²)
Isolamento	EPS 100	0.060	0.036	1.667	1.260
Diversos	Betão armado corrente	0.200	2.000	0.100	470.000
	Estuques s/inertes tradicional	0.005	1.300	0.004	9.500
	Argamassas e rebocos tradicionais	0.015	0.400	0.038	11.250
Cx. De ar					
Alvenaria					
	Espessura Total	0.280		1.808	481.25
	Resistência Superficial	0.17		U (W/m².°C)	
				0.506	

Quadro – Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da caixa de estore.

Descrição	Caixa de Estore com 3 cm de EPS				
3	Caixa de Estore				
	Parede interior	e (m)	λ (W/m.°C)	R_t (m ² .°C/W)	M (kg/m ²)
Isolamento	Caixa de estore Plastimar	0.030	0.036	0.833	0.630
Diversos	Estuques s/inertes tradicional	0.015	0.400	0.038	11.250
Cx. De ar					
Alvenaria					
	Espessura Total	0.045		0.871	11.88
	Resistência Superficial	0.26		U (W/m².°C)	
				0.884	

Quadro – Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede de contenção em contacto com a envolvente exterior.

Descrição	Muro de suporte 20 cm + 6 cm XPS				
4	Zona corrente				
	Parede exterior	e (m)	λ (W/m.°C)	R_t (m ² .°C/W)	M (kg/m ²)
Isolamento	Poliestireno expandido extrudido (XPS)	0.060	0.034	1.765	2.160
Diversos	Betão armado corrente	0.200	2.000	0.100	470.000
	Camada de betume modificado com elastómero SBS	0.005	0.230	0.022	5.500
	Estuques s/inertes tradicional	0.015	0.400	0.038	11.250
	Argamassas e rebocos tradicionais	0.005	1.300	0.004	9.500
Cx. De ar					
Alvenaria					
	Espessura Total	0.285		1.928	486.75
	Resistência Superficial	0.17		U (W/m².°C)	
				0.477	

Quadro – Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede de contenção em contacto com o terreno.

Descrição	Muro de suporte 20 cm + 6 cm XPS				
5	Zona corrente				
	Em contacto com o terreno	e (m)	λ (W/m.°C)	R_t (m ² .°C/W)	M (kg/m ²)
Isolamento	Poliestireno expandido extrudido (XPS)	0.060	0.034	1.765	2.160
Diversos	Betão armado corrente	0.200	2.000	0.100	470.000
	Camada de betume modificado com elastómero SBS	0.005	0.230	0.022	5.500
	Estuques s/inertes tradicional	0.015	0.400	0.038	11.250
	Lâmina drenante nodular, Danodren H15 Plus "DANOSA", com geotêxtil	0.006	0.070	0.086	1.200
Cx. De ar					
Alvenaria					
Total		0.286		2.010	481.25
Resistência Superficial				U (W/m².°C)	
				0.498	

Quadro – Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da parede interior.

Descrição	Parede interior (corete) 6 cm de XPS				
6	Zona corrente				
	Parede interior	e (m)	λ (W/m.°C)	R_t (m ² .°C/W)	M (kg/m ²)
Isolamento	Poliestireno expandido extrudido (XPS)	0.060	0.037	1.622	1.950
Diversos	Estuques s/inertes tradicional	0.015	0.400	0.038	11.250
Cx. De ar					
Alvenaria	Tijolo furado de 11	0.11		0.29	35.600
Total		0.185		1.949	84.95
Resistência Superficial		0.26		U (W/m².°C)	
				0.453	

Quadro – Cálculo do coeficiente de transmissão térmica do pavimento térreo.

Descrição	Pavimento térreo, com 3 cm de XPS				
	Pavimento térreo	e (m)	λ (W/m.°C)	R_t (m ² .°C/W)	M (kg/m ²)
Isolamento	Poliestireno expandido extrudido (XPS)	0.030	0.037	0.811	0.975
Diversos	Betonilhas de regularizações	0.020	1.350	0.015	20.000
	Betão armado corrente	0.150	2.000	0.075	352.500
	Areia, gravilha, seixo, brita	0.200	2.000	0.100	440.000
	Cerâmica vidrada/grês cerâmico	0.015	1.300	0.012	34.500
	Betonilhas de regularizações	0.120	1.350	0.089	120.000
Total		0.535		1.101	54.5
Resistência superficial		0.00		Udesc (W/m².°C)	Uasc (W/m².°C)
				0.908	0.769

Quadro – Cálculo do coeficiente de transmissão térmica da cobertura exterior.

Descrição	Cobertura exterior invertida 6 cm de XPS				
	Cobertura exterior	e (m)	λ (W/m.°C)	R_t (m ² .°C/W)	M (kg/m ²)
Isolamento	Poliestireno expandido extrudido (XPS)	0.060	0.034	1.765	2.160
Diversos	Cerâmica vidrada/grês cerâmico	0.015	1.300	0.012	34.500
	Betonilhas de regularizações	0.020	1.350	0.015	20.000
	Membrana Flexível impregnada com betume	0.010	0.230	0.043	11.000
	Enchimento betão LECA 700 kg/m ³	0.100	0.250	0.400	70.000
	Betão armado corrente	0.180	2.000	0.090	423.000
	Estuque s/inertes tradicional	0.015	0.400	0.038	11.250
Total		0.400		2.362	515.25
Resistência Superficial		0.14		Uasc (W/m².°C)	Udesc (W/m².°C)
				0.400	0.389

ANEXO II – CUSTOS GLOBAIS DAS MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Quadro – Custos globais das medidas de eficiência energética (parte 1)

		Balanço energético (kWh/(m ² .ano))						CO ₂	Perspetiva social		
		N _{ic}	N _i	N _{vc}	N _v	N _{tc}	N _t		Investimento inicial (€)	Custo de energia (€)	Custo Global (€)
Orientação do edifício	Solução de referência	12.32	32.62	15.03	18.97	50.12	130.45	1.37	23 558.47 €	2 145.37 €	25 703.85 €
	Orientação Sul	12.11	32.62	18.85	18.97	52.79	130.45	1.44	23 959.08 €	17 036.93 €	40 996.01 €
	Orientação Sudoeste	12.27	32.62	20.28	18.97	54.39	130.45	1.48	24 005.28 €	17 553.71 €	41 558.98 €
	Orientação Este	13.09	32.62	21.94	18.97	57.8	130.45	1.57	24 109.23 €	18 655.77 €	42 765.00 €
Sombreamento	Sem palas verticais e horizontais	8.5	32.62	18.69	18.97	43.63	130.45	1.19	23 670.33 €	15 167.87 €	38 838.20 €
	Sem palas verticais	11.46	32.62	15.81	18.97	48.61	130.45	1.32	23 820.48 €	15 688.91 €	39 509.39 €
	Aumento do tamanho das palas	12.92	32.62	14.71	18.97	51.35	130.45	1.4	23 912.88 €	15 099.35 €	39 012.23 €
	Diminuição do tamanho das palas	11.58	32.62	15.41	18.97	48.59	130.45	1.32	23 820.48 €	15 652.51 €	39 472.99 €
Envidraçados	Solução A	14.41	32.62	13.24	18.97	53.86	130.45	1.47	24 149.69 €	17 382.03 €	41 531.72 €
	Solução B	13	32.39	13.73	18.97	50.75	130.45	1.35	24 011.09 €	16 378.36 €	40 389.44 €
	Solução C	11.35	32.39	14.41	18.97	47.17	130.45	1.29	24 282.31 €	15 224.84 €	39 507.15 €
	Solução D	18.89	32.39	11.08	18.97	63.25	130.45	1.72	24 584.18 €	20 414.65 €	44 998.84 €
	Solução E	18.45	32.39	10.93	18.97	62.03	130.45	1.69	25 721.62 €	20 018.60 €	45 740.22 €
Pavimento térreo	Solução com 4 cm	12.07	32.62	15.13	18.97	49.57	130.45	1.35	24 243.17 €	15 999.37 €	40 242.54 €
	Solução com 5 cm	11.86	32.62	15.21	18.97	49.12	130.45	1.34	24 328.98 €	15 851.29 €	40 180.28 €
	Solução com 6 cm	11.68	32.62	15.28	18.97	48.74	130.45	1.33	24 414.79 €	15 730.32 €	40 145.11 €
	Solução com 8 cm	11.39	32.62	15.4	18.97	48.11	130.45	1.33	24 608.82 €	15 526.02 €	40 134.84 €

Quadro – Custos globais das medidas de eficiência energética (parte 2)

		Balço energético (kWhEP/(m ² .ano))						CO2	Perspetiva social		
		N _{ic}	N _i	N _{vc}	N _v	N _{tc}	N _t		Investimento inicial (€)	Custo de energia (€)	Custo Global (€)
Paredes exteriores	8 cm XPS	11.85	32.62	14.72	18.97	48.69	130.45	1.33	23 758.27 €	15 713.50 €	39 471.77 €
	10 cm XPS	11.45	32.62	14.45	18.97	47.46	130.45	1.29	24 059.92 €	15 318.71 €	39 378.63 €
	12 cm XPS	11.24	32.62	14.31	18.97	46.83	130.45	1.28	24 304.73 €	15 114.91 €	39 419.64 €
	14 cm XPS	11.02	32.62	14.15	18.97	46.14	130.45	1.26	24 548.94 €	14 892.04 €	39 440.98 €
Cobertura exterior	8 cm Isol. Térmico	11.61	32.62	15	18.97	48.34	130.45	1.32	23 809.10 €	15 599.81 €	39 408.90 €
	10 cm Isol. Térmico	11.11	32.62	14.99	18.97	47.07	130.45	1.28	24 115.07 €	15 191.96 €	39 307.03 €
	12 cm Isol. Térmico	10.79	32.62	14.98	18.97	46.25	130.45	1.26	24 405.85 €	14 925.92 €	39 331.77 €
	14 cm Isol. Térmico	10.51	32.62	14.98	18.97	45.56	130.45	1.24	24 687.40 €	14 704.81 €	39 392.21 €
Combinação de medidas passivas	Solução Base	11.05	33.42	15.09	18.97	47.01	132.44	1.28	25 929.01 €	15 172.13 €	41 101.14 €
	Solução A.1	10.23	33.42	14.94	18.97	44.82	132.44	1.22	26 285.32 €	14 466.37 €	40 751.69 €
	Solução A.2	9.69	33.42	14.74	18.97	43.31	132.44	1.18	26 684.33 €	13 977.96 €	40 662.29 €
	Solução A.3	9.23	33.42	14.72	18.97	42.14	132.44	1.15	27 099.67 €	13 600.23 €	40 699.90 €
	Solução B.1	9.93	33.42	15.26	18.97	44.35	132.44	1.21	26 336.15 €	14 312.52 €	40 648.67 €
	Solução B.2	9.31	33.42	15.32	18.97	42.84	132.44	1.17	26 739.48 €	13 826.37 €	40 565.85 €
	Solução B.3	8.82	33.42	15.4	18.97	41.69	132.44	1.14	27 212.53 €	13 455.41 €	40 667.95 €
	Solução C.1	9.94	33.42	14.76	18.97	43.94	132.44	1.2	26 391.18 €	14 180.25 €	40 571.43 €
	Solução C.2	9.1	33.42	14.48	18.97	41.61	132.44	1.13	27 010.56 €	13 430.57 €	40 441.13 €
	Solução C.3	8.62	33.42	14.33	18.97	40.28	132.44	1.1	27 546.15 €	12 999.88 €	40 546.03 €
	Solução D.1	9.5	33.42	14.95	18.97	43.01	132.44	1.17	26 535.94 €	13 882.08 €	40 418.03 €
	Solução D.2	8.54	33.42	14.74	18.97	40.43	132.44	1.1	27 252.68 €	13 049.07 €	40 301.76 €
	Solução D.3	7.9	33.42	14.68	18.97	38.78	132.44	1.06	27 970.54 €	12 514.98 €	40 485.53 €
	Solução E.1	9.12	33.42	14.44	18.97	41.62	132.44	1.13	26 885.80 €	13 433.83 €	40 319.63 €
	Solução E.2	8.57	33.42	14.24	18.97	40.09	132.44	1.09	27 284.82 €	12 937.64 €	40 222.46 €
Solução E.3	8.1	33.42	14.22	18.97	38.9	132.44	1.06	27 700.15 €	12 554.89 €	40 255.04 €	

Quadro – Custos globais das medidas de eficiência energética (parte 3)

		Balço energético (kWhEP/(m ² .ano))						CO ₂	Perspetiva social		
		N _{ic}	N _i	N _{vc}	N _v	N _{tc}	N _t		Investimento inicial (€)	Custo de energia (€)	Custo Global (€)
Combinação de medidas passivas	Solução F.1	8.82	33.42	14.76	18.97	41.14	132.44	1.12	26 936.63 €	13 276.72 €	40 213.35 €
	Solução F.2	8.18	33.42	14.83	18.97	39.61	132.44	1.08	27 339.97 €	12 784.04 €	40 124.00 €
	Solução F.3	7.69	33.42	14.91	18.97	38.45	132.44	1.05	27 813.02 €	12 409.57 €	40 222.59 €
	Solução G.1	8.82	33.42	14.25	18.97	40.72	132.44	1.11	26 991.66 €	13 142.69 €	40 134.35 €
	Solução G.2	7.97	33.42	13.98	18.97	38.37	132.44	1.05	27 622.79 €	12 383.47 €	40 006.26 €
	Solução G.3	7.48	33.42	13.83	18.97	37.02	132.44	1.01	28 146.63 €	11 949.27 €	40 095.90 €
	Solução H.1	8.38	33.42	14.45	18.97	39.79	132.44	1.08	27 136.42 €	12 840.26 €	39 976.68 €
	Solução H.2	7.4	33.42	14.25	18.97	37.18	132.44	1.01	27 853.17 €	11 999.72 €	39 852.88 €
	Solução H.3	6.76	33.42	14.19	18.97	35.52	132.44	0.97	28 571.03 €	11 464.37 €	40 035.40 €
Combinação de soluções de procura de energia	H.2.1	7.4	33.42	14.25	18.97	22.36	73.47	0.61	36 800.47 €	7 214.74 €	44 015.21 €
	H.2.2	7.4	33.42	14.25	18.97	17.5	54.51	0.49	40 975.71 €	6 140.47 €	47 116.17 €
	H.2.3	7.4	33.42	14.25	18.97	20.09	67.49	0.59	40 054.70 €	8 575.10 €	48 629.79 €
	H.2.4	7.4	33.42	14.25	18.97	11.87	67.49	0.32	40 733.07 €	6 441.53 €	47 174.60 €
	H.2.5	7.4	33.42	14.25	18.97	14.08	55.43	0.38	44 976.09 €	4 545.29 €	49 521.38 €
	H.2.6	7.4	33.42	14.25	18.97	11.1	132.44	0.3	50 272.88 €	6 191.05 €	56 463.93 €
	H.2.7	7.4	33.42	14.25	18.97	15.2	73.37	0.41	58 748.71 €	6 481.53 €	65 230.25 €
	H.2.8	7.4	33.42	14.25	18.97	10.89	61.02	0.3	56 547.56 €	4 919.56 €	61 467.12 €
	H.2.9	7.4	33.42	14.25	18.97	14.93	61.99	0.42	42 972.10 €	5 310.47 €	48 282.56 €
Combinação de soluções com sistemas fotovoltaicos	H.2.10	7.4	33.42	14.25	18.97	8.14	67.49	0.22	42 354.03 €	5 238.57 €	47 592.60 €
	H.2.11	7.4	33.42	14.25	18.97	7.27	67.49	0.2	43 616.73 €	4 956.97 €	48 573.70 €
	H.2.16	7.4	33.42	14.25	18.97	9.03	55.43	0.25	49 098.02 €	2 915.41 €	52 013.43 €
	H.2.13	7.4	33.42	14.25	18.97	6.58	67.49	0.18	54 406.56 €	4 731.84 €	59 138.40 €
	H.2.14	7.4	33.42	14.25	18.97	9.23	73.37	0.25	62 835.40 €	4 477.69 €	67 313.09 €
	H.2.15	7.4	33.42	14.25	18.97	6.7	61.02	0.18	60 681.24 €	3 567.10 €	64 248.34 €
	H.2.16	7.4	33.42	14.25	18.97	10.02	61.99	0.28	45 832.26 €	5 184.20 €	51 016.46 €

ANEXO III – DESEMPENHO ENERGÉTICO DAS MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Quadro –Desempenho energético das medidas de eficiência energética (H.2-H.2.16).

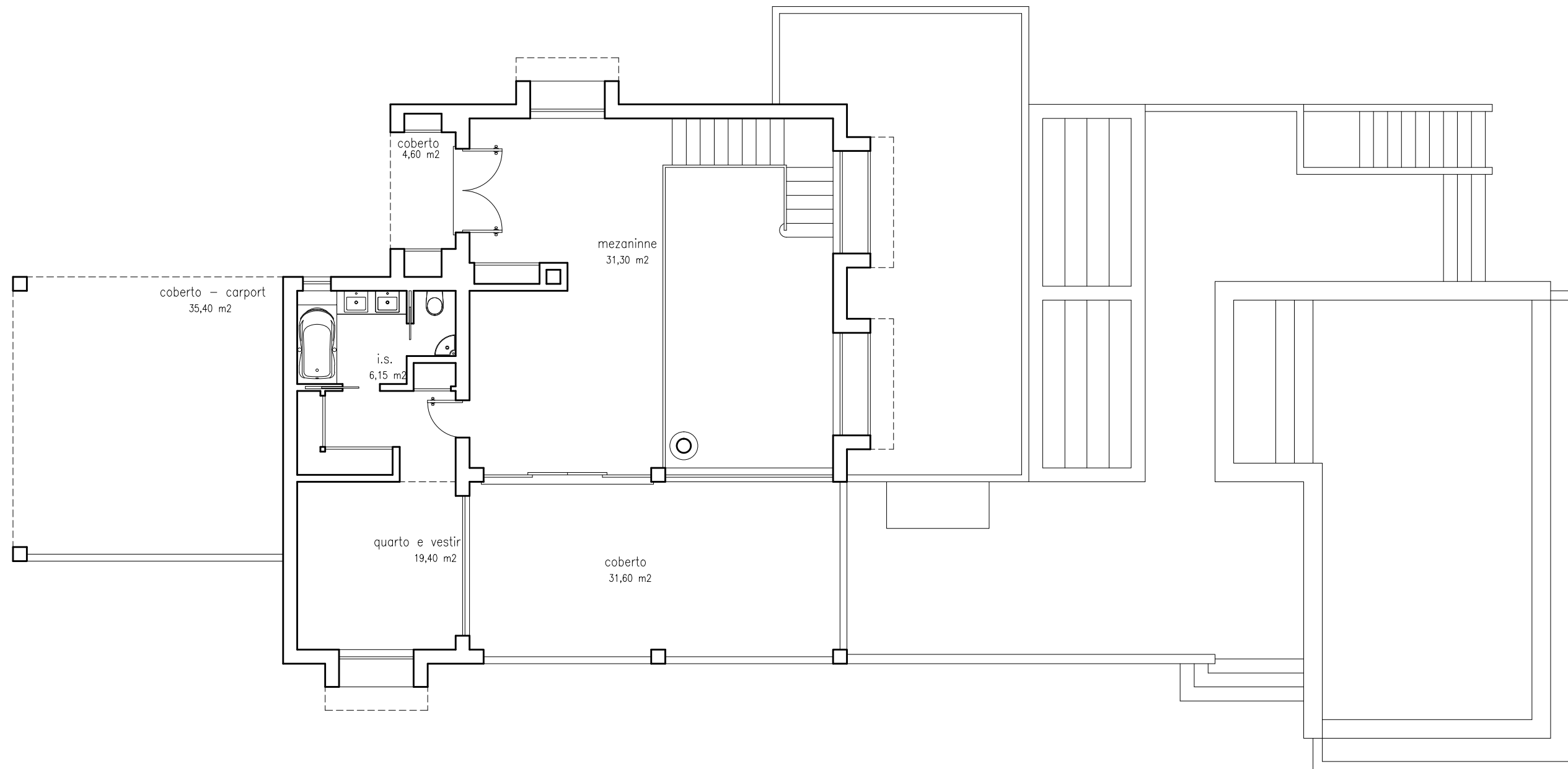
	H.2	H.2.1	H.2.2	H.2.3	H.2.4	H.2.5	H.2.6	H.2.7	H.2.8	H.2.9	H.2.10	H.2.11	H.2.12	H.2.13	H.2.14	H.2.15	H.2.16
Necessidades de energia primária																	
Aquecimento	18.51	4.46	4.46	6.93	7.96	4.51	7.96	6.63	6.99	7.16	7.96	7.96	4.51	7.96	6.63	6.99	7.16
Arrefecimento	11.57	11.10	11.10	11.87	11.87	8.73	11.10	11.10	8.73	11.10	11.87	11.87	8.73	11.10	11.10	8.73	11.10
A.Q.S	16.84	16.84	12.82	12.48	12.67	12.03	12.67	14.03	12.41	12.82	12.67	12.67	12.03	12.67	14.03	12.41	12.82
Ventilação	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	47.22	32.40	28.38	31.28	32.50	25.27	31.73	31.76	28.13	31.08	32.50	32.50	25.27	31.73	31.76	28.13	31.08
Energia renovável para consumo																	
Energia Solar	-10.04	-10.04	-10.88	-11.19	-11.19	-11.19	-11.19	-11.19	-12.16	-10.88	-11.19	-11.19	-11.19	-11.19	-11.19	-12.16	-10.88
Energia térmica (Biomassa)	0.00	0.00	0.00	0.00	-9.44	0.00	-9.44	-5.35	-5.08	-5.27	-9.44	-9.44	0.00	-9.44	-5.35	-5.08	-5.27
Energia Elétrica	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-3.73	-4.60	-5.05	-4.52	-5.98	-4.19	-4.90
Energia Total para Autoconsumo	-10.04	-10.04	-10.88	-11.19	-20.63	-11.19	-20.63	-16.54	-17.24	-16.15	-24.36	-25.23	-16.24	-25.15	-22.52	-21.43	-21.05
Energia Fornecida ao Edifício	37.18	22.36	17.50	20.09	11.87	14.08	11.10	15.22	10.89	14.93	8.14	7.27	9.03	6.58	9.24	6.70	10.03
Energia Exportada para a Rede	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.55	13.96	22.83	23.36	21.91	23.69	13.66
Energia total produzida	10.04	10.04	10.88	11.19	20.63	11.19	20.63	16.54	17.24	16.15	29.91	39.19	39.07	48.51	44.43	45.12	34.71

ANEXO IV – CUSTOS DE ENERGIA

Quadro – Custos de energia [100].

Ano	Preços de energia [€/kWh]			
	Perspetiva social			
	Eletricidade	Gás	<i>Pellets</i>	CO ₂
2016	0.1207	0.0868	0.0414	25
2017	0.1249	0.0899	0.0428	25
2018	0.1293	0.0930	0.0443	25
2019	0.1338	0.0963	0.0459	25
2020	0.1338	0.0963	0.0459	25
2021	0.1338	0.0963	0.0459	35
2022	0.1338	0.0963	0.0459	35
2023	0.1338	0.0963	0.0459	35
2024	0.1338	0.0963	0.0459	35
2025	0.1343	0.0966	0.0461	35
2026	0.1349	0.0970	0.0463	35
2027	0.1354	0.0978	0.0464	35
2028	0.1359	0.0982	0.0466	35
2029	0.1365	0.0982	0.0468	35
2030	0.1365	0.0982	0.0468	35
2031	0.1365	0.0982	0.0468	50
2032	0.1365	0.0982	0.0468	50
2033	0.1365	0.0982	0.0468	50
2034	0.1365	0.0982	0.0468	50
2035	0.1357	0.0976	0.0465	50
2036	0.1349	0.0971	0.0463	50
2037	0.1341	0.0965	0.0460	50
2038	0.1333	0.0959	0.0457	50
2039	0.1326	0.0954	0.0455	50
2040	0.1323	0.0952	0.0454	50
2041	0.1320	0.0950	0.0453	50
2042	0.1318	0.0948	0.0452	50
2043	0.1315	0.0946	0.0451	50
2044	0.1312	0.0944	0.0450	50
2045	0.1316	0.0947	0.0451	50
2046	0.1320	0.0950	0.0453	50
2047	0.1324	0.0953	0.0454	50

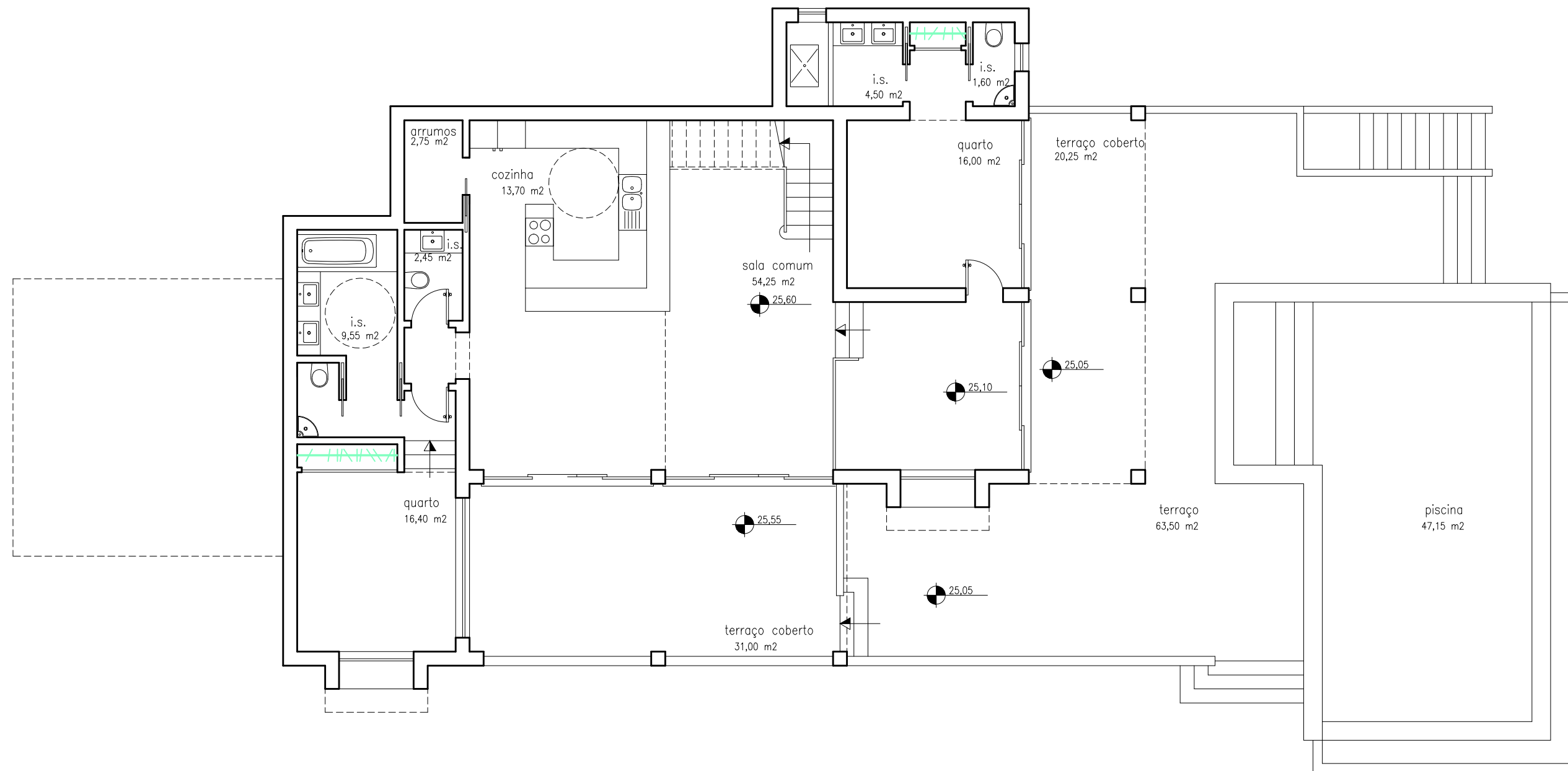
ANEXO V – PLANTAS, ALÇADOS E CORTES DA ARQUITETURA



ÁREAS : | CONSTRUÇÃO = 68,35 m²
 | COBERTOS = 71,60 m²

PLANTA : PISO 0

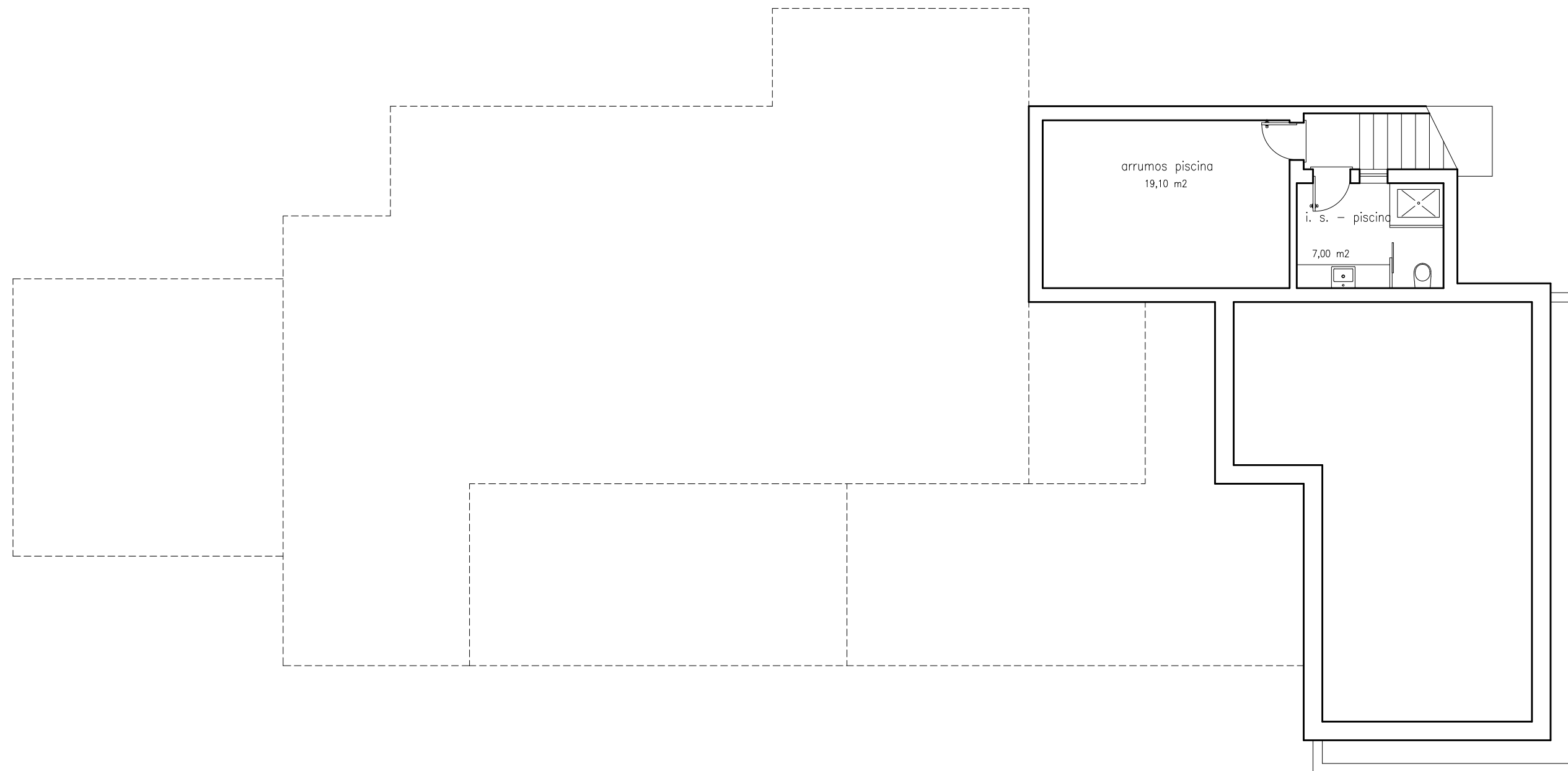
ESTUDO PRÉVIO	Proprietário : Ex.mo Senhor ALAIN GRISAR		MAI 2015
	A	MORADIA T 3	João Nuno C. C. Laranjo
Peças : PLANTA - PISO 0		Ordem Arquitectos - 2420	ESCALA 1:100
	LOCAL : MEXILHOEIRA GRANDE - PORTIMÃO		Folha nº 1



ÁREAS :
 CONSTRUÇÃO = 152,15 m²
 COBERTOS = 51,25 m²
 TERRAÇOS = 63,50 m²
 PISCINA = 47,15 m²

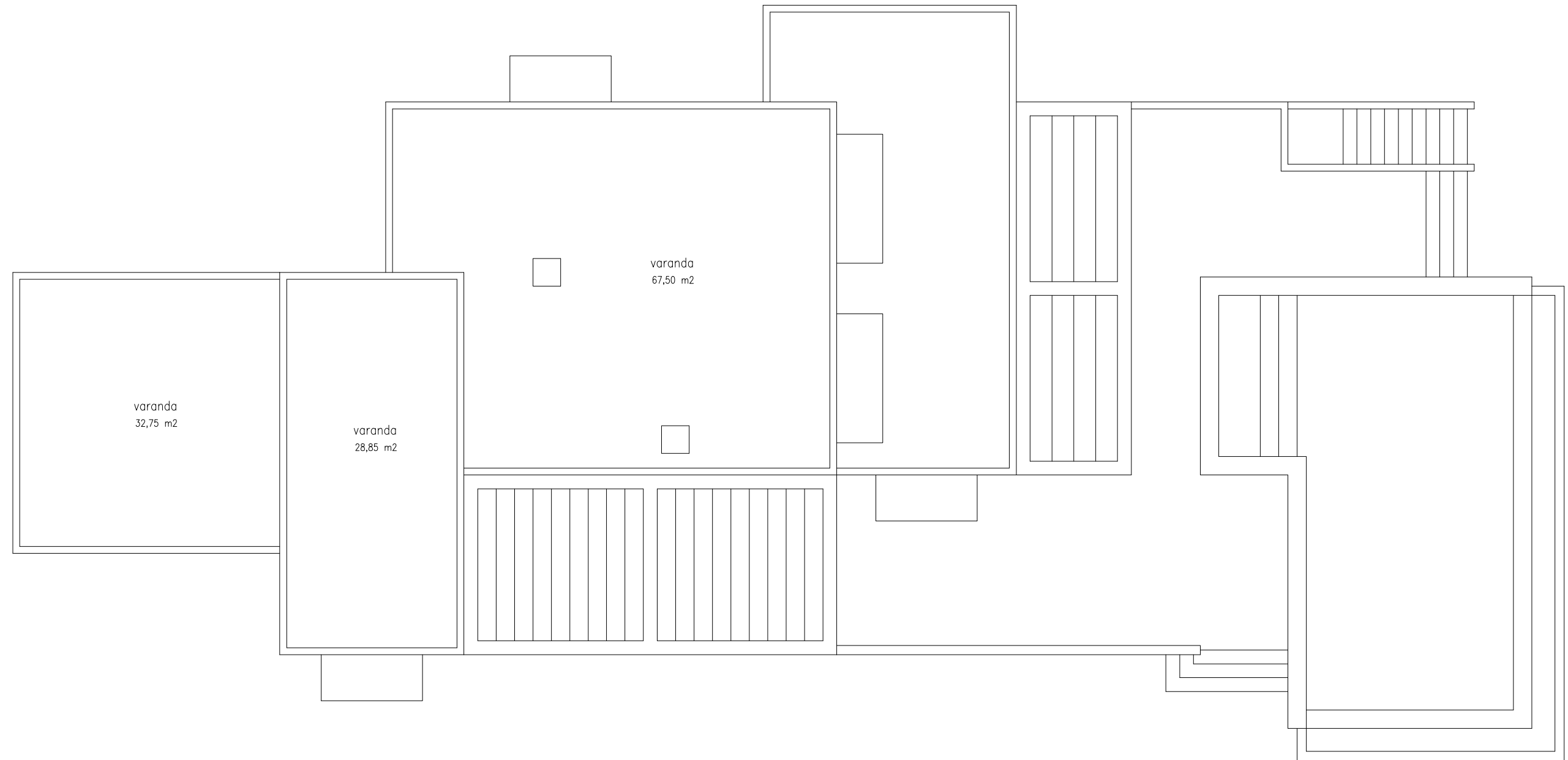
PLANTA : PISO -1

ESTUDO PRÉVIO	Proprietário : Ex.mo Senhor ALAIN GRISAR		MAI 2015
	MORADIA T 3		ESCALA 1:100
Peças : ALÇADOS			Folha nº 2
Ordem Arquitectos - 2420		LOCAL : MEXILHOEIRA GRANDE - PORTIMÃO	



PLANTA : PISO -2

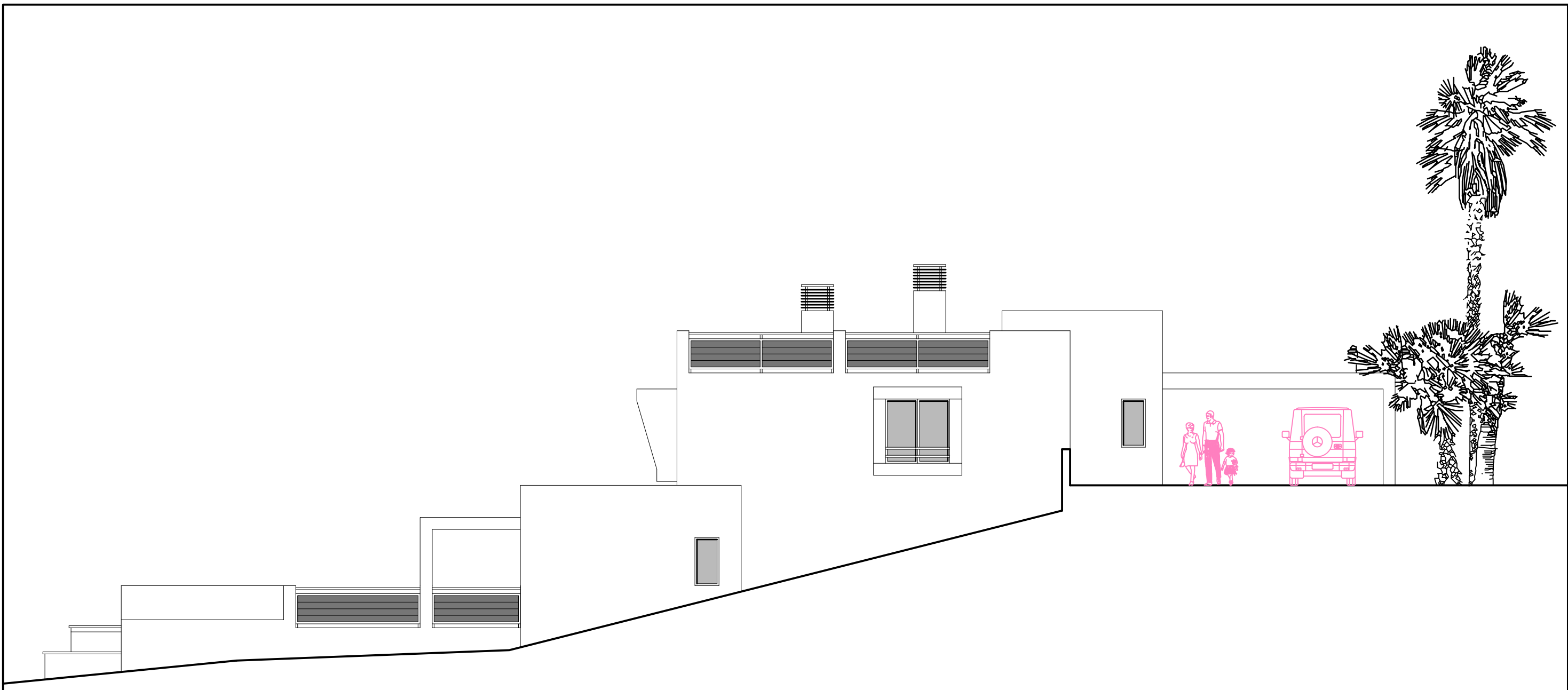
ESTUDO PRÉVIO	Proprietário : Ex.mo Senhor ALAIN GRISAR		MAI 2015
	A	MORADIA T 3	João Nuno C. C. C. Laranjo
Peças : PLANTA - PISO -2		Ordem Arquitectos - 2420	
		LOCAL : MEXILHOEIRA GRANDE - PORTIMÃO	ESCALA 1:100
			Folha nº 3



PLANTA : COBERTURA

ÁREAS :
 VARANDAS = 129,10 m²
 COBERTOS COM PANEIS = 37,40 m²
 GUARDAS DE VARANDA COM PANEIS = 74,80 ml

ESTUDO PRÉVIO	Proprietário : Ex.mo Senhor ALAIN GRISAR		MAI 2015
	A	MORADIA T 3	João Nuno C. C. C. Laranjo
Peças : PLANTA - PISO 0		Ordem Arquitectos - 2420	ESCALA 1:100
	LOCAL : MEXILHOEIRA GRANDE - PORTIMÃO		Folha nº 4



ALÇADO - 1

ESTUDO PRÉVIO	Proprietário : Ex.mo Senhor ALAIN GRISAR		MAI 2015	Folha nº 5
	A	MORADIA T 3	João Nuno C. C. C. Laranjo <small>© Direitos and Settings/Arquitetos/Arquiteto de habitação/EDUCAÇÃO/propriedade</small>	
		Peças : ALÇADOS	LOCAL : MEXILHOEIRA GRANDE - PORTIMÃO	

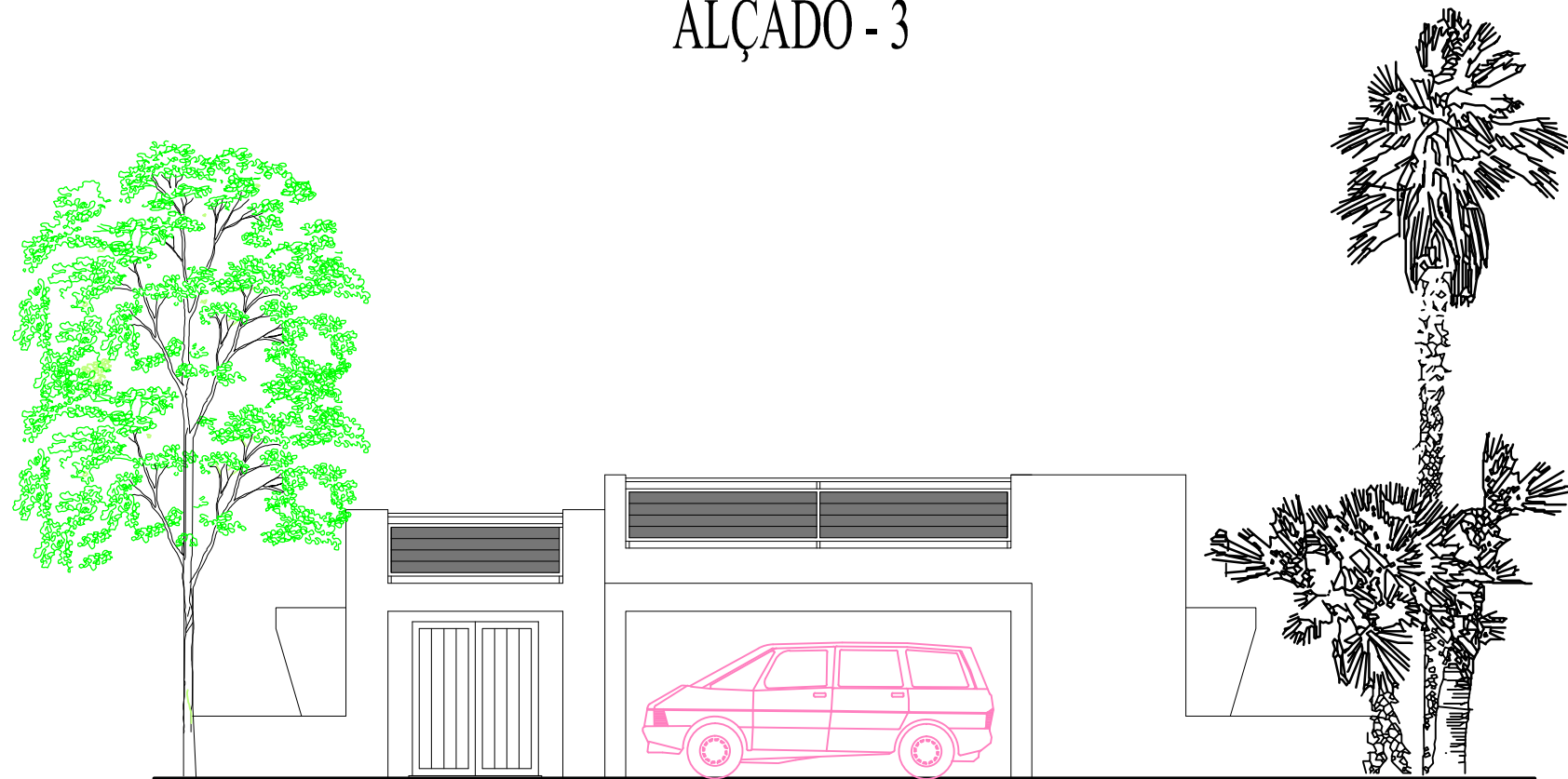


ALÇADO - 2

ESTUDO PRÉVIO	Proprietário : Ex.mo Senhor ALAIN GRISAR		MAI 2015	Folha nº 6
	A	MORADIA T 3	João Nuno C. C. C. Laranjo <small>© Direitos and Settings/Arquitetura/Arquiteto de habitação/EDUCAÇÃO/parque</small>	
Peças : ALÇADOS		LOCAL : MEXILHOEIRA GRANDE - PORTIMÃO		

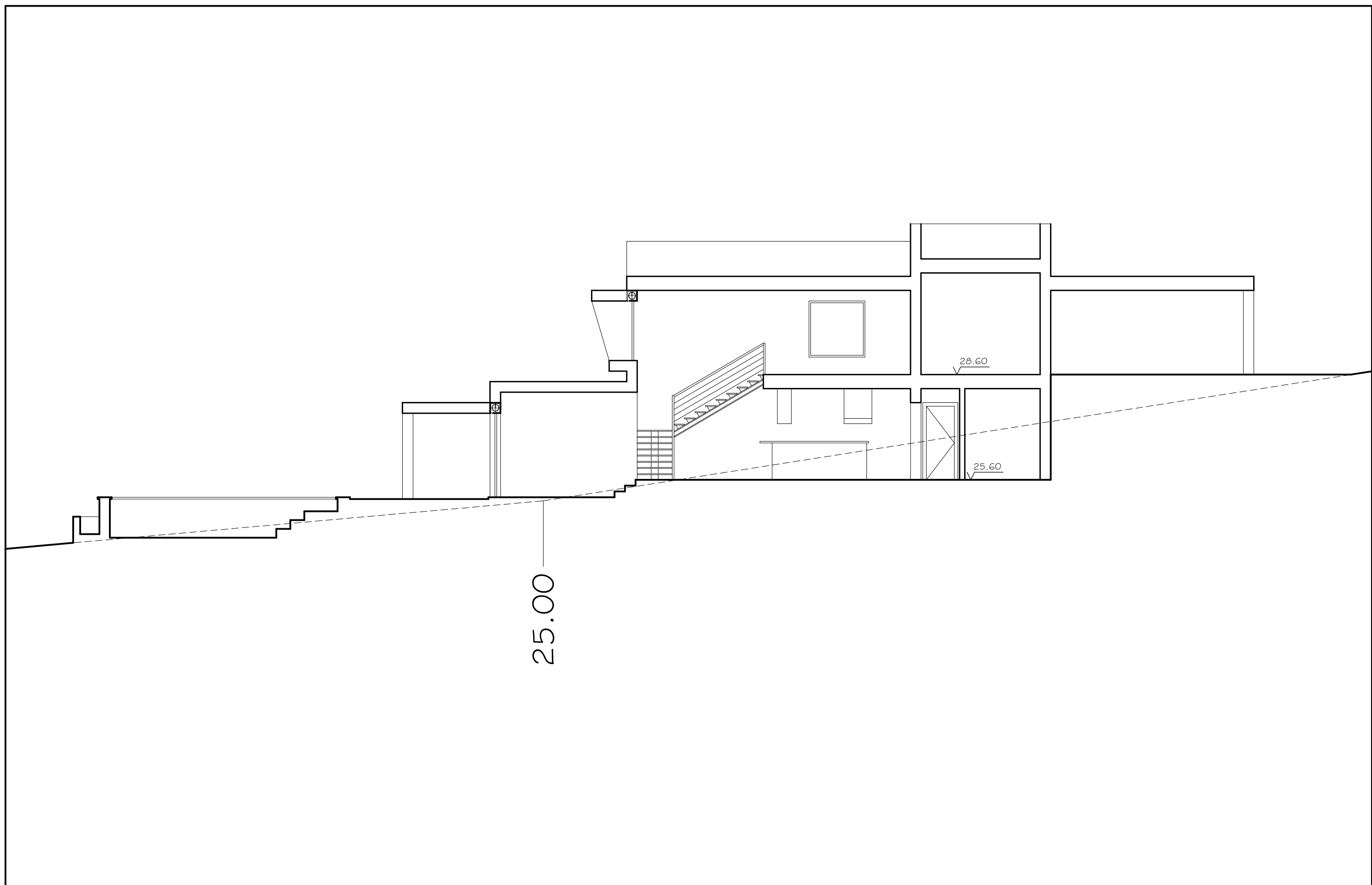


ALÇADO - 3

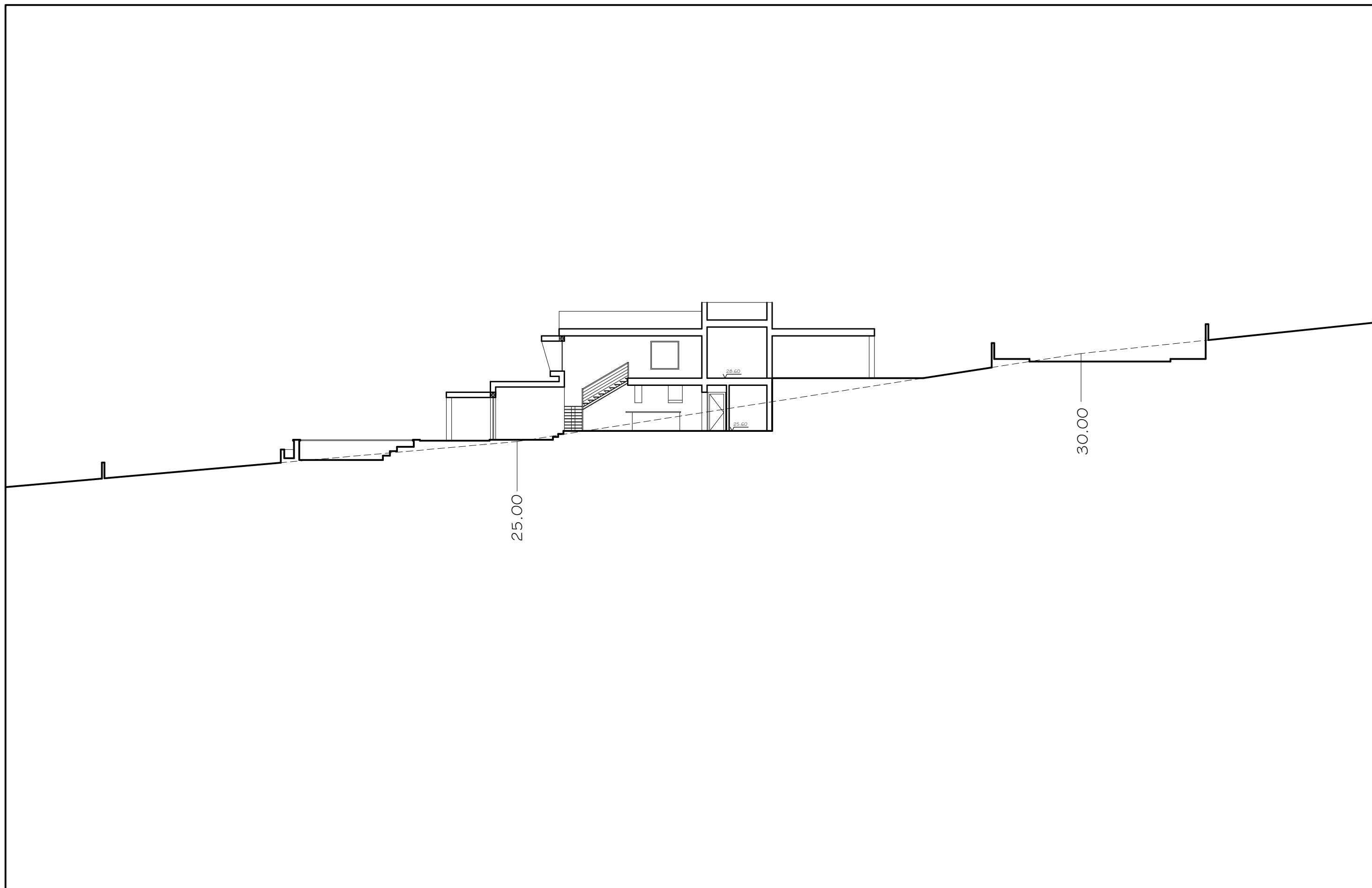


ALÇADO - 4

ESTUDO PRÉVIO	Proprietário : Ex.mo Senhor ALAIN GRISAR		MAI 2015
	MORADIA T 3		ESCALA 1:100
Peças : ALÇADOS			Folha nº 7
A	João Nuno C. C. Laranjo	Ordem Arquitectos - 2420	LOCAL : MEXILHOIRA GRANDE - PORTIMÃO



ESTUDO PRÉVIO	Proprietário : Ex.mo Senhor ALAIN GRISAR		MAI 2015
	A	MORADIA T 3	João Nuno C. C. C. Laranjo <small>© Direitos e Serviços Administrativos de Engenharia LARANJO</small>
Peças : CORTE		Local : MEXILHOEIRA GRANDE - PORTIMÃO	ESCALA 1:100

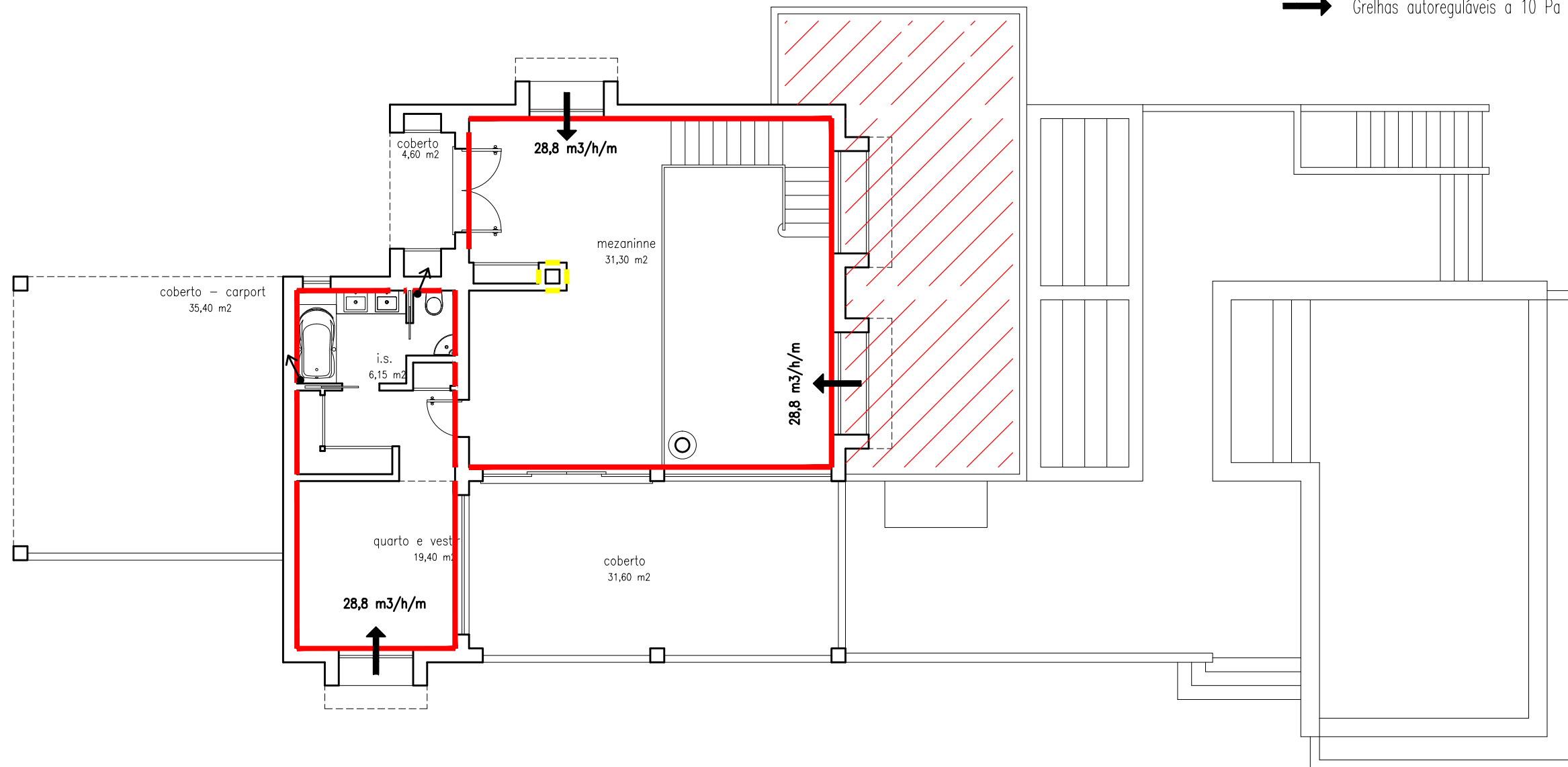


ESTUDO PRÉVIO	Proprietário : Ex.mo Senhor ALAIN GRISAR		MAI 2015
	A	MORADIA T 3	João Nuno C. C. C. Laranjo <small>© Direitos e Seguros Reservados. Todos os direitos reservados.</small>
Peças : CORTE		Local : MEXILHOEIRA GRANDE - PORTIMÃO	ESCALA 1:200

ANEXO VI – PLANTAS E ALÇADOS DO PROJETO TÉRMICO

LEGENDA:

- Envolvente exterior
- Envolvente interior com requisitos de exterior
- Cobertura exterior
- Condutas verticais de exaustão de ar
- Grelhas autoreguláveis a 10 Pa





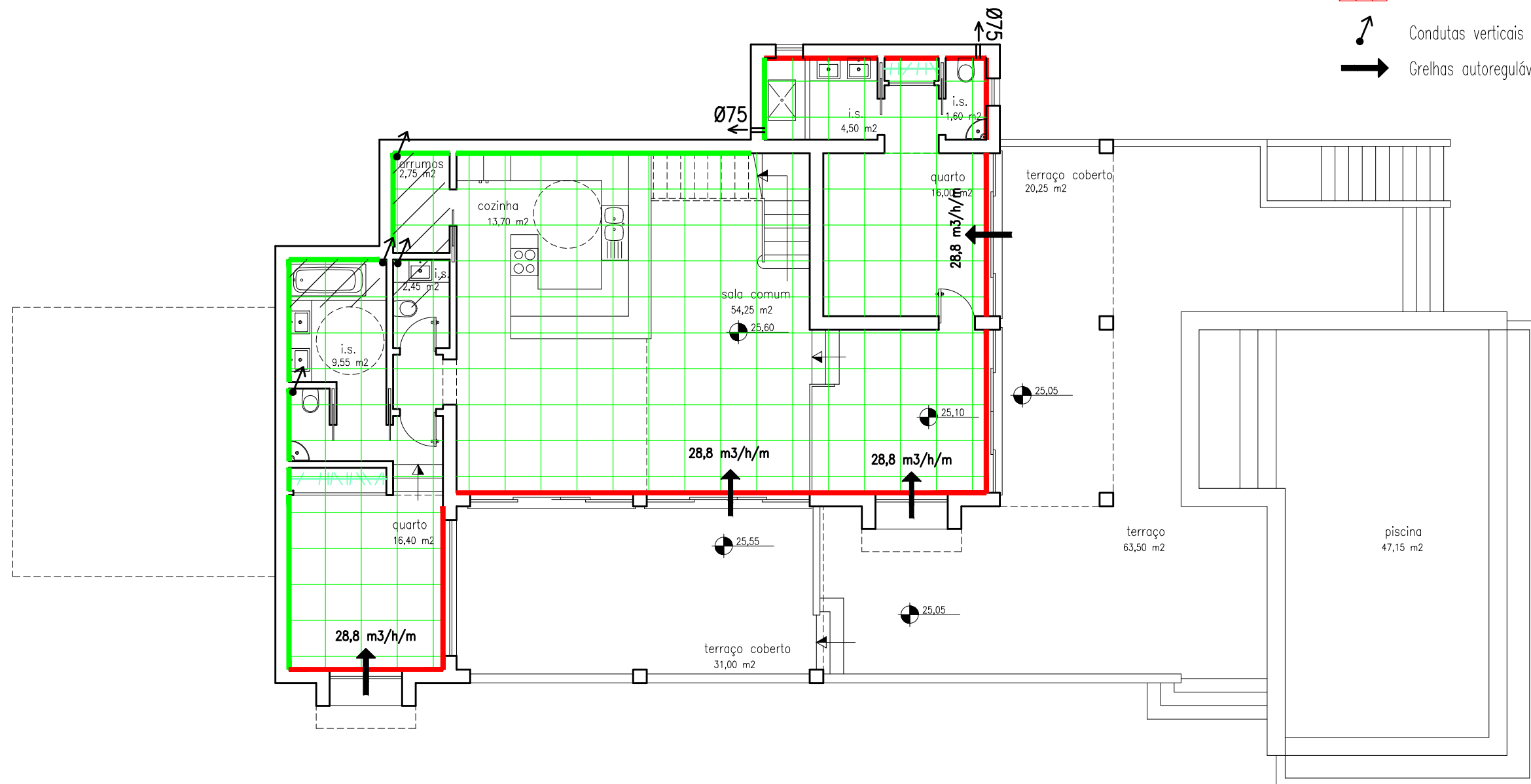
ÁREAS : | CONSTRUÇÃO = 68,35 m²
 | COBERTOS = 71,60 m²

PLANTA : PISO 0

A	ESTUDO PRÉVIO	Proprietário : Ex.mo Senhor ALAIN GRISAR		MAI 2015
	MORADIA T 3	João Nuno C. C. C. Laranjo		ESCALA 1:100
Peças : PLANTA - PISO 0		Local : MEXILHOEIRA GRANDE - PORTIMÃO		1

LEGENDA:

- Envolvente exterior
- Envolvente sem requisitos
- Pavimento térreo
- Cobertura exterior
-  Condutas verticais de exaustão de ar
-  Grelhas autoreguláveis a 10 Pa



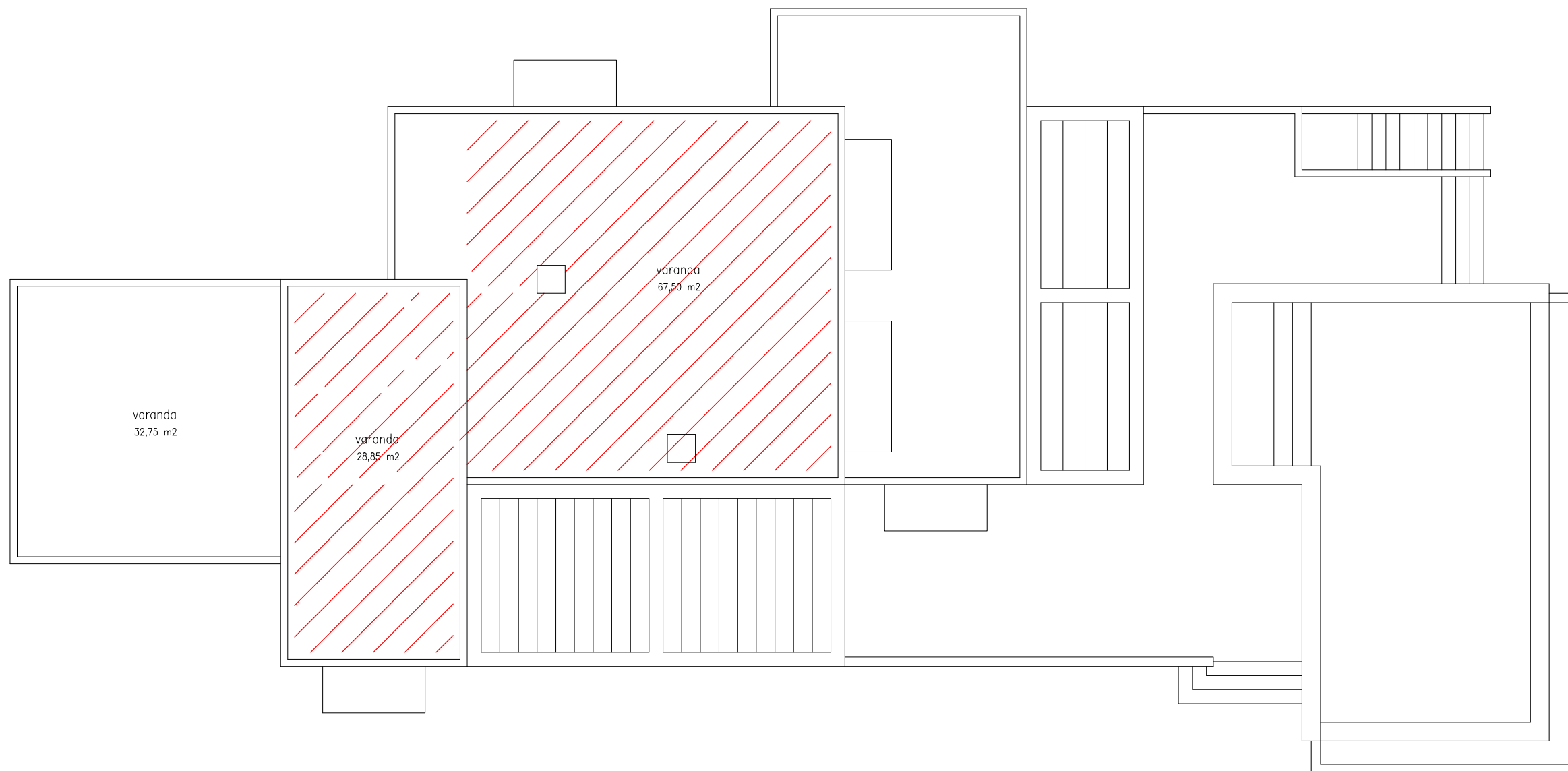
ÁREAS :
 CONSTRUÇÃO = 152,15 m²
 COBERTOS = 51,25 m²
 TERRAÇOS = 63,50 m²
 PISCINA = 47,15 m²

PLANTA : PISO -1

ESTUDO PRÉVIO	Proprietário : Ex.mo Senhor ALAIN GRISAR		MAI 2015
	A	MORADIA T 3	ESCALA 1:100
	Peças : ALÇADOS	João Nuno C. C. C. Laranjo Ordem Arquitectos - 2420	Folha nº 2
		Local : MEXILHOEIRA GRANDE - PORTIMÃO	

LEGENDA:

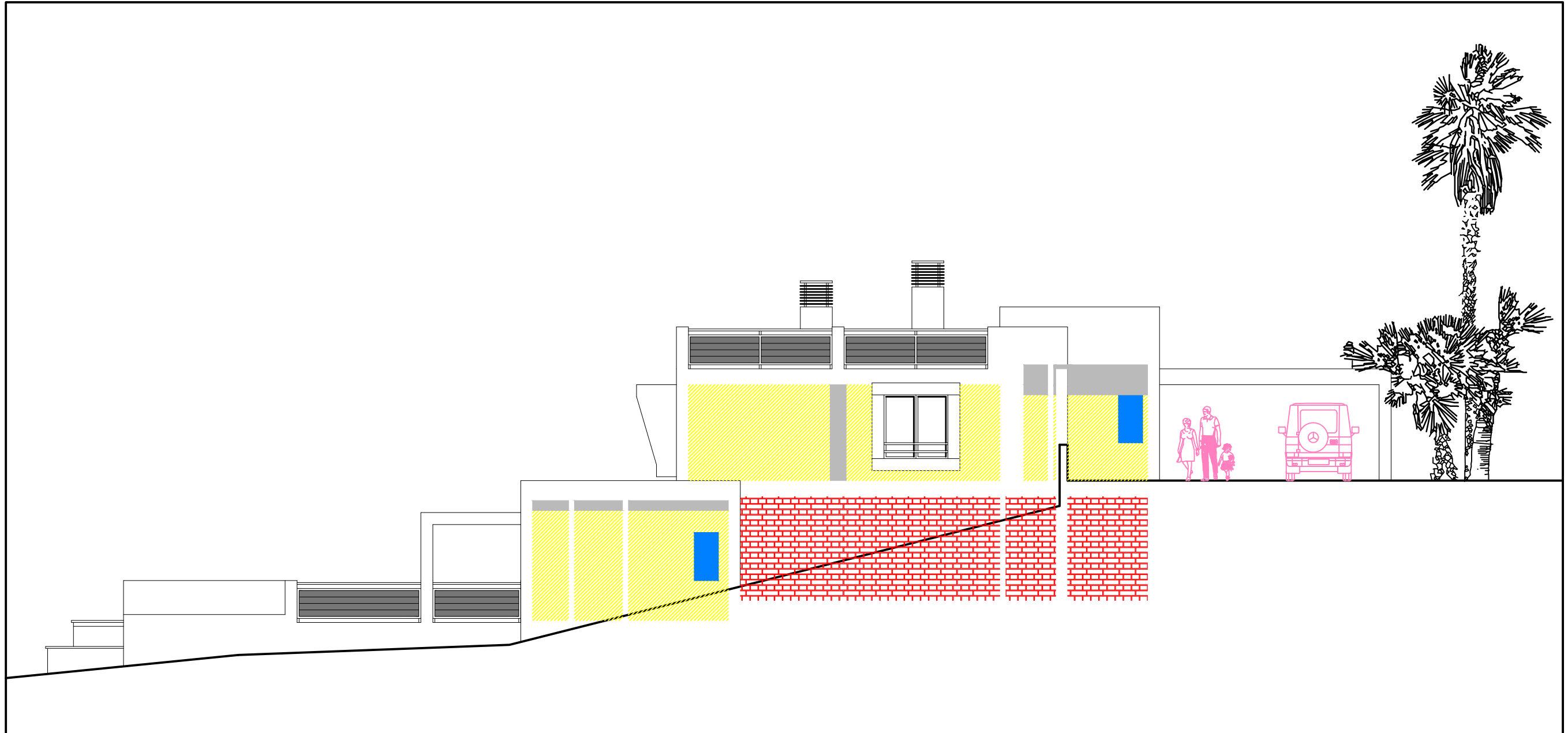
 Cobertura exterior



PLANTA : COBERTURA

ÁREAS :
 VARANDAS = 129,10 m²
 COBERTOS COM PANEIS = 37,40 m²
 GUARDAS DE VARANDA COM PANEIS = 74,80 m²

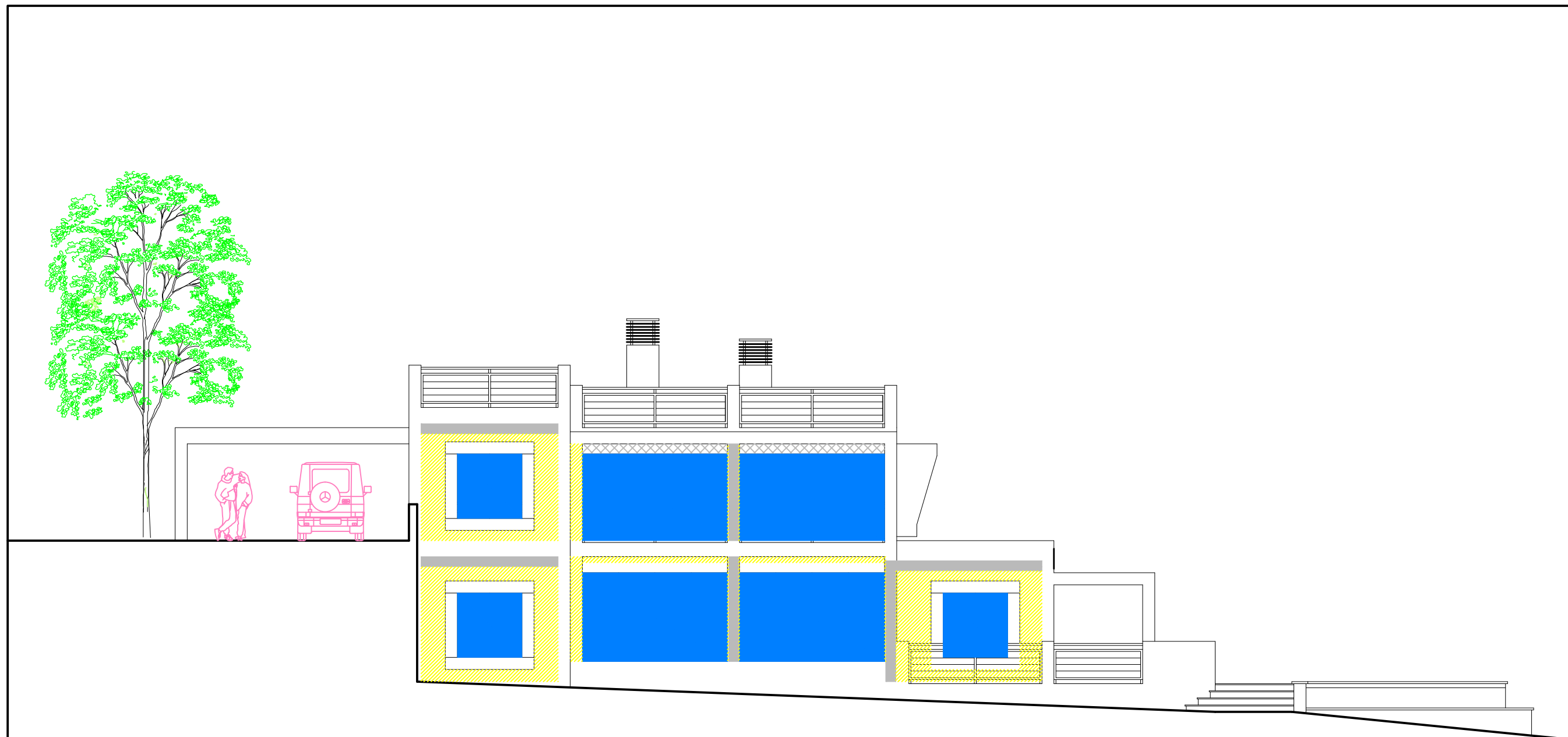
ESTUDO PRÉVIO	Proprietário : Ex.mo Senhor ALAIN GRISAR		MAI 2015
	MORADIA T 3	João Nuno C. C. C. Laranjo	ESCALA 1:100
A	Peças : PLANTA - PISO 0	Ordem Arquitectos - 2420 Local : MEXILHOEIRA GRANDE - PORTIMÃO	



ALÇADO - 1

- LEGENDA:
-  Parede exterior
 -  Ponte térmica plana
 -  Caixa de estore
 -  Envidraçados
 -  Muro de suporte

ESTUDO PRÉVIO	Proprietário : Ex.mo Senhor ALAIN GRISAR		MAI 2015
	MORADIA T 3	João Nuno C. C. C. Laranjo	ESCALA 1:100
A	Peças : ALÇADOS	Local : MEXILHOEIRA GRANDE - PORTIMÃO	

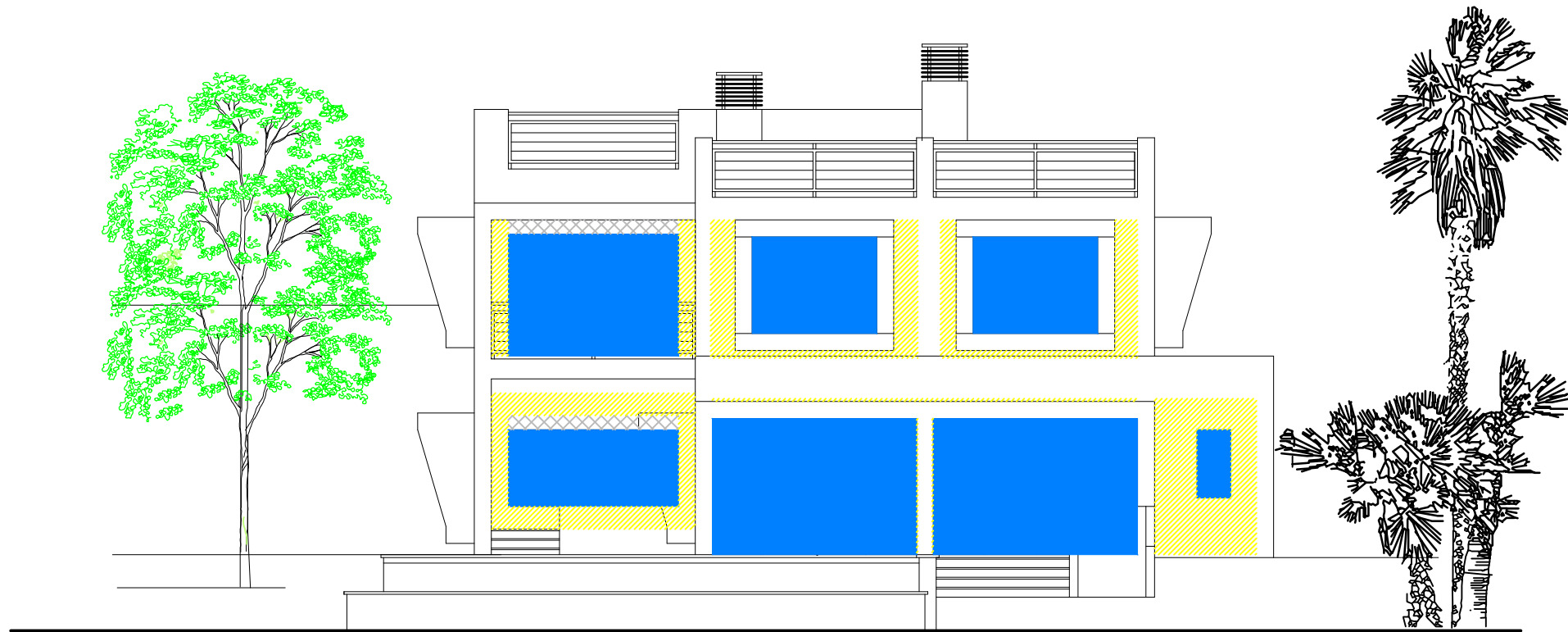


ALÇADO - 2

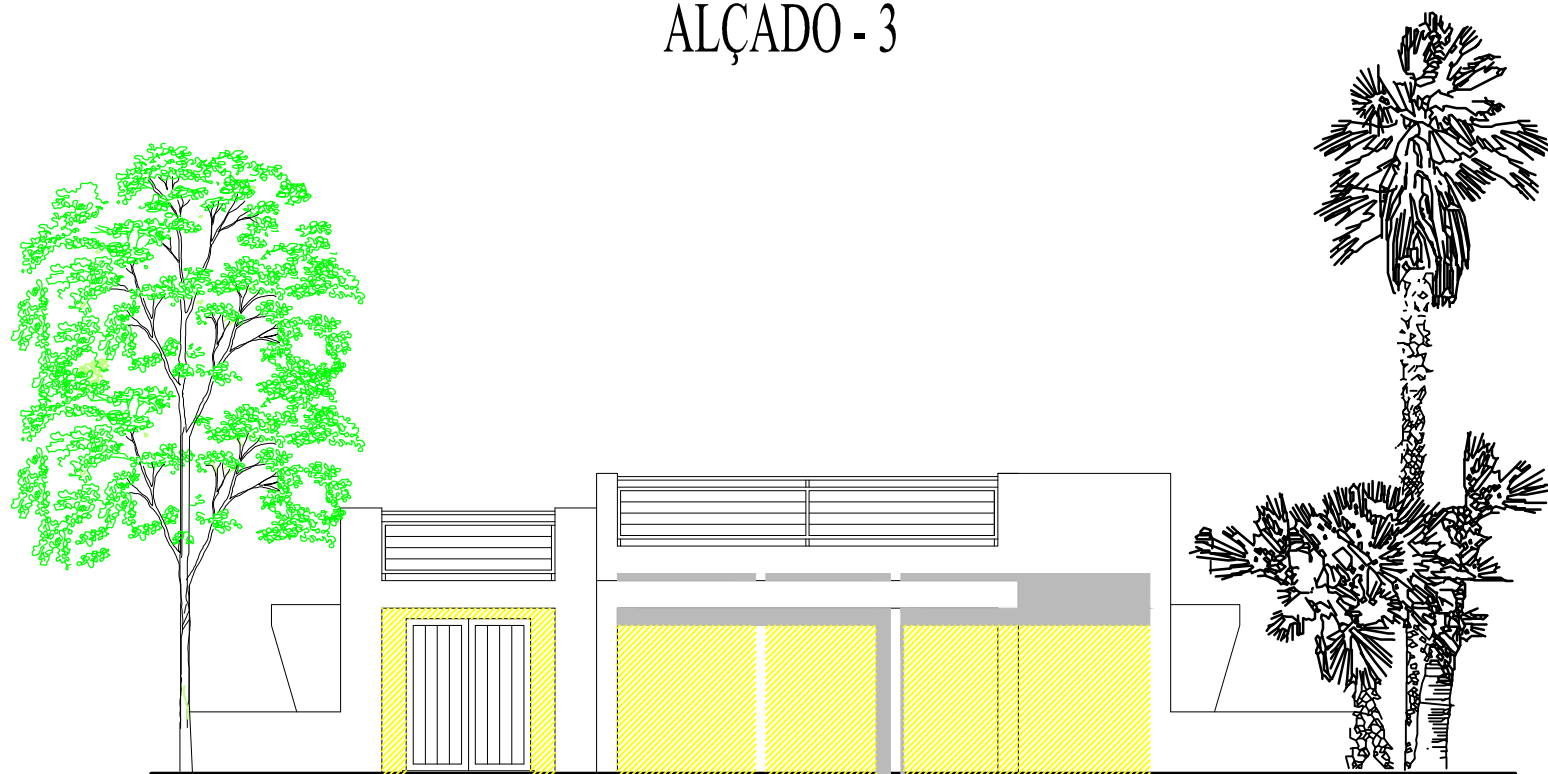
LEGENDA:

-  Parede exterior
-  Ponte térmica plana
-  Caixa de estore
-  Envidraçados
-  Muro de suporte

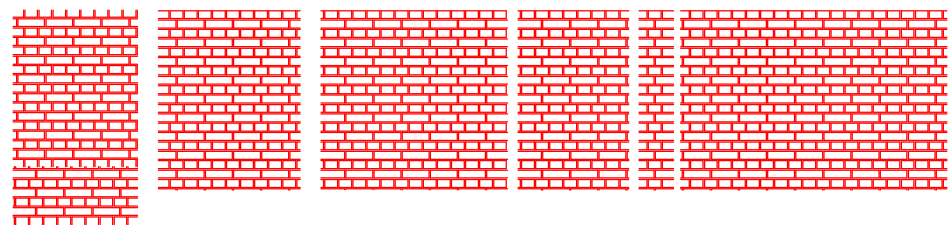
ESTUDO PRÉVIO	Proprietário : Ex.mo Senhor ALAIN GRISAR		MAI 2015
	MORADIA T 3	João Nuno C. C. C. Laranjo	ESCALA 1:100
A	Peças : ALÇADOS	Ordem Arquitectos - 2420	Folha nº 6
		Local : MEXILHOEIRA GRANDE - PORTIMÃO	








ALÇADO - 3



ALÇADO - 4



LEGENDA:

-  Parede exterior
-  Ponte térmica plana
-  Caixa de estore
-  Envidraçados
-  Muro de suporte

ESTUDO PRÉVIO	Proprietário : Ex.mo Senhor ALAIN GRISAR		MAI 2015
	MORADIA T 3		ESCALA 1:100
Peças : ALÇADOS			Folha nº 7
A	João Nuno C. C. C. Laranjo	Local : MEXILHOEIRA GRANDE - PORTIMÃO	
	Ordem Arquitectos - 2420		

ANEXO VII – CÁLCULO REGULAMENTAR DA SOLUÇÃO DE REFERÊNCIA

FICHA N.º 1
REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO
DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO (REH)
 (nos termos da alínea d) do n.º 1.1)

Câmara Municipal de Portimão

Edifício

Empreendimento: _____ Nº de fracções _____

Morada: Mexilhoeira Grande

Freguesia: MEXILHOEIRA GRANDE Concelho: Portimão

Tipo de intervenção

Edifício Novo Grande intervenção
 (a preencher com base na informação do projeto de comportamento térmico)

Caracterização:

Fração	Área interior útil de pavimento (m ²)	Pé direito médio ponderado (m)	Tipologia
-	189.10	3.04	T3

Resumo de cálculo:

Fração	Tx. ren. (RPH)	Nic (kWh/(m ² .ano))	Ni (kWh/(m ² .ano))	Nvc (kWh/(m ² .ano))	Nv (kWh/(m ² .ano))	Qa (kWh/ano)	Ntc (kWh _{EP} /(m ² .ano))	Nt (kWh _{EP} /(m ² .ano))	E _{ren,p} (kWh/ano)(*)	E _{ren,ext} (kWh/ano)(**)
-	0.45	12.32	33.42	15.03	18.97	2377	50.12	132.44	1899	0

(*) correspondente à totalidade das formas de energias renováveis, destinadas a suprir necessidades relativas aos usos de aquecimento, arrefecimento, preparação de AQS e ventilação.

(**) correspondente à energia renovável que é exportada do edifício e/ou consumida em outros usos não incluídos em E_{ren,p}.

Técnico responsável pelo projeto de comportamento térmico

Nome: _____

Inscrito na: _____ Número de inscrição: _____

Assinatura _____

Coeficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente interior H_{int} W/°C

 Coeficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente interior H_{int} W/°C

A.3 - ELEMENTOS EM CONTACTO COM O SOLO
A.8 - ELEMENTOS EM CONTACTO COM O SOLO

PAREDES ENTERRADAS				PAREDES ENTERRADAS			
	Área m ²	U_{bw} W/m ² .°C	$A.U_{bw}$ W/°C		Área m	U_{bw} W/m ² .°C	$A.U_{bw}$ W/°C
PDET1	44.84	0.31	13.95	PDET1	44.84	0.50	22.42
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL			13.95	TOTAL			22.42

PAVIMENTOS ENTERRADOS <i>Incluir os pavimentos em contacto com o solo que estão enterrados (profundidade z>0).</i>				PAVIMENTOS ENTERRADOS <i>Incluir os pavimentos em contacto com o solo que estão enterrados (profundidade z>0).</i>			
	Área m ²	U_{bf} W/m ² .°C	$A.U_{bf}$ W/°C		Área m	U_{bf} W/m ² .°C	$A.U_{bf}$ W/°C
PVET1	55.58	0.33	18.26	PVET1	55.58	0.50	27.79
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL			18.26	TOTAL			27.79

PAVIMENTOS TÉRREOS <i>Incluir os pavimentos em contacto com o solo ao nível do pavimento exterior (profundidade z=0) com ou sem isolamentos térmico perimetral</i>				PAVIMENTOS TÉRREOS <i>Incluir os pavimentos em contacto com o solo ao nível do pavimento exterior (profundidade z=0) com ou sem isolamentos térmico perimetral</i>			
	Área m ²	U_f W/m ² .°C	$A.U_f$ W/°C		Área m	U_f W/m ² .°C	$A.U_f$ W/°C
PVT1	71.90	0.38	27.49	PVT1	71.90	0.50	35.95
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL			27.49	TOTAL			35.95

 Coeficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo H_{ec} W/°C

 Coeficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo $H_{ec,REF}$ W/°C

A.4 - COEFICIENTE DE TRANSF. DE CALOR POR TRANSMISSÃO NA EST. AQUECIMENTO
A.9 - COEFICIENTE DE TRANSF. DE CALOR POR TRANSMISSÃO NA EST. AQUECIMENTO

Coeficiente de transferência de calor através da envolvente exterior H_{ext} W/°C
 +
 Coeficiente de transferência de calor através da envolvente interior $H_{enu} + H_{adj}$ W/°C
 +
 Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo H_{ec} W/°C
 =
 Coeficiente de transferência de calor por transmissão H_{tr} W/°C

Coeficiente de transferência de calor através da envolvente exterior $H_{ext,REF}$ W/°C
 +
 Coeficiente de transferência de calor através da envolvente interior $H_{enu,REF} + H_{adj,REF}$ W/°C
 +
 Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo $H_{ec,REF}$ W/°C
 =
 Coeficiente de transferência de calor por transmissão $H_{tr,REF}$ W/°C

A.5 - COEFICIENTE DE TRANSF. DE CALOR POR TRANSMISSÃO NA EST. ARREFECIMENTO
A.10 - COEFICIENTE DE TRANSF. DE CALOR POR TRANSMISSÃO NA EST. ARREFECIMENTO

Coeficiente de transferência de calor através da envolvente exterior H_{ext} W/°C
 +
 Coeficiente de transferência de calor através da envolvente interior H_{enu} W/°C
 +
 Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo H_{ec} W/°C
 =
 Coeficiente de transferência de calor por transmissão H_{tr} W/°C

Coeficiente de transferência de calor através da envolvente exterior $H_{ext,REF}$ W/°C
 +
 Coeficiente de transferência de calor através da envolvente interior $H_{enu,REF}$ W/°C
 +
 Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo $H_{ec,REF}$ W/°C
 =
 Coeficiente de transferência de calor por transmissão $H_{tr,REF}$ W/°C

Folha de Cálculo B

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR VENTILAÇÃO

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR VENTILAÇÃO DE REFERÊNCIA

B.1 - ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

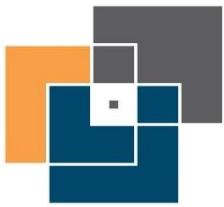
$$\begin{aligned}
 & 1 \\
 & - \\
 \text{Rendimento do sistema de recuperação de calor } \eta_{RC,i} &= 0 \\
 & \times \\
 \text{Caudal médio diário insuflado } V_{ins} &= 0 \text{ m}^3/\text{h} \\
 & \div \\
 R_{ph,i} \cdot A_o \cdot P_d &= 345.41 \text{ m}^3/\text{h} \\
 & = \\
 \text{factor de correcção da temperatura para sistemas de recuperação de calor } b_{ve,e} &= 1.00 \\
 & \times \\
 & 0.34 \\
 & \times \\
 \text{Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento } R_{ph,i} &= 0.60 \text{ h}^{-1} \\
 & \times \\
 \text{Área útil de pavimento } A_o &= 189.10 \text{ m}^2 \\
 & \times \\
 \text{Pé direito médio da fração } P_d &= 3.04 \text{ m} \\
 & = \\
 \text{Coeficiente de transferência de calor por ventilação } H_{ve,i} &= 117.44 \text{ W}/^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

B.3 - ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

$$\begin{aligned}
 & 0.34 \\
 & \times \\
 \text{Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento } R_{ph,i \text{ REF}} &= 0.60 \text{ h}^{-1} \\
 & \times \\
 \text{Área útil de pavimento } A_o &= 189.10 \text{ m}^2 \\
 & \times \\
 \text{Pé direito médio da fração } P_d &= 3.04 \text{ m} \\
 & = \\
 \text{Coeficiente de transferência de calor por ventilação } H_{ve,i \text{ REF}} &= 117.44 \text{ W}/^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

B.2 - ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO

$$\begin{aligned}
 & 1 \\
 & - \\
 \text{Rendimento do sistema de recuperação de calor } \eta_{RC,v} &= 0 \\
 & \times \\
 \text{Caudal médio diário insuflado } V_{ins} &= 0 \text{ m}^3/\text{h} \\
 & \div \\
 R_{ph,v} \cdot A_o \cdot P_d &= 345.41 \text{ m}^3/\text{h} \\
 & = \\
 \text{factor de correcção da temperatura para sistemas de recuperação de calor } b_{ve,e} &= 1.00 \\
 & \times \\
 & 0.34 \\
 & \times \\
 \text{Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de arrefecimento } R_{ph,v} &= 0.60 \text{ h}^{-1} \\
 & \times \\
 \text{Área útil de pavimento } A_o &= 189.10 \text{ m}^2 \\
 & \times \\
 \text{Pé direito médio da fração } P_d &= 3.04 \text{ m} \\
 & = \\
 \text{Coeficiente de transferência de calor por ventilação } H_{ve,v} &= 117.44 \text{ W}/^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} & \text{Área efectiva total equivalente na orientação a Sul} \quad 12.00 \text{ m}^2 \\ & \quad \times \\ \text{Radiação média incidente num envidraçado vertical a Sul } G_{\text{sol}} & \quad 155 \text{ kWh/m}^2.\text{mês} \\ & \quad \times \\ \text{Duração da estação de aquecimento } M & \quad 4.80 \text{ meses} \\ & \quad = \\ \text{Ganhos solares brutos } Q_{\text{sol},i} & \quad 8926.61 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

C.3 - GANHOS TÉRMICOS BRUTOS

$$\begin{aligned} \text{Ganhos internos brutos } Q_{\text{int},i} & \quad 2614.16 \text{ kWh/ano} \\ & \quad + \\ \text{Ganhos solares brutos } Q_{\text{sol},i} & \quad 8926.61 \text{ kWh/ano} \\ & \quad = \\ \text{Ganhos térmicos brutos } Q_{\text{g},i} & \quad 11540.77 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

C.4 - GANHOS TÉRMICOS BRUTOS DE REFERÊNCIA

$$\begin{aligned} \text{Radiação média incidente num envidraçado vertical a Sul } G_{\text{sol}} & \quad 155 \text{ kWh/m}^2.\text{mês} \\ & \quad \times \\ & \quad 0.182 \\ & \quad \times \\ & \quad 0.2 \\ & \quad \times \\ \text{Área útil de pavimento } A_p & \quad 189.10 \text{ m}^2 \\ & \quad \times \\ \text{Duração da estação de aquecimento } M & \quad 4.80 \text{ meses} \\ & \quad = \\ \text{Ganhos solares brutos } Q_{\text{sol},i} & \quad 5121.21 \text{ kWh/ano} \\ & \quad + \\ \text{Ganhos internos brutos } Q_{\text{int},i} & \quad 2614.16 \text{ kWh/ano} \\ & \quad = \\ \text{Ganhos térmicos brutos } Q_{\text{g},i} & \quad 7735.371677 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

Folha de Cálculo E

NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

LIMITE MÁXIMO DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

E.1 - COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

$$\begin{aligned}
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr} \quad 491.95 \text{ W/}^\circ\text{C} \\
 &+ \\
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,i} \quad 117.44 \text{ W/}^\circ\text{C} \\
 &= \\
 &\text{Coeficiente de transferência de calor } H_{t,i} \quad 609.39 \text{ W/}^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

E.2 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

$$\begin{aligned}
 &0.024 \\
 &x \\
 &\text{Número de graus-dias de aquecimento } GD \quad 802 \text{ }^\circ\text{C.dias} \\
 &x \\
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr} \quad 491.95 \text{ W/}^\circ\text{C} \\
 &= \\
 &\text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr,i} \quad 9\,464.36 \text{ kWh/ano}
 \end{aligned}$$

E.3 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR

$$\begin{aligned}
 &0.024 \\
 &x \\
 &\text{Número de graus-dias de aquecimento } GD \quad 802 \text{ }^\circ\text{C.dias} \\
 &x \\
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,i} \quad 117.44 \text{ W/}^\circ\text{C} \\
 &= \\
 &\text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{ve,i} \quad 2\,259.36 \text{ kWh/ano}
 \end{aligned}$$

E.6 - COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR DE REFERÊNCIA

$$\begin{aligned}
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr,REF} \quad 452.31 \text{ W/}^\circ\text{C} \\
 &+ \\
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,i,REF} \quad 117.44 \text{ W/}^\circ\text{C} \\
 &= \\
 &\text{Coeficiente de transferência de calor } H_{t,i,REF} \quad 569.75 \text{ W/}^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

E.7 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO DE REFERÊNCIA

$$\begin{aligned}
 &0.024 \\
 &x \\
 &\text{Número de graus-dias de aquecimento } GD \quad 802 \text{ }^\circ\text{C.dias} \\
 &x \\
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr,REF} \quad 452.31 \text{ W/}^\circ\text{C} \\
 &= \\
 &\text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr,i,REF} \quad 8\,701.74 \text{ kWh/ano}
 \end{aligned}$$

E.8 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR DE REFERÊNCIA

$$\begin{aligned}
 &0.024 \\
 &x \\
 &\text{Número de graus-dias de aquecimento } GD \quad 802 \text{ }^\circ\text{C.dias} \\
 &x \\
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,i,REF} \quad 117.44 \text{ W/}^\circ\text{C} \\
 &= \\
 &\text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{ve,i,REF} \quad 2\,259.36 \text{ kWh/ano}
 \end{aligned}$$

E.4 - FACTOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS

Inércia do edifício	Forte
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,i}$	11540.77 kWh/ano
Transferência de calor por transmissão e por renovação do ar $Q_{tr,i} + Q_{ve,i}$	11723.72 kWh/ano
parâmetro γ_i	0.98
parâmetro a_i	4.20 W/°C
Factor de utilização dos ganhos η_i	0.81
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,i}$	11540.77 kWh/ano
Ganhos totais úteis $Q_{gu,i}$	9394.07 kWh/ano

E.9 - FACTOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS DE REFERÊNCIA

Factor de utilização dos ganhos $\eta_{i,REF}$	0.6
Ganhos térmicos brutos $Q_{g,i,REF}$	7735.37 kWh/ano
Ganhos totais úteis $Q_{gu,i,REF}$	4641.22 kWh/ano

E.5 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento $Q_{tr,i}$	9464.36 kWh/ano
Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento $Q_{ve,i}$	2259.36 kWh/ano
Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento $Q_{gu,i}$	9394.07 kWh/ano
(folha de cálculo 1.4)	=
Necessidades Anuais na estação de aquecimento	2329.65 kWh/ano
Área útil de pavimento A_p	189.10 m ²
Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento N_{ic}	12.32 kWh/m ² .ano

E.10 - LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento $Q_{tr,i,REF}$	8701.74 kWh/ano
Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento $Q_{ve,i,REF}$	2259.36 kWh/ano
Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento $Q_{gu,i,REF}$	4641.22 kWh/ano
Necessidades Anuais na estação de aquecimento	6319.88 kWh/ano
Área útil de pavimento A_p	189.10 m ²
Limite máximo das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento N_i	33.42 kWh/m ² .ano

Folha de Cálculo F

LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

F.1 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR

$$\begin{aligned}
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr} \quad 491.95 \text{ W/}^\circ\text{C} \\
 &\quad + \\
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,v} \quad 117.44 \text{ W/}^\circ\text{C} \\
 &\quad = \\
 &\text{Coeficiente de transferência de calor } H_{t,v} \quad 609.39 \text{ W/}^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

F.2 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

$$\begin{aligned}
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr} \quad 491.95 \text{ W/}^\circ\text{C} \\
 &\quad \times \\
 &\quad (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) \quad 2 \text{ }^\circ\text{C} \\
 &\quad \times \\
 &\text{Duração da Estação de Arrefecimento } L_v \quad 2928 \text{ horas} \\
 &\quad \div \\
 &\quad 1000 \\
 &\quad = \\
 &\text{Transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento } Q_{tr,v} \quad 2\,736.82 \text{ kWh/ano}
 \end{aligned}$$

F.3 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR

$$\begin{aligned}
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,v} \quad 117.44 \text{ W/}^\circ\text{C} \\
 &\quad \times \\
 &\quad (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) \quad 2 \text{ }^\circ\text{C} \\
 &\quad \times \\
 &\text{Duração da Estação de Arrefecimento } L_v \quad 2928 \text{ horas} \\
 &\quad \div \\
 &\quad 1000 \\
 &\quad = \\
 &\text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de arrefecimento } Q_{ve,v} \quad 653.34 \text{ kWh/ano}
 \end{aligned}$$

F.4 - FACTOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS

Inércia do edifício

Ganhos térmicos brutos $Q_{g,v}$ kWh/ano

÷

Transferência de calor por transmissão e por renovação do ar $Q_{tr,v} + Q_{ve,v}$ kWh/ano

=

parâmetro γ_v

parâmetro av W/°C

Factor de utilização dos ganhos η_v

F.6 - FACTOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS DE REFERÊNCIA

Factor de utilização dos ganhos η_v

F.5 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

$(1 - \eta_v)$

x

Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento $Q_{g,v}$ kWh/ano

÷

Área útil de pavimento A_p m²

=

Necessidades Anuais de Energia Útil na Estação de Arrefecimento N_{vc} kWh/m².ano

F.7 - LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

$(1 - \eta_{v,REF})$

x

Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento $Q_{g,v,REF}$ kWh/ano

÷

Área útil de pavimento A_p m²

=

Limite das Necessidades Anuais de Energia Útil na Estação de Arrefecimento N_v kWh/m².ano

Folha de Cálculo G

NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

G.1 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA AQUECIMENTO

G.7 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA AQUECIMENTO DE REFERÊNCIA

SISTEMA PARA AQUECIMENTO	Fonte de Energia	Necessidades de Energia Útil N_{uc} kWh/m ² .ano	f_i	δ	Eficiência Nominal η_i	Factor de Conversão F_{pui} kWh _{ep} /kWh	Necessidades de Energia Final $f_i \cdot \delta \cdot N_{uc} / \eta_i \cdot A_p$ kWh/ano	Necessidades de Energia Primária $f_i \cdot \delta \cdot N_{uc} \cdot F_{pui} / \eta_i$ kWh _{ep} /m ² .ano	SISTEMA PARA AQUECIMENTO	Fonte de Energia	Limite das Necessidades de Energia Útil N_i kWh/m ² .ano	f_i	Eficiência Nominal de Referência η_{iREF}	Factor de Conversão F_{pui} kWh _{ep} /kWh	Limite das Necessidades de Energia Primária $[f_i \cdot N_i \cdot F_{pui} / \eta_i]$ kWh _{ep} /m ² .ano			
		12.32	-	1	-	-	-	-			33.42	-	-	-	-			
Sistema por defeito	Electricidade		1.00		1	2.5	2329.65	30.80	Sistema por defeito	Electricidade		1.00	1	2.5	83.55			
TOTAL								2329.65	30.80	TOTAL								83.55

G.2 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA ARREFECIMENTO

G.8 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA ARREFECIMENTO DE REFERÊNCIA

SISTEMA PARA ARREFECIMENTO	Fonte de Energia	Necessidades de Energia Útil N_{uc} kWh/m ² .ano	f_v	δ	Eficiência Nominal η_v	Factor de Conversão F_{pui} kWh _{ep} /kWh	Necessidades de Energia Final $f_v \cdot \delta \cdot N_{uc} / \eta_v \cdot A_p$ kWh/ano	Necessidades de Energia Primária $f_v \cdot \delta \cdot N_{uc} \cdot F_{pui} / \eta_v$ kWh _{ep} /m ² .ano	SISTEMA PARA ARREFECIMENTO	Fonte de Energia	Limite das Necessidades de Energia Útil N_v kWh/m ² .ano	f_v	Eficiência Nominal de Referência η_{vREF}	Factor de Conversão F_{pui} kWh _{ep} /kWh	Limite das Necessidades de Energia Primária $[f_v \cdot N_v \cdot F_{pui} / \eta_v]$ kWh _{ep} /m ² .ano			
		15.03	-	1	-	-	-	-			18.97	-	-	-	-			
Sistema por defeito	Electricidade		1.00		3	2.5	947.23	12.52	Sistema por defeito	Electricidade		1.00	3	2.5	15.81			
TOTAL								947.23	12.52	TOTAL								15.81

G.3 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA PRODUÇÃO DE AQS

G.9 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA PRODUÇÃO DE AQS DE REFERÊNCIA

CONSUMO DE AQS		Necessidades anuais de energia útil para a preparação de AQS	
	consumo médio diário de referência M_{AQS}	<input type="text" value="160"/>	l
	$\frac{40}{x}$	$\frac{4187}{x}$	
funcional de ocupantes de cada fracção n	<input type="text" value="4"/>	$\frac{35}{x}$	°C
factor de eficiência hídrica	<input type="text" value="1"/>	$\frac{365}{x}$	dias
consumo médio diário de referência MAQS	<input type="text" value="160"/>	$\frac{3600000}{x}$	
		$\frac{189.103}{x}$	m ²
		$\frac{12.57}{x}$	kWh/m ² .ano

CONSUMO DE AQS DE REFERÊNCIA		Necessidades anuais de energia útil para a preparação de AQS	
	consumo médio diário de referência M_{AQS}	<input type="text" value="160"/>	l
	$\frac{40}{x}$	$\frac{4187}{x}$	
n° convencional de ocupantes de cada fracção n	<input type="text" value="4"/>	$\frac{35}{x}$	°C
factor de eficiência hídrica	<input type="text" value="1"/>	$\frac{365}{x}$	dias
consumo médio diário de referência MAQS	<input type="text" value="160"/>	$\frac{3600000}{x}$	
		$\frac{189.103}{x}$	m ²
		$\frac{12.57}{x}$	kWh/m ² .ano

SISTEMA PARA AQS	Fonte de Energia	Necessidades de Energia Útil Q_u/A_p kWh/m ² .ano	f_a	δ	Eficiência Nominal η_a	Factor de Conversão F_{pu} kWh _{eq} /kWh	Necessidades de Energia Final $f.\delta.Q_u/\eta_a$ kWh/ano	Necessidades de Energia primária $f.\delta.Q_u/A_p.F_{pu}/\eta_a$ kWh _{eq} /m ² .ano	SISTEMA PARA AQS	Fonte de Energia	Necessidades de Energia Útil de Referência Q_u/A_o kWh/m ² .ano	f_o	Eficiência Nominal de Referência $\eta_{o,REF}$	Factor de Conversão F_{pu} kWh _{eq} /kWh	Limite das Necessidades de Energia primária $f.\delta.Q_u/A_p.F_{pu}/\eta_o$ kWh _{eq} /m ² .ano
Sistema 2	Electricidade	-	0.20	-	0.93	2.5	514.29	6.80	Sistema 2	Electricidade	-	1.00	0.95	2.5	33.08
		-	-	-	-	-	-	-			-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-			-	-	-	-	-
Sistema 1	Renovável Térmica	12.57	0.80	1	1.00	1	1899.00	10.04			12.57	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-			-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-			-	-	-	-	-
Sistema por defeito	Electricidade	-	0.00	-	0.95	2.5	0.00	0.00	Sistema por defeito	Electricidade	-	0.00	0.95	2.5	0.00
							TOTAL	2413.29						TOTAL	33.08
								16.84							

G.4 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA VENTILAÇÃO MECÂNICA

Energia anual eléctrica necessária ao funcionamento do sistema de ventilação mecânica W_{vm} kWh/ano
 =
 Área útil de Pavimento A_p m²
 x
 Factor de Conversão F_{pu} kWh_{eq}/kWh
 =
 Necessidades anuais de energia primária para o sistema de ventilação kWh_{eq}/m².ano

G.5 - ENERGIA PRIMÁRIA PROVENIENTE DE FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEL

SISTEMA COM RECURSO A ENERGIA RENOVÁVEL	Produção de Energia	E_{ren}/A_p kWh/m ² .ano	Factor de Conversão F_{pu} kWh _{eq} /kWh	Energia primária $E_{ren}.F_{pu}$ kWh _{eq} /m ² .ano
Sistema 1	Renovável Térmica	10.04	1	10.04
	-	-	-	-
	-	-	-	-
	-	-	-	-
	-	-	-	-
	Biomassa	0.00	1	0.00
			TOTAL	10.04

G.6 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

Energia primária para aquecimento kWh_{eq}/m².ano
 +
 Energia primária para arrefecimento kWh_{eq}/m².ano
 +
 Energia primária para a preparação de AQS kWh_{eq}/m².ano
 +
 Energia primária necessária para o sistema de ventilação mecânica kWh_{eq}/m².ano
 =
 Energia primária proveniente de sistemas com recurso a energia renovável kWh_{eq}/m².ano
 =
 Necessidades nominais anuais globais de energia primária N_o kWh_{eq}/m².ano

G.10 LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

Energia primária para aquecimento kWh_{eq}/m².ano
 +
 Energia primária para arrefecimento kWh_{eq}/m².ano
 +
 Energia primária para a preparação de AQS kWh_{eq}/m².ano
 =
 Limite das necessidades nominais anuais globais de energia primária N_i kWh_{eq}/m².ano