



D 2019



UM CONTRIBUTO PARA A OBTENÇÃO DO BALANÇO ENERGÉTICO QUASE NULO NO PARQUE EDIFICADO EXISTENTE

**AVALIAÇÃO E PARAMETRIZAÇÃO DE INDICADORES DE EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS DO SETOR HOTELEIRO**

FILIPE ALEXANDRE OLIVEIRA DA CUNHA

TESE DE DOUTORAMENTO EM ENGENHARIA MECÂNICA

APRESENTADA À FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

UM CONTRIBUTO PARA A OBTENÇÃO DO BALANÇO ENERGÉTICO QUASE NULO NO PARQUE EDIFICADO EXISTENTE

AVALIAÇÃO E PARAMETRIZAÇÃO DE INDICADORES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS DO SETOR HOTELEIRO

Filipe Alexandre Oliveira da Cunha

Dissertação submetida para obtenção do grau de
Doutor em Engenharia Mecânica

Dissertação realizada sob a orientação do
Professor Doutor Armando Carlos Figueiredo Coelho de Oliveira,
do Departamento de Engenharia Mecânica da
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Junho de 2019

*“We know accurately only when we know little, with
knowledge doubt increases.”*

Johann Goethe

À memória do meu Avô, Manuel Cunha

Resumo

Uma parte significativa do parque edificado Europeu é obsoleto e necessita de uma reabilitação profunda para melhorar o seu desempenho energético-ambiental. Em 2021, todos os edifícios novos devem ser edifícios com necessidades quase nulas de energia (nZEB). Em paralelo, os Estados-Membros devem desenvolver ações específicas e mensuráveis, com o intuito de estimular a transformação do parque existente em edifícios compatíveis com os níveis nZEB. Este conceito pode ser definido como um edifício que ao longo do ano apresenta um balanço energético quase nulo, devido ao sucesso da adoção de medidas de eficiência conjugadas com produção local de energia renovável. Assim, o balanço de energia quase nulo pode ser alcançado através de dois passos fundamentais: primeiro, redução das necessidades energéticas do edifício e, segundo, produção de energia através de sistemas de captação de energias renováveis para suprimir as necessidades remanescentes e alcançar o balanço energético pretendido.

Neste contexto, estima-se que o turismo contribua com 5% das emissões globais de CO₂, sendo que 21% das emissões do setor é respeitante aos hotéis e outras unidades de alojamento. As unidades hoteleiras estão entre as maiores consumidoras de recursos – especial destaque para o consumo de energia e água – dos diversos segmentos do turismo. De facto, aumentar o desempenho do parque hoteleiro, mais especificamente o setor constituído pelos hotéis de 4 e 5 estrelas, com o objetivo de alcançar níveis compatíveis com o padrão nZEB é fundamental, não só para alcançar os compromissos assumidos pela União Europeia para 2020/2030, mas também para alcançar os objetivos nacionais de longo prazo definidos no roteiro: Transição para uma Economia de Baixo Carbono em 2050.

Os objetivos fundamentais deste trabalho compreenderam a caracterização detalhada do desempenho energético-ambiental de unidade hoteleira de 4 estrelas em operação, e o desenvolvimento de combinações adequadas de soluções de reabilitação, tendo em consideração a exequibilidade técnica e o custo-benefício de cada intervenção, com o objetivo de alcançar níveis compatíveis com a proximidade do nível nZEB, aquando do processo de reabilitação do edificado hoteleiro.

Nesta perspetiva, o primeiro objetivo foi cumprido através do estudo exaustivo da situação atual do hotel e respetiva instalação técnica (fontes energéticas e uso da mesma), com o auxílio de simulação energética calibrada em função dos consumos e condições reais de funcionamento. Após a calibração do modelo de simulação – cenário base –, o segundo objetivo foi garantido pela implementação devidamente estruturada, por um lado, de estratégias passivas (otimização térmica da envolvente e dispositivos de admissão de ar autorreguláveis) e, por outro lado, de soluções ativas (equipamentos de elevada eficiência e otimização do seu controlo) com o intuito de reduzir o consumo de energia associado aos usos

típicos do edifício. Em complemento, foram integrados sistemas de produção de energia a partir de fontes renováveis (sistemas fotovoltaicos para aproveitamento elétrico e sistemas térmicos para aquecimento de água quente sanitária), na tentativa de aproximar o hotel do balanço energético quase nulo em contexto de reabilitação. Adicionalmente, os requisitos mínimos de desempenho energético do parque hoteleiro reabilitado (tipologia de 4 e 5 estrelas) foram definidos, com base nas poupanças energéticas resultantes das medidas de reabilitação e dos níveis ótimos de rentabilidade. Além disso, foi avaliada a influência climática nas medidas de reabilitação dominantes, tendo em consideração o desempenho energético e económico.

Para a implementação das soluções energeticamente eficientes, é fundamental a utilização de um programa de simulação energética, de forma a prever as intervenções (singulares e combinadas) que resultam no melhor desempenho energético-ambiental e com melhor custo-benefício ao longo do ciclo de vida económico estimado. Muitos estudos centram-se apenas nas soluções de eficiência energética e tecnologias de captação de energia renovável, negligenciando a análise do custo-ótimo de rentabilidade. Este trabalho relaciona as estratégias a implementar para se atingir o desafio nZEB com o cálculo do nível ótimo de rentabilidade, sendo o nível ótimo de rentabilidade definido como o nível de desempenho energético que resulta no custo mais baixo ao longo do ciclo de vida económico estimado. Por outro lado, se as medidas de reabilitação traduzirem apenas benefícios energéticos e económicos face ao cenário base, são simplesmente consideradas economicamente viáveis.

Em suma, foi analisado um conjunto de medidas de eficiência energética combinadas com energia produzida localmente a partir de fontes renováveis, na perspectiva de alcançar o padrão de hotel de alto desempenho, que são compatíveis com o conceito nZEB e na forma de indicadores de energia primária nZEB – com realismo –, tendo em consideração a viabilidade técnica e económica das intervenções. Estes indicadores de desempenho energético nZEB podem ser enquadrados na definição nacional do parque reabilitado, em particular no parque dos grandes edifícios de serviços, onde se inserem os hotéis de categoria 4 e 5 estrelas.

Abstract

A significant part of the building stock in Europe is obsolete and in need of extensive retrofitting to improve its energy-environmental performance. By 2021, all new buildings will need to be nearly zero energy buildings (nZEB's). At the same time, EU Member States should develop policies and implement measures in order to adapt existing buildings into nZEB levels. The nearly Zero Energy Building concept may be defined as a building that over a year is nearly neutral when energy efficiency measures are successfully combined with on-site (or nearby) renewable energy sources. According to this, the nearly zero energy performance may be achieved as a result of adopting two fundamental steps: first, reduce building energy demand, and second, generate energy from renewable sources, to get enough credits to achieve the desired energy balance.

In this context, tourism contributes an estimated 5% of CO₂ emissions, of which 21% come from hotels and other types of accommodation. The hotel sector constitutes one of the most energy- and resource-intensive branches of the tourist industry. Improving the performance of hotels' building stock, focused mainly on the 4 and 5-star segment, in order to reach the nZEB status is crucial not only to achieve the European Union's 2020 and 2030 targets but also to meet the longer term objectives set by the national low carbon economy roadmap 2050.

The most important goals of this work were the detailed characterization of the energy-environmental performance of an existing 4-star hotel in operation, and the cost effectiveness assessment of intervention packages, if technically and functionally feasible, involving appropriate energy efficiency and renewable sources measures in order to reach the nZEB levels for refurbished hotels.

More in detail, the first objective was accomplished by an energy audit, assessing the current energy status and based on the calibration of the building model supported by actual consumptions, measured data, building physical and operational features. Once a calibrated numerical model was achieved – baseline model –, the second objective was ensured through properly structured interventions (single and integrated measures). A combination of passive strategies (optimization of thermal envelope and self-adjusting air inlets) and active technical solutions (using high efficiency equipment and optimal control systems) were implemented, in order to reduce the typical energy use, combining also renewable energy systems (photovoltaic for electricity production and solar thermal energy for domestic hot water), which allow this 4-star hotel to achieve a nearly zero energy balance status. Additionally, the minimum energy performance requirements of the existing hotel stock (4 and 5 star category) were set, supported by energy saving packages and cost-optimal levels. Furthermore, the influence of the climatic context for the best retrofit options was evaluated, taking into account the energy and economic performance.

To implement those energy efficient interventions, it is fundamental to use a dynamic energy simulation program, in order to foresee the retrofit options (singular and packages of retrofit measures) that result in the best energy-environmental performance and with the best cost-effectiveness over the estimated life cycle. Most studies have focused on energy efficiency and renewable energy technologies, but neglected to analyze the cost-optimality of technical solutions. This work considers both possible energy efficiency and cost-optimality to achieve the nZEB levels. The cost-optimal performance level means an energy performance in terms of primary energy leading to a minimum life cycle cost. On the other hand, if a retrofit intervention leads to a lower energy demand and lower costs than the baseline model, it is only considered as cost-effective.

In conclusion, energy saving measures combined with on-site renewable energy systems were evaluated in order to achieve the standard of high performance hotel, which are consistent with the nZEB concept and supported on nZEB indicators of primary energy use, taking into account the technical and economic feasibility of retrofit options. These primary energy indicators for refurbished hotels – 4 and 5-star category – can be adopted in the national nZEB definition.

Agradecimentos

A escolha do tema para o presente trabalho teve em conta as preferências pessoais do autor e a utilidade que o estudo desenvolvido possa ter. A preparação desta dissertação constituiu uma etapa pessoal de desenvolvimento e crescimento técnico e científico, a qual não teria sido possível sem orientação, disciplina e colaboração de outros. Assim, é nesta fase final que surge a oportunidade de publicamente prestar o devido reconhecimento.

A todos aqueles que de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, quero aqui deixar os meus sinceros agradecimentos.

Uma menção muito especial de agradecimento e admiração pela orientação, encorajamento e paciência com que sempre me honrou o Professor Doutor Armando Oliveira.

Finalmente, quero agradecer à minha família pelo carinho e incentivo desde sempre. Uma especial manifestação de gratidão e afeto à minha esposa Adriana por compreender as minhas ausências, ficando a promessa de compensar a partir de agora a atenção que não lhe dei nestes últimos tempos.

Índice de Conteúdos

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento	1
1.2	Objetivos e estratégias.....	4
1.3	Organização e estrutura do texto	6
2	O Setor Energético.....	9
2.1	O panorama energético no Mundo	9
2.2	O panorama energético na Europa.....	12
2.3	O panorama energético em Portugal	14
3	Energia e Edifícios.....	21
3.1	Caraterização do parque edificado na Europa	21
3.2	Caraterização do parque edificado em Portugal	23
3.3	Utilização de Energia nos edifícios Europeus	24
3.4	Utilização de Energia nos edifícios Portugueses	28
4	Energia e o Setor Hoteleiro	33
4.1	Considerações gerais	33
4.2	Utilização de energia no setor hoteleiro	37
4.3	Avaliação de desempenho na utilização de recursos	42
5	Edifícios de balanço energético nulo	49
5.1	Considerações gerais	49
5.2	Estado do conhecimento.....	53
5.3	Bases fundamentais	56
5.4	Definições e principais parâmetros do balanço energético	58
5.4.1	Definições	59
5.4.2	Balanço energético e equivalência métrica.....	60
5.4.3	Condição de fronteira e fluxos energéticos	62
5.4.4	Contribuição da produção de energia proveniente de fontes renováveis	65
5.4.5	Base temporal do balanço energético do edifício e a interação com a rede energética.....	68
5.5	Rumo aos edifícios de balanço energético nulo.....	70
5.5.1	Balanço energético nulo no contexto do setor hoteleiro.....	75
5.5.2	Balanço energético nulo no sul da Europa	81
5.5.2.1	Soluções construtivas de elevada qualidade térmica.....	82
5.5.2.2	Soluções de arquitetura apropriadas ao clima mediterrânico	85
5.5.2.3	Sistemas de iluminação energeticamente eficientes.....	90
5.5.2.4	Instalação de equipamentos de elevada eficiência	93
5.5.2.5	Sistemas AVAC energeticamente eficientes.....	93
5.5.2.6	Produção de energia no local (ou proximidades) a partir de fontes renováveis	101
5.5.2.7	Utilização racional do edifício e dos seus sistemas e equipamentos	103

5.6	Viabilidade económica dos edifícios de balanço de energia nulo.....	104
6	Caso de estudo	107
6.1	Introdução ao caso de estudo.....	107
6.2	Caraterização geral do edifício	108
6.3	Qualidade térmica da envolvente	111
6.4	Caraterização do sistema de AVAC	116
6.5	Caraterização das cargas internas	119
6.5.1	Ocupação.....	120
6.5.2	Equipamentos.....	121
6.5.3	Iluminação.....	121
6.6	Avaliação das condições de conforto e verificação expedita da concentração de CO ₂	125
6.7	Análise integrada dos consumos energéticos e hídricos – Edifício	132
6.7.1	Análise integrada dos consumos energéticos e hídricos – Hotel	137
6.8	Simulação dinâmica (Funcionamento Real)	146
6.8.1	Calibração do modelo de simulação	150
6.9	Otimização de soluções isoladas e integradas	155
6.9.1	Otimização da envolvente	164
6.9.2	Eficiência dos sistemas de energia	168
6.9.3	Combinação de medidas para eficiência energética e integração de sistemas renováveis	173
6.9.4	Balanço de energia primária: método oferta de energia (G) – procura de energia (L)	195
6.9.5	Avaliação da influência climática no desempenho energético	198
6.10	Análise económica	203
6.10.1	Análises de sensibilidade	213
7	Conclusão	225
7.1	Considerações finais.....	225
7.2	Síntese das conclusões obtidas	226
7.3	Desenvolvimentos futuros.....	235
8	Referências e Bibliografia	237
	ANEXO A: Registo fotográfico realizado na auditoria ao hotel	247
	Anexo B: Caraterização da envolvente	251
	B.1. Plantas ilustrativas do edifício com a delimitação da envolvente	251
	B.2. Caraterização dos elementos que compõem a envolvente do hotel	254
	B.3. Elementos correntes da envolvente	257
	B.4. Determinação da inércia térmica	258
	Anexo C: Principais caraterísticas dos equipamentos de Climatização e AQS	259
	C1. Equipamentos primários.....	259
	C2. Equipamentos auxiliares.....	260
	C3. Acessórios	267
	Anexo D: Condições de conforto térmico e verificação expedita do nível de dióxido de carbono (CO ₂).....	268
	D.1. Avaliação das condições de conforto	268

Anexo E: Metodologia utilizada e medições elétricas efetuadas.....	270
E.1. Instalação	270
E.2. Medições elétricas	270
E.3. Caracterização da utilização do hotel em função da análise efetuada – período da auditoria.....	271
Anexo F: Simulação dinâmica.....	275
F.1. “Outputs” dos consumos de energia obtidos por tipo de utilização: Cenário Base.....	275
275	
F.2. Caudais de ar novo contabilizados	276
F.3. Densidades de Iluminação, Equipamentos e Ocupação por zona	277
F.4. Perfis de utilização	278
Anexo G: Medidas de reabilitação energética	284
G.1. Matriz das medidas singulares ou integradas em Faro: EEM1 – PCK41	284
G.2. Matriz das medidas singulares ou integradas em Londres: PCK10 – PCK41	289
G.3. Matriz das medidas singulares ou integradas em Atenas: PCK10 – PCK41	290
G.4. Principais indicadores de desempenho: Faro.....	291
G.5. Principais indicadores de desempenho: Londres.....	294
G.6. Principais indicadores de desempenho: Atenas	295
Anexo H: Análise económica	297
H.1. Dados de natureza económica: Faro	297
H.2. Dados de natureza económica: Londres	298
H.3. Dados de natureza económica: Atenas	299
H.4. Análises de sensibilidade: Faro	299
H.5. Análises de sensibilidade: Londres.....	301
H.6. Análises de sensibilidade: Atenas	302

Índice de Figuras

Figura 1 – Consumo total de energia primária no Mundo (global, 2012) (dados da referência: KWE Statistics, 2014).....	10
Figura 2 – Consumo total de energia primária por região (global, 1973 e 2012) (dados da referência: KWE Statistics, 2014)	10
Figura 3 – Consumo total de energia final no Mundo, por forma de energia (global, 2012) (dados da referência: KWE Statistics, 2014)	11
Figura 4 – Consumo total de energia final no Mundo, por setor (global, 2012) (dados da referência: KWE Statistics, 2014)	11
Figura 5 – Consumo total de energia primária em 2012 na UE - 28 (dados da referência: KWE Statistics, 2014)	12
Figura 6 – Consumo total de energia final em 2012 na UE - 28 (dados da referência: KWE Statistics, 2014).....	13
Figura 7 – Consumo total de energia final em 2012 na UE - 28, por setor (dados da referência: KWE Statistics, 2014).....	13
Figura 8 – Evolução do consumo total de energia primária em Portugal, por fonte (dados da referência: DGEG, 2015).....	15
Figura 9 – Evolução do consumo de energia primária e final em Portugal (dados da referência: DGEG, 2015)..	15
Figura 10 – Evolução do consumo de energia final em Portugal, por setor (dados da referência: DGEG, 2015).	16
Figura 11 – Dependência energética (%): (a) Europa – 28, ano 2015 e (b) Portugal, evolução de 1995 a 2015 (dados das referências: Eurostat, 2017a; DGEG, 2017)	17
Figura 12 – Evolução dos índices de consumo de energia primária e PIB de Portugal entre 2011 a 2015, tendo como referência o ano de 2011 (dados das referências: DGEG, 2017; INE, 2017).....	18
Figura 13 – Intensidade energética primária de Portugal vs. Europa (UE - 28) entre 2000 a 2015 (dados da referência: Eurostat, 2017b)	19
Figura 14 – Distribuição do espaço útil dos edifícios pelo território Europeu (BPIE, 2011)	21
Figura 15 – Distribuição dos edifícios residenciais em função da idade, por região da Europa (BPIE, 2011)	22
Figura 16 – Distribuição dos edifícios não residenciais por tipologia, na Europa (BPIE, 2011).....	22
Figura 17 – Distribuição dos edifícios não residenciais em função da idade, na Europa (Tabula, 2010).....	22
Figura 18 – Distribuição dos edifícios residenciais por período de construção em Portugal (Entranze, 2008a) ...	23
Figura 19 – Distribuição dos edifícios não residenciais por tipologia em Portugal (DGEG, 2014)	23
Figura 20 – Edifícios concluídos em 2000 e 2012 (dados da referência: DGEG, 2014)	24
Figura 21 – Distribuição do consumo total de energia final em 2012 na UE - 28, por setor (dados da referência: KWE Statistics, 2014)	25
Figura 22 – Consumo específico de aquecimento em função da idade e por região da Europa (BPIE, 2011)	25
Figura 23 – Consumo específico de energia no setor residencial na Europa (Entranze, 2008b)	26
Figura 24 – Distribuição do consumo de energia final, por tipo de edifício na Europa (BPIE, 2011)	26

Figura 25 – Consumo específico de energia no setor não residencial na Europa (Entranze, 2008c).....	27
Figura 26 – Consumo específico de energia por região da Europa (Entranze, 2008d).....	27
Figura 27 – Consumo específico de energia na Letónia, por tipologia, período entre 2003 – 2010 (Entranze, 2008d).....	28
Figura 28 – Distribuição do consumo total de energia final em Portugal (2013), por setor (dados da referência: DGE, 2015)	28
Figura 29 – (a) Evolução do consumo de eletricidade e (b) o seu peso no consumo final (dados da referência: DGE, 2015)	29
Figura 30 – Desagregação das utilizações de energia no setor residencial (Matriz Porto, 2008)	29
Figura 31 – Evolução das necessidades de energia útil no parque de habitação: (a) impacto da grande reabilitação por período de construção e (b) por tipologia (2013 a 2015) (ADENE, 2015; Fragoso, 2015).....	30
Figura 32 – Desagregação das utilizações de energia no setor não residencial (Dados do autor, 2009)	31
Figura 33 – Desagregação das utilizações de energia no setor de comércio/serviços em Portugal (2013 a 2015): (a) indicadores de desempenho energético e (b) distribuição percentual (Fragoso, 2015)	32
Figura 34 – Recomendações típicas de oportunidades de melhoria: (a) habitação e (b) comércio/serviços (IEPBD, 2013).....	32
Figura 35 – Importância do turismo no Mundo: (a) em % do PIB e (b) em % no emprego (WTTC, 2016)	33
Figura 36 – Evolução atual e previsão do total de chegadas de turistas internacionais, por região (1950-2030), e sua distribuição em 2015 (UNWTO, 2016).....	34
Figura 37 – Importância do turismo no PIB em Portugal – Turismo em % do PIB (INE, 2015)	34
Figura 38 – Distribuição das dormidas no total da hotelaria em Portugal (%) (INE, 2015).....	35
Figura 39 – Evolução do número de hotéis e das dormidas em hotéis, 1976-2014 (INE, 2015).....	35
Figura 40 – Áreas funcionais de um hotel (Pinto et al., 2016a).....	38
Figura 41 – Desagregação das utilizações de energia: média de consumos retirados de auditorias energéticas em 55 hotéis de Espanha, 2010-2013 (Balantia-Creara, 2013)	38
Figura 42 – Desagregação de custos de energia e de água em hotéis (7 unidades) de grupo hoteleiro (dados do autor, 2016)	39
Figura 43 – Desagregação do consumo de eletricidade nos períodos de auditoria energética: (a) Hotel em Lisboa, (b) Hotel no Algarve (Silva Santos, 2016) e (c) Estrutura de consumos mensais de Hotel determinada em auditoria (Lisboa, 2013b)	40
Figura 44 – Taxa de ocupação média de hotéis (INE, 2015) e temperatura média exterior	41
Figura 45 – Esquema de sistema de gestão de recursos e respetiva sequência de implementação (adaptado da ISO 50001, 2011 e Styles et al., 2013).....	43
Figura 46 – Consumos específicos de utilização de energia em hotéis no plano internacional adaptado de Chan (2012), Lu et al. (2013) e Wang (2013).....	45
Figura 47 – Consumo de energia e de água (por dormida) de hotéis de 4 e 5 estrelas adaptado de Silva Santos (2016)	46
Figura 48 – Indicadores de desempenho (médios) determinados na auditoria: (a) consumo de energia e de água por dormida e (b) custos de energia e de água por dormida, (Pinto et al., 2016c).....	47

Figura 49 – Oportunidades de melhoria em empreendimentos turísticos, identificadas no SCE (Gonçalves, 2015)	48
Figura 50 – A evolução cronologia do percurso dos nZEBs segundo a EPBD recast.	50
Figura 51 – Definição nZEB na Europa - requisitos mínimos (adaptado de BPIE, 2015)	53
Figura 52 – Exemplos de edifícios de escritórios nZEB (ECB Annex 52, 2014).....	55
Figura 53 – Representação esquemática do caminho para atingir um balanço energético nulo	58
Figura 54 – Principais parâmetros em torno da definição nZEB a clarificar (adaptado de D’Agostino, 2015)	59
Figura 55 – Balanço de energia primária: (a) método E-D e (b) método G-L (Gonçalves & Panão, 2013).....	60
Figura 56 – Representação esquemática do balanço energético nulo.....	61
Figura 57 – Representação esquemática das condições de fronteiras e fluxos energéticos (adaptado de Belleri & Napolitano, 2012).....	63
Figura 58 – Fronteira para a energia importada/exportada e fluxos energéticos num edifício nZEB (adaptado de Kurnitski, 2013).....	64
Figura 59 – Possibilidades de fornecimento de energia proveniente de fontes renováveis (adaptado de Marszal et al., 2010).....	66
Figura 60 – Fluxos energéticos num edifício nZEB com produção renovável nas proximidades (Kurnitski, 2013)	67
Figura 61 – Índice de coincidência entre a energia elétrica consumida e a produção renovável em diferentes escalas temporais (Koch et al., 2013)	69
Figura 62 – Rede sinérgica, partilha de energia a nível local (Virta et al., 2012).....	70
Figura 63 – Visão integrada dos vetores fundamentais para net ZEB adaptado de Deng et al. (2014)	72
Figura 64 – Custos energéticos do edifício base e de cada solução ou conjunto de soluções parametrizadas (expressas em percentagem) face ao cenário base.....	74
Figura 65 – Balanço de energia primária, método G-L em edifício de serviços	74
Figura 66 – Avaliação metodológica a seguir no contexto net ZEB ou nZEB (adaptado de Deng et al., 2014). ..	75
Figura 67 – Zonas climáticas da UE com indicação da contribuição de fontes de energia renovável (FER) recomendada pelo projeto nZEH.....	77
Figura 68 – Cenários base e otimizado para os 16 hotéis-piloto: (a) Indicador médio de energia primária e (b) contribuição média dos sistemas de energias renováveis (neZEH, 2016)	78
Figura 69 – Metas alcançadas: (a) Redução do consumo de energia e (b) redução das emissões CO ₂ em cada hotel-piloto (neZEH, 2016)	78
Figura 70 – Eixos de ação para eficiência energética: gestão da procura, redução das necessidades de energia e equipamentos eficientes adaptado de neZEH (2013a).....	80
Figura 71 – Eixos de ação para eficiência energética: sistemas eficientes e sistemas de aproveitamento das energias renováveis adaptado de neZEH (2013a).....	81
Figura 72 – Qualidade térmica da envolvente do parque hoteleiro existente (contexto nacional) (Gonçalves, 2015; TP, 2013).....	84

Figura 73 – Evolução temporal das soluções construtivas no contexto nacional, incluindo do setor hoteleiro (SouthZEB, 2016a).....	85
Figura 74 – Sistemas passivos, em estratégia de promoção de ganhos solares na estação do inverno: ganho direto, indireto e isolado (Gonçalves & Graça, 2004).	86
Figura 75 – Estratégias passivas na estação de arrefecimento: ventilação transversal, ventilação por efeito chaminé, arrefecimento pelo solo, arrefecimento radiativo e arrefecimento evaporativo (Gonçalves & Graça, 2004; SouthZEB, 2016b).....	88
Figura 76 – Estratégias usadas para melhorar a iluminação natural (SouthZEB, 2016b).....	90
Figura 77 – Consumo diário de energia elétrica de iluminação de um hotel (kWh, dimensão do círculo), setorizado por diferentes espaços (áreas): sistema de iluminação tradicional (Styles et al., 2013).....	90
Figura 78 – Consumo diário de energia elétrica de iluminação de um hotel (kWh, dimensão do círculo), setorizado por diferentes espaços (áreas): sistema de iluminação eficiente (Styles et al., 2013)	91
Figura 79 – Efeito da temperatura interior na energia utilizada no edifício para aquecimento e arrefecimento ambiente	94
Figura 80 – Níveis de eficiência de <i>chiller</i> /bomba de calor: COP vs. Temperatura exterior.....	96
Figura 81 – Esquema básico explicativo de um <i>chiller</i> /bomba-de-calor.....	97
Figura 82 – Integração de sistema de ventilação híbrida em edifício de serviços (Virta et al., 2012).....	98
Figura 83 – Impacto do aumento da eficiência sensível na recuperação de calor ar/ar nos consumos de energia final para aquecimento e ventilação: (a) eficiência sensível da UTAN e (b) eficiência sensível da UTAN após intervenção	99
Figura 84 – Comparação de um sistema DCV com um sistema de caudal de ar constante em instalações com controlo do ar (Brelh et al., 2013)	100
Figura 85 – Estimativa da economia de energia associada à ventilação através da utilização de sistema DCV e seleção de ventiladores mais eficientes	100
Figura 86 – Exemplo de integração de sistemas renováveis: bomba geotérmica e solar térmico (Ramos & Ascenso, 2008).....	101
Figura 87 – <i>Chiller</i> de absorção (solução utilizada: água – brometo de lítio, em que a água é o refrigerante) assistido por energia solar para produção de água refrigerada (SouthZEB, 2016b).....	103
Figura 88 – Custo económico durante todo o ciclo de vida de um nZEB: nível nZEB vs. nível ótimo de rentabilidade (SouthZEB, 2016b).....	106
Figura 89 – Fachadas principais do edifício	109
Figura 90 – Principais características dos vãos envidraçados existentes no hotel.....	113
Figura 91 – Principais plantas do hotel	115
Figura 92 – Esquemas de princípio simplificados: (a) geração de água quente e (b) geração de água refrigerada	118
Figura 93 – Esquemas de princípio simplificados: (a) sistema de preparação de AQS e (b) subestação de distribuição de água quente e água refrigerada.....	119
Figura 94 – Taxa de ocupação do ano tipo em função da temperatura média exterior.....	120
Figura 95 – Distribuição do tipo de iluminação da unidade hoteleira	122

Figura 96 – Escala de sensação térmica	126
Figura 97 – Resultados dos níveis de concentração de CO ₂ obtidos nos locais da amostragem	131
Figura 98 – Resultados das condições de conforto térmico, segundo a EN 15251	132
Figura 99 – Desagregação do consumo de energia primária por fonte no edifício (a) e custos associados (b) ...	133
Figura 100 – Distribuição dos consumos energéticos e hídricos no ano tipo – Edifício	134
Figura 101 – Evolução mensal dos encargos de energia e água – Edifício	135
Figura 102 – Distribuição do consumo de energia final por fonte – Edifício.....	135
Figura 103 – Distribuição do consumo de água: (a) edifício e (b) hotel	136
Figura 104 – Consumo específico de energia e água no hotel vs. termos de referência.....	137
Figura 105 – Custos de energia e água (€/PAX) – (a) valor médio Algarve vs. hotel e (b) desagregação dos custos – hotel.....	138
Figura 106 – Distribuição dos consumos mensais por forma de energia do ano Tipo: (a) edifício e (b) hotel....	139
Figura 107 – Distribuição mensal do consumo elétrico vs. influência da temperatura exterior e taxa de ocupação do hotel.....	139
Figura 108 – Energia elétrica observada vs. modelo de previsão 3PC	140
Figura 109 – Desagregação dos consumos do hotel: (a) e (b) por forma de energia e utilização final e (c) consumo global por utilização.....	145
Figura 110 – Vistas tridimensionais do modelo geométrico de simulação.....	146
Figura 111 – Exemplo de zonamento do modelo de simulação do piso 2.....	147
Figura 112 – Desagregação percentual por utilização, do consumo de energia final, no hotel do ano tipo (simulada).....	149
Figura 113 – Utilização mensal de energia final no hotel do ano tipo (simulada).....	149
Figura 114 – Consumo de energia elétrica: simulado vs. faturado	150
Figura 115 – Consumo de gás natural: simulado vs. faturado	151
Figura 116 – Diagrama geral de ação para implementação das medidas de otimização	157
Figura 117 – Diagrama de ação para implementação das medidas de otimização para eficiência energética dos sistemas AVAC	161
Figura 118 – Consumo e custo de energia do hotel base e de cada solução ou conjunto de soluções parametrizadas e <i>IEEnZEB</i> , expressos em percentagem, face ao cenário base	163
Figura 119 – EEM1 – EEM6: (a) indicadores de desempenho (arrefecimento e aquecimento) e (b) consumo de energia do hotel (arrefecimento e aquecimento), expressos em percentagem, face ao cenário base	166
Figura 120 – Indicadores de desempenho (por uso) e <i>IEER</i> (regulado): EEM1 – EEM7.....	168
Figura 121 – EEM8 – PCK2: (a) indicadores de desempenho relevantes e (b) consumo de energia do hotel (relevante), expressos em percentagem, face ao cenário base	169
Figura 122 – Indicadores de desempenho (por uso) e <i>IEER</i> (regulado): EEM1 – PCK4	172
Figura 123 – Mapa das medidas de economia de energia singulares e combinadas: EEM1 – PCK4	173
Figura 124 – EER vs. Temperatura exterior: UPAR base	178

Figura 125 – Indicadores de desempenho regulados: PCK9 – PCK13.....	179
Figura 126 – Mapa das medidas de economia de energia singulares e combinadas: EEM7 – PCK13	180
Figura 127 – Níveis de eficiência das UPARs para temperaturas de evaporação de 7°C/10°C	182
Figura 128 – Indicadores de desempenho regulados: (a) PCK14 – PCK19 e (b) PCK20 – PCK23	183
Figura 129 – Indicadores de desempenho (por uso) e <i>IEER</i> (regulado): PCK5 – PCK23	184
Figura 130 – Indicadores de desempenho (por uso) c/ limite mínimo e <i>IEER</i> (regulado): EEM1 – PCK23	185
Figura 131 – Matriz das medidas de economia de energia parametrizadas entre PCK14 – PCK23.....	186
Figura 132 – Caraterísticas dos coletores solares térmicos dos sistemas térmicos (STs) A e B.....	188
Figura 133 – Balanço energético mensal e anual do sistema solar térmico: (a) ST A ref. e (b) ST B.....	190
Figura 134 – Exemplo do balanço energético mensal e anual do sistema solar térmico ST B.....	190
Figura 135 – Principais caraterísticas dos módulos fotovoltaicos utilizados.....	192
Figura 136 – Resultados da simulação dos sistemas fotovoltaicos: (a) PV A e (b) PV B.....	193
Figura 137 – Matriz das parametrizações dos sistemas de energia renovável entre PCK26 – PCK41 e penetração de renovável (em percentagem) nos consumos regulados do hotel	193
Figura 138 – Indicadores de desempenho (de energia final e primária) e requisitos recomendados.....	195
Figura 139 – Balanço de energia primária: método G-L	197
Figura 140 – Consumo anual de energia final nos três climas: (a) principais usos e (b) estrutura global das utilizações, expressa em percentagem	199
Figura 141 – Indicadores de desempenho (de energia final e primária) e requisitos recomendados, em termos de energia final, para Londres e Atenas	201
Figura 142 – Exemplo da matriz das medidas de economia de energia parametrizadas entre PCK30 – PCK41 (Londres)	201
Figura 143 – Balanço de energia primária, método G-L: (a) Londres e (b) Atenas	202
Figura 144 – Análise de rentabilidade das soluções estudadas (custo de oportunidade (<i>ir</i>) 5% taxa de inflação (<i>ii</i>) 2% variação do custo da energia (<i>e</i>) 3%): (a) Faro, (b) Londres e (c) Atenas	206
Figura 145 – Período de recuperação do capital das soluções estudadas (custo de oportunidade (<i>ir</i>) 5% taxa de inflação (<i>ii</i>) 2% variação do custo da energia (<i>e</i>) 3%): (a) Faro, (b) Londres e (c) Atenas.....	211
Figura 146 – Consumo regulado de energia final vs. avaliação económica pelo método – VAL (custo de oportunidade (<i>ir</i>) 5% taxa de inflação (<i>ii</i>) 2% variação do custo da energia (<i>e</i>) 3%).....	212
Figura 147 – Medidas singulares e combinadas sem interesse económico (Faro)	212
Figura 148 – Análise de sensibilidade da variação do custo energia (<i>e</i> = 1%) em Faro: (a) critério do nível ótimo de rentabilidade e (b) período de recuperação do capital	215
Figura 149 – Análise de sensibilidade da variação do custo energia (<i>e</i> = 1%) em Londres: (a) critério do nível ótimo de rentabilidade e (b) período de recuperação do capital	216
Figura 150 – Análise de sensibilidade da variação do custo energia (<i>e</i> = 1%) em Atenas: (a) critério do nível ótimo de rentabilidade e (b) período de recuperação do capital	217
Figura 151 – Análise de sensibilidade da variação do custo energia (<i>e</i> = 6 %) em Faro: (a) critério do nível ótimo de rentabilidade e (b) período de recuperação do capital	220

Figura 152 – Análise de sensibilidade da variação do custo energia ($e = 6\%$) em Londres: (a) critério do nível ótimo de rentabilidade e (b) período de recuperação do capital	221
Figura 153 – Análise de sensibilidade da variação do custo energia ($e = 6\%$) em Atenas: (a) critério do nível ótimo de rentabilidade e (b) período de recuperação do capital	222
Figura 154 – Agravamento do custo do investimento (IC) em 50% no cenário A – Faro (custo de oportunidade (ir) 5% taxa de inflação (ii) 2% variação do custo da energia (e) 1%)	223
Figura 155 – Agravamento do custo do investimento (IC) em 50% no cenário B (atual) – Faro (custo de oportunidade (ir) 5% taxa de inflação (ii) 2% variação do custo da energia (e) 3%)	224
Figura 156 – Agravamento do custo do investimento (IC) em 50% no cenário C – Faro (custo de oportunidade (ir) 5% taxa de inflação (ii) 2% variação do custo da energia (e) 6%)	224
Figura 157 – Evolução dos principais indicadores de desempenho energético e económico: (a) Faro, (b) Londres e (c) Atenas.....	232
Figura 158 – (a) Caraterização das principais medidas de otimização e (b) pacote das medidas integradas dos principais indicadores de desempenho	233

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Desagregação dos consumos de energia por tipologia (Fernandes, 2013).....	31
Tabela 2 – Definições do conceito do balanço de energia nulo adaptado de Deng et al. (2014).....	68
Tabela 3 – Paradigma atual versus Paradigma futuro na conceção de edifícios adaptado de Lisboa (2013a)	72
Tabela 4 – Critérios chave para conceção de nZEB, em climas frios e em climas temperados (Virta et al., 2012).	73
Tabela 5 – Indicadores de utilização de energia primária neZEH e de energia primária para hotéis referente ao ano de 2008 (Tournaki et al., 2014; Buso et al., 2014; Derjanecz, 2015).....	76
Tabela 6 – Recomendações de sistemas de iluminação (EN 12464-1, 2002; RECS, 2013a).....	93
Tabela 7 – Comparação de sistema de climatização convencional com sistema de climatização via bomba geotérmica com superfície radiante, adaptado de Sousa (2014).....	98
Tabela 8 – Condições exteriores (Despacho 15793-F, 2013).....	110
Tabela 9 – Áreas totais do edifício	110
Tabela 10 – Principais caraterísticas dimensionais do edifício	110
Tabela 11 – Espaços sem necessidades térmicas e sem ocupação permanente	111
Tabela 12 – Gama da qualidade térmica da envolvente do edifício e valores de referência.....	114
Tabela 13 – Resumo geral da qualidade térmica da envolvente	114
Tabela 14 – Caraterização dos sistemas de iluminação existentes	122
Tabela 15 – Densidade de iluminação interior	122
Tabela 16 – Densidades de potência de referência vs. densidades de potência do hotel	123
Tabela 17 – Níveis de iluminância pontuais registados vs. Níveis recomendados pela EN 12464-1.....	124
Tabela 18 – Ambientes térmicos e respetivas exigências (EN ISO 7730, 2005).....	127
Tabela 19 – Temperatura operativa de conforto para edifícios com sistemas ativos de climatização (adaptado de EN 15251, 2007)	128
Tabela 20 – Caraterização do consumo de energia e água para o ano tipo – Edifício.....	133
Tabela 21 – Tabela síntese de distribuição de consumos finais (energia e água) e custos associados – Edifício	136
Tabela 22 – Desagregação dos consumos de energia do hotel	144
Tabela 23 – Resultados da simulação base (ano tipo): desagregação dos consumos de energia final e energia primária, por utilização e fonte.....	148
Tabela 24 – Critérios de avaliação da calibração do modelo de simulação.....	151
Tabela 25 – Comparação dos consumos energéticos da auditoria e da simulação	152
Tabela 26 – Principais indicadores de desempenho (globais) do hotel	154
Tabela 27 – Dados climáticos gerais das três localizações simuladas	198
Tabela 28 – Custos de manutenção em percentagem do investimento	205

Tabela 29 – Soluções de custo-ótimo e indicadores de eficiência energética (<i>IEEnZEB</i>) mínimos: (a) Faro, (b) Londres e (c) Atenas.....	219
Tabela 30 – Principais indicadores de desempenho energético e económico.....	231

Lista de Símbolos

Símbolos em letra romana

Símbolo	Designação	Unidade
a	Consumo de energia base (independente do clima)	[kWh/mês]
A_{env}	Área dos vãos envidraçados por orientação	[m ²]
A_{evo}	Área da fachada por orientação	[m ²]
$a(n_a, i_{re})$	Fator de atualização a utilizar no custo energético (EC)	-
$a(n_a, i_{rmi})$	Fator de atualização a utilizar no custo de manutenção (MC)	-
A_p	Área de pavimento total	[m ²]
A_{pavn}	Área de pavimento de acordo com definição nacional	[m ²]
b	Consumo de energia (dependente do clima)	[KWh/mês.°C]
b_{tr}	Coefficiente de redução de perdas	-
CEP_{ef}	Consumo efetivo de energia primária (obtido pelas faturas energéticas)	[kWh _{EP} /a]
$CO_2(Adj)$	Média temporal das medições realizadas ajustadas à ocupação	[ppm]
$CO_2(med)$	Média temporal das medições realizadas em cada ponto de amostragem	[ppm]
$c_{p\acute{a}gua}$	Calor específico da água (capacidade calorífica específica a pressão constante)	[kJ/kg.°C]
$CV(s)$	Coefficiente de variação	[%]
DPI_{edif}	Densidade de Potência de iluminação do edifício	[W/m ²]
DPI_{max}	Densidade de Potência de iluminação máxima	[W/m ² /100 lux]
DPI_{ref}	Densidade de Potência de iluminação de referência	[W/m ²]
e	Taxa da variação do custo da energia	-
$\bar{E}_{Base,gn}$	Consumo médio mensal de energia base por fonte i (gn) para o ano tipo	[kWh]
EC	Custo energético anual no ano de início	[EUR]
$\bar{E}_{coz,gn,max}$	Consumo médio mensal de energia por fonte i (gn) para o ano tipo, do uso n (coz), dos meses de maior (max) consumo	[kWh]
$E_{coz,gn,ver}$	Consumo por fonte i (gn), do uso n (coz), na estação de verão (ver)	[kWh]
$E_{del,i}$	Energia fornecida ao edifício por fonte de energia i para os diferentes usos	[kWh/a]
EEM	Medida de otimização singular	-
$E_{exp,i}$	Energia exportada pelo edifício por fonte de energia i	[kWh/a]
$E_{f,i}$	Consumo de energia final por fonte i	[kWh/a]
$E_{gn,inv}$	Consumo de energia por fonte i (gn) na estação de inverno (inv) para o ano tipo	[kWh]
E_m	Iluminância média mantida	[lux]
$E_{mod,i,t}$	Consumo de energia por fonte i estimada pelo modelo no período t	[kWh]
$E_{NR,i}$	Consumo de energia por fonte i para os usos do tipo NR	[kWh/a]
$\bar{E}_{obs,i}$	Consumo médio de energia observada por fonte i	[kWh]

$E_{obs,i,t}$	Consumo de energia observada por fonte i no período t	[kWh]
ep	Erro percentual	[%]
$\overline{ep}_n$	Erro percentual médio normalizado	[%]
EP_p	Indicador de energia primária	[kWh _{HEP} /m ² .a]
$E_{R,base}$	Consumo de energia regulada base	[kWh/a]
$E_{REN,i}$	Produção de energia elétrica e térmica a partir de fonte de origem renovável i	[kWh/a]
$E_{R,i}$	Consumo de energia por fonte i para os usos do tipo R	[kWh/a]
$E_{sim,i,t}$	Consumo de energia por fonte i simulada no período t	[kWh]
E_{solar}	Contribuição de energia solar térmica	[kWh/a]
$f_{coz,gn,inv,t}$	Fração da produção de refeições mensal do ano tipo para a estação de inverno	-
$F.F$	Fator de forma do edifício	[m ⁻¹]
$f_{n,k}$	Fração das necessidades (ou consumo) de energia para o uso n suprimidas pelo sistema k	-
$F_{nren,i}$	Fator de conversão de energia final para energia primária de origem não renovável, por fonte de energia i	[kWh _{HEP} /kWh]
$\bar{f}_{pax,inv}$	Fração da ocupação média do hotel, resultante dos valores mensais da estação de inverno	-
$f_{pax,t}$	Fração da ocupação mensal do hotel no ano tipo	-
$F_{p,i}$	Fator de conversão de energia final para energia primária por fonte de energia i	[kWh _{HEP} /kWh]
GD	Graus-dia associados às estações de aquecimento ou arrefecimento	[°C.dias]
$G - L$	Balanço de energia primária: produzida, G – consumida, L (<i>generated – load</i>)	[kWh _{HEP} /a]
$g_{L,v}$	Fator solar do vidro, para uma incidência solar normal à superfície do vidro	-
g_{max}	Fator solar global máximo da zona climática	-
g_T	Fator solar do vão envidraçado com proteções solares totalmente ativadas	-
HR	Humidade relativa	[%]
$h_{tr,ext,v}$	Coefficiente de transferência de calor pela envolvente exterior (vertical)	[W/°C]
i	Fonte de energia, incluindo as de origem renovável	-
IC	Custo de investimento inicial para a medida ou conjunto de medidas	[EUR]
IEE_{ef}	Indicador de eficiência energética efetivo (obtido pelas faturas energéticas)	[kWh _{HEP} /m ² .a]
IEE_{NR}	Indicador de eficiência energética de consumos tipo NR	[kWh _{HEP} /m ² .a]
IEE_{nZEB}	Indicador de eficiência energética nZEB	[kWh _{HEP} /m ² .a]
$IEE_{nZEB\ min}$	Indicador de eficiência energética nZEB mínimo	[kWh _{HEP} /m ² .a]
IEE_{PCK}	Indicador de eficiência energética de conjunto de medidas (PCK)	[kWh _{HEP} /m ² .a]
IEE_R	Indicador de eficiência energética de consumos tipo R	[kWh _{HEP} /m ² .a]
$IEE_{R,base}$	Indicador de eficiência energética de consumos tipo R do cenário base	[kWh _{HEP} /m ² .a]
IEE_{REN}	Indicador de eficiência energética renovável	[kWh _{HEP} /m ² .a]
$IEE_{R,ref}$	Indicador de eficiência energética de consumos tipo R: edifício de referência	[kWh _{HEP} /m ² .a]

IEE_{sim}	Indicador de eficiência energética simulado (obtido em condições reais de operação)	[kWh _{EP} /m ² .a]
i_i	Taxa de inflação: utilizada para a variação do custo da manutenção	-
i_r	Custo de oportunidade do capital (taxa de juro real)	-
i_{re}	Custo de oportunidade do capital incluindo o efeito da variação do custo da energia	-
i_{rmi}	Custo de oportunidade do capital incluindo o efeito da variação do custo da manutenção	-
k	Sistema ou equipamento servindo o uso n	-
$LCC/LCC20$	Custo do ciclo de vida do edifício para um período de análise (n_a) de 20 anos	[EUR/m ²]
$LCC20_{Min}$	Custo do ciclo de vida mínimo para um período de análise (n_a) de 20 anos	[EUR/m ²]
M_a	Consumo diário de água quente sanitária (AQS)	[l/dia]
MC	Custo de manutenção determinado para o ano de início	[EUR]
M_{Si}	Massa superficial útil do elemento	[kg/m ²]
n	Utilizações de energia do tipo n	-
n_a	Número de anos a partir do período inicial	[anos]
$N_{ocup,max}$	Ocupação máxima no ponto de amostragem	-
N_{ocup}	Ocupação no ponto de amostragem	-
n_p	N.º de pontos observados	-
NR	Utilizações de energia do tipo não regulado	-
n_t	Número de dias do mês	[dias]
p	N.º de parâmetros do modelo	-
PCK	Pacote das medidas de otimização integradas	-
PMV	Voto médio Previsível (<i>Predicted Mean Vote</i>)	-
PPD	Percentagem previsível de gente insatisfeita (<i>Predicted Percentage of Dissatisfied</i>)	[%]
PRC	Período de recuperação do capital atualizado	[anos]
Q_a	Necessidades de energia para a preparação de AQS	[kWh/a]
$\dot{Q}_{cond}$	Potência térmica ou calorífica (calor libertado no condensador por unidade de tempo)	[kW]
$\dot{Q}_{evap}$	Potência térmica ou calorífica (calor trocado no evaporador por unidade de tempo)	[kW]
Q_n	Necessidades de energia para o uso n	[kWh/a]
R	Utilizações de energia do tipo regulado	-
R^2	Coeficiente de determinação	-
r	Fator de redução da massa superficial útil	-
$Red\ IEE_{nZEB}$	Redução IEE_{nZEB} face ao cenário base	[%]
R_{ph}	Taxa nominal horária de renovação do ar interior	[h ⁻¹]
SFP	Potência específica de ventilação	[kW/(m ³ /s)]
t	Período de tempo	[Mês]
T_{acm}	Temperatura de acumulação da água	[°C]
$\bar{T}_{amb}$	Temperatura média mensal	[°C]

T_{cf}	Temperatura interior de conforto	[°C]
T_{ch}	Temperatura de mudança (<i>temperature change-point</i>)	[°C]
T_{ida}	Temperatura do fluido térmico à saída do evaporador para utilização	[°C]
T_{mp}	Temperatura média ponderada	[°C]
T_o	Temperatura operativa de conforto	[°C]
$T_{red,t}$	Temperatura média mensal da água da rede	[°C]
$T_{s\ cond}$	Temperatura do fluido térmico à saída do condensador para utilização	[°C]
U	Coefficiente de transmissão térmica	[W/(m ² .°C)]
U_{max}	Coefficiente de transmissão térmica máximo	[W/(m ² .°C)]
U_{min}	Coefficiente de transmissão térmica mínimo	[W/(m ² .°C)]
U_{ref}	Coefficiente de transmissão térmica de referência da zona climática	[W/(m ² .°C)]
U_w	Coefficiente de transmissão térmica do conjunto do vão envidraçado	[W/(m ² .°C)]
VAL	Valor atual líquido	[EUR]
x_{ar}	Humidade absoluta	[g _{vapor} /kg _{ar}]
x_{PRC}	Número de anos de recuperação do capital	[anos]
$y_{n,k}$	Consumo de energia do equipamento/sistema k para o uso n	[kWh/a]

Símbolos em letra grega

Símbolo	Designação	Unidade
$\Delta\%$	Variação percentual	-
ΔEC	Fluxos financeiros periódicos constantes positivos: benefício	[EUR]
ΔMC	Sobrecusto associado aos procedimentos de manutenção	[EUR]
ε_t	Eficácia da temperatura	-
$\eta_{n,k}$	Eficiência do sistema k , servindo o uso n	-
λ	Condutibilidade térmica	[W/(m.°C)]
ρ	Massa volúmica aparente	[kg/m ³]
$\rho_{\text{água}}$	Massa volúmica da água	[kg/l]

1 Introdução

1.1 Enquadramento

A evidência científica e os inúmeros relatórios que atestam o estado fragilizado do nosso ecossistema, bem como as preocupações relativas ao custo e segurança do abastecimento energético, fazem com que se reconheça a importância e urgência da definição de políticas com objetivos claros e ambiciosos para a Energia e Clima. É de conhecimento global, que o progresso e o crescimento económico não ocorrem sem colocar graves problemas. A confrontação é inevitável quando se coloca a questão de saber se o crescimento contínuo do consumo da energia nos traz mais efeitos perversos do que benefícios, quer para a humanidade quer para o sistema ecológico. A problemática do consumo da energia ultrapassa o quadro puramente técnico, já que são colocadas em jogo questões fundamentais que dizem respeito quer à atualidade, quer ao futuro da nossa sociedade.

A energia desempenha um papel fundamental na economia e no seu desenvolvimento. Esta constatação indiscutível não justifica um crescimento indisciplinado, quer na procura, quer da oferta de energia. Problemas ambientais, sociais e económicos impedem claramente o procedimento segundo a via da inflação energética. Neste enquadramento, a eficiência energética, nas utilizações finais, é de significativa importância, apresentando-se como sendo a via mais eficaz tanto do ponto de vista técnico, como do ponto de vista económico, e permite responder à procura, mantendo o mesmo nível das prestações energéticas, com menos quantidade de energia final e primária.

Ao nível dos edifícios, os desafios que se colocam são cada vez maiores e mais exigentes. A revisão, em 2010, da diretiva Europeia relativa ao desempenho energético dos edifícios, definiu como metas que em 2019 os novos edifícios públicos, e que em 2021 todos os restantes novos edifícios, sejam edifícios de balanço energético quase nulo, nZEB (*nearly zero energy buildings*), ou seja, “edifícios com necessidades quase nulas de energia”, de acordo com a tradução adotada para Portugal da Diretiva 2010/31/EU (EPBD Recast, 2010). A definição de nZEB ou “quase” ZEB sintetiza dois eixos de atuação para se alcançar o objetivo: redução da “procura” da energia – eficiência energética – e produção de energia – oferta de energia –, de preferência local, com recurso a fontes renováveis. Contudo, o conceito nZEB tem diferentes estados de desenvolvimento e de ambição na Europa, sendo identificada como a maior dificuldade à harmonização das definições ao nível europeu o facto de não haver uma designação mais precisa da performance energética exigida na EPBD. Cabe aos Estados-Membros nos seus planos de ação conferir rigor à definição deste conceito, dentro do contexto e esforços nacionais. Em paralelo, diversos especialistas têm manifestado a necessidade de se reunirem esforços no sentido de ser possível estabelecer conceitos e metodologias comuns, para a construção de uma plataforma de base com a designação de balanço de energia nulo (Marszal et al., 2011; Sartori et al., 2012).

Mais recentemente, a revisão da diretiva para o desempenho energético dos edifícios, Diretiva (EU) 2018/844 (EPBD Revised, 2018) reforça que para alcançar um elevado desempenho energético e a descarbonização do parque imobiliário e, ainda, garantir que as estratégias de renovação a longo prazo realizem os progressos necessários à transformação do edificado existente em edifícios com necessidades quase nulas de energia (nZEB), tendo obviamente em consideração a inerente adequação às exigências e especificidades da reabilitação, devem-se estabelecer orientações claras, definir ações específicas e mensuráveis, procurando um equilíbrio eficiente em termos de custos entre descarbonizar o abastecimento energético e reduzir o consumo final de energia. Enquanto a primeira diretiva (EPBD, 2002) se focava principalmente em metodologias e edifícios novos (isto é, novas construções), as reformulações seguintes dedicam maior atenção aos edifícios existentes, não só quando estes são objeto de grandes intervenções de reabilitação, mas também quando os elementos do edifício e/ou dos seus sistemas técnicos são modernizados ou substituídos.

O setor dos edifícios da União Europeia é responsável por cerca de 40% do consumo final de energia e por 36 % das emissões de gases com efeito de estufa, as quais tenderão a duplicar até 2050, caso não se implementem políticas de baixo carbono. É evidente que, para reduzir o consumo de combustíveis fósseis e a produção de CO₂ no setor imobiliário, o desafio é reduzir as necessidades energéticas dos edifícios existentes. Uma parcela substancial do parque imobiliário na Europa tem mais de 50 anos, e com muitos edifícios centenários em operação. Para além de ser antigo e com necessidades significativas de reparação, foi construído antes das regulamentações atuais relativas à eficiência energética estarem em vigor, apresentando em geral um baixo desempenho térmico e energético. Neste contexto, os grandes edifícios de serviços, mais especificamente o edificado hoteleiro de 4 e 5 estrelas, são caracterizados pelo elevado “peso” da fatura energética, onde os sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC) e as restantes instalações técnicas, têm um grande impacto nos consumos energéticos, na qualidade do ambiente interior e na manutenção requerida nestes edifícios, representando uma oportunidade de aumento de desempenho económico e energético-ambiental, via combinações adequadas de medidas de reabilitação térmica e energética, que poderá resultar no aumento do valor imobiliário, resultado não só da redução dos custos de exploração e consequente aumento das receitas líquidas, mas também do aumento do conforto e bem-estar proporcionado aos seus ocupantes e, ainda, do aumento expectável das vendas (por exemplo, devido aumento do número de dormidas), pelo que o retorno do investimento facilmente ocorrerá, sob várias formas.

Há que ter presente que a hotelaria é um dos setores mais dinâmicos no segmento dos serviços e um dos que registou maior evolução e expansão nas últimas décadas. O turismo é a indústria mais importante a nível mundial, representando cerca de 10% do PIB mundial, 7% das exportações e contribuindo com 9,5% do emprego (efeito direto e indireto). Estima-se que o turismo empregue, em todo o mundo, um em onze trabalhadores (UNWTO, 2016; WTTC, 2016). Em Portugal é responsável por cerca de 6,9% do PIB (Produto Interno Bruto) e 6,0% de emprego direto, enquanto a nível Europeu representa aproximadamente 3,5% e 3,6%, respetivamente (INE, 2015; UNWTO, 2016). A procura de alojamento nacional tem aumentado de forma acentuada nos anos mais recentes, bem como o número de unidades de alojamento. Os hotéis de 4 e 5 estrelas são responsáveis por cerca de 68% das dormidas (INE, 2015), evidenciando a importância que estas unidades e o seu desempenho representam na promoção do turismo nacional e na satisfação dos turistas.

Relativamente ao consumo de energia e água em hotéis, fatores como o desafio que representa o aumento da competitividade, a importância da redução de custos e o agravamento da

questão das alterações climáticas, combinam-se para criar condições favoráveis à otimização de recursos – energia e água –, assim como à introdução de tecnologias utilizadoras de energias renováveis. A importância da utilização eficiente e inteligente de recursos é ainda reforçada pelo facto de que a seguir aos encargos com o pessoal, os custos associados ao consumo de energia e água se encontram entre os maiores nos custos de exploração das unidades hoteleiras.

O plano de reabilitação energética, que normalmente se segue a uma auditoria técnica – nomeadamente a caracterização do estado atual do desempenho energético-ambiental do edifício –, resulta do estudo aprimorado sobre a identificação e avaliação das oportunidades (singulares e integradas) de melhoria mais adequadas para o hotel em consideração. Contudo, a reabilitação de edifícios é uma intervenção que exige conhecimentos técnicos seguros e práticas apropriadas, não só para os projetos de dimensão relevante, como os grandes edifícios de serviços – onde se inserem (normalmente) as unidades hoteleiras de 4 e 5 estrelas –, mas também para os pequenos edifícios e habitações.

Concluindo, ao reabilitar edifícios, os vários intervenientes no processo de reconversão, beneficiação ou recuperação, não poderão deixar de avaliar e melhorar o seu desempenho energético, sejam eles edifícios correntes, sejam eles edifícios históricos, e em todos havendo que respeitar integralmente o seu valor e legado cultural. A essência da eficiência energética e, paralelamente, da eficiência económica, reside no diálogo e na interação de todos os intervenientes no processo da reabilitação. Apenas com uma integração consciente e multidisciplinar das várias especialidades que intervêm nas fases do planeamento, projeto, construção e exploração do edificado, será possível desenhar soluções passivas (arquitetura, soluções construtivas), ativas (AVAC e restantes sistemas técnicos) e combinar tecnologias de produção energética renovável (preferencialmente locais), de uma forma eficiente e competitiva, de modo a cumprir progressivamente os requisitos de edifícios com necessidades quase nulas de energia, minimizando as suas necessidades energéticas. Para tal, é fundamental a utilização de ferramentas de simulação dinâmica, de forma a otimizar e prever corretamente o desempenho energético do edifício durante o seu período de vida. Adicionalmente, dados reais obtidos por monitorização contínua podem fornecer uma imagem clara do desempenho real do edifício e, assim, auxiliar os responsáveis dos edifícios a estabelecerem metas para o seu desempenho. Ou seja, todos os intervenientes, engenheiros, arquitetos e decisores, não poderão ter uma visão unicamente centrada na resolução de problemas técnicos e económicos, mas deverão antes ter uma atitude abrangente, promovendo a cultura da sustentabilidade nas suas múltiplas dimensões, como sejam: técnica, económica, social e ambiental.

Dentro deste contexto, este trabalho tem como objetivo central a quantificação de indicadores de desempenho energético nZEB do edificado hoteleiro existente, em particular de 4 e 5 estrelas, em processo de reabilitação, que podem ser enquadrados na definição nacional, tendo em consideração os benefícios energéticos e económicos. Assim, será caracterizado o desempenho energético-ambiental atual de uma unidade hoteleira de 4 estrelas, localizada em Faro, via auditoria energética e respetiva simulação energética calibrada em função dos consumos e condições reais de funcionamento.

O trabalho exposto nesta Tese pretende, numa primeira etapa, ilustrar o estado global do setor energético e analisar a utilização da energia no parque edificado, em especial o desempenho atual do setor hoteleiro. Numa segunda etapa, tem como principal objetivo o levantamento bibliográfico do estado do conhecimento atual sobre os edifícios de balanço de energia (quase) nulo e identificar os parâmetros chave relacionados com o tema. Numa terceira etapa,

o foco centra-se na promoção da eficiência energética com particular incidência no clima mediterrânico, através da identificação de estratégias passivas, tecnologias e soluções ativas otimizadas, e integração de sistemas energéticos renováveis nos edifícios, que em conjunto permitem obter ou aproximar de zero, o balanço energético dos edifícios. Em complemento, analisa-se o interesse económico dos nZEB, o nível ótimo de rentabilidade e as mais-valias destes edifícios num quadro global. Finalmente, materializa-se o estudo aprofundado do desafio nZEB na reabilitação, através do estabelecimento de uma metodologia para o balanço energético próximo de nulo (nZEB), em termos de indicadores numéricos de energia primária, para o parque hoteleiro existente, com especial enfoque no setor de 4 e 5 estrelas, em contexto de reabilitação – beneficiação ou recuperação –, tendo em consideração a viabilidade económica das soluções preconizadas.

1.2 Objetivos e estratégias

Pretende-se que esta Tese se constitua como contributo para a definição e materialização dos nZEB a nível nacional – na forma de indicadores de desempenho energético –, do parque hoteleiro existente, em particular de 4 e 5 estrelas, em contexto de reabilitação – e compatíveis com a realidade existente –, evidenciando sempre a vertente económica relacionada com as opções e soluções selecionadas (singulares e integradas) – nível ótimo de rentabilidade versus indicadores nZEB obtidos. Par tal, assumem-se dois grandes objetivos centrais:

- Caracterizar o desempenho em serviço de uma unidade hoteleira de 4 estrelas: efetuar o estudo exaustivo da situação atual do hotel e respetiva instalação técnica (fontes energéticas e uso da mesma), assim como avaliar a satisfação das condições de conforto (térmico, visual e qualidade do ar interior);
- A partir do desempenho real do cenário base, implementar um conjunto de soluções integradas de eficiência energética e sistemas de captação de energia solar, com recurso a simulação dinâmica, de acordo com metodologia definida neste trabalho, que devolve os indicadores de eficiência energética (*IEE*), por forma a ser possível a sua comparação com o cenário inicial de desempenho energético do hotel, antes da implementação da combinação de medidas de diferentes tipos em simultâneo, pelo lado da procura e da oferta de energia, permitindo quantificar progressivamente os níveis nZEB alcançados em contexto de reabilitação – com realismo –, tendo em consideração o desempenho técnico e económico das variantes estudadas.

Para atingir os dois objetivos centrais definiu-se um conjunto de tarefas e objetivos parciais, que a seguir se sintetizam, a saber:

- Compilação da informação mais atual sobre o edificado hoteleiro internacional e nacional, através da investigação de consumos típicos, tendo como objetivo situar o desempenho energético do edifício relativamente a edifícios semelhantes;
- Quantificação dos fluxos de energia utilizados no hotel (eletricidade, gás natural ou outros combustíveis);
- Caracterização dos sistemas existentes para a conversão destas formas de energia em energia final, o seu estado de conservação, rendimentos de conversão e avaliação da satisfação das condições de desempenho pretendidas (conforto térmico, renovação do ar, iluminação, águas quentes, entre outros);
- Campanha de medições das principais grandezas e sistemas energéticos existentes, durante período de tempo representativo do funcionamento normal do edifício, de

forma a quantificar a estrutura dos consumos energéticos respetivos e nível de conforto;

- Determinação dos consumos e custos específicos (energia e água), interpretação dos resultados e comparação com as referências (*benchmarking*);
- Obtenção e avaliação dos consumos energéticos das principais utilizações finais do hotel, com o auxílio de simulação energética calibrada em função dos consumos reais, tendo em conta os perfis reais de utilização. A partir dos resultados, determinação do desempenho energético específico simulado (IEE_{sim});
- Definição do indicador de eficiência energética – IEE_{nZEB} –, que pode funcionar como um instrumento de medida no cumprimento do compromisso da definição nZEB, tendo como ponto de partida o desempenho energético regulado (R) do cenário base do edifício (hotel) em avaliação;
- Implementação de combinações adequadas de medidas de economia de energia. Numa primeira fase, os estudos têm incidência na redução do consumo – eficiência energética –, privilegiando a redução das necessidades energéticas por intervenção na envolvente térmica, otimização do sistema de iluminação e, especial destaque, à eficiência energética a montante dos sistemas de geração de energia térmica e aos parâmetros de funcionamento do sistema de AVAC. Posteriormente, segue-se a introdução dos equipamentos térmicos de elevada eficiência;
- Incentivo à eficiência energética, pela imposição de um requisito mínimo associado ao consumo anual de energia final regulada, se tal for exequível do ponto de vista técnico, funcional e economicamente viável;
- Atuação pelo lado da produção de energia (oferta de energia). Na segunda fase, promove-se a utilização de energias renováveis na estrutura de consumos do hotel, bem como avalia-se o seu efeito no indicador numérico de energia primária, através da conjugação de estratégias dos dois eixos de ação: redução do consumo de energia e captação de energia ativa renovável, de modo a alcançar um compromisso para a proximidade do balanço nulo – quantificação de níveis nZEB para o setor hoteleiro;
- Definição de requisito mínimo associado ao indicador de eficiência energética regulado, independente do eventual constrangimento da penetração e/ou produção de energia via fontes de origem renovável, se tal for exequível do ponto de vista técnico, funcional e economicamente viável. A par da imposição anterior, estas condições servem de estímulo à transição do edificado existente para nZEB, aquando processo de reabilitação;
- Balanço de energia primária: método oferta de energia vs. procura de energia. Identificação progressiva da redução percentual de energia primária obtida de cada medida isolada ou integrada;
- Impacto da alteração climática no desempenho energético da unidade hoteleira, no cenário base e nas análises paramétricas mais influentes, usando para o efeito dados climáticos de duas localizações geográficas distintas (Mediterrâneo – Atenas – e Europa Central e Ocidental – Londres);
- A partir dos resultados das parametrizações estudadas, análise técnico-económica às soluções de reabilitação. Será efetuada uma análise de custos de ciclo de vida como forma de avaliar o custo e o benefício de cada solução ou conjunto de soluções. Paralelamente, analisa-se a lacuna financeira entre os níveis nZEB e os níveis de custo-ótimo;

- Avaliação da viabilidade económica das soluções a implementar pela perspectiva dos critérios clássicos: Valor Atual Líquido (VAL) e Período de Recuperação do Capital (PRC).

1.3 Organização e estrutura do texto

A apresentação e o desenvolvimento dos diversos temas abrangidos pela presente dissertação encontram-se organizados em sete Capítulos, que a seguir se discriminam:

- O Capítulo 1 enquadra o trabalho desenvolvido, apresenta os seus objetivos e a estratégia utilizada para os alcançar e resume os restantes capítulos;
- O Capítulo 2 é dedicado ao estado global do setor energético, através do panorama Mundial, Europeu e Nacional. Identificação e quantificação do consumo de energia primária e energia final por vetor energético e por setor de atividade;
- O Capítulo 3 descreve a relação da energia com o setor dos edifícios residenciais e não residenciais, através da caracterização do parque edificado Europeu e da análise da utilização da energia no edificado;
- O Capítulo 4 centra-se na descrição geral do estado atual do setor hoteleiro, assim como da sua relação com a utilização da energia. O crescimento contínuo deste setor é sem dúvida um dos principais motores da economia global, mas devido às exigências de qualidade e à diversidade de serviços prestados são edifícios com elevada intensidade energética e hídrica, em participar as unidades de 4 e 5 estrelas; Caracteriza-se a estrutura de consumos finais das unidades hoteleiras, evidenciando-se o peso das diversas utilizações finais de energia; A par disso, identifica-se a relação direta do consumo energético com as taxas de ocupação e o clima; Reforça-se a necessidade de implementação dos planos de gestão de recursos para aumentar o desempenho energético-ambiental e económico destas unidades; Apontam-se indicadores de desempenho de energia e água (no plano nacional e internacional); Finalmente, no plano nacional, observam-se as principais oportunidades de melhoria identificadas para implementação em empreendimentos hoteleiros;
- O Capítulo 5 apresenta a revisão ao estado da arte do conceito do balanço de energia nulo. Aborda-se a sua definição a nível europeu, os princípios base da sua conceção e os principais parâmetros em torno dos edifícios de balanço de energia zero: o que são edifícios de balanço energético nulo ou “quase” nulo; como são estabelecidas as suas fronteiras; a equivalência métrica de cada vetor energético; as utilizações de energia a considerar na avaliação daquele balanço; as formas de contabilização da energia proveniente de fontes renováveis; e o impacto da escala temporal na avaliação do desempenho energético e, ainda, a sua relação com as redes de energia; Também se investe neste capítulo, na explicação do percurso para atingir o balanço energético nulo, especificamente na necessidade de mudança de paradigma, que assenta no uso eficiente pelo lado da procura, na correta utilização das energias renováveis e integração global de todos os sistemas técnicos. A par disso, evidenciam-se os principais resultados do projeto europeu sobre unidades hoteleiras (*nearly Zero Energy Hotels*): a relação dos hotéis a edificar e em processo de reabilitação, com a oportunidade de intervir para garantir um compromisso nZEB ajustado aos contextos nacionais dos países Europeus envolvidos no projeto. Complementarmente, abordam-se os eixos de ação que permitem aproximar de zero o balanço de energia nos hotéis, bem como a forte relação existente entre as zonas climáticas da Europa e a viabilidade técnica-económica das várias soluções existentes. Finalmente, descrevem-se as bases

fundamentais da sua conceção para o sul da Europa, a viabilidade económica dos nZEB, assim como os benefícios e co-benefícios associados.

- O Capítulo 6 é o corolário dos temas expostos nos capítulos precedentes, sendo apresentado o caso de estudo selecionado e os aspetos metodológicos utilizados nas diferentes etapas necessárias a determinar/quantificar os indicadores de desempenho energético, por simulação dinâmica (calibrada em função dos consumos e condições reais de funcionamento), nomeadamente o desempenho do cenário base (hotel) e das soluções (singulares e combinadas) de reabilitação preconizadas. Refira-se também, que o procedimento utilizado na quantificação do indicador de eficiência energética – IEE_{nZEB} – do edificado hoteleiro existente em contexto de reabilitação, pode ser acomodado na definição nacional, tendo em consideração os aspetos técnicos, económicos e especificidades da reabilitação; Assim, caracteriza-se o Desempenho Energético-Ambiental de uma unidade hoteleira de 4 estrelas (zona climática de Faro) e procede-se à avaliação do impacto da implementação das medidas de melhoria devidamente estruturadas, suportada nos valores reais obtidos dos consumos energéticos, resultantes da calibração do modelo de simulação, utilizados para efeitos da determinação do desempenho energético real do imóvel. De seguida, avalia-se a influência climática no desempenho energético do hotel, bem como nas medidas combinadas dominantes. Por fim, descreve-se a metodologia utilizada na identificação do benefício económico das soluções a implementar, traduzidos nomeadamente na análise de custos de ciclo de vida (custo-ótimo), período de recuperação de capital e valor atual líquido.
- O Capítulo 7 resume as principais conclusões desta Tese e perspetiva o desenvolvimento de trabalhos futuros neste domínio de investigação.

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente:
avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

2 O Setor Energético

2.1 O panorama energético no Mundo

O desenvolvimento do mundo esteve sempre associado à energia, ou antes, à transformação da energia primária e fontes secundárias. A descoberta do fogo foi um passo importante da evolução da Humanidade que está obviamente interligado à energia.

Depois do choque petrolífero de 1973, com a primeira crise do petróleo devido à quarta guerra Israelo-Árabe, desenvolveram-se conjunturas económicas caracterizadas pela existência de elevadas taxas de inflação e de juro, que contribuíram para criar um ambiente económico mais fragilizado. O consumo de diversas formas de energia começou a apresentar comportamentos mais erráticos. Em muitos Países, houve necessidade de desenvolver campanhas de sensibilização da opinião pública para as vantagens e a urgente necessidade de se adaptarem medidas de diversificação e de redução de consumos de energia, e foram desenvolvidos diversos documentos legislativos destinados a incentivar a utilização de recursos renováveis.

A sociedade em que vivemos tornou-se consumidora intensiva de energia, e atualmente enfrenta dois desafios relacionados entre si: o iminente esgotar dos recursos de combustíveis fósseis, agravado pelo constante crescimento da procura de energia, e as preocupações ambientais com a emissão de CO₂, relacionadas com a queima de combustíveis fósseis associada à utilização de energia. A estes factos acrescem razões económicas e os riscos de dependência geoestratégica de produtores de petróleo e gás natural em regiões instáveis, que transformaram a diversificação, preferencialmente com fontes não poluentes, e a segurança no abastecimento energético, em temas centrais da nossa atualidade. Pode afirmar-se que a manutenção dos padrões de vida da sociedade moderna depende da capacidade de se construírem sistemas energéticos ambientalmente sustentáveis.

Nas últimas décadas tem-se assistido a um aumento do consumo energético a nível mundial.

Em 1973 o consumo de energia primária¹ foi de 6 106 Mtep², tendo mais que duplicado em 2012 com um consumo de 13 371 Mtep (KWE Statistics, 2014). Excetuando os períodos subsequentes aos choques petrolíferos em 1973 e em 1979, em que houve um decréscimo do consumo, o aumento foi uma constante. A maior fatia corresponde ao conjunto dos países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE), que representa

¹ Energia primária, a energia de fontes renováveis e não renováveis que não foi submetida a um processo de conversão ou transformação.

² 1 tep (tonelada equivalente de petróleo) = 41,9 GJ (note-se que quando está em causa a eletricidade, o fator de conversão do kWh_{elétrico} para a tep de energia primária terá de ter em atenção o mix de energia primária necessária para a produção do referido kWh_{elétrico}).

39,2% da energia primária consumida no mundo em 2012, apesar do peso do seu consumo energético ter vindo a diminuir de forma expressiva, com 61,3% em 1973 (KWE Statistics, 2014).

Na figura 1, apresenta-se a desagregação dos diversos vetores energéticos da oferta da energia em 2012, mostrando que 81,7% da energia consumida pela Humanidade foi proveniente de combustíveis fósseis: carvão, petróleo e gás natural. O fornecimento de energia primária foi complementado por 4,8% de energia nuclear e 13,5% de energia proveniente de fontes renováveis³ (KWE Statistics, 2014).

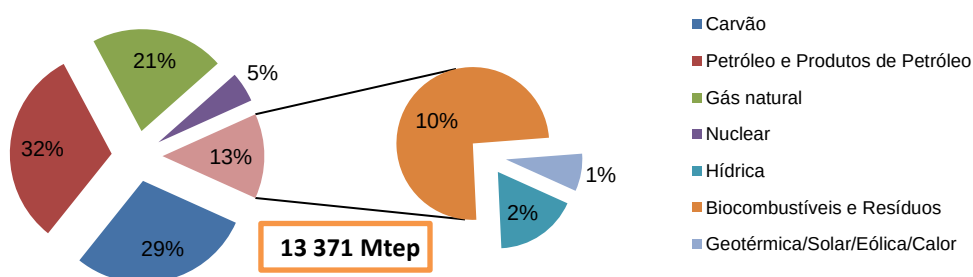


Figura 1 – Consumo total de energia primária no Mundo (global, 2012) (dados da referência: KWE Statistics, 2014)

De ressaltar, em coerência com o que se deixa acima, a excessiva dependência de fontes não renováveis.

O efeito dramático da recente crise financeira no século XXI, originou uma queda na procura de petróleo pelos países importadores. No entanto, a entrada em cena na economia Mundial das potências Asiáticas, em particular a China, cujas necessidades de energia apresentam um contínuo crescimento, veio provocar um novo choque pelo lado da procura no mercado petrolífero mundial. O consumo energético da China correspondeu a 21,8% da energia primária em 2012, enquanto em 1971 correspondia a apenas 7%, tal como demonstra a Figura 2. De salientar ainda que o consumo mundial de energia primária deverá evoluir a duas velocidades: estagnação na OCDE e forte crescimento na não-OCDE.

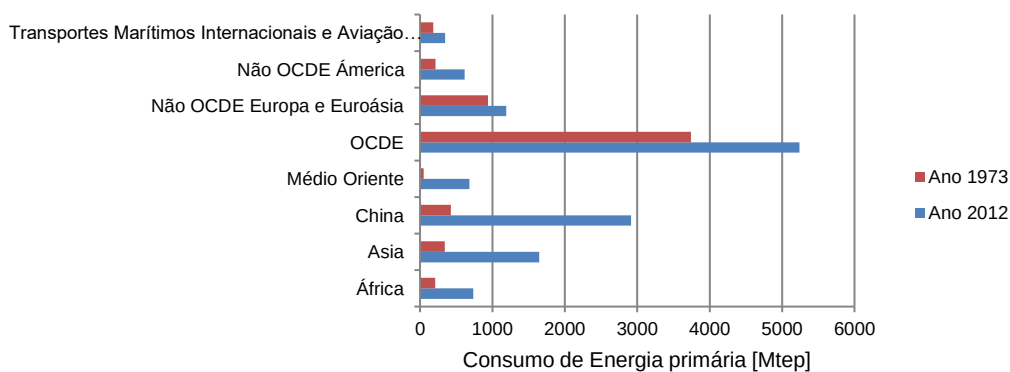


Figura 2 – Consumo total de energia primária por região (global, 1973 e 2012) (dados da referência: KWE Statistics, 2014)

³ Energias renováveis, a energia de fontes não fósseis renováveis, designadamente eólica, solar, aerotérmica, geotérmica, hidrotérmica e oceânica, hídrica, de biomassa e de biogás.

A dependência energética e a exaustão dos recursos fósseis, sobretudo de petróleo, obriga os países produtores a investirem na inovação tecnológica para uma procura eficiente de novas formas de extração, provocando o aumento do seu preço de comercialização para suportarem os elevados custos de produção do crude, associados a sondagens e extrações, que não se poderiam realizar se o produto tivesse baixos valores de mercado.

Na perspetiva da energia final, isto é, aquela que se disponibiliza ao mercado, ou utilizador, sob forma de eletricidade ou combustíveis (sólidos, líquidos ou gasosos) ou já sob forma de calor, o cenário caracterizado pelas diversas formas de energia é dominado pelo petróleo e seus derivados, representando 41% do consumo final, seguido do peso da eletricidade com 18%, tal como mostra a figura 3 (KWE Statistics, 2014). Interessante notar que o consumo de energia final em 1973 era igual a 52% do consumo global de 2012.

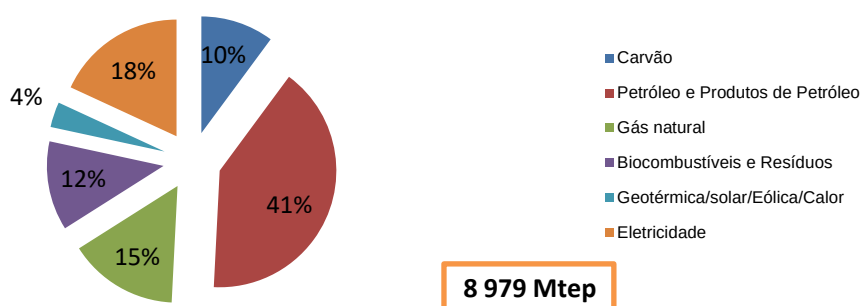


Figura 3 – Consumo total de energia final no Mundo, por forma de energia (global, 2012) (dados da referência: KWE Statistics, 2014)

Por sua vez, numa economia de mercado, à oferta corresponde sempre uma procura, sendo que esta é representada pela energia para a satisfação das funções sociais mais diversas, desde a mobilidade ao conforto e bem-estar e à produção de bens e serviços.

A figura 4 demonstra a distribuição do consumo de energia final (2012), por setor de atividade, e como se pode verificar a maior parcela, com cerca de 31%, destinou-se ao setor dos edifícios, seguido dos setores da indústria e transportes com pesos percentuais próximos, na ordem dos 28%.

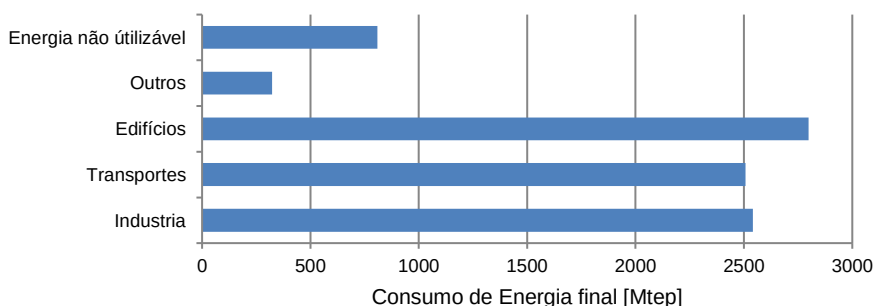


Figura 4 – Consumo total de energia final no Mundo, por setor (global, 2012) (dados da referência: KWE Statistics, 2014)

Ainda no que respeita aos edifícios, importa destacar o subsector residencial como sendo um dos maiores consumidores de energia final, tendo sido responsável por 23% do consumo global em 2012 e representando 74% do consumo deste setor (2 799 Mtep), com o restante absorvido pelos edifícios de serviços (KWE Statistics, 2014). Segundo a Agência Internacional de Energia (AIE), o consumo energético nos edifícios será de 4 407 Mtep em 2050, com o setor residencial responsável por 59% do consumo e o de serviços por 41% (ETP, 2010).

Face a este quadro, torna-se necessário aumentar o compromisso da dinamização da gestão racional da procura energética, através da promoção do aumento da eficiência energética e aumento da integração das fontes renováveis nos edifícios, reduzindo as emissões de CO₂ e garantindo o bem-estar aos cidadãos. Este desígnio da sustentabilidade ambiental, mas também económica e social, consegue-se com enormes investimentos que estão a ser disponibilizados em todo o mundo.

Este cenário exige que o setor dos edifícios adote novas práticas e técnicas na construção, e que se disponibilizem instrumentos financeiros para apostar nas novas tecnologias. Obriga também à partilha e transferência do conhecimento – nomeadamente, tecnologias de ponta a aplicar na edificação nova e a reabilitar –, assim como uma melhor e maior articulação entre os decisores, investidores, promotores, construtores, instaladores e os consumidores. Refira-se que a AIE, no seu documento de cenários e estratégias para 2050, estimou um potencial de poupança energética de 1 509 Mtep, distribuídos 63% para o setor residencial e 37% para o setor dos serviços.

2.2 O panorama energético na Europa

Seguindo a mesma linha de orientação, na figura 5 quantifica-se o consumo de energia primária, por forma de energia, da União Europeia (UE), que no ano de 2012 representava cerca de 12,3% do consumo global dessa energia. Verifica-se que 73,8% da energia consumida foi proveniente de combustíveis fósseis: carvão, petróleo e gás natural. O fornecimento de energia primária foi complementado por 14% de energia nuclear e 12,2% de energia proveniente de fontes renováveis.

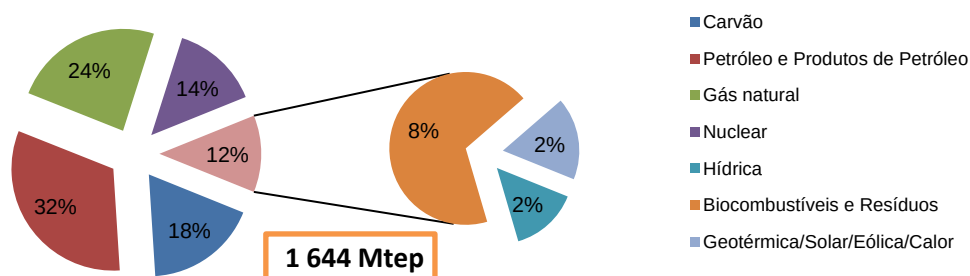


Figura 5 – Consumo total de energia primária em 2012 na UE - 28 (dados da referência: KWE Statistics, 2014)

A forte predominância dos combustíveis fósseis existentes na Europa contrasta com as primeiras decisões alcançadas no quadro de ação da UE relativo ao Clima e à Energia para 2030. Normalmente, a UE é bastante empenhada no combate às alterações climáticas, na segurança e na redução da dependência energética, mas a meta inicialmente definida para o

aumento da eficiência energética em 2030 ficou-se por apenas 27%. Recorde-se que a proposta inicial se centrava em quatro metas principais: 40% de redução das emissões de gases com efeito de estufa relativamente aos níveis de 1990; 30% de aumento da eficiência energética; 27% de aumento da penetração das energias renováveis no consumo final bruto de energia e 15% de interligações elétricas. Entretanto, o Acordo de Paris de 2015 sobre as alterações climáticas obrigou (recentemente) a União Europeia (UE) a rever a quota de energia proveniente de fontes renováveis para 2030 (32%), e a aumentar o objetivo de eficiência energética (32,5%).

A pressão dos países mais ativos no setor da energia e ambiente parece insuficiente para travar o pessimismo da maioria, que hoje se ampara numa situação economicamente desfavorável e que não elege a eficiência energética como setor prioritário. No entanto, esta não é a única explicação para a fraca promoção da dupla eficiência energética/renováveis que continuam a travar o crescimento sustentável. Acresce o ceticismo e não envolvimento de alguns países que ainda têm no nuclear, petróleo e carvão as suas atenções.

Na perspetiva da energia final, a estrutura de consumos pelas diversas formas de energia é dominada pelo petróleo e seus derivados, representando 41% do consumo final, seguido do peso do gás natural com 23%, da eletricidade com 21%, das fontes renováveis que se expressam com 12%, e o carvão com apenas 3%, tal como mostra a figura 6 (KWE Statistics, 2014).

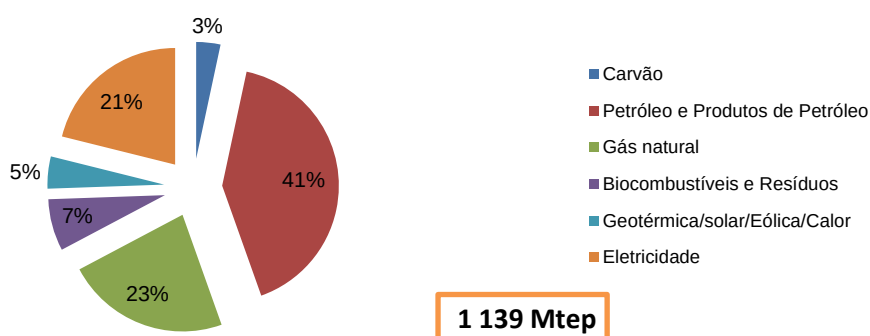


Figura 6 – Consumo total de energia final em 2012 na UE - 28 (dados da referência: KWE Statistics, 2014)

Na perspetiva da procura, a Europa é claramente dominada pelos edifícios, com 38% do consumo final, seguido dos transportes (27%) e indústria (23%), tal como se demonstra na figura 7 (KWE Statistics, 2014). Refira-se que o setor residencial absorve 66% da parcela afeta aos edifícios (438 Mtep).

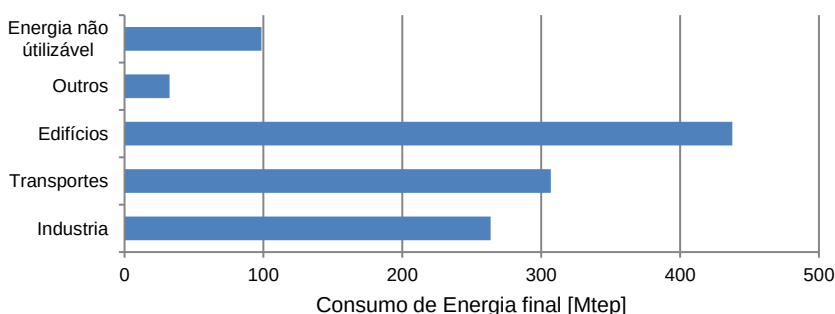


Figura 7 – Consumo total de energia final em 2012 na UE - 28, por setor (dados da referência: KWE Statistics, 2014)

Mais de 70% da população da Europa vive nas cidades, e é nos centros urbanos que se encontra a maior parte da atividade económica e onde se gastam mais recursos. A Europa tem uma economia que assenta fortemente nos recursos não renováveis. Nesse sentido e no âmbito da sua estratégia de crescimento sustentado e inclusivo, tem vindo a desenvolver várias iniciativas para combate às alterações climáticas; recorde-se, por exemplo, a meta da UE para 2020 que estabelece a redução de 20% do consumo final de energia através da eficiência energética, incorporação de 20% de energias renováveis no consumo final de energia e redução das emissões de gases com efeito de estufa em 20%. De acordo com o relatório “*Energy Road Map 2050*”, o aumento da eficiência energética em edifícios novos e existentes é fundamental para a transformação do sistema energético Europeu. O desempenho energético nos edifícios é um dos eixos prioritários da UE, disponibilizando para o efeito instrumentos financeiros no âmbito de fundos comunitários, obrigando os Estados-Membros a investir no setor como fator de desenvolvimento, em particular na reabilitação urbana, que é atualmente a preocupação da Europa em termos de eficiência energética. Atualmente a prioridade da União Europeia para a Energia e Clima – União Energética, assenta em cinco dimensões centrais intimamente interligadas. São elas: a segurança do abastecimento energético; criação de um mercado interno da energia totalmente integrado; descarbonização da economia; redução da procura energética pela promoção da eficiência energética; e por último, promoção da investigação, inovação e competitividade, pois o sucesso das restantes está fortemente dependente deste pilar.

Em consonância com o seu compromisso de apresentar um relatório sobre o estado da União da Energia⁴, no início de 2017 a Comissão Europeia revelou no seu segundo relatório (primeira publicação sobre o estado da União da energia em novembro de 2015), que a concretização dos objetivos para 2020 em matéria de Energia e Clima, definidos em 2007, está bem encaminhada. No que se refere à eficiência energética, os números mostram que, em 2014, se registava já uma redução do consumo de energia primária na Europa, que estava apenas 1,6% acima do estipulado para 2020. No que toca às emissões de gases com efeito de estufa, em 2015 as quantidades emitidas cifraram-se 22% abaixo do nível registado em 1990. Por último, e tendo em consideração os dados de 2014, a meta para as renováveis está muito próxima de ser atingida, com uma taxa de penetração de 16% do consumo final bruto de energia da UE (EC, 2017).

2.3 O panorama energético em Portugal

Tendo como referência o ano de 2005, durante o qual se verificou um consumo de energia primária de 27 087 ktep, constata-se que esse valor tem vindo a decrescer ao longo dos últimos anos, verificando-se em 2013 uma redução de aproximadamente 20% face a 2005, representando um consumo de 21704 ktep, como se pode observar na figura 8 (DGEG, 2015).

⁴ O Documento analisa o estado de implementação das medidas estratégicas aprovadas em 2015 aquando do lançamento deste eixo prioritário com vista à criação de uma verdadeira união Energética Europeia.

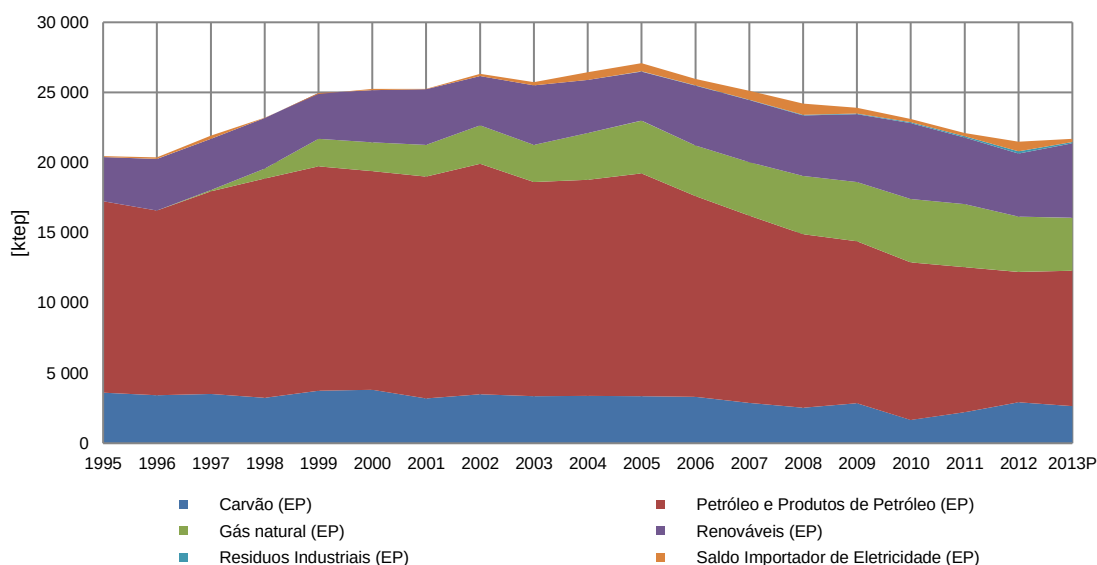


Figura 8 – Evolução do consumo total de energia primária em Portugal, por fonte (dados da referência: DGEG, 2015)

O consumo energético em Portugal tem sofrido alterações. Os vetores energéticos como o petróleo e o carvão têm diminuído o seu peso, em contraponto às fontes renováveis e ao gás natural. Em 2013, o petróleo e os seus derivados representaram 44,4% do consumo de energia primária e as renováveis 24,5%, repartindo-se o restante consumo pelo gás natural (17,4%), pelo carvão (12,2%), pelo saldo importador de eletricidade (1,1%) (DGEG, 2015) e resíduos industriais com apenas 0,4% e, portanto, sem expressão na figura 8.

No que respeita ao consumo de energia final, tendo por base o ano de 2005, durante o qual se registou o maior consumo de energia final de Portugal com 19 579 ktep, constata-se mais uma vez, que esse valor tem vindo a decrescer ao longo dos últimos anos, verificando-se, em 2013, uma redução de aproximadamente 23% face a 2005, apresentando um consumo de 15 167 ktep.

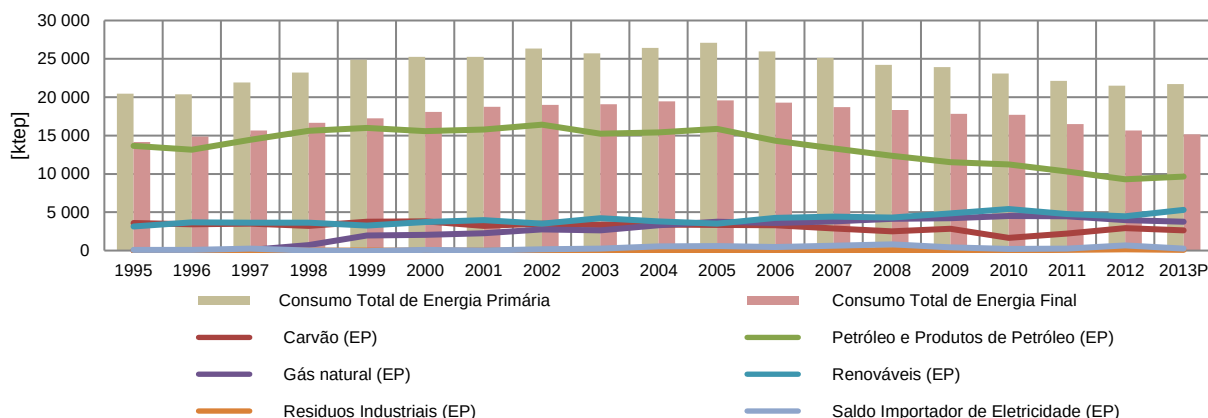


Figura 9 – Evolução do consumo de energia primária e final em Portugal (dados da referência: DGEG, 2015)

A estrutura de consumo final de energia encontra-se assente no petróleo e produtos petrolíferos, que são dominantes no consumo português, com uma quota de 48% em 2013. No entanto, esta quota tem decrescido desde meados dos anos noventa. A eletricidade representa cerca de 25,6%, seguido do gás natural que representa cerca de 10%, repartindo-se o restante consumo pelo calor (9%), pelas renováveis (6,7%) e outros (0,6%) (DGEG, 2015).

Por sua vez, do lado da procura, a figura 10 demonstra a evolução do consumo de energia final no período compreendido entre 1995 e 2013, onde se observa a predominância dos transportes, que a partir de 1999 se destacaram face ao setor da indústria. Segundo a Direção Geral de Energia e Geologia (DGGE, 2015), o peso dos transportes em 2013 representou 35,9%, a indústria 31,5%, o setor dos edifícios (serviços e residencial) 29,7%, e a agricultura e pescas apenas 2,9% do consumo energético nacional.

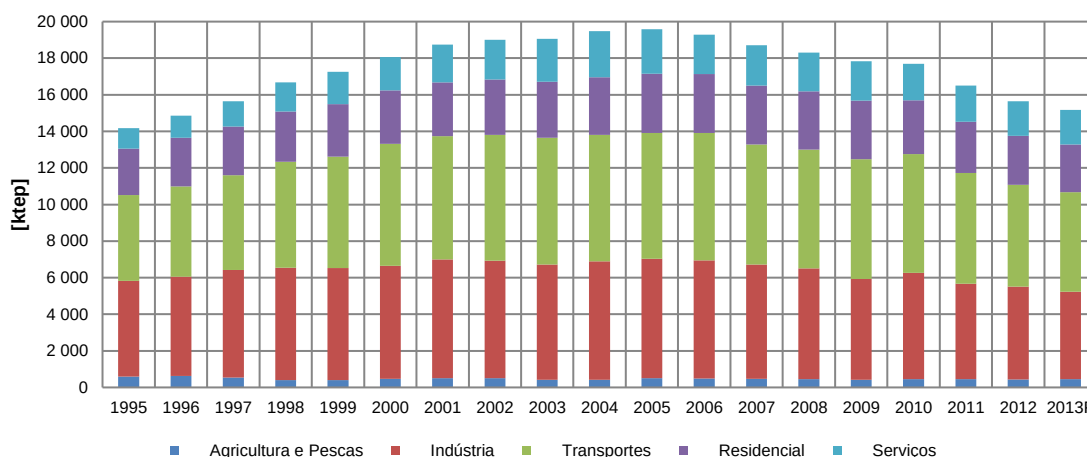


Figura 10 – Evolução do consumo de energia final em Portugal, por setor (dados da referência: DGEG, 2015)

A desaceleração do consumo de energia não deixa de estar associada à adversa conjuntura económica nacional e internacional. Por outro lado, esta tendência decrescente dos últimos anos, é também resultado da aposta na eficiência energética e aumento da produção doméstica de energia. A redução do consumo de energia, associada à incorporação das renováveis e a melhoria da eficiência energética, têm contribuído significativamente para a redução da dependência energética que, ainda assim, continua extremamente elevada. Comparando essa dependência entre os países da UE-28, verificou-se que em 2015 Portugal foi o 7º país com a maior dependência energética de toda a Europa, sendo produzida dentro das suas fronteiras apenas 22% da energia total que o país consome, sendo a restante parcela importada. No entanto, a segurança de abastecimento na UE também é vulnerável, resultado da excessiva dependência energética devido a um nível de importações muito elevado. Em 2015, cerca de 54% das suas necessidades energéticas tiveram origem em importações (Figura 11a). No caso nacional, a dependência energética situou-se em 78% em 2015, representando um aumento de 5,9 p.p. relativamente a 2014, e uma redução de 10,5 p.p. face a 2005, ano em que se verificou a dependência mais elevada dos últimos anos, tal como demonstra a Figura 11b (DGEG, 2017; Eurostat, 2017a).

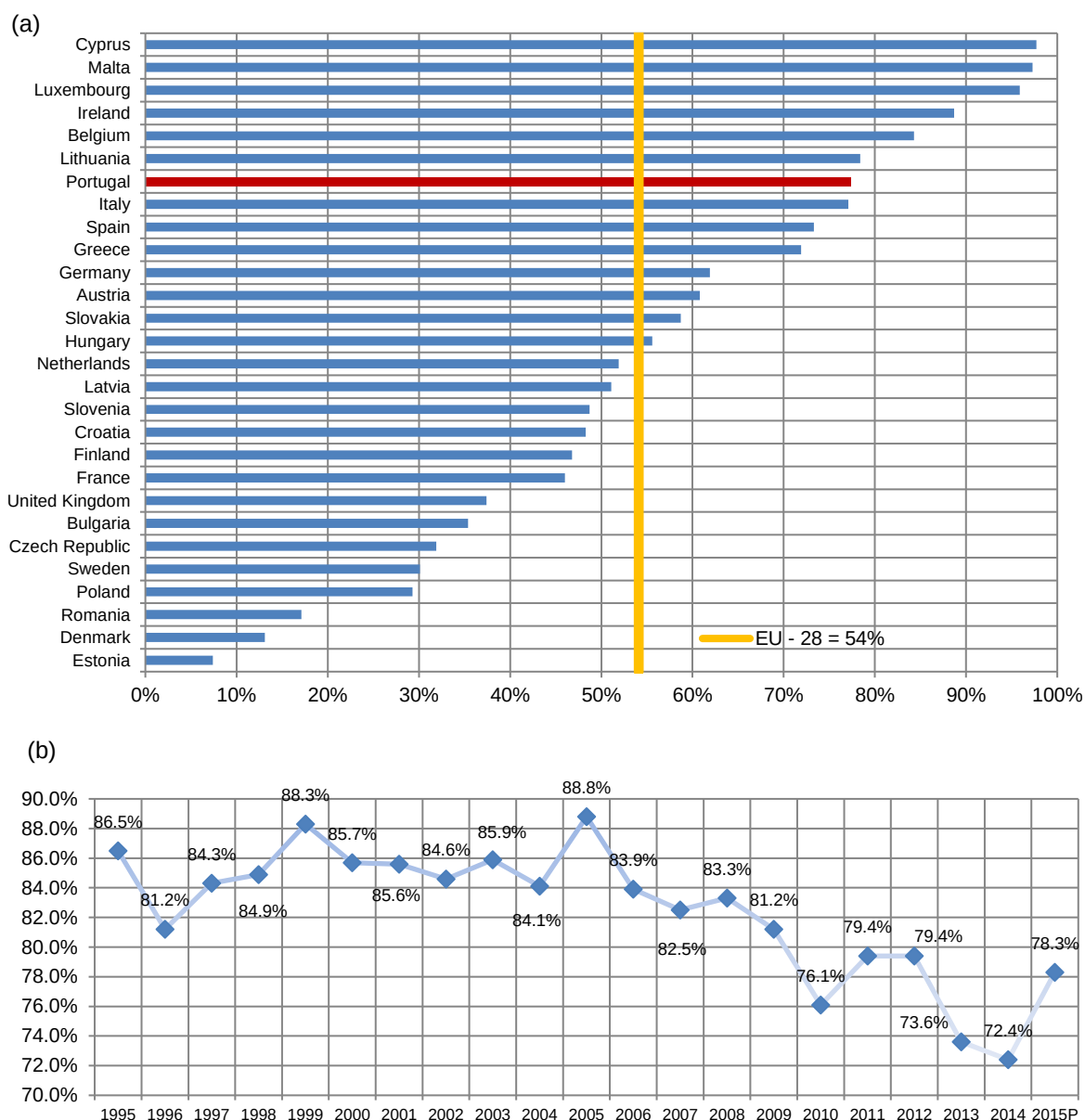


Figura 11 – Dependência energética (%): (a) Europa – 28, ano 2015 e (b) Portugal, evolução de 1995 a 2015 (dados das referências: Eurostat, 2017a; DGEG, 2017)

Esta situação tem consequências diretas na nossa economia, uma vez que o custo dos combustíveis fósseis importados encarece a produção de bens e serviços em território nacional. Para além disso, tem também implicações sociais, pois representa custos acrescidos para o consumidor, reduzindo o seu poder de compra e qualidade de vida, e refletindo-se no meio ambiente, devido à produção crescente de Gases com Efeito de Estufa (GEE).

Esta elevada dependência, associada a questões ambientais e económicas, explicam a aprovação, nos últimos anos, de um conjunto alargado de medidas de política pública pelo lado da gestão da procura energética. Estas medidas têm-se centrado essencialmente na aposta na utilização de fontes de energia renovável e no aumento da eficiência energética, através dos instrumentos financeiros disponibilizados no âmbito de fundos comunitários pela União Europeia (UE).

Outra observação interessante é uma análise gráfica (comparativa direta) da evolução do consumo global de energia primária e do Produto Interno Bruto (PIB). O ideal será ter uma evolução do consumo de energia primária inferior ao valor gerado pela economia, garantido assim uma maior produtividade e uma eficiência energética superior. Na figura 12 podemos observar a evolução do índice de energia primária e do PIB português entre 2011 e 2015, relativamente ao período base de 2011.

Podemos constatar que o índice de consumo de energia primária é (quase) sempre superior ao índice do PIB durante estes 5 anos, espelhando a reduzida produtividade nacional, à semelhança da contração económica. Todavia, o crescimento do PIB registado, entre 2013 e 2014, refletiu a desejada dissociação entre o consumo de energia e o crescimento económico, uma vez que se registou uma redução do consumo energético nesse período. Por outro lado, entre 2014 e 2015, volta a assistir-se a um crescimento mais acentuado do índice de energia primária face ao índice do PIB. Apesar de durante este período (2013-2014) a economia portuguesa se encontrar em fase de crescimento, o aumento do consumo de energia foi superior. O que se pretende é um aumento do consumo de energia mais lento que o crescimento económico. Se o consumo de energia estabilizar ou diminuir, enquanto o PIB continua a crescer, existe a dissociação entre estas duas variáveis, associada ao aumento do nível de produtividade e à natural redução dos impactos negativos sobre o ambiente.

No que respeita à intensidade energética primária da economia portuguesa (razão entre o consumo interno de energia e o PIB nacional), a aposta na eficiência energética foi visível a partir de 2005, começando a convergir com a média da União Europeia (UE-28), ainda que tenha – tendencialmente – apresentado níveis superiores, tal como se pode comprovar na figura 13. Portugal apresentou em 2015 uma intensidade energética de 134 tep/M€ de PIB a preços (constantes) de 2010, enquanto a média da UE-28 foi de 120 tep/M€ de PIB a preços (constantes) de 2010. A intensidade da energia primária tem vindo a decrescer substancialmente desde 2005, tanto em Portugal como na UE-28 (Eurostat, 2017b). Porém, importa sublinhar que a UE-28 apresentou uma tendência decrescente mais acentuada que o cenário nacional, sendo este facto evidenciado pelos declives das interpolações lineares dos indicadores respetivos.

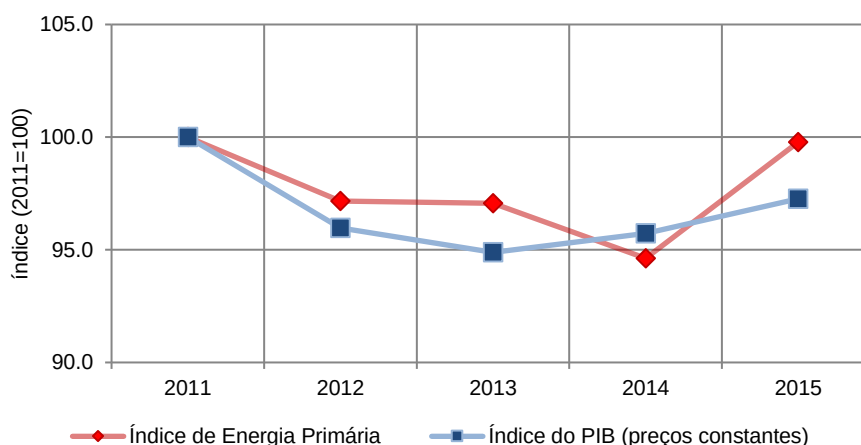


Figura 12 – Evolução dos índices de consumo de energia primária e PIB de Portugal entre 2011 a 2015, tendo como referência o ano de 2011 (dados das referências: DGEG, 2017; INE, 2017)

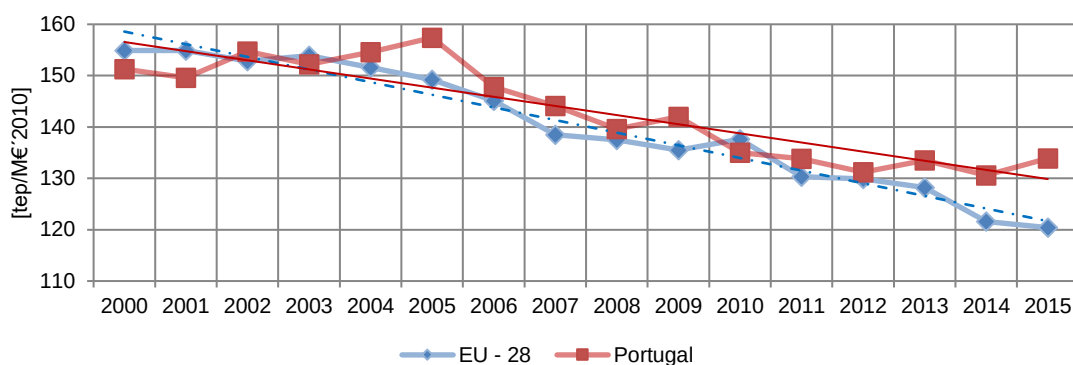


Figura 13 – Intensidade energética primária de Portugal vs. Europa (UE - 28) entre 2000 a 2015 (dados da referência: Eurostat, 2017b)

Neste contexto, podemos afirmar que a economia portuguesa, do ponto de vista energético, é caracterizada por fraca produtividade energética quando comparada com a média dos países Europeus.

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente:
avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

3 Energia e Edifícios

3.1 Caracterização do parque edificado na Europa

Estima-se que o parque edificado europeu tenha 25 biliões de m² de espaço útil (área equivalente à área total da Bélgica – 30 528 km²), crescendo a um ritmo de 1% ao ano. A área edificada encontra-se distribuída por 75% de edifícios residenciais e 25% de edifícios não residenciais. Uma percentagem considerável tem mais de 50 anos, e muitos edifícios atualmente em utilização têm centenas de anos de idade. Mais de 40% do setor residencial foi construído antes de 1960, quando a regulamentação relativa ao desempenho energético dos edifícios não existia ou era bastante limitada. Os edifícios são fortemente influenciados pelo clima onde são construídos. A figura 14 mostra que 50% dos edifícios da Europa encontram-se distribuídos pela região norte e oeste, sendo o restante peso distribuído pela região sul (36%) e região central e leste (14%), respetivamente (BPIE, 2011).

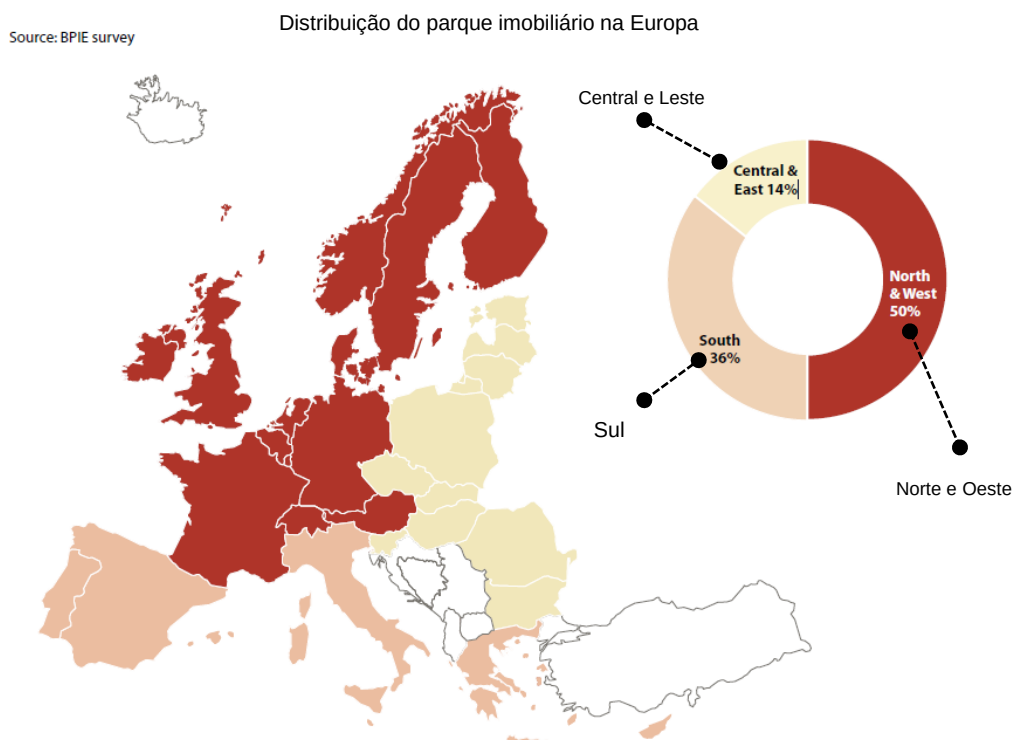


Figura 14 – Distribuição do espaço útil dos edifícios pelo território Europeu (BPIE, 2011)

Nesta conformidade, na figura 15 apresenta-se a distribuição dos edifícios residenciais em função da sua idade na Europa (BPIE, 2011).

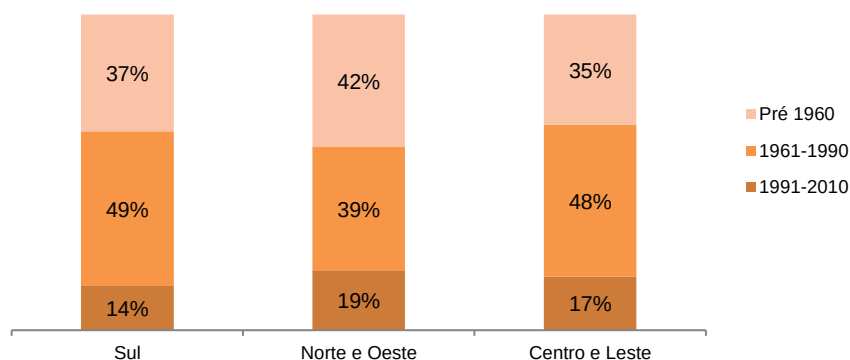


Figura 15 – Distribuição dos edifícios residenciais em função da idade, por região da Europa (BPIE, 2011)

Quando comparada com o setor residencial, a tipologia do setor não residencial é mais complexa (figura 16). Em média, os edifícios de vendas por grosso e a retalho representam uma fração significativa do parque edificado não residencial, seguidos pelos escritórios. As escolas, os hotéis, os restaurantes também apresentam um peso considerável. Contudo, a distribuição entre categorias de edifícios não residenciais varia significativamente de país para país (BPIE, 2011).

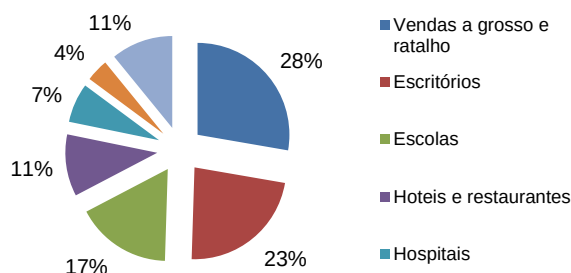


Figura 16 – Distribuição dos edifícios não residenciais por tipologia, na Europa (BPIE, 2011)

Por sua vez, na figura 17 verifica-se que o setor não residencial segue o mesmo princípio, ou seja, a maioria dos edifícios foi construída antes de 1975.

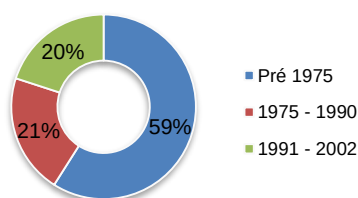


Figura 17 – Distribuição dos edifícios não residenciais em função da idade, na Europa (Tabula, 2010)

Pelo cenário apresentado e num contexto económico ainda fragilizado, torna-se evidente a necessidade da Europa apostar claramente na reabilitação urbana. Nesse sentido, a Diretiva 2012/27/EU relativa à eficiência energética, recentemente alterada pela Diretiva

2018/844/EU, identificou a necessidade da implementação de uma estratégia a longo prazo para mobilizar investimentos na renovação do parque edificado, tanto públicos como privados. Essa estratégia compreende um conjunto de medidas que devem ser executadas, nomeadamente:

- Caracterização do parque imobiliário nacional;
- Identificação das abordagens rentáveis das renovações relevantes por tipologia de edifícios;
- Identificação de políticas e medidas destinadas a incentivar renovações profundas e faseadas;
- Perspetiva futura destinada a orientar a tomada de decisões (foco nos investimentos);
- Estimativa das economias de energia e de outros benefícios possíveis.

3.2 Caracterização do parque edificado em Portugal

Em Portugal, a área edificada corresponde a cerca de 452 km², dos quais 77% é habitacional. Importa notar, que 70% do parque edificado residencial é anterior a 1990, ano da publicação do primeiro regulamento dedicado às características de comportamento térmico de edifícios. De facto, está-se perante uma boa oportunidade para reabilitar os muitos edifícios degradados, implementando medidas de melhoria de desempenho energético-ambiental (DGEG, 2014).

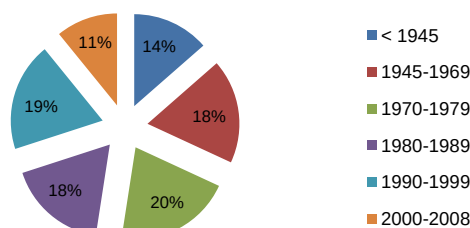


Figura 18 – Distribuição dos edifícios residenciais por período de construção em Portugal (Entranze, 2008a)

Os edifícios de comércio e serviços (23% da área edificada) encontram-se desagregados de acordo com a figura 19 (DGEG, 2014).

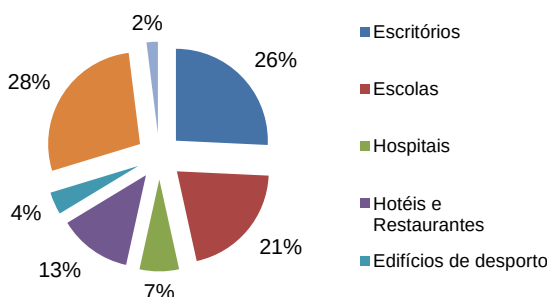


Figura 19 – Distribuição dos edifícios não residenciais por tipologia em Portugal (DGEG, 2014)

A dinâmica do parque edificado português caracterizou-se principalmente por um ritmo construtivo que foi reflexo da forte expansão que o mercado imobiliário teve nas últimas décadas. O setor da construção, marcado (entre outros fatores) pela conjuntura económica, apresenta desde 2000 um decréscimo acentuado do n.º total de obras de edificação, tendo

passado de um número de cerca de 60 073 edifícios para 25 931 edifícios concluídos em 2012 (DGEG, 2014).

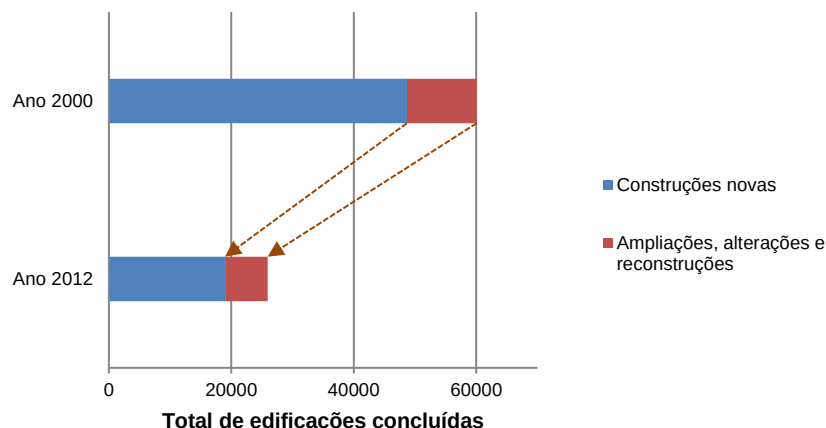


Figura 20 – Edifícios concluídos em 2000 e 2012 (dados da referência: DGEG, 2014)

Pela análise da figura 20, verifica-se que a retração do n.º total de edificações foi muito mais expressiva no caso de construções novas (valor de 2012 corresponde a 39% do valor de 2000), do que no caso das ampliações, alterações e reconstruções (valor de 2012 corresponde a 61% do valor de 2000). Apesar de apresentar um número inferior, o setor das ampliações, alterações e reconstruções, que inclui a renovação de edifícios, evidencia maior oportunidade de intervenção face à nova construção, representando uma real possibilidade em termos de promoção da eficiência energética e da dinamização da atividade económica, uma vez que existe saturação do mercado de edifícios novos em particular no setor da habitação.

Ao abrigo da diretiva Europeia (2018/844/EU) e garantindo uma total coerência com o atual quadro legal sobre desempenho energético de edifícios, Portugal, pretende desenvolver uma estratégia de longo prazo que permita promover a renovação de edifícios, contribuindo para um aumento da eficiência energética do parque edificado, alterando o paradigma das últimas décadas, centrado unicamente na construção nova, e assim contribuir para um aumento da qualidade do (parque) edificado existente, cada vez mais necessitado de uma intervenção urgente que aumente os níveis de conforto e garanta ganhos em termos de desempenho energético.

3.3 Utilização de Energia nos edifícios Europeus

O setor dos edifícios, tal como anteriormente referido, é um dos maiores consumidores de energia na Europa, tendo em conta que é responsável por 38% (438 Mtep) do total de energia utilizada (figura 21). Uma análise mais detalhada mostra que essa utilização de energia é repartida entre 66% para os edifícios residenciais e 34% para o setor dos serviços/comércio. A elevada percentagem nos edifícios habitacionais é explicada pela alta taxa da edificação antiga, com fraco desempenho energético (KWE Statistics, 2014).

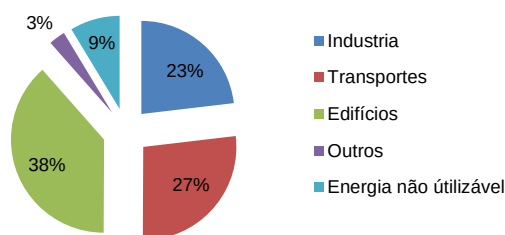


Figura 21 – Distribuição do consumo total de energia final em 2012 na UE - 28, por setor (dados da referência: KWE Statistics, 2014)

Nos edifícios residenciais, a energia é tipicamente consumida pelo aquecimento, arrefecimento, águas quentes sanitárias (AQS), cozinha e outras aplicações de menor expressão. A utilização dominante é o aquecimento, com uma média de 70% da utilização de energia final. Em 2011, o *Building Performance Institute* (BPIE, 2011), publicou um estudo sobre o desempenho energético dos edifícios na Europa, e entre vários parâmetros indicativos pode visualizar-se o indicador (médio) de desempenho energético em aquecimento nas diferentes regiões da Europa (norte/oeste, centro/leste e sul) para o setor residencial. A figura 22 compara o índice específico do consumo energético em aquecimento, para construções de habitações unifamiliares, entre 1957-1959 e no ano 2010. A redução drástica deste consumo deve-se sobretudo à forte aposta na regulamentação sobre o desempenho energético dos edifícios pelos diferentes estados Estados-Membros. Contudo, apesar das melhorias dos níveis de isolamento térmico, nos sistemas técnicos de aquecimento e sistemas de recuperação de calor, etc., existe um potencial de redução energética que ainda não foi explorado.

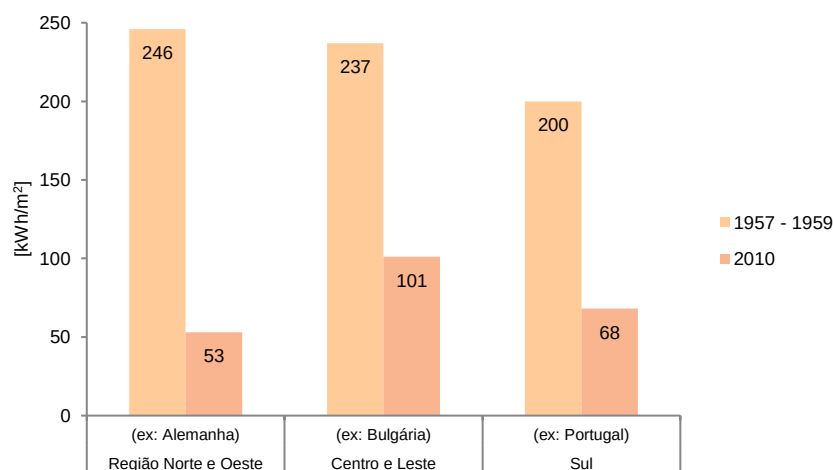


Figura 22 – Consumo específico de aquecimento em função da idade e por região da Europa (BPIE, 2011)

Na figura 23 apresenta-se o consumo de energia final – para condições climáticas normalizadas e distribuído por forma de energia –, dos edifícios residenciais dos diferentes países europeus, sendo possível observar a baixa intensidade energética dos edifícios de Malta e Portugal, quando comparados com os seus congéneres europeus, nomeadamente, Luxemburgo, Estónia e Letónia, que apresentam a maior intensidade energética da UE no setor residencial.

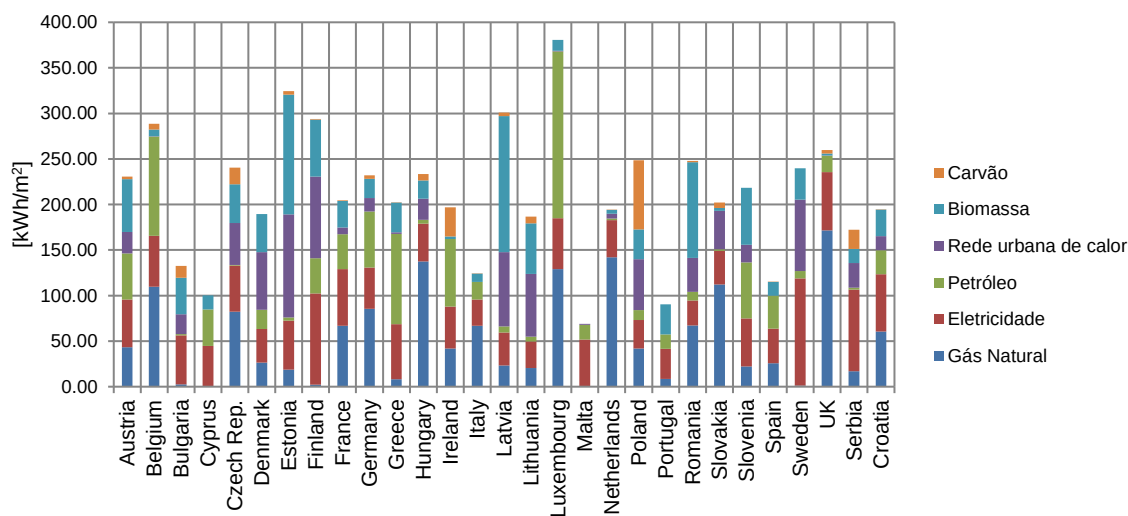


Figura 23 – Consumo específico de energia no setor residencial na Europa (Entranze, 2008b)

Perceber as variações da distribuição do setor não residencial é mais complexo quando comparado com o setor residencial, uma vez que as utilizações finais como a iluminação, ventilação, aquecimento, arrefecimento, refrigeração e equipamentos elétricos variam de uma tipologia para outra. A situação ainda é mais complexa com as variações de país para país, e ainda de um tipo de edifício para outro. Na figura 24 observa-se a distribuição, em percentagem, do consumo energia final por tipologia de edifício na Europa, verificando-se a maior predominância para as tipologias “vendas a grosso e retalho” e “escritórios”, representando 54 % do consumo de energia final.

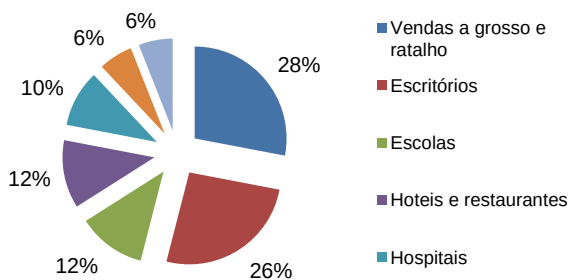


Figura 24 – Distribuição do consumo de energia final, por tipo de edifício na Europa (BPIE, 2011)

Na figura 25 apresenta-se o consumo de energia final – para condições climáticas normalizadas e distribuído por forma de energia –, dos edifícios não residenciais de diferentes países europeus, sendo possível verificar a baixa intensidade energética dos edifícios portugueses quando comparados com os seus congéneres europeus, nomeadamente, Eslováquia, Itália e Bélgica, que apresentam a maior intensidade energética da UE nos edifícios não residenciais.

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente: avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

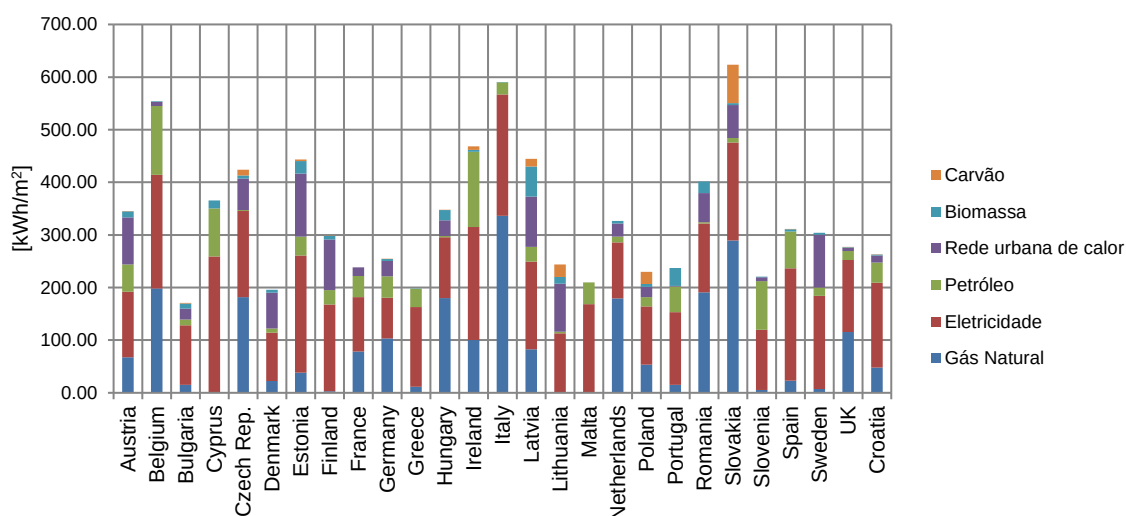


Figura 25 – Consumo específico de energia no setor não residencial na Europa (Entranze, 2008c)

Nos edifícios não residenciais, a utilização dominante é também o aquecimento ambiente e água quente. A figura 26 mostra os indicadores específicos de desempenho energético, referentes ao ano de 2008, em três países que representam as diferentes regiões da Europa, onde se observa a predominância desta utilização face ao arrefecimento.

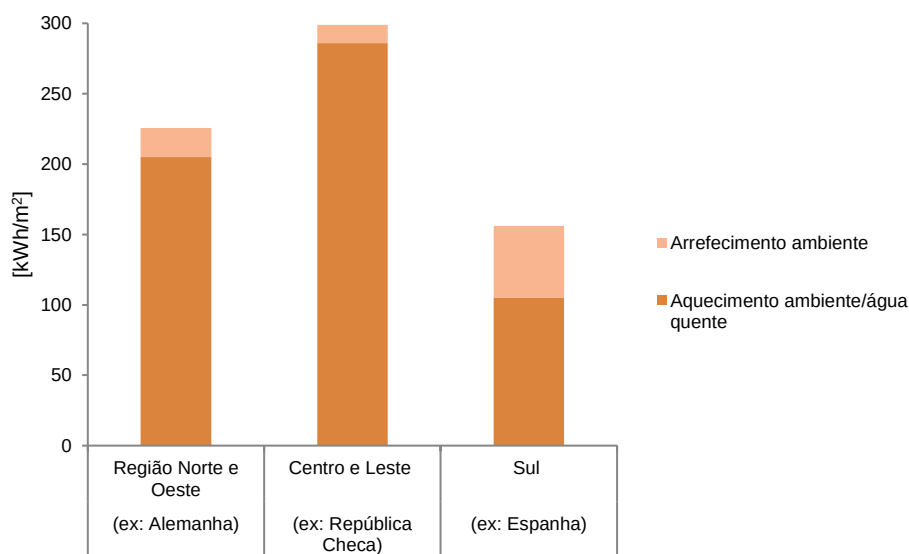


Figura 26 – Consumo específico de energia por região da Europa (Entranze, 2008d)

Ainda referente aos indicadores de desempenho energéticos, no período compreendido entre 2003 a 2010, segundo informação extraída da base de dados *Building Performance Institute* (BPIE, 2011), a Letónia (pertencente à região centro e leste) apresenta nas tipologias que consomem mais energia final da Europa, a iluminação como o segundo maior consumidor energético (figura 27). Obviamente que os indicadores de desempenho, são totalmente dependentes das condições climáticas e a diversidade de utilização de energia deve-se à idade, construção, sistemas técnicos existentes, tempo de funcionamento e utilização dos edifícios.

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente: avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

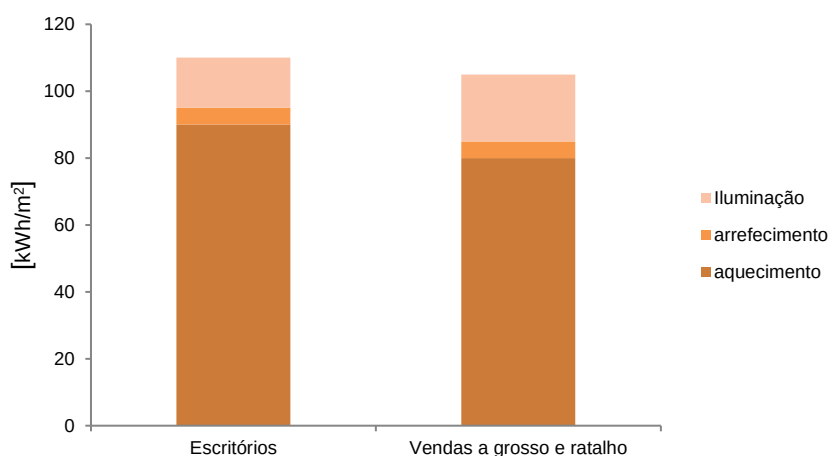


Figura 27 – Consumo específico de energia na Letónia, por tipologia, período entre 2003 – 2010 (Entranze, 2008d)

3.4 Utilização de Energia nos edifícios Portugueses

No que diz respeito ao consumo de energia associado aos edifícios portugueses, e de acordo com a Direção Geral de Energia e Geologia, os edifícios absorveram 29,7 % (4 501 ktep) do consumo total de energia final do país e 60,6% (28 024 GWh) dos consumos de eletricidade, em 2013. O sector residencial foi responsável por 17,3% desses consumos, sendo o restante referente ao setor dos serviços (12,4%), tal como demonstra a figura 28. Numa análise mais detalhada observa-se que a utilização de energia nos edifícios (em 2013) é repartida entre 58% para os edifícios residenciais e 42% para o setor dos serviços (DGEG, 2015).

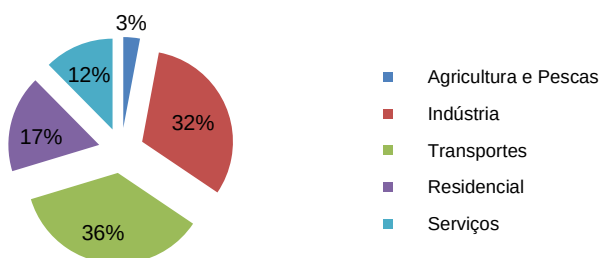


Figura 28 – Distribuição do consumo total de energia final em Portugal (2013), por setor (dados da referência: DGEG, 2015)

No que respeita ao consumo de eletricidade o domínio centra-se nos edifícios de serviços, com um peso relativo de 34%, sendo o restante absorvido pelo setor residencial (26,6%). A figura 29 ilustra a evolução do consumo de eletricidade, por setor, no período compreendido entre 1995 a 2013, onde o domínio dos edifícios (residencial e serviços) é claro, seguindo-se a indústria (DGEG, 2015). Sublinha-se, em coerência com o referido, o elevado peso da eletricidade no consumo final dos edifícios, que ao longo deste período é continuamente crescente e sempre superior a 50%.



Figura 29 – (a) Evolução do consumo de eletricidade e (b) o seu peso no consumo final (dados da referência: DGE, 2015)

Nesta conformidade e baixando ao detalhe das utilizações da energia, no setor residencial, 50% do consumo energético deve-se às cozinhas e águas quentes sanitárias (AQS), 25% do consumo é destinado ao aquecimento e arrefecimento e os restantes 25% à iluminação e equipamentos (Almeida, 2010).

Segundo o relatório da Matriz Energética do Porto, de 2008, 78% do consumo de energia final no setor residencial são justificados por três utilizações: o aquecimento de água quente sanitária (AQS), aquecimento ambiente e a preparação de refeições, tal como, se pode verificar pela figura 30.

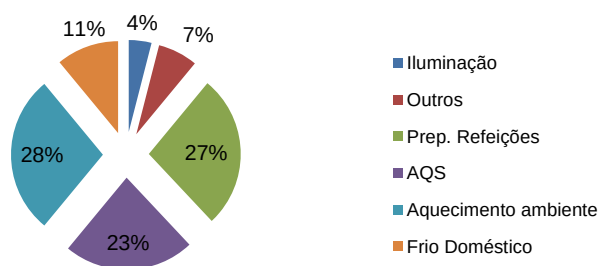


Figura 30 – Desagregação das utilizações de energia no setor residencial (Matriz Porto, 2008)

Ainda no universo do setor da habitação e numa análise realizada ao impacto da grande reabilitação, com base nos requisitos exigidos na legislação sobre o desempenho energético nos edifícios (Decreto-Lei n.º 118/2013), é possível constatar os ganhos de eficiência conseguidos, independentemente da época de construção dos edifícios (figura 31a), devido à evolução e ao aumento das exigências da qualidade térmica da envolvente destes regulamentos (relativos ao desempenho térmico e energético de 2006/2013/2016). Outro

aspecto igualmente visível é a preponderância das necessidades de energia útil para aquecimento face às necessidades de arrefecimento. Com base numa amostra de 16 000 edifícios de habitação (12 000 moradias e 4000 apartamentos) e para o período compreendido entre 2013 a 2015, a Agência para a Energia (ADENE) sob o chapéu do Sistema Nacional de Certificação Energética (SCE), indica para as necessidades globais de energia útil (no contexto nacional) um valor médio de 83 kWh/(m².ano) para moradias e da ordem dos 66 kWh/(m².ano) para apartamentos. Como expectável, as necessidades de energia útil são dominadas pelo aquecimento para as três zonas climáticas⁵, fundamentalmente devido ao valor dos graus-dia de aquecimento, que representa a severidade do clima (quanto maior mais severo é o inverno), conforme evidenciado pela figura 31b.

Nesta concordância, os dados visualizados na figura 31, demonstram que, sem prejuízo de determinados casos específicos cujas necessidades de arrefecimento são relevantes, a generalidade dos edifícios de habitação são condicionados pela necessidade de serem aquecidos para manter condições de conforto (ADENE, 2015).

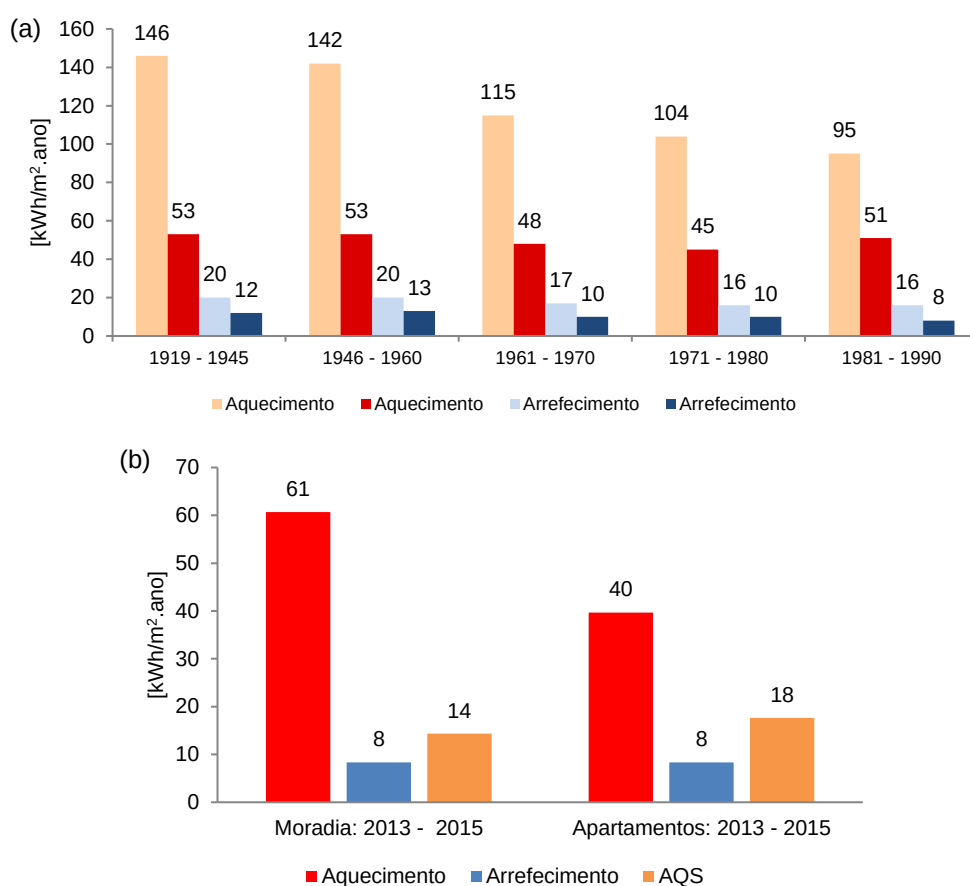


Figura 31 – Evolução das necessidades de energia útil no parque de habitação: (a) impacto da grande reabilitação por período de construção e (b) por tipologia (2013 a 2015) (ADENE, 2015; Fragoso, 2015)

Relativamente aos edifícios de serviços, a desagregação dos consumos varia bastante com a sua tipologia. No entanto, pode afirmar-se que de um modo geral, e exceto casos muito

⁵ Zona climática de inverno: I1, I2 ou I3, consoante o clima é mais ameno ou mais agreste, respetivamente; Zona climática de verão: V1, V2 ou V3, consoante o clima é mais ameno ou mais agreste, respetivamente.

específicos, a desagregação dos consumos energéticos nos edifícios oscila entre os seguintes valores:

Tabela 1 – Desagregação dos consumos de energia por tipologia (Fernandes, 2013)

Tipologia	AVAC ⁶	Iluminação	Outros
Hotéis	25 - 40%	25 - 40%	25 - 50%
Escritórios /Bancos /Seguradoras	10 - 35%	30 - 50%	20 - 55%
Hospitais	20 - 35%	20 - 35%	45 - 50%
Ensino / Bibliotecas	20 - 35%	30 - 45%	15 - 30%
Centros comerciais / hipermercados / supermercados	15 - 30%	30 - 45%	40 - 55%
	50 - 60%	10 - 15%	30 - 40%

Continuando no foco deste setor, e numa análise realizada à desagregação dos consumos de tipologias distintas em zonas diferentes do país, fruto de auditorias energéticas realizadas no âmbito do Sistema Nacional de Certificação Energética (SCE), observa-se que os consumos dedicados aos sistemas de climatização e águas quentes sanitárias (AQS) oscilam entre 19% a 50% (incluindo ventilação e bombagem dedicada ao AVAC), os equipamentos elétricos entre 12% a 52% e a iluminação varia entre 13% a 31%. Na figura 32, apresenta-se esse consumo de energia desagregado pelas utilizações finais em quatro edifícios, nomeadamente: hotel, edifício de escritório, ginásio e hipermercado, em duas zonas climáticas diferentes. É possível constatar o elevado domínio associado ao AVAC, equipamentos e iluminação, na relação direta da tipologia/utilização de cada edifício, sendo de certa forma concordante com os valores indicados na tabela 1. Assim, sublinha-se o elevado peso do AVAC nos hotéis e ginásios, dos equipamentos nos escritórios, e o domínio do frio industrial a par da iluminação nos hipermercados.

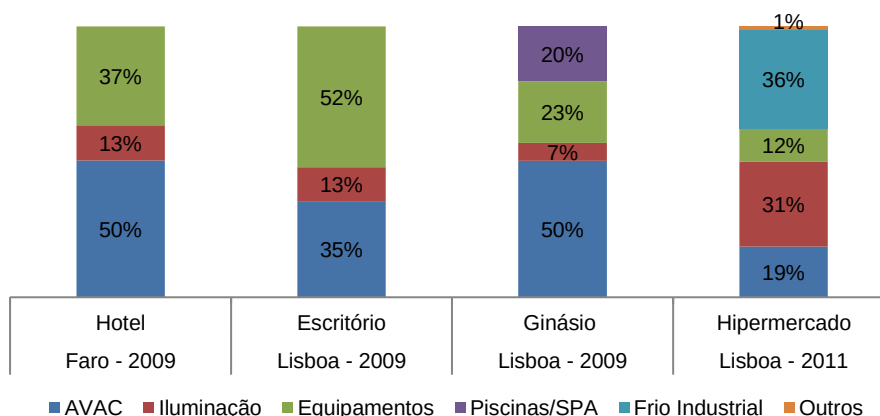


Figura 32 – Desagregação das utilizações de energia no setor não residencial (Dados do autor, 2009)

Numa perspetiva global, Frago (2015) no âmbito do SCE e para uma amostra de 1500 edifícios (300 grandes edifícios⁷ e 1200 pequenos edifícios) para o período compreendido

⁶ AVAC: Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

⁷ De acordo com o SCE, um grande edifício de comércio e serviços (GES), corresponde a um edifício cuja área interior útil de pavimento, descontando os espaços complementares, é igual e ou superior 1000 m², ou 500 m² no caso de centros comerciais, hipermercados, supermercados e piscinas cobertas. Ou seja, um Pequeno edifício de serviços/comércio (PES) é um edifício que não se enquadre em GES.

entre 2013 a 2015, evidencia os indicadores de desempenho energético de edifícios de comércio/serviços para o contexto nacional.

Pela análise dos dados-base, ressalta um consumo específico médio global na ordem de 87 kWh/(m².ano) para os grandes edifícios (GES) e de 77 kWh/(m².ano) para os pequenos edifícios (PES). No que diz respeito às utilizações finais, verifica-se que individualmente a utilização de maior peso corresponde à iluminação (com 42% para GES e 47% para PES), e quanto ao grupo da climatização e AQS, representam 59% para os grandes edifícios e 54% para os pequenos edifícios (figura 33).

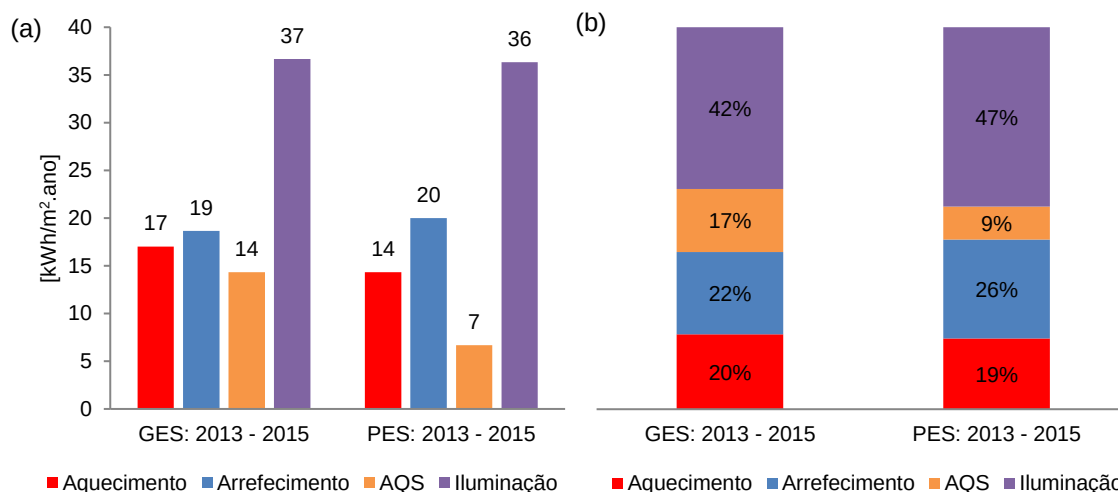


Figura 33 – Desagregação das utilizações de energia no setor de comércio/serviços em Portugal (2013 a 2015): (a) indicadores de desempenho energético e (b) distribuição percentual (Fragoso, 2015)

No que respeita à identificação de oportunidades de melhoria do desempenho energético, com base nos dados disponibilizados pela ADENE, referentes aos certificados energéticos do parque edificado nacional, na figura 34 é possível identificar as principais recomendações sugeridas para o aumento da eficiência energética. De acrescentar ainda que as medidas ou conjunto de medidas devem seguir uma hierarquia, que se inicia pelas soluções passivas – pela redução das necessidades de energia útil por intervenção na envolvente –, ativas – pela promoção da eficiência dos sistemas técnicos – e pelo aumento da oferta, através do incremento da utilização de sistemas energéticos renováveis.

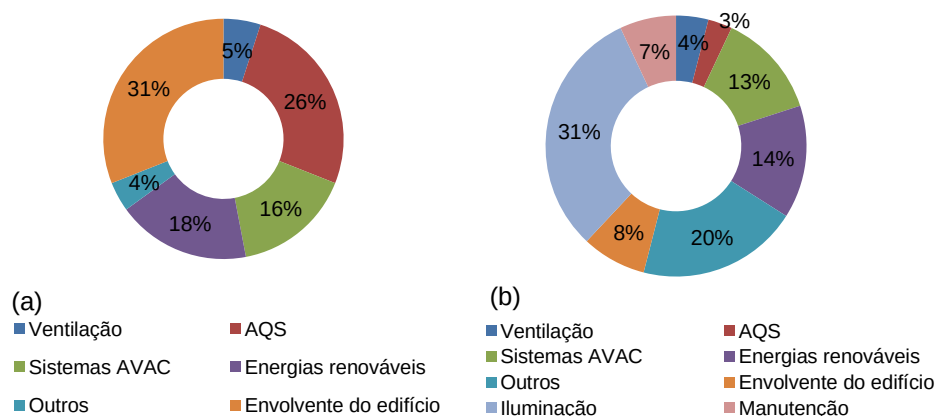


Figura 34 – Recomendações típicas de oportunidades de melhoria: (a) habitação e (b) comércio/serviços (IEPBD, 2013)

4 Energia e o Setor Hoteleiro

4.1 Considerações gerais

A expansão do turismo tem sido contínua nas últimas décadas, sendo a sua diversidade a palavra de ordem. Em 2015, segundo os dados estimados pela Organização Mundial de Turismo, 1 186 milhões de turistas viajaram a nível mundial, a que correspondeu um crescimento de 4,4% face ao ano anterior. As projeções apontam para uma taxa média anual de crescimento na ordem de 3,3% entre o período de 2010 a 2030, estimando 1 809 milhões de turistas internacionais a viajarem em 2030 (UNWTO, 2016).

É impressionante ver o desenvolvimento constante e até mesmo vertiginoso que o turismo tem expressado nas últimas décadas. É um dos setores que regista maior crescimento em todo o mundo, representando (dados reportados a 2015, com efeito direto e indireto) cerca de 10% do PIB mundial, 7% das exportações e contribuindo com 9,5% do emprego, correspondendo a que 1 em cada 11 empregos estejam relacionados com o setor (UNWTO, 2016; WTTC, 2016). Nem as diversas crises mundiais conseguiram travar o seu crescimento contínuo. Este é sem dúvida um dos setores de atividade mais resiliente, que não diminui o seu ritmo de crescimento e não deixa de se reajustar às novas realidades.

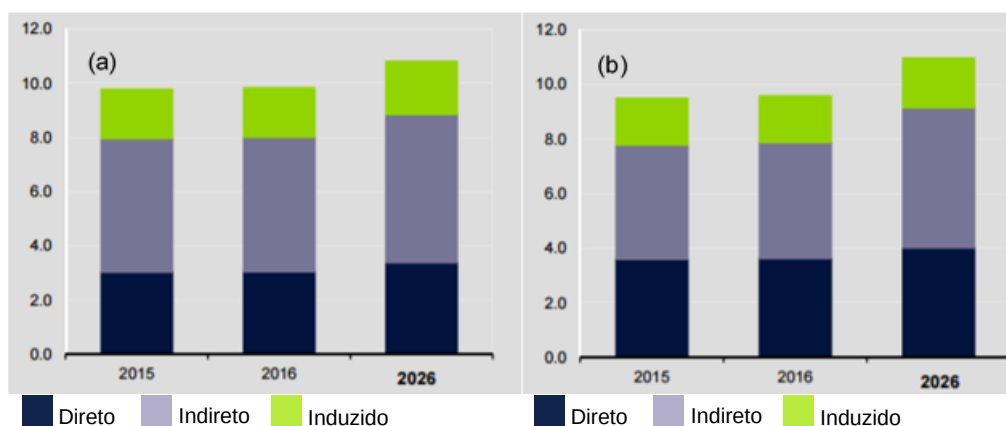


Figura 35 – Importância do turismo no Mundo: (a) em % do PIB e (b) em % no emprego (WTTC, 2016)

No que respeita à Europa, esta acolheu mais de metade dos turistas internacionais (51%) e apresentou um aumento de 4,5% em 2015, comparativamente a 2014 (UNWTO, 2016). De facto, o turismo é fator determinante na dinamização da economia Europeia: em 2015, contribuiu com 3,5% do seu PIB e representou 3,6% de emprego direto. Quando se considera o seu efeito multiplicativo global, o quadro é ainda mais expressivo, representando 9,6% do PIB e cerca de 9,1% da totalidade do emprego (WTTC, 2016). De acordo com dados disponibilizados pelo EUROSTAT, o número de noites de alojamento turístico na UE,

cresceu 1,6% em 2014, sendo os hotéis os locais mais procurados com 64% das estadias (Eurostat, 2015).

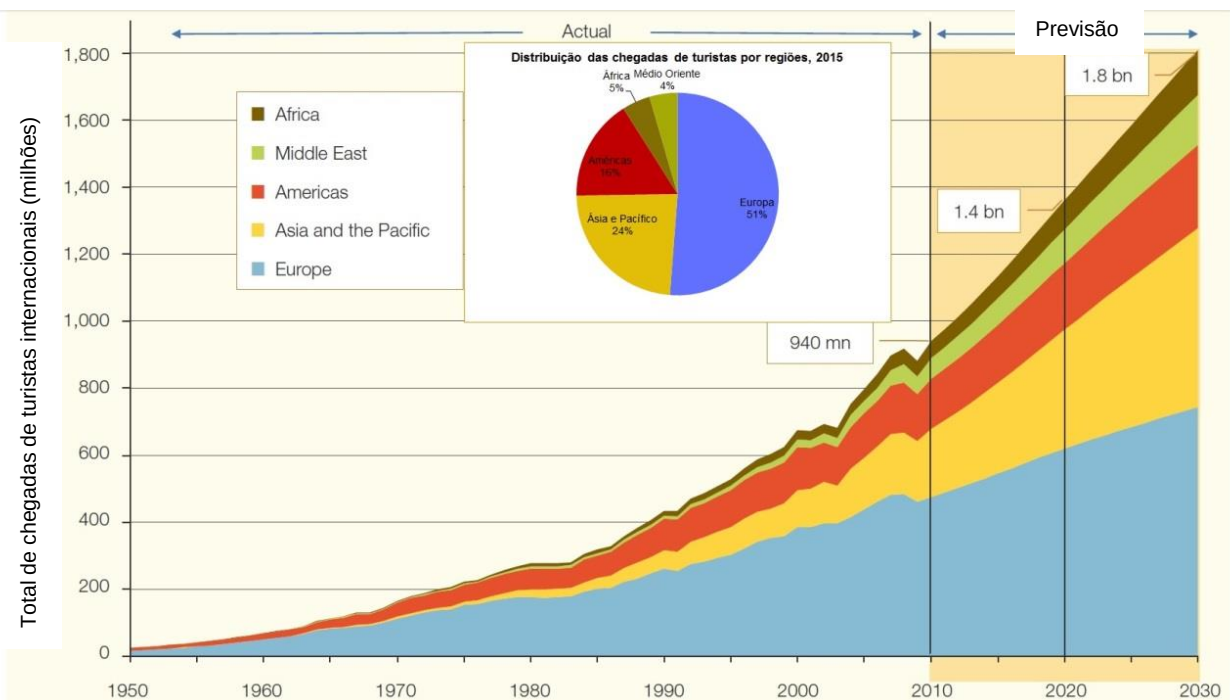


Figura 36 – Evolução atual e previsão do total de chegadas de turistas internacionais, por região (1950-2030), e sua distribuição em 2015 (UNWTO, 2016)

Relativamente a Portugal, o setor também é um dos principais motores da economia, representando uma fatia na ordem de 6,9% do PIB (Produto Interno Bruto) e mais de 6% do emprego direto (INE, 2015; Pinto, 2015). Sendo uma atividade que nos últimos anos tem assistido a um crescimento notável, a verdade é que tem beneficiado de alguns acontecimentos a nível mundial que sustentaram este crescimento, como por exemplo a instabilidade vivida em alguns países do norte de África, habitualmente destinos turísticos fortes concorrentes de Portugal.

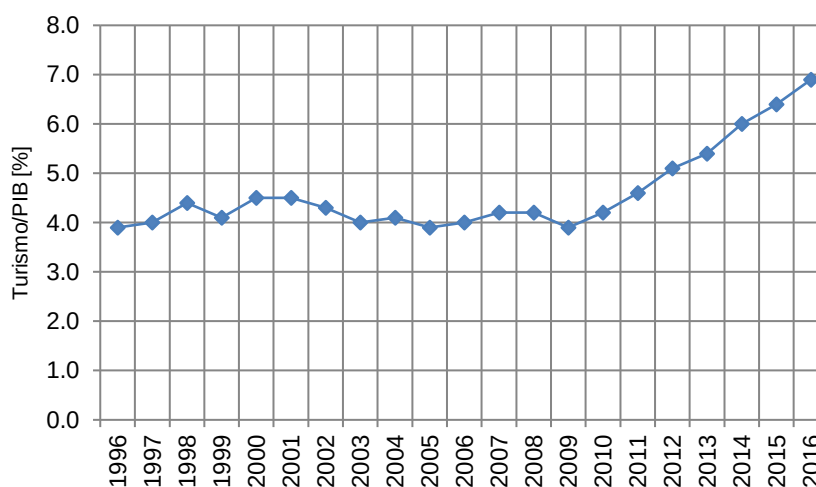


Figura 37 – Importância do turismo no PIB em Portugal – Turismo em % do PIB (INE, 2015)

Em 2015 a hotelaria representou 87,4% das dormidas na globalidade dos meios de alojamento turístico (hotelaria⁸, alojamento local e turismo no espaço rural e de habitação). Baixando ao detalhe da sua representatividade, destacaram-se os hotéis que asseguraram 69% das dormidas, nomeadamente as unidades de quatro, três e cinco estrelas (48%, 22% e 20% do total em hotéis), evidenciando a importância que estas unidades e o seu desempenho têm na imagem do turismo nacional e na satisfação dos turistas (INE, 2015). Em particular, os hotéis de 4 e 5 estrelas, pelos requisitos a cumprir para garantir a qualidade do serviço a prestar e pela sua dinâmica entre o setor, que representam (ambos) 68% das dormidas no global dos hotéis. Evidenciando desta forma a importância da utilização eficiente e inteligente da energia, devido ao peso significativo do consumo das formas de energia, reforçada pelo facto de que a seguir aos encargos com os recursos humanos, os custos associados ao consumo de energia se encontram entre os mais significativos nos custos de exploração das unidades hoteleiras.

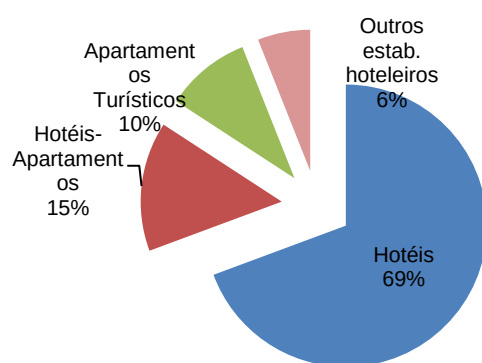


Figura 38 – Distribuição das dormidas no total da hotelaria em Portugal (%) (INE, 2015)

Na figura 39, observa-se o crescimento progressivo das dormidas, em paridade com o aumento contínuo do número de estabelecimentos hoteleiros em Portugal.

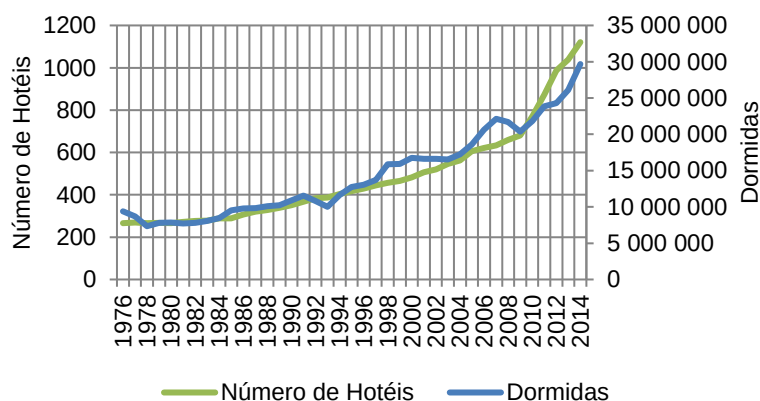


Figura 39 – Evolução do número de hotéis e das dormidas em hotéis, 1976-2014 (INE, 2015)

As unidades hoteleiras são normalmente categorizadas segundo a sua localização – centro urbano, rural, zona costeira ou montanha. Além disso, podem ser enquadradas em 4 tipologias distintas, função do serviço prestado aos clientes, nomeadamente (neZEH, 2013b):

⁸ Hotelaria - hotéis, hotéis-apartamentos, pousadas, aldeamentos turísticos, apartamentos turísticos, outros estabelecimentos de alojamento turístico, excluindo alojamento local e turismo no espaço rural e de habitação (INE, 2015).

- Hotel de negócios: centrado na satisfação das exigências relativas às viagens de negócios com áreas funcionais adequadas a esse tipo serviço (salas de conferências/reuniões, auditórios e restaurantes) e espaço *business center* (com computadores, acesso à internet, impressoras, entre outros equipamentos). Encontram-se localizados em polos empresariais de perímetro urbano ou rural;
- Hotel Spa/Bem-Estar: hotéis com um variado leque de espaços complementares que abrangem diversos programas de bem-estar (tratamentos de relaxamento, descanso, entre outros). Geralmente apresentam áreas comuns amplas e integram diversos serviços que potenciam esses programas de bem-estar, entre os quais: piscinas interiores/exteriores, sauna, banho turco, aulas de ginástica, hidroginástica, piscina interior e exterior, entre outros;
- Hotel *Resort*: localizados junto à orla marítima ou montanha e normalmente integrados na natureza, com área de espaços verdes de utilização comum. Estes empreendimentos são constituídos por conjuntos turísticos e caracterizados por infraestruturas robustas que proporcionam diversos serviços, instalações e equipamentos, entre os quais: atividades desportivas (golfe, campos de ténis, esqui e natação, etc.), programas de relaxamento, lazer e entretenimento. São compostos por grandes áreas comuns dedicadas à satisfação dos clientes (piscinas, restaurantes, salas de conferências e reuniões, galerias comerciais, ginásios, etc.);
- Hotel *Bed and Breakfast*: são caracterizados pela reduzida oferta de serviços adicionais relativos ao bem-estar e satisfazem essencialmente as necessidades mínimas dos clientes.

Todavia, é sabido que o clima é um elemento chave na procura turística (Rosselló-Nadal, 2014). As alterações climáticas afetam a sociedade e condicionam a atividade económica, sendo também um desafio exigente para o setor do turismo, pelo impacto direto que podem ter na alteração da procura turística, na alteração dos custos inerentes à exploração dessa atividade, ou pela redução da qualidade do serviço prestado. Por outro lado, essa adaptação às alterações climáticas (AC) nos edifícios e em particular nos hotéis, requer uma análise dos riscos dos impactos das AC e o estudo de soluções customizadas, tendo em consideração a viabilidade técnica e económica, para o ciclo de vida dos edifícios e para as projeções climáticas (CIBSE TM55, 2014; Pinto, 2015).

O setor do turismo apresenta preocupações no domínio do desempenho ambiental e da sustentabilidade (TP, 2013), evidenciando a urgente e fundamental atuação pelo lado da procura da energia para reduzir o consumo energético e permitir economizar a oferta, contribuindo assim, para a redução das emissões de gases com efeito de estufa (GEE), alinhando-se com as metas estabelecidas no quadro de ação relativo ao Clima e à Energia para 2030 e ao roteiro para Energia 2050 – reduzir até 2050, as emissões de gases com efeito de estufa até um nível 80 a 95 % inferior ao de 1990.

Em Portugal, a legislação aplicável aos empreendimentos hoteleiros estabelece, presentemente, requisitos aplicáveis às diferentes categorias de estabelecimentos, impondo em hotéis de 4 e 5 estrelas, por exemplo, a exigência de climatização nas unidades de alojamento (quartos) e das zonas comuns com sistemas de climatização ativos ou estratégias passivas que garantam conforto térmico (Pinto, 2015). Além disso, desde 2006 que a obrigatoriedade da certificação energética de edifícios levou à imposição de requisitos na nova edificação, reabilitação e intervenções (desde janeiro de 2016) ao nível do desempenho da envolvente térmica e dos sistemas energéticos, o que tem impulsionado (e impulsionará crescentemente) uma melhoria também ao nível da eficiência energética dos hotéis. Ora este facto revela-se

mais importante quando centrado no edificado existente, visto que a caracterização do parque de hotelaria/empreendimentos turísticos se expressa por cerca de 70% de unidades existentes (evidenciado pelo número de certificados emitidos após 1 janeiro de 2007) (Gonçalves, 2015), espelhando ineficiência e renovação a ritmo lento. Em consonância com a Diretiva relativa ao desempenho energético dos edifícios, o parque existente deve ser gradualmente transformado a fim de satisfazer requisitos nZEB similares ao edificado novo.

4.2 Utilização de energia no setor hoteleiro

O Turismo contribui significativamente para as emissões de gases com efeito de estufa (GEE) à escala global. É responsável por 5% das emissões de CO₂, sendo que 21% das emissões do setor é respeitante aos hotéis e outras unidades de alojamento.

Os hotéis, devido às exigências de qualidade e à diversidade de serviços prestados são edifícios com elevada intensidade energética e hídrica, cerca de 10 vezes superior às das habitações (Pinto et al., 2016a), em particular os hotéis de 4 e 5 estrelas devido aos elevados padrões de conforto exigidos. Existem diversos estudos que analisam os consumos globais de energia e de água nos hotéis. Por exemplo, estima-se um consumo energético médio de 36,11 kWh/noite-hóspede e uma média 26 CO₂/noite-hóspede (UNEP & UNWTO, 2012). Noutra referência, evidenciam-se consumos de água e de energia por dormida (300 l/PAX, 20 a 90 kWh/PAX) muito superiores aos consumos domésticos (100 a 150 l/PAX, 3 a 4 kWh/PAX), por causa da mudança diária de roupa de quarto, da limpeza diária do quarto, das atividades de lazer (piscinas, rega jardim), mais banhos e climatização (Styles et al., 2015).

Importa também referir que o consumo de energia nos hotéis é dependente do tipo de uso dos espaços e afetado por parâmetros físicos e por condições operacionais. Entre os parâmetros físicos enquadram-se: arquitetura, categoria, volumetria do edifício, clima, qualidade térmica da envolvente, idade, características dos sistemas e instalações técnicas, condições de operação e condução da manutenção, vetores energéticos e respetivos custos de exploração. Na operação, destacam-se: o tipo de serviços facultados (cozinha, lavandaria, piscina, salas de conferência, lojas), de utilização do hotel (variação da taxa de ocupação, preferências dos hóspedes, perfis de utilização e *set-points*), práticas de limpeza e de gestão de energia. Nos hotéis existem requisitos operacionais para a zona de clientes (quartos, circulações públicas, lobby, restaurante, piscina, SPA, etc.) e para as zonas de serviços (lavandaria, cozinha, vestiários, etc). Nesta concordância, na figura 40 identificam-se os principais usos e áreas funcionais das unidades hoteleiras que estão diretamente relacionados com a utilização de recursos energéticos e hídricos.

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente: avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

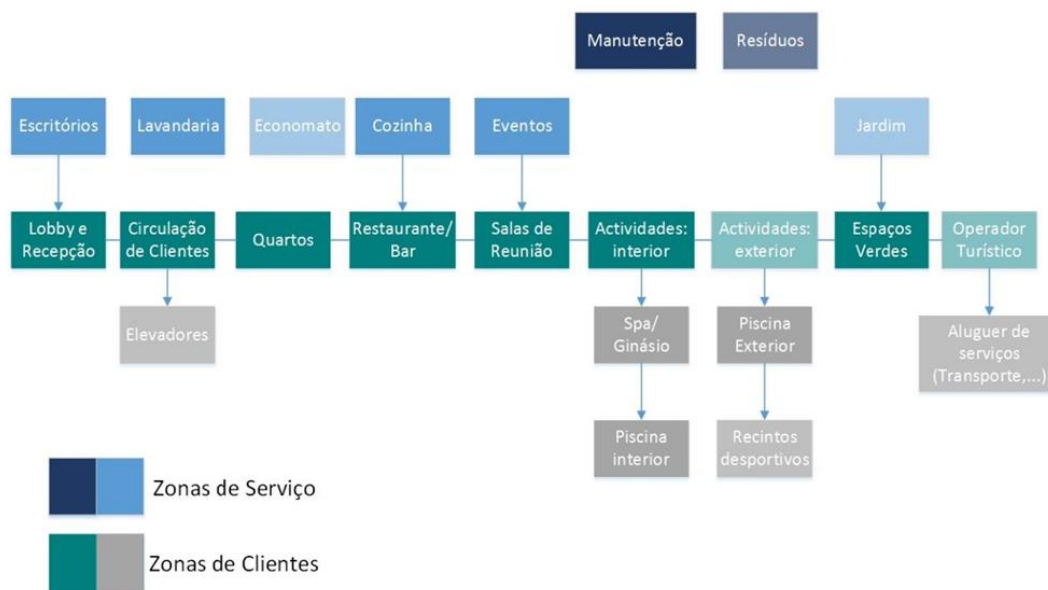


Figura 40 – Áreas funcionais de um hotel (Pinto et al., 2016a)

Na figura 41 apresenta-se a média da estrutura de consumos (de energia) das principais utilizações finais, resultado de dados de mais de 50 auditorias realizadas em diferentes zonas de Espanha entre o período de 2010 a 2013. Destaca-se a elevada percentagem do arrefecimento e aquecimento ambiente, bem como do uso da água quente para fins sanitários, que totalizam 55% do consumo de energia. Importa referir que a consideração do fator da sazonalidade (período de verão), reforça o elevado domínio do consumo dedicado arrefecimento ambiente. Além disso, denota-se que o consumo afeto aos serviços adicionais – zonas-de-serviços –, como sejam: cozinha, lavandaria, piscina, etc., abrangem cerca de 34% da totalidade das utilizações (Balantia-Creara, 2013), justificando a necessidade da inclusão global de consumos na definição nZEB. De realçar, em coerência com o que se referiu anteriormente, que com a operacionalização das medidas de otimização (energética e hídrica) a assumir particular relevo no domínio da qualidade térmica da envolvente e na melhoria da eficiência dos sistemas e equipamentos energéticos, a ineficiência da parcela destinada aos outros equipamentos/consumos, com especial enfoque nos serviços realizados pelas lavandarias e cozinhas, assume maior visibilidade nas faturas dos recursos energéticos e hídricos.

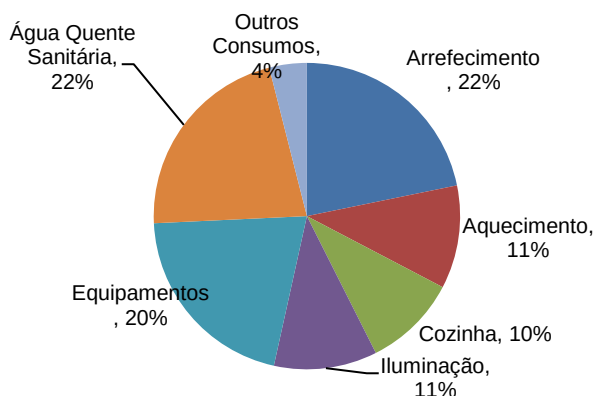


Figura 41 – Desagregação das utilizações de energia: média de consumos retirados de auditorias energéticas em 55 hotéis de Espanha, 2010-2013 (Balantia-Creara, 2013)

Na figura 42 apresenta-se a estrutura de custos de energia e água de hotéis (7 hotéis), tendo por base os resultados de auditorias energéticas. A utilização da eletricidade é dominante na fatura energética, apresentado um peso relativo superior a 50% dos custos globais, sendo concordante com outras referências pesquisadas (ITP, 2014; Laia & Sousa, 1999).

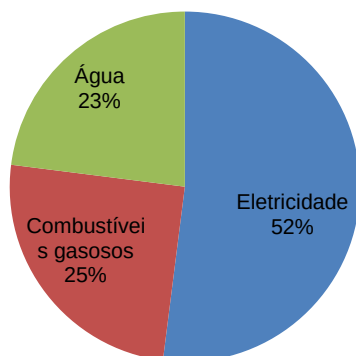


Figura 42 – Desagregação de custos de energia e de água em hotéis (7 unidades) de grupo hoteleiro (dados do autor, 2016)

Nos empreendimentos hoteleiros com dimensão considerável, o sistema de climatização é geralmente caracterizado por um sistema do tipo ar-água, com unidades terminais ventiloconvetoras (VCs), com distribuição de energia térmica através de fluido de transporte a água (água quente e água fria) a partir das respetivas centrais térmicas. Os sistemas de distribuição podem ser a “dois tubos” ou a “quatro tubos”. Normalmente o aquecimento para usos sanitários (AQS) e ambiente é gerado através de caldeiras, enquanto o arrefecimento ambiente é efetuado com recurso a unidades arrefecidas a ar, ou seja, unidades produtoras de água refrigerada (UPARs) – o vulgo *Chiller* ar/água.

Baixando ao detalhe e tendo por base os resultados de auditoria energética de dois edifícios, na Figura 43 demonstra-se a desagregação do consumo de eletricidade de duas unidades hoteleiras localizadas em Portugal (Lisboa (a) e Algarve (b)), sendo perceptível o forte domínio da componente AVAC no consumo de energia elétrica (56 % em Lisboa e 52% no Algarve). A par disso, na figura 43 (c) observa-se a estrutura mensal dos consumos finais de um hotel determinada em auditoria (incluindo comparação com histórico de consumos), constatando-se o elevado impacto dos serviços oferecidos por aquela unidade, em particular pela lavandaria e cozinha, bem como os consumos dedicados ao sistema de bombagem e à preparação de AQS que se destacam durante o período de verão.

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente: avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

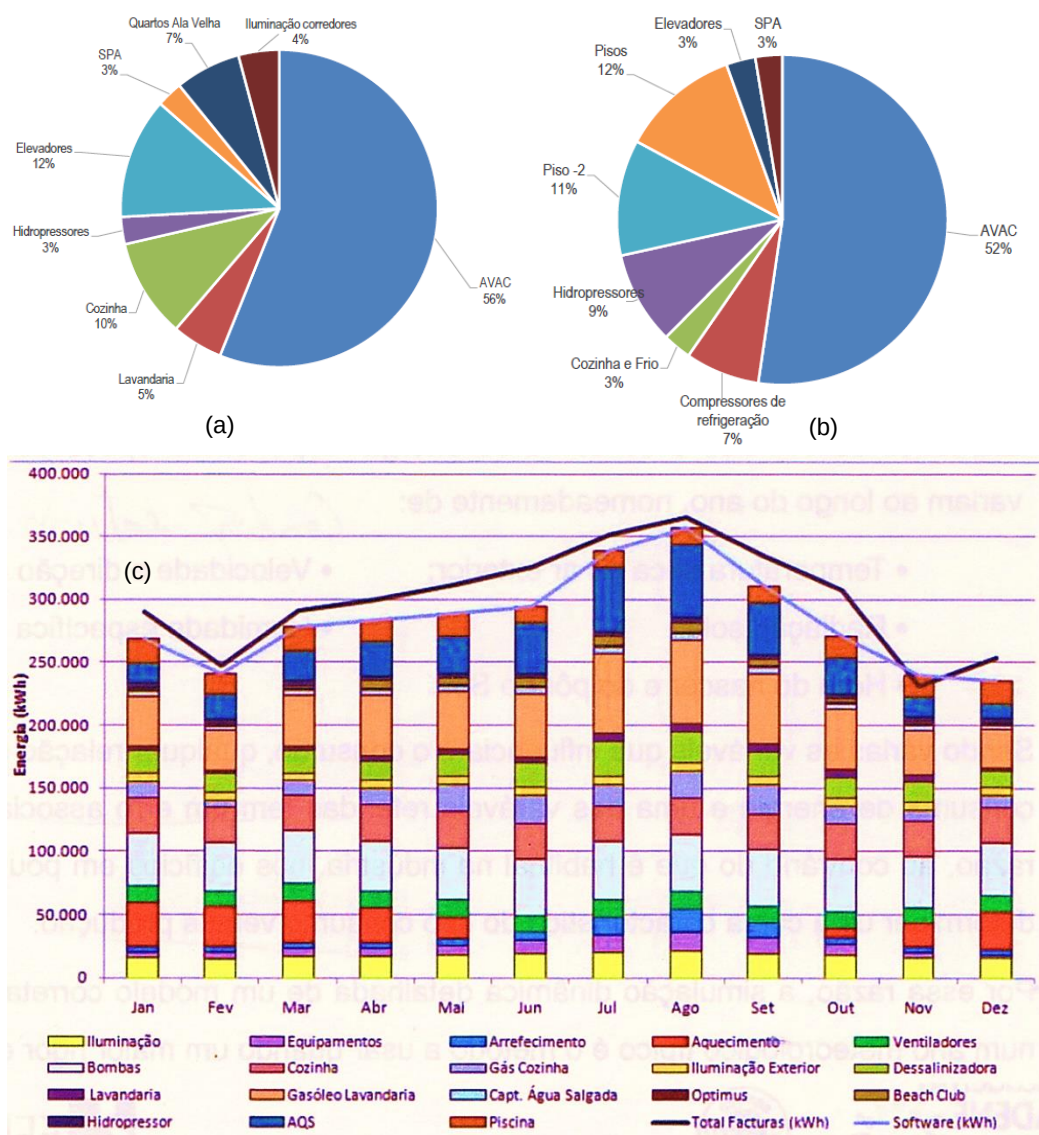


Figura 43 – Desagregação do consumo de eletricidade nos períodos de auditoria energética: (a) Hotel em Lisboa, (b) Hotel no Algarve (Silva Santos, 2016) e (c) Estrutura de consumos mensais de Hotel determinada em auditoria (Lisboa, 2013b)

Pinto et al. (2016b) demonstraram que em diversos hotéis, o principal consumo de energia relacionado com a água se deve à produção de AQS (superior a 40%), tendo as perdas térmicas na rede de distribuição de calor uma relevância na ordem de 13% (20% da energia para AQS), sendo estas perdas praticamente independentes da ocupação e que por esse facto devem ser objeto de minimização. O estudo também conclui que o consumo de energia primária associado ao uso da água representa aproximadamente 20% da estrutura global de consumos (expressos em energia primária) dos edifícios no período de verão (Pinto et al. (2016b).

Ainda enquadrado neste registo, relativo ao elevado consumo de energia para água quente sanitária, os sistemas solares térmicos que são uma tecnologia madura, revelam ser a opção indicada para a redução deste consumo, aliando o aumento do desempenho energético à necessidade de redução dos custos de exploração. Apesar da complexidade da integração de sistemas de coletores solares em edifícios de grande altura, estudos realizados evidenciaram

ser viável utilizar estes sistemas em hotéis de 5 estrelas, para satisfazer pelo menos 60% das necessidades de água quente sanitária (Colmenar-Santos et al., 2014).

Facilmente se percebe que o consumo de energia nos hotéis está diretamente relacionado com a taxa de ocupação e com o clima, em que a ocorrência simultânea de maiores taxas de ocupação nos hotéis com períodos mais quentes origina o aumento da utilização de recursos e respetivos custos energéticos, podendo traduzir-se em situações de incomodidade e insatisfação para os clientes, caso as suas infraestruturas e os sistemas energéticos não sejam capazes de garantir a qualidade do serviço a prestar.

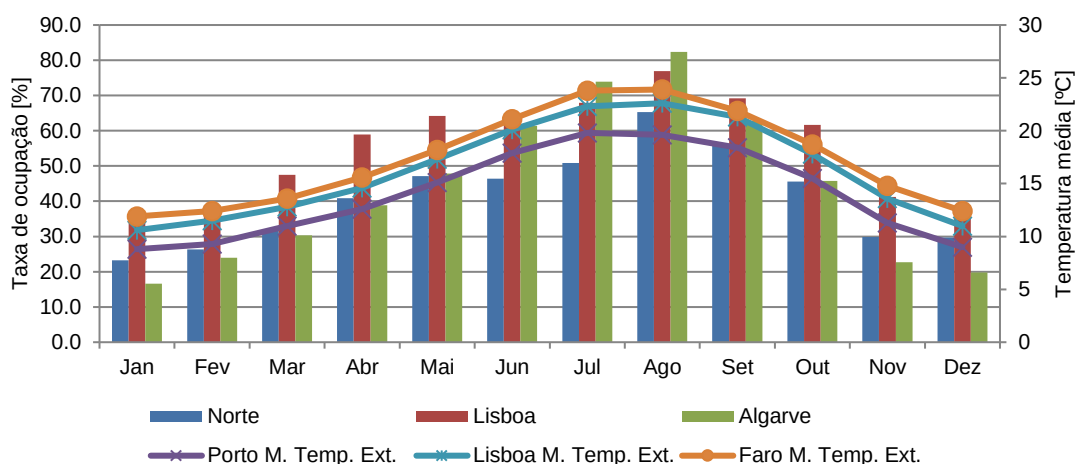


Figura 44 – Taxa de ocupação média de hotéis (INE, 2015) e temperatura média exterior

Atualmente existe uma grande variedade de tecnologias para aproveitamento de energia renovável que podem ser integradas nos hotéis novos e em contexto de reabilitação. A introdução destas tecnologias pode contribuir para a mitigação das alterações climáticas, pela redução das emissões de gases de efeito de estufa relacionados com o consumo de combustível fóssil, bem como servir de alavanca ao aumento da valorização patrimonial deste tipo de edifícios, quando combinadas com estratégias de promoção da eficiência energética pelo lado da procura. Como valor de referência considera-se desejável uma contribuição das energias renováveis de 50% do consumo final de energia do edifício, produzida no edifício ou fornecida com garantia (certificado verde) (Styles et al., 2013). Dalton et al. (2008) depreenderam (num questionário realizado na Austrália) que os turistas apreciam a incorporação de energias renováveis nos hotéis; no entanto, apenas metade está disponível a pagar mais 1% a 5% para ter essas fontes de energia nos hotéis. Por outro lado, o elevado peso da eletricidade no aprovisionamento energético de estabelecimentos hoteleiros, intensifica o recurso ao aproveitamento renovável através de sistemas fotovoltaicos, que atendendo à recente redução do seu preço começam a ser apelativos e a ter períodos de recuperação do capital investido da ordem de 8 anos em regimes de autoconsumo (Pinto, 2014). No Reino Unido foi identificado um potencial de redução de 50% das emissões de gases de efeito de estufa no setor da hotelaria, pelo uso de estratégias passivas e sistemas de captação das energias renováveis maduras, como sistemas geotérmicos, fotovoltaicos e biomassa (Taylor et al., 2010).

Como é óbvio, este setor é caracterizado pelo elevado “peso” da fatura energética, com consumos de energia e água que são muito variáveis. Além disso, a componente de AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado) pode atualmente ascender a 50% das necessidades energéticas globais (Pinto, 2015). Os sistemas técnicos (incluindo o AVAC) têm um grande impacto nos consumos energéticos, na qualidade do ar interior e na manutenção

requerida nestes edifícios, representando um potencial significativo em termos de economias de energia – com efeito direto na redução das emissões de CO₂ – e traduzindo um aumento do valor de mercado destes imóveis, devido ao aumento dos níveis de conforto dos utilizadores, aos menores custos de exploração sob a perspetiva de ciclo de vida (na fase da operação) e o consequente aumento das receitas líquidas.

4.3 Avaliação de desempenho na utilização de recursos

Para os hoteleiros, os esquemas de certificação ambiental são um auxílio à implementação de boas práticas, redução de custos de exploração e melhoria da imagem dos hotéis (HES, 2011), apesar de não terem um impacto relevante na melhoria das práticas ambientais dos turistas (Geerts, 2014), aumentando assim a necessidade de ter edifícios robustos (Pinto, 2015). Num estudo realizado em Creta (Zografakis et al., 2011), cerca de 40% dos gestores hoteleiros manifestaram ter pouca informação sobre eficiência energética e energias renováveis. Todavia, 80% dos gestores manifestaram que a eficiência energética e as energias renováveis podem aumentar o lucro da sua unidade e 50% reconhecem que os turistas escolhem hotéis baseados na sua imagem ambiental. Apesar deste reconhecimento favorável que a vertente da otimização energética desempenha no comportamento global nos edifícios, as práticas continuam a não ser, na generalidade dos casos, as mais ajustadas, e são necessários novos procedimentos para promover maior pró-atividade dos hoteleiros. Gao & Matilla (2014) estudaram a satisfação dos turistas com os hotéis “verdes”, referindo que se o serviço não tiver falhas a satisfação dos consumidores destes hotéis é superior à dos hotéis “não-verdes”. A satisfação é maior nos hotéis verdes (face aos não-verdes) quando as preocupações ambientais têm por objetivo o público geral (e não apenas a organização). Contudo, concluem que o acolhimento e a competência – dimensões sócio organizacionais – são decisivos na mediação da relação entre a satisfação dos consumidores e o serviço prestado. Uma análise atenta evidencia a forte racionalidade económica do compromisso com a sustentabilidade, pois ao serem mais sustentáveis permitem a redução dos custos de exploração e transmitir uma imagem “*eco-friendly*” apreciada pelos clientes. Por outro lado, o cliente dificilmente aceitará que lhe sejam imputados sobrecustos por força de uma fatura energética em crescendo – para mitigar os efeitos das alterações climáticas –, porventura com o argumento que uma maior eficiência energética acarreta diminuição de custos, e dificilmente aceitará sujeitar-se a padrões de conforto subjetivo mais austeros. Assim, as infraestruturas e as organizações têm que ser capazes de esgrimir outros argumentos e capacidades. A par disso, a questão consiste em saber qual o grau aceitável de dependência das fontes fósseis de energia e com que custos energéticos se produz essa satisfação nas unidades hoteleiras, quais os níveis de eficiência, que ganhos se podem obter com a otimizações dos processos e que resultados se obterão sob novas exigências e desafios, nomeadamente decorrentes de alterações climáticas esperadas.

Para que os hotéis tenham a capacidade de seguir o plano da sustentabilidade e mitigar o seu impacto face às alterações climáticas, é necessário que estes sejam eficientes na utilização dos recursos energéticos e hídricos (UNEP, 2009) e estejam dotados de planos de gestão de recursos (Gössling et al., 2012). A implementação deste plano de gestão recursos, permitirá alcançar a melhoria contínua do desempenho da utilização da energia e água na estrutura, com impactos na redução global dos consumos e por conseguinte nas faturas correspondentes, assim como na melhoria da sua competitividade no mercado turístico, sem com isso afetar a sua qualidade de serviço e rentabilidade. Os sistemas de gestão da qualidade (ISO 9000), do

ambiente (ISO 14001) e de energia (ISO 50001) são princípios adequados para este efeito e baseiam-se num processo iterativo de melhoria contínua (figura 45).

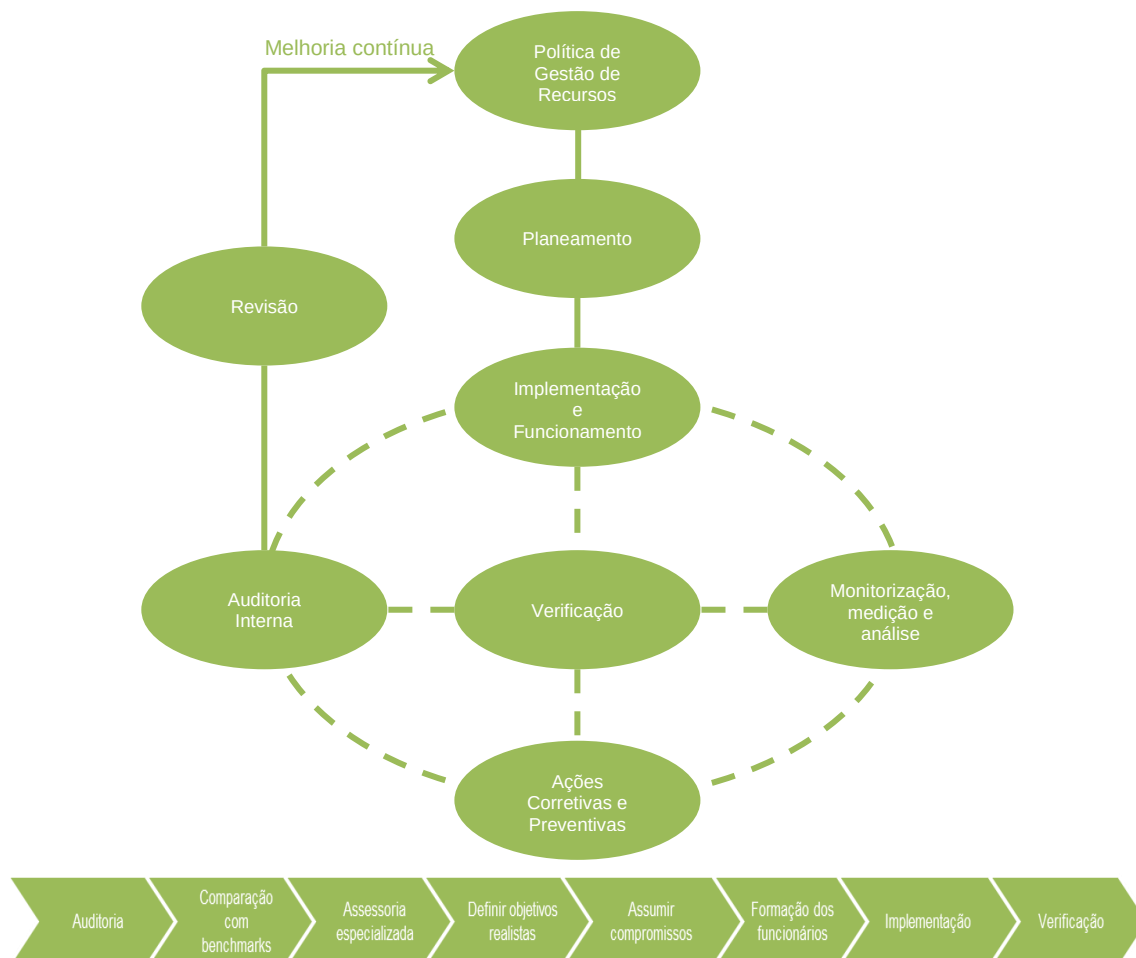


Figura 45 – Esquema de sistema de gestão de recursos e respetiva sequência de implementação (adaptado da ISO 50001, 2011 e Styles et al., 2013)

A avaliação do desempenho de um ou vários empreendimentos turísticos deve ser realizada de forma integrada e pró-ativa, envolvendo os diferentes níveis (isto é, nível organizacional, tático e operacional) e atores de decisão. Além disso, constitui um meio de quantificar de uma forma objetiva as potencialidades e as deficiências dos sistemas, constituindo um suporte para a adoção de medidas corretivas, para além de permitir estabelecer comparações independentes e em base normalizada. Desta forma, constitui um instrumento que permite apoiar a identificação de necessidades de atuação, a seleção de estratégias, opções de atuação e de prioridades de investimento.

O recurso a métricas de desempenho permite, nomeadamente: explicitar com clareza os objetivos e metas a atingir; avaliar o desempenho atual e a previsão do desempenho futuro dos sistemas, permitindo efetuar diagnósticos dos problemas existentes e antecipar outros problemas; previsão do desempenho correspondente a medidas alternativas de intervenção, possibilitando fundamentar a seleção das soluções a implementar; monitorizar os planos de gestão de recursos, recorrendo à avaliação real do desempenho e à sua comparação com as metas estabelecidas, possibilitando identificar desvios, assim como selecionar e implementar oportunidades de melhoria (Almeida & Cardoso, 2010). Portanto, a definição de indicadores de desempenho é crucial para uma adequada monitorização, avaliação, correção e revisão do

modelo de gestão de recursos. Na verdade, são métricas quantitativas de eficiência ou de eficácia do funcionamento das unidades hoteleiras (ou de qualquer outra organização), resultantes da combinação de um conjunto de variáveis, que permitem avaliar continuamente a evolução de uma determinada atividade/processo, permitindo melhorar o processo através de metas (valores propostos para as métricas de desempenho) a serem atingidas num dado horizonte temporal.

Apesar da literatura internacional identificar tipicamente valores de consumo de energia por metro quadrado ou de consumo de água por dormida (PAX), estes indicadores globais são importantes, mas têm amplas gamas de variação devido aos diferentes serviços prestados nas unidades e ao tipo de ocupação, acabando por ser insuficientes para uma adequada implementação dos planos de gestão nos empreendimentos turísticos (Chan, 2012; Yan et al., 2015). Existem diversas formas de estabelecer termos de referência (benchmarks) (W. Chan, 2012), que também são úteis para avaliar a eficácia de oportunidades de melhoria a implementar (ou implementadas) e estabelecer prioridades de atuação. Assim, para estabelecer indicadores de desempenho energético, tipicamente consideram-se os seguintes fatores (Chan, 2012; HES, 2011), a saber:

- Classificação do hotel;
- Área útil de pavimento ou número de quartos, ou camas;
- Número de graus-dias (GD) de aquecimento e de arrefecimento;
- Nível de conforto proporcionado (condições de ambiente interior);
- Número de dormidas (ocupação), PAX
- Existência de serviço de cozinha - quantidade de refeições servidas,
- Existência de serviço de lavandaria - quantidade de roupa tratada/produção (kg);
- Existência de piscinas aquecidas (interior e/ou exterior);
- Consciencialização ambiental da organização e clientes.

Os consumos de energia nos hotéis são muito variáveis, dependem da localização geográfica (i.e., zona rural ou urbana, clima na zona), do tipo de hotel (i.e., edifício, resort) e da categoria de conforto. Na perspetiva da Europa, a média do consumo de energia varia entre 240 a 300 kWh/m². Numa análise mais detalhada ao sul da Europa, a Grécia apresenta um indicador médio de 289 kWh/m² e o Chipre de 272 kWh/m². Em Itália, regista-se uma utilização de energia específica na ordem de 364 kWh/m² (Bohdanowicz & Martinac, 2006; Chan, 2012). Para Portugal, os estudos realizados indicam um consumo específico de energia que oscila entre 48 a 445 kWh/m², existindo um valor médio de 296 kWh/m² (Bohdanowicz & Martinac, 2007; TP, 2015; Chan, 2012), dependendo do tipo de serviços disponibilizados, arquitetura, relação da envolvente/volume interior do edifício, qualidade térmica da envolvente, eficiência dos sistemas técnicos, perfis utilização, entre outros. A figura 46 ilustra valores médios de consumos específicos de energia para unidades hoteleiras no plano internacional (Chan, 2012; Lu et al., 2013; Wang, 2012).

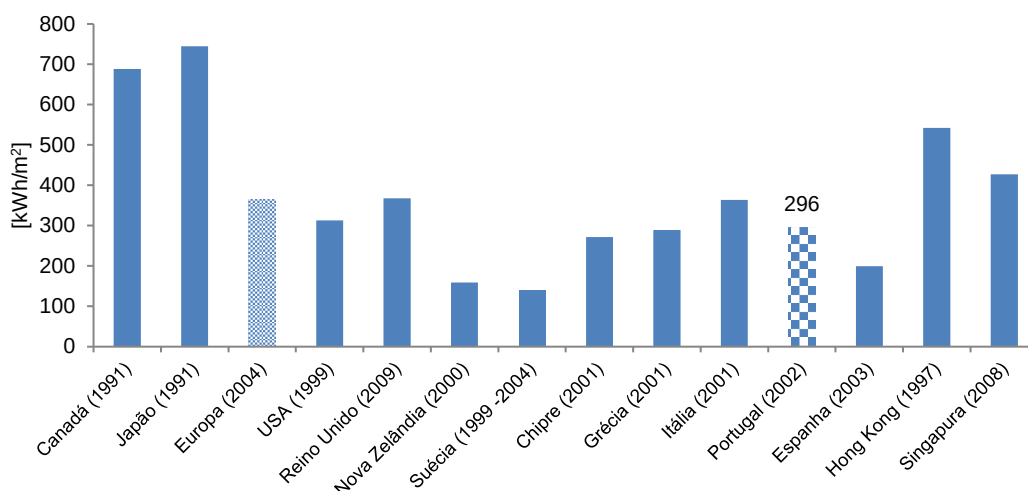


Figura 46 – Consumos específicos de utilização de energia em hotéis no plano internacional adaptado de Chan (2012), Lu et al. (2013) e Wang (2013).

A título ilustrativo, pela perspetiva dos consumos de água nos hotéis, Styles et al. (2015) apontam para um consumo diário de um quarto de 164 l/(dia.PAX), reforçando que caso sejam utilizados dispositivos eficientes esse consumo poderia ser de 72 l/(dia.PAX). Sublinha-se que este consumo pode representar metade do consumo de água num hotel (Styles et al., 2013). No entanto, os consumos podem variar bastante consoante o tipo e funções em cada unidade hoteleira. No essencial, os empreendimentos hoteleiros consomem água para um conjunto de usos que são semelhantes aos dos consumidores domésticos (duches, lavagem de roupa e loiça) e para outros usos que são mais típicos de consumidores comerciais, como sejam: os sistemas de climatização, os sistemas para rega de espaços verdes e realização de atividades de lazer (Almeida et al., 2015). Num estudo realizado por Gössling (2015) indica-se que o consumo total de água num hotel pode variar entre 84 a 2425 l/(dia.PAX), indicando um valor típico (médio) de 338 l/(dia.PAX). Além disso, em Styles et al. (2013), indicam um consumo de água por alojamento de 146 l/(dia.PAX), aumentando para 262 l/(dia.PAX) quando inclui o servido de cozinha e para 256 l/(dia.PAX), quando considera o consumo associado aos serviços de lazer – piscina e SPA (estudo elaborado para um hotel na Alemanha). O setor do alojamento na Europa tem como melhores práticas consumos na ordem de 140 l/(dia.PAX) nos hotéis (Styles et al., 2015).

Importa referir, que o uso eficiente da água não está relacionado com a disponibilidade de recursos hídricos. No consumo de água, de acordo com CIRIA (2006) o fator mais importante é a taxa de ocupação do hotel. Neste contexto, de entre os setores que apresentam um maior consumo de água, as piscinas são elementos-chave para os grandes consumidores, sendo ainda referido que os usos da água são influenciados por questões relacionadas com sazonalidade, serviço de cozinha, tipo de instalações e medidas para racionalização da água (Chan et al., 2009).

O tema será centrado nos hotéis de 4 e 5 estrelas, devido às exigências de qualidade e diversidade de serviços que disponibilizam, garantindo os elevados níveis de conforto, razão pela qual as componentes energética e hídrica representam um grande peso na exploração dos edifícios e, em particular, das empresas gestoras do setor do turismo (na forma de custos energéticos), uma vez que a garantia da competitividade está fortemente dependente do custo dos recursos e da eficiência com que os mesmos são aproveitados. Assim, de forma a apreciar

a eficiência das unidades hoteleiras para os diferentes tipos de usos, ITP (2014) disponibiliza valores padrão de consumo de água e de energia de hotéis de luxo para diferentes zonas climáticas (Temperada, Mediterrânica e Tropical), utilizando termos de referência segundo três níveis de desempenho de natureza qualitativa: Excelente, Satisfatório ou Elevado. Para hotéis de 4 e 5 estrelas situados no mediterrâneo, a classe de consumo de energia e de água é satisfatória, quando o consumo de eletricidade se situa entre 140 a 150 kWh/m², o de outras fontes de energia se situa entre 120 a 140 kWh/m² e o consumo de água se situa entre 400 a 600 l/PAX. Os hotéis de luxo nos quais são baseados os níveis de desempenho anteriormente referidos, são essencialmente constituídos por: 150 a 1000 quartos; 55-110 m²/quarto; taxa de ocupação anual média de 70%; 1,2 pessoas/quarto; produção de lavandaria equivalente a 6 kg/quarto (consumo de energia de 0,12 kWh/kg); 2,5 refeição/pessoa (consumo de 3 kWh de eletricidade ou 1 kWh de gás); 1 empregado por quarto; jardins até 1000 m²; SPA e piscina até 150 m². Importa realçar que esta literatura indica métricas de correção para aplicar aos níveis de desempenho padrão, ajustando e refletindo nesses referenciais as variáveis (por exemplo, taxa de ocupação) que contribuem nas alterações de utilização, obtendo-se novos níveis de desempenho para cada classe – Excelente, Satisfatório ou Elevado (ITP, 2014).

Com base em casos de estudo de 16 unidades hoteleiras de 4 e 5 estrelas, localizadas nas zonas de Lisboa e Algarve, e tendo em conta as taxas de ocupação anual dessas unidades, na figura 47 apresentam-se os respetivos indicadores de consumo (energia e água). Apesar de se tratar de uma amostra reduzida, é possível tecer algumas considerações sobre os dados, como sejam: verifica-se que a utilização específica de energia – eletricidade e combustíveis gasosos – dos hotéis da zona de Lisboa, expressa um valor médio superior relativamente aos hotéis da zona Algarvia e apresenta uma maior dispersão desse consumo (por dormida) face ao verificado no Algarve; O consumo de médio de água por dormida na zona Algarvia regista um valor de 704 l/PAX, e no caso da zona de Lisboa o valor médio registado é de 438 l/PAX.

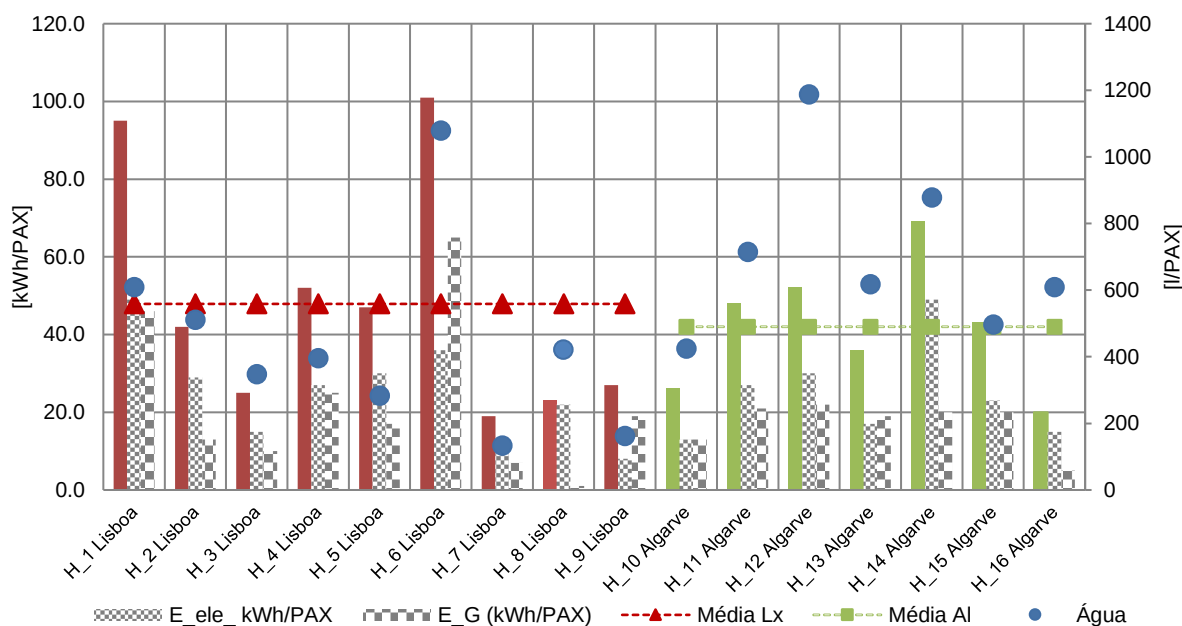


Figura 47 – Consumo de energia e de água (por dormida) de hotéis de 4 e 5 estrelas adaptado de Silva Santos (2016)

Enquadrado nesta temática, ao abrigo do projeto AdaPT AC:T⁹ foram avaliados os consumos (energia e água) e padrões de utilização de 9 hotéis de 4 e 5 estrelas no período de verão, com datas de construção entre 1950 a 2014, localizados em Lisboa e na costa Algarvia, pertencendo em ambos os casos à zona climática de inverno - I1 e verão - V3. Na figura 48a indicam-se os valores médios de consumo de energia e de água, sendo perceptível que a energia de arrefecimento correspondeu a cerca de 30% do consumo de energia elétrica durante o período da auditoria. Pela análise dos dados resulta que as diferenças entre os consumos de energia de hotéis de Lisboa e do Algarve se devem a consumos específicos de algumas unidades que afetam de forma significativa o valor médio de Lisboa, face aos valores médios dos hotéis do Algarve, e não se devem a questões relacionadas com o clima ou a utilização hotel de cidade vs. hotel de praia (Pinto et al., 2016c). Adicionalmente, tendo por base os consumos específicos dos hotéis, foram estimados em termos médios custos/dormida de energia e água de 6 €/dormida, dos quais 3,5 € se reportam ao consumo de energia elétrica, 1,0 € ao consumo de gás e 1,5 € ao consumo de água (Figura 48b). Estes custos representam cerca de 13% da receita por cama disponível, o que parece significativo. Sublinha-se pelos resultados das auditorias, que a componente de arrefecimento teve um custo médio de 1,5 € por dormida, pelo que face a um clima mais quente naturalmente aumentará (Pinto et al., 2016c).

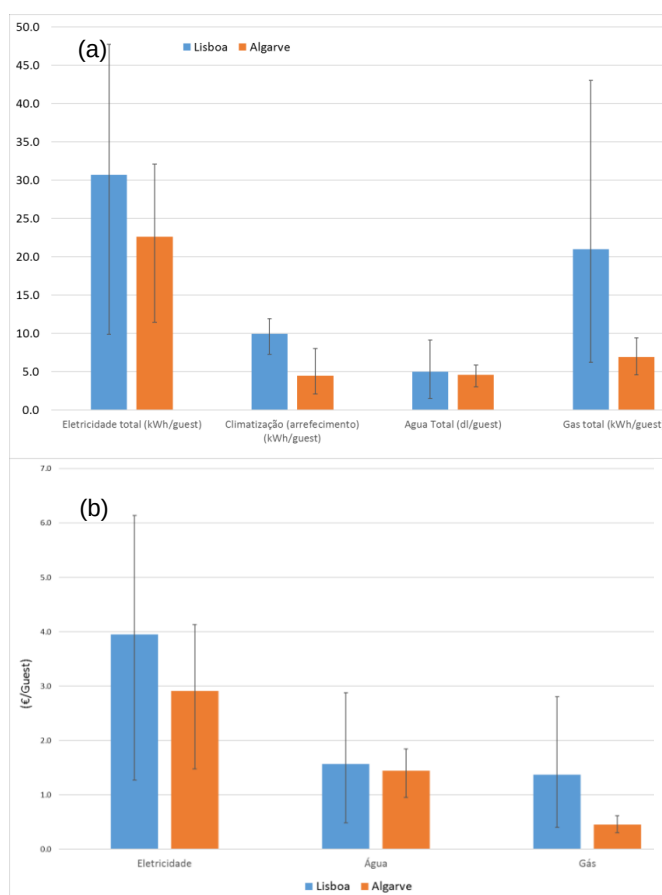


Figura 48 – Indicadores de desempenho (médios) determinados na auditoria: (a) consumo de energia e de água por dormida e (b) custos de energia e de água por dormida, (Pinto et al., 2016c)

⁹ Projeto AdaPT AC:T é um projeto da responsabilidade de um consórcio de entidades públicas lideradas pelo LNEC, e pretendeu desenvolver um método que permitisse avaliar a vulnerabilidade de empreendimentos turísticos às alterações climáticas (AC) e apoiar o desenvolvimento de planos de adaptação.

Todos estes indicadores permitem ter valores de referência correspondentes aos consumos de energia e água nos hotéis. Estes valores possibilitam que rapidamente se avalie qual o nível de consumos de uma qualquer unidade hoteleira em relação ao cenário global do parque hoteleiro (ou a um cenário base), e a partir daí estabelecer metas de otimização de recursos.

Assim, a existência de um qualquer edifício, e de uma grande unidade hoteleira em particular, passa por duas fases fundamentais, nomeadamente: a fase da conceção (projetos de arquitetura e de engenharia) e a fase da exploração (condução e manutenção dos equipamentos e sistemas); O objetivo principal dos hotéis é oferecer aos seus hóspedes um ambiente agradável, confortável e saudável. É assim necessário consumir energia sob variadas formas, para se conseguir o mais elevado padrão de conforto possível ao mais baixo custo, e com o menor índice de desperdício (consumo desnecessário). Torna-se então importante otimizar o comportamento térmico, devendo esta preocupação estar presente logo desde a conceção do edifício (sua orientação e forma), passando pela fase de projeto até à sua construção, por forma a conseguir-se uma envolvente com uma qualidade térmica adequada ao clima em que o edifício se insere. Contudo, embora a fase de conceção condicione fortemente o desempenho energético, é a fase de exploração que determina um bom ou mau desempenho de um edifício, independentemente da eficiência dos sistemas e tecnologias instaladas. Embora o investimento inicial num grande edifício de serviços seja considerável, tomando em consideração a vida útil dos edifícios, superior a 20 anos, a fase de exploração e manutenção acaba por ser, sem sombra de dúvidas, a fase mais onerosa do ponto de vista financeiro, em todo o ciclo de vida do edifício. Este aspeto pode ser minimizado com uma correta exploração e condução do edificado.

No plano Nacional, e no que respeita à identificação de oportunidades de melhoria do desempenho energético, com base nos dados disponibilizados pela ADENE, referentes aos certificados energéticos do parque hoteleiro, na figura 49 é possível identificar as principais recomendações sugeridas para o aumento da eficiência energética destes empreendimentos. Desta forma, destacam-se as estratégias relacionadas com a otimização dos sistemas de AQS e a redução das cargas internas (iluminação) (28%); otimização da envolvente opaca e não opaca, através do reforço do isolamento térmico e dos vãos envidraçados (19%); e as ações relacionadas com o sistema de climatização (11%).

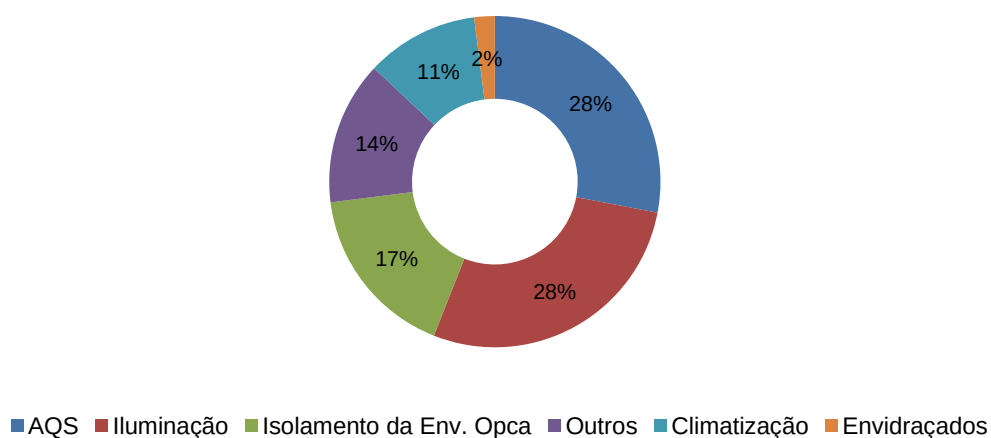


Figura 49 – Oportunidades de melhoria em empreendimentos turísticos, identificadas no SCE (Gonçalves, 2015)

5 Edifícios de balanço energético nulo

5.1 Considerações gerais

Os edifícios de balanço energético nulo têm recebido uma atenção crescente desde a reformulação da Diretiva 2002/91/CE, relativa ao desempenho energético dos edifícios, Diretiva 2010/31/EU (EPBD recast, 2010) e, mais recentemente, a Diretiva 2018/844/EU, que reformula a anterior e, ainda, a Diretiva 2012/27/EU sobre a eficiência energética (EPBD Revised, 2018). A EPBD vai obrigar todos os edifícios novos construídos a partir 2021 a serem caracterizados por níveis mais elevados de desempenho energético, procurando explorar de forma mais significativa as fontes de origem renovável disponíveis localmente numa base economicamente equilibrada e sem prejuízo para o conforto dos ocupantes. Para este efeito, a partir de 2021 todos os novos edifícios (2019, para os edifícios públicos) deverão ser caracterizados por um balanço energético “quase nulo” (artigo 9.º da EPBD). Um edifício de balanço energético quase nulo ou *nearly zero energy building* (nZEB), refere-se a um edifício com elevado desempenho energético em que as necessidades energéticas muito baixas, devido à adoção de medidas de eficiência, serão supridas através da incorporação de sistemas de energias renováveis, que conseguem satisfazer ou compensar na totalidade ou quase totalidade essas necessidades. Embora a EPBD estabeleça uma definição de edifícios com necessidades quase nulas de energia (artigo 2.º da EPBD), a responsabilidade última pela aplicação prática dessa definição (por exemplo, pela determinação do que constitui “um desempenho energético muito elevado”) incumbe aos Estados-Membros. Ora esta abertura permite diferentes interpretações e abordagens metodológicas, sendo aliás a principal razão da existência de diferentes definições nZEB de país para país. Além disso, a falta de uma definição mais precisa da performance energética exigida na EPBD, permite diferentes estados de desenvolvimento e de ambição no seio Europeu e maior dificuldade à harmonização das definições existentes.

A revisão da EPBD estabelece que os Estados-Membros devem elaborar planos de ação para a implementação e o aumento do número de edifícios de balanço energético quase nulo, com objetivos diferenciados por tipologias de edifícios, tendo em conta as condições nacionais, regionais ou locais e que inclua um indicador de energia primária. Adicionalmente, refere que os planos nacionais de ação devem incluir objetivos intermédios para melhorar o desempenho energético dos edifícios novos e existentes, a fim de preparar a execução prática dos nZEB. A figura 50 esquematiza cronologicamente a implementação dos nZEB de acordo com a reformulação da diretiva (EPBD recast, 2010; EPBD Revised, 2018).

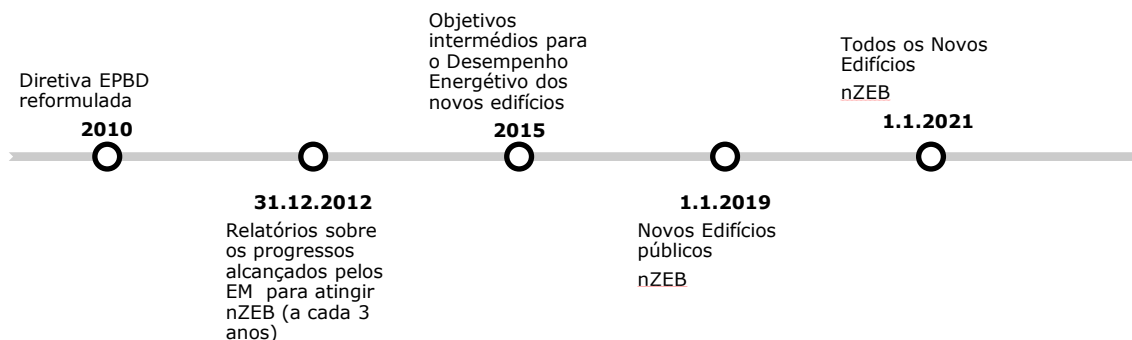


Figura 50 – A evolução cronologia do percurso dos nZEBs segundo a EPBD recast.

De acordo com referências bibliográficas recentes, a maioria dos Estados-Membros da UE já definiram as suas metas nacionais com base nas exigências da EPBD, enquanto estratégias semelhantes são consideradas pelo Japão e EUA (Yokko, 2009). Em França, por exemplo, a partir de 2020 todos os novos edifícios deverão ser caracterizados por um balanço energético positivo. Por sua vez, o Reino Unido aponta na direção duma estratégia baseada num balanço em termos de emissões de CO₂ nulo, iniciada em 2016 para os edifícios de habitação e a partir de 2019 para o setor público. A Finlândia caracteriza os edifícios públicos após 2015 com os requisitos *Passive House* (Ecofys, 2014). Na Dinamarca o caminho traçado para nZEB teve em conta as etapas para os anos 2010, 2015 e a meta delineada para 2021, com um conjunto de requisitos mínimos para o desempenho energético dos edifícios residenciais e não residenciais, bem como a evolução dos fatores de conversão de energia primária, por via da expectativa do aumento do contributo de fontes de energia renováveis (BPIE, 2015; Kurnitski, 2014). E ainda o caso dos Estados Unidos da América, que anuncia como objetivo estratégico a promoção de edifícios de habitação e de comércio/serviços de balanço energético nulo a partir de 2020 e 2025, respetivamente (US DOE, 2008). Com cada vez mais países a apontarem na direção deste novo padrão, em todo mundo são conhecidos mais de 300 edifícios que exemplificam um desempenho energético próximo do balanço neutro ou mesmo do nulo (Musall et al., 2010; Hermelink et al., 2013).

Voltando ao foco da execução prática do conceito nZEB no universo da Europa, na maior parte dos países o consumo anual específico de energia primária é o principal indicador da definição nZEB. Alguns Estados-Membros optaram por relacionar o nível nZEB a uma das melhores classes de desempenho energético (por exemplo, classe de edifícios A++), sendo esta abordagem recomendada, quando acompanhada por um indicador de desempenho energético claro, para dar informações transparentes e orientar o mercado para edifícios com balanço quase nulo de energia. Noutros casos, as emissões equivalentes de dióxido de carbono são usadas como o principal indicador e, noutros ainda, as emissões equivalentes de dióxido de carbono são complementares ao indicador de energia primária. Para além disso, e em linha com a EPBD, uma grande parte dos Estados-Membros apresentam quer mínimos em termos de energia primária, quer percentagem mínima de cota proveniente de fontes de energia renováveis (BPIE, 2015). Os valores limite para o consumo anual específico de energia primária entre os vários Estados-Membros, variam entre 0 a 270 kWh_{EP}/(m².ano) para o setor não residencial, dependendo das tipologias existentes no setor e entre 30 a 95 kWh_{EP}/(m².ano) no caso da habitação, sendo que a maioria dos Estados-Membros centra o seu objetivo nacional do setor residencial entre 45 a 50 kWh_{EP}/(m².ano). Estes limites, na maior parte dos países, têm em conta os usos de energia associados ao aquecimento, arrefecimento, ventilação, produção de água quente sanitária e iluminação (Ecofys, 2014; BPIE, 2015).

Em Portugal, o Decreto-lei 118/2003, relativo ao Sistema Nacional de Certificação Energética (SCE), deu o primeiro passo na abordagem nZEB, associando a definição de edifício com necessidades quase nulas de energia ao conceito do custo-ótimo de rentabilidade: o desempenho energético que leva ao custo mais baixo durante o ciclo de vida económico estimado.

Contudo, falta clarificar os indicadores de referência dos nZEB – por tipologia – e a percentagem de incorporação renovável na definição nacional no setor não residencial. Mas, podem traçar-se padrões de referência nZEB para o setor da habitação, com base nos indicadores (específicos) de desempenho do SCE após 2016, nas diferentes zonas climáticas e através de um fator de conversão médio entre energia final e energia primária, também função das regiões climáticas nacionais. Assim, para Portugal, o consumo anual específico de energia primária poderá situar-se entre 81 a 129 kWh_{EP}/(m².ano) para as moradias novas e entre 51 a 103 kWh_{EP}/(m².ano) para apartamentos novos. O contributo de energia renovável local pode oscilar entre 28% e 43% (Fragoso, 2017).

Entretanto, e ainda no que diz respeito aos edifícios de habitação, a recente atualização da legislação nacional para o desempenho energético em edifícios (REH, 2013), relaciona o conceito nZEB com três estratégias de ação, nomeadamente: (1) uma melhoria das necessidades anuais de energia útil para aquecimento de, pelo menos, 25% face ao seu valor máximo determinado para a habitação (edifício) de referência; (2) um consumo anual global de energia primária inferior ou igual a 50% do valor máximo (global) de referência; e ainda, (3) para a zona climática de inverno menos agressiva (I1), caso a relação entre as necessidades úteis de aquecimento e o seu limite máximo (obtido para a habitação de referência) seja inferior ou igual a 0,6, e o fator solar global máximo (g_{max}) dos vãos envidraçados inferior ou igual a 0,15, considera que a habitação tem necessidades pontuais de aquecimento, pelo que na determinação do consumo anual global energia primária, a parcela daquela função é considerada nula. Relativamente ao contributo dos sistemas de captação das energias renováveis nos nZEB, refere que estes sistemas devem satisfazer pelo menos 50% do consumo anual global de energia primária.

No que respeita aos novos edifícios de comércio/serviços, e suportado pelos dados-base do SCE, entre o período de 2013 a 2015, Fragoso (2015) estima um intervalo entre 155 a 200 kWh_{EP}/m².ano de utilização global de energia primária e um contributo renovável na ordem de 2,5% a 3,4%. Porém, é importante referir que a recente atualização da legislação nacional (RECS, 2013a) define para o conceito nZEB neste setor, uma classificação mínima de classe A, assim como uma melhoria de desempenho energético de pelo menos 25% face ao edifício de referência, via indicador de energia primária.

De realçar, que o edifício de referência anteriormente referido – no setor residencial e não residencial – é dotado de soluções de referência para os principais elementos da envolvente térmica e para alguns dos seus sistemas técnicos, mantendo inalteradas as demais características do edifício.

Em bom rigor, no caso dos edifícios não residenciais, Portugal ainda não completou a definição de nZEB, sendo certo que os níveis de desempenho a aplicar no plano nacional devem ser – obrigatoriamente – mais ambiciosos que os acima traçados – preferencialmente, por tipologia –, refletindo o aumento progressivo dos requisitos mínimos de desempenho, resultantes da implementação do Sistema Nacional de Certificação Energética (SCE).

Acresce ainda que a ligação entre os estudos de custo-ótimo e a definição de nZEB, serve como guia orientador do nível de ambição a atingir. Uma vez que o nível ótimo de

rentabilidade, constitui o nível mínimo de ambição no que diz respeito ao desempenho nZEB, e será determinado em função da melhor tecnologia disponível e bem estabelecida no mercado no momento considerado, tendo em conta os aspetos técnicos e financeiros, além de outras considerações de ordem política no plano nacional.

Em paralelo com os requisitos estabelecidos para edifícios novos, a recente revisão de 2018 da EPBD (2018/844/EU) reforça a necessidade dos diferentes Estados-Membros estabelecerem orientações claras, definirem ações específicas e mensuráveis, com o objetivo de garantir a renovação progressiva – a longo prazo – do parque imobiliário existente, no sentido de se atingirem níveis de consumo compatíveis com nZEB.

No entanto, a definição nZEB não estabelece uma diferença entre edifícios novos e existentes. Uma tal diferenciação poderia induzir em erro os atores e consumidores do parque de imóveis, como seria o caso se houvesse uma classificação separada da certificação do desempenho energético para edifícios novos e existentes. Além disso, a reabilitação energética do parque existente conduz a níveis de desempenho próximos do parque a edificar. Ora, uma “reabilitação para nZEB”, assenta no princípio da reabilitação de magnitude que permita satisfazer os requisitos de desempenho energético compatíveis com o conceito. Contudo, tal não impede a diferenciação de prazos e de apoios financeiros para o edificado existente, reconhecendo-se que é necessário um período mais longo para atingir níveis nZEB compatíveis com o interesse económico.

No que se refere ao conceito nZEB para a reabilitação no contexto Europeu, a preocupação foi identificada em 13 Estados-Membros, mas no entanto foi formalizada em apenas 8 países. De realçar que entre aqueles países, apenas 3 estabeleceram requisitos mínimos de desempenho menos rigorosos para os edifícios existentes, quando comparados com as edificações novas (BPIE,2015). Na figura 51, observa-se a visão global do estado de desenvolvimento da definição nZEB existente na Europa.

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente: avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

País	Definição nZEB: Edifícios Novos				Definição nZEB: Edifícios Existentes	
	Indicador de Energia primária (máximo) [kWh/m².a] / classe energética		Contribuição de Energia Renovável	Outros indicadores	Indicador de Energia primária (máximo) [kWh/m².a] / classe energética	
	Edifícios Residenciais	Edifícios não Residenciais			Edifícios Residenciais	Edifícios não Residenciais
Áustria	160 (d)	170 (d) (início: 2021)	% mínima para todos os edifícios - considerada na atual legislação	QTE, CO₂	200 (d)	250 (d) (início: 2021)
Bélgica – Bruxelas	45	~90 (a)	Qualitativa	QTE, SA	54	~108 (a)
Bélgica – Flandres	30% EP (b)	40% EP (b)	Quantitativa	QTE, SA	SI	SI
Bélgica – Valónia	em desenvolvimento		Quantitativa	QTE	SI	SI
Bulgária	~30-50	~40-60	Quantitativa	QTE	~30-50	~40-60
Croácia	33-41 (c)	em desenvolvimento	% mínima para todos os edifícios - considerada na atual legislação	QTE	SI	SI
Chipre	100	125	Quantitativa	QTE	100	125
República Checa	75-80% EP (a,b)	90% EP (b)	Quantitativa	QTE, ST	75-80% EP (a,b)	90% EP (b)
Dinamarca	20	25	Qualitativa	QTE, SA, ST	20	25
Estónia	50-100 (a,d)	90-270 (a,d)	Qualitativa		SI	SI
Finlândia	SI	SI	SI		SI	SI
França	40-65 (a,c)	70-110 (a,c)	Quantitativa	QTE, SA, ST	80 (c)	60% PE (a,b)
Alemanha	40% PE (b)		% mínima para todos os edifícios - considerada na atual legislação	QTE	55% PE (b)	
Grécia	SI	SI	% mínima para todos os edifícios - considerada na atual legislação		SI	SI
Hungria	50-72 (a)	60-115 (a)	Quantitativa	QTE	SI	SI
Irlanda	45	~60% PE (b)	Quantitativa	CO₂	75-150	SI
Itália	Através de classificação energética (a,c)		Quantitativa	QTE,ST	Através de classificação energética (a,c)	
Letónia	95	95	Quantitativa	QTE	95	95
Lituânia	Através de classificação energética A++		Quantitativa	QTE	Através de classificação energética A++	
Luxemburgo	Através de classificação energética AAA (e)		Qualitativa	QTE, CO₂	SI	SI
Malta	40	60	Qualitativa	QTE	SI	SI
Holanda	0	0	SI	QTE	SI	SI
Noruega	em desenvolvimento		% mínima para todos os edifícios - considerada na atual legislação	CO₂ (principal),QTE,ST	SI	SI
Polónia	60-75 (a)	45-70 (a)	SI		SI	SI
Portugal	50% EP (a, b,c)	75% EP, classe min. A (a,b,c)	Quantitativa (50% apenas p/a habitação)	QTE, ST, CO₂	SI	SI
Roménia	93-217 (a,c)	50-192 (a,c)	Quantitativa	CO₂	SI	SI
Eslováquia	32-54 (a, e)	34-96 (a, e)	Quantitativa	QTE	SI	SI
Eslovénia	45-50 (a)	70	em desenvolvimento	QTE	70-90 (a)	100
Espanha	Através de classificação energética A		% mínima para todos os edifícios - considerada na atual legislação	CO₂	SI	SI
Suécia	30-75 (a,c)	30-105 (a,c)	SI		SI	SI
Reino Unido	~44 (a)	SI	Qualitativa	CO₂ (principal),QTE,ST	SI	SI
	Edifícios devem cumprir com emissões de carbono ~ 0					

Nota:

No caso dos edifícios de habitação, a EPBD considera os consumos de energia para os usos de aquecimento, arrefecimento, ar-condicionado e água quente sanitária (AQS). Para os edifícios não residenciais, a EPBD obriga a incluir a procura de energia associada às utilizações típicas: aquecimento, AQS, arrefecimento, iluminação, ventilação/bombagem.

Legenda:

Outros indicadores: QTE - Requisitos da qualidade térmica da envolvente, CO₂ - Emissões de Carbono, SA - Sobreaquecimento, ST - Requisitos dos sistemas técnicos, SI - Sem informação

(a) - Depende do edifício de referência

(b) - Valor máximo de energia primária definido como percentagem do consumo de energia primária (EP) do edifício de referência. No caso da República Checa, é considerado o consumo de energia primária não renovável.

(c) - Depende da região climática

(d) - Consumo de energia associado aos equipamentos contemplado na definição nZEB (edifícios residenciais e não residenciais)

(e) - Não considera o consumo de energia para arrefecimento em edifícios residenciais

Figura 51 – Definição nZEB na Europa - requisitos mínimos (adaptado de BPIE, 2015)

5.2 Estado do conhecimento

As primeiras evidências de desenvolvimentos de edifícios de balanço energético nulo incluem, em 1939, a “MIT Solar House I”, como sendo o primeiro edifício aquecido a energia solar durante todo o ano. O depósito instalado na cave permitia armazenar água quente suficiente para aquecer o edifício (Butti et al.,1980), e em 1955, a “Casa Bliss” que utilizou coletores solares a ar em conjunto com armazenamento térmico em pedra (Bliss, 1955).

Outros exemplos mais recentes e sobretudo devido às consequências da crise do petróleo, incluem a “*Vagn Korsgaard Zero Energy House*” na Dinamarca (Esbensen & Korsgaard, 1977) e “*Saskatchewan Conservation House*” (Bessant et al., 1979), ambos com coletores solares e depósitos de água para armazenamento, concebidos para aquecimento ambiente e água quente sanitária. Embora com contornos diferentes, mas igualmente importantes na evolução do conceito, o projeto “*Philips Experimental House Project*” de 1984, com elevados níveis de isolamento, janelas com vidro duplo de baixa emissividade, sistema de ventilação com recuperação de calor e com pré-aquecimento/pré-arrefecimento do ar através de permuta térmica com o solo (Steinmüller, 2008). Estas tentativas iniciais, que na realidade apontavam como estratégia para um balanço nulo do ponto de vista térmico e não energético, criaram as bases para a arquitetura bioclimática. Embora não exista nenhuma abordagem exata para a conceção e realização de edifícios de balanço energético nulo, existe um consenso que esta meta pode ser alcançada na sequência da implementação de um design passivo (Aelenei et al., 2012; Aelenei et al., 2011). Estão então na sua génese estratégias bioclimáticas, que pela sua própria definição promovem as condições do clima local a interagirem (através de estratégias) positivamente com o edifício, ajudando a criar as condições de conforto térmico adequadas a cada espaço. Sendo o Sol e a sua radiação fundamental nesta relação, é ainda através de sistemas passivos¹⁰, ou seja, utilizando dispositivos construtivos integrados nos edifícios, cujo objetivo é o de contribuir para o seu aquecimento ou arrefecimento natural, que a maior parte dos edifícios de balanço energético nulo são hoje concebidos (Gonçalves & Graça, 2004).

O interesse sobre o tema do balanço energético nulo surge a partir da década de 2000 relacionado com a evolução do uso e eficiência energética nos edifícios. Por sua vez, a introdução da visão holística do edifício enquanto um sistema integrado de múltiplos elementos, ao invés de sistemas individuais e a integração de energias renováveis no edifício, serviu de base para diversos estudos relacionados com o balanço energético nulo existentes até aos dias de hoje. Carrilho da Graça et al. (2012) exploraram a viabilidade de uma moradia unifamiliar alimentada a energia solar no sul da Europa e identificaram uma estratégia viável para atingir o balanço energético nulo, com um aumento moderado do custo dos equipamentos necessários. Num outro estudo, Aelenei et al. (2010), mostraram que os edifícios sujeitos a reabilitação apresentam a possibilidade de alcançar o balanço energético nulo, apenas com a integração de sistemas fotovoltaicos e solares térmicos em quantidade suficiente. No entanto, esta estratégia não segue o primeiro eixo estratégico incidente da redução da procura da energia. Nesta linha de princípio, Torcellini et al. (2006) observam que qualquer edifício pode alcançar o balanço energético zero, por mais ineficiente que seja. Para tal, basta que disponha de um sistema de captação de energia renovável de capacidade suficiente. Todavia, opõem-se a este tipo de estratégias sem preocupações de eficiência energética e defendem que os edifícios de balanço nulo devem ser concebidos inicialmente pelo plano da eficiência energética. Somente depois de esgotadas as possibilidades de redução do consumo deve ser dimensionada a capacidade do sistema renovável.

O tema nZEB tem vindo a ser abordado, quer a nível nacional quer a nível internacional, em seminários, conferências, grupos de discussão e fóruns, visando a partilha de conhecimentos e experiências, e manifestando a necessidade de convergência de conceitos e metodologias comuns. O grupo de trabalho Task SHC 40 – ECBS Annex 52 “*Towards Net Zero Energy Solar Buildings*” da Agência Intencional de Energia (AIE), elaborou um relatório em 2014

¹⁰ Um sistema passivo é aquele em que a energia térmica é captada e transmitida naturalmente por convecção, condução e radiação, sem recurso a meios energéticos auxiliares.

sobre 30 edifícios de elevado desempenho energético compatíveis com nZEB, residenciais e não residenciais e em climas distintos, onde se descrevem as soluções técnicas preconizadas, custos específicos de construção, metas de desempenho energético definidas, e monitorizações de desempenho real, para aferir desvios relativamente à conceção inicial e corrigir os consumos de energia com a experiências adquiridas com o funcionamento dos edifícios (ECB Annex 52, 2014). O resultado pretendido pelo grupo de trabalho é o de apoiar a transformação do conceito nZEB de uma ideia para uma realidade prática no mercado.

No caso particular dos edifícios não residenciais (tipicamente grandes consumidores de energia) estes incluem uma grande variedade de edifícios, com necessidades energéticas muito distintas, nomeadamente: edifícios de escritórios, edifícios de comércio, escolas, hotéis, hospitais, entre outros. Na maioria destes, a eficiência energética depende fundamentalmente dos ganhos internos de energia, mais do que das condições climáticas. Avaliar corretamente a eficiência energética de sistemas técnicos de edifícios e equipamentos, assim como definir prioridades de uso dos mesmos durante a utilização para atingir níveis de eficiência enquadrados nos padrões nZEB, é uma tarefa extremamente complexa. Na figura 52 apresentam-se exemplos de casos de estudo de edifícios de balanço energético nulo corretamente dimensionados, que estão disponíveis na base de dados da AIE, SHC Task 40 ECBCS Annex 52.



Pixel
Australia
Arch. : Studio 55



Eithis Tower
France
Arch. : Arte Charpentier



Green Office
France
Arch. : Atelier 2M



Meridian
New Zealand
Arch. : Marc Woodbury



Solar XXI
Portugal
Arch. : Pedro Cabrita, Isabel Diniz



Circe
Spain
Arch. : Petra Jebens Zirkel

Figura 52 – Exemplos de edifícios de escritórios nZEB (ECB Annex 52, 2014)

Ainda na perspetiva dos edifícios não residenciais, é importante referir o exemplo de Portugal com o “Edifício Solar XXI”, edifício construído em 2002 em Lisboa. O edifício apresenta na sua conceção os princípios de aproveitamento do Sol, e da conceção passiva como estratégia fundamental de todo o projeto, sendo construído de forma a potenciar o uso de energias renováveis com a integração de estratégias passivas. De referir: utilização de um sistema de arrefecimento passivo por tubos enterrados; fachada fotovoltaica a sul para aproveitamento elétrico a que está associado um outro sistema fotovoltaico no parque de estacionamento do edifício; recuperação de calor por convecção natural na fachada fotovoltaica para aquecimento ambiente; otimização térmica da envolvente; aumento da área de captação de

ganhos solares na fachada sul; dispositivos de sombreamento exteriores nos vãos orientados a sul e iluminação natural (Gonçalves et al., 2011).

O edifício “Solar XXI” é um dos principais projetos pioneiros no uso de energias renováveis na região do sul da Europa e está atualmente sob atualização para alcançar um desempenho energético nulo (Gonçalves et al., 2011; Aelenei et al., 2010).

5.3 Bases fundamentais

A definição de edifício de consumo de energia quase nulo pode ser considerada ambígua, uma vez que os caminhos definidos pelos países estão dependentes das suas próprias conjunturas, em função de equilíbrios entre custos energéticos e económicos (Gauna, 2011).

Por outro lado, a designação nZEB poderá ser equívoca, uma vez que um nZEB terá sempre necessidades energéticas, que devem ser respondidas através do recurso a energia proveniente de fontes renováveis, não existindo edifícios com consumo zero de energia. Ou seja, a um nZEB é exigido que produza energia suficiente para numa base temporal (normalmente anual) suprir maioritariamente os seus consumos.

A definição das metas e dos requisitos para um nZEB é o ponto que tem originado uma maior discussão na Europa, uma vez que cada Estado-Membro define, em função do seu plano de ação, a que corresponde um edifício “quase” zero. Neste sentido, a implementação do conceito do balanço energético quase nulo (nZEB), encontra-se facilitada pela existência de estratégias e conceitos absolutamente consolidados e explorados ao longo de décadas que podem contribuir de forma significativa para a redução do consumo de energia e de emissões de CO₂ nos edifícios (residenciais e não residenciais).

Os edifícios devem assim ser em primeiro lugar edifícios bioclimáticos, desenhados de acordo com o clima do local, minimizando as necessidades de energia, elétrica e térmica. Aqui, as condições climáticas têm um papel fundamental na definição de edifícios de balanço energético nulo, em particular em edifícios residenciais, já que condicionam as necessidades de aquecimento e arrefecimento, mas também o potencial de produção de energia renovável.

Contudo, a integração das energias renováveis e tecnologias complementares não devem descuidar a utilização das estratégias bioclimáticas que permitem a redução das necessidades energéticas. O intuito dos sistemas passivos é promover o conforto dos seus ocupantes, evitando o recurso a sistemas ativos (mesmo que renováveis), aproveitando ou evitando a radiação solar e a temperatura exterior. Assim, desempenham um papel relevante no seu comportamento térmico, tanto a envolvente opaca, como a transparente, bem como a iluminação e ventilação natural.

A norma *Passivhaus* desenvolvida pelo professor alemão Wolfgang Feist, no *Passivhaus Institut*, desde os finais dos anos 80, é apontada como uma das soluções de referência, em particular no caso habitacional. Trata-se de uma norma com experiência assimilada e que tem ganho adeptos por toda a Europa, com mais de 55 000 edifícios passivos pelo mundo, havendo também registos de construções no Japão e na Coreia do Sul. Este é um conceito que pretende ser adotável em todos os climas do mundo, sendo, no entanto, uma abordagem onde o termo “passivo” se aplica à forma como funciona o sistema de aquecimento, uma vez que é originário de países com climas mais frios do centro e norte da Europa, onde os consumos associados ao aquecimento dos edifícios são os mais predominantes. A iniciativa alemã baseia-se principalmente nas seguintes características: elevados níveis de isolamento, incluindo pontes térmicas reduzidas e envidraçados bem isolados, boa estanquidade ao ar e

um sistema de ventilação com recuperação de calor de elevada eficiência. As necessidades de arrefecimento foram negligenciadas devido precisamente ao clima.

Face a este cenário, a *Passive-On*, elaborou uma revisão da proposta para a aplicação da norma *Passivhaus* nos climas do sul da Europa (Passive-On, 2007). Apesar dos edifícios no sul da Europa precisarem de ser aquecidos no inverno, existe também a necessidade de assegurar condições de conforto no verão, o que por vezes pode ser dominante. Assim, os principais requisitos da norma são (Passive-On, 2007):

- Necessidades anuais de aquecimento e arrefecimento inferiores a 15 kWh/(m². ano);
- Estanquicidade ao ar, verificada por um teste de pressurização de acordo com a norma EN 13829 não superior a 0,6 Rph (a 50 Pa de pressurização). O que Pressupõe implicitamente a utilização de um sistema de ventilação mecânico;
- Consumos de energia primária incluindo aquecimento, arrefecimento, AQS e equipamentos elétricos inferiores a 120 kWh/(m².ano);
- Temperatura interior do edifício mínima de 20 °C no inverno e máxima de 26°C no verão;
- Temperatura excessiva, acima dos 26°C, não pode ocorrer em mais do que 10% do tempo.

De ressaltar, que as diferenças dos conceitos da norma para os países do centro e norte da Europa e países do sul da Europa, onde o problema de sobreaquecimento é frequente, centram-se no critério de arrefecimento com a introdução do limite para as necessidades de arrefecimento de 15 kWh/(m².ano) e na introdução de um critério de conforto de temperatura durante a estação do verão (a temperatura operativa dos espaços permanece entre a banda de conforto definida na norma EN 15251/2007, ou abaixo dos 26 °C, se existir um sistema ativo de arrefecimento) (Passive-On, 2007).

Adicionalmente, em resposta ao desafio do balanço energético “quase” nulo, a norma alemã definiu três classes de edifícios, considerando o contributo das fontes renováveis no fator de energia primária de cada país ou região. A diferença entre as três categorias é efetuada em função das necessidades de energia primária de origem renovável requeridas. Por outro lado, não esquecer que a norma *Passivhaus* é um sistema de certificação para edifícios de elevado desempenho energético. Ou seja, padroniza um limite que é positivo em termos de fixação de objetivos, mas as soluções a que se refere não podem ser generalizadas a todos os países e em particular em locais onde as necessidades de arrefecimento são significativas. Estudos mostram que alguns requisitos implícitos e explícitos da norma *Passivhaus* da Europa Central podem representar um sobredimensionamento na Europa do Sul. A experiência, por exemplo em Espanha e Portugal, mostra que é possível projetar habitações confortáveis de baixo consumo energético, evitando sistemas ativos para arrefecimento, se forem utilizadas soluções de arrefecimento passivo (por exemplo, ventilação noturna eficiente, na qual o ar frio da noite é usado para arrefecer a massa térmica do edifício) (Passive-On, 2007). Surge assim um aumento na procura de estratégias para atingir tanto o aquecimento passivo como o arrefecimento passivo.

Importa lembrar que quando se fala em sistemas e técnicas passivas (isolamento, ganhos solares, sombreamento, ventilação natural, iluminação natural, orientação, etc.), tal se refere à consideração pensada do desempenho dos componentes e sistemas do edifício de modo a minimizar as perdas térmicas no inverno e os ganhos térmicos no verão, garantindo o conforto

térmico e qualidade do ar interior no edifício, tirando partido das condições climáticas locais (por exemplo, o sol, o céu noturno). Contudo, as estratégias passivas podem não ser suficientes para reduzir o consumo energético ao nível nZEB. Nestes casos, as estratégias ativas (sistemas de climatização, sistemas de controlo e monitorização e sistemas de captação de energias renováveis) devem ser consideradas e conjugadas com as passivas de forma a atingir os melhores resultados.

Em linha com o referido anteriormente, o primeiro passo fundamental para atingir a meta do balanço energético nulo é diminuir as necessidades energéticas através da implementação de medidas de eficiência energética, o que por sua vez começa pela integração do projeto solar passivo e continua com a utilização de sistemas energeticamente eficientes conduzindo a menores consumos de energia, através da otimização na afetação dos recursos disponíveis, mantendo a quantidade do valor energético. Numa terminologia mais abrangente, consiste na redução da procura de energia, sem comprometer as condições de conforto térmico e a qualidade do ar interior. O segundo passo fundamental é a produção de energia através de sistemas de captação das energias renováveis. Ou seja, as necessidades de energia restantes devem ser satisfeitas preferencialmente por fontes renováveis. Considerando estes dois passos pode dizer-se que o sucesso para alcançar um balanço energético nulo depende principalmente das necessidades energéticas do edifício, de um dimensionamento inteligente baseado principalmente em técnicas e estratégias passivas, e das condições climáticas do local. De modo geral, o caminho para o desempenho energético nos edifícios pode ser compreendido utilizando dois eixos de atuação – eficiência energética/produção de energia –, tal como representado na figura 53, sendo aliás, a base do conceito apresentado na EPBD reformulada e reforçada por Atanasiu et al. (2011).

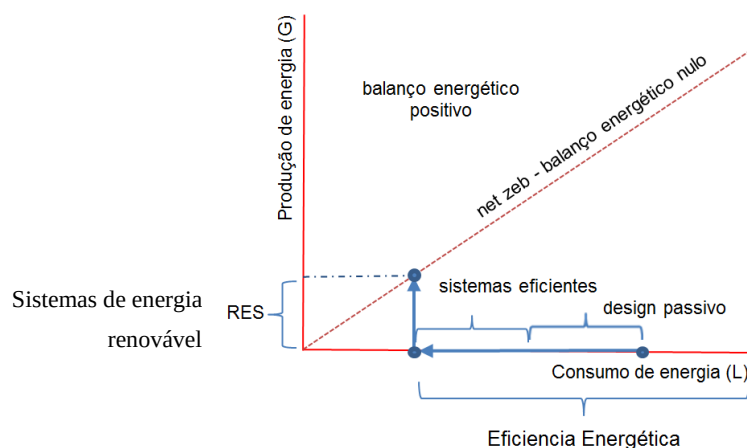


Figura 53 – Representação esquemática do caminho para atingir um balanço energético nulo

5.4 Definições e principais parâmetros do balanço energético

Diversos especialistas têm vindo a alertar para o problema da existência das várias definições sobre os edifícios de balanço energético nulo ou “quase” nulo. Marszal et al. (2011) e Sartori et al. (2012) têm manifestado a necessidade de se reunirem esforços no sentido de ser possível estabelecer conceitos e metodologias comuns, para a construção de uma plataforma de base com a designação de balanço de energia zero. É importante esclarecer questões como: o que são edifícios de balanço energético nulo ou “quase” nulo; como são estabelecidas as fronteiras

do balanço energético no edifício; a equivalência métrica de cada vetor energético; as utilizações de energia a considerar na avaliação do balanço energético; as formas de contabilização da energia proveniente de fontes renováveis; por fim, o impacto da escala temporal na avaliação do desempenho energético e a sua relação com as redes de energia. Estas são questões delicadas que criam ruído em torno do conceito, e que são correntemente alvo da atenção de um grande número de profissionais em todo o mundo (ver figura 54).

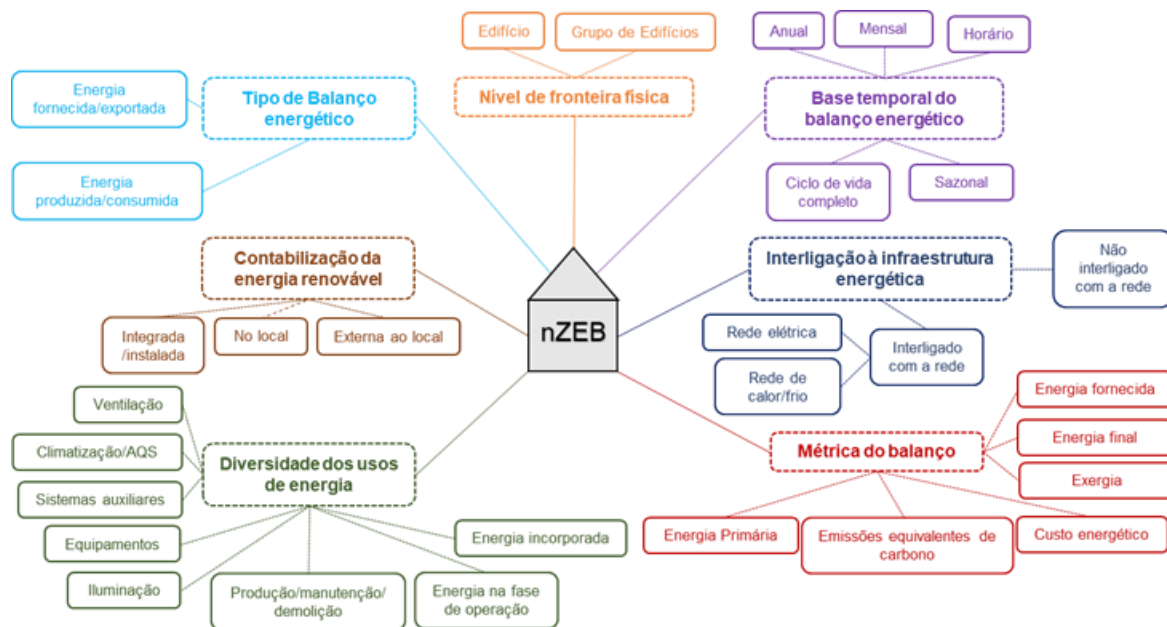


Figura 54 – Principais parâmetros em torno da definição nZEB a clarificar (adaptado de D'Agostino, 2015)

5.4.1 Definições

De acordo com diferentes fontes (Torcellini et al., 2006; Sartori et al., 2012), existem várias abordagens. Por um lado, Torcellini et al. (2006) sugerem quatro abordagens para a definição dos edifícios de balanço energético nulo e expressa-os em indicadores numéricos: energia final, energia primária, custos energéticos e emissões equivalentes de CO₂. Nomeadamente: *zero site energy*, *zero source energy*, *zero energy costs* e *zero energy emissions*, a saber:

- *Zero Site Energy* – o balanço energético anual baseia-se no balanço calculado ao nível do limite do local de construção, isto é, a energia total fornecida ao edifício a partir da rede energética tem de ser compensada pela produção de energia do edifício.
- *Zero Source Energy* – o balanço energético anual é contabilizado na fonte, em termos de energia primária. O edifício (ou local) produz uma quantidade de energia equivalente à que é utilizada anualmente quando contabilizada na fonte. Energia na fonte refere-se à energia primária utilizada para extrair, processar, gerar e distribuir a energia ao edifício/local. Para calcular esta energia, a energia importada e exportada é multiplicada por um fator de conversão apropriado baseado no tipo de fonte energética.
- *Zero Energy Costs* – o balanço é contabilizado em termos de custos energéticos. Os custos associados à energia importada pelo edifício ao longo de um ano são compensados pela receita gerada da exportação da energia produzida;
- *Zero Energy Emissions* – o balanço é contabilizado em termos de emissões equivalentes de CO₂. O edifício/local deve compensar as emissões de CO₂ associadas

à energia consumida anualmente no edifício (ou no limite local da construção) proveniente de combustíveis fósseis, através da produção (ou compra) de energia de origem renovável, isenta de emissões de CO₂.

Estas quatro definições distintas de balanço zero apresentam diferenças profundas. Um mesmo edifício pode ser, ou não, considerado de balanço zero, alterando a definição utilizada. Por outro lado, em Satori et al. (2012) podemos observar as vantagens e as diferenças entre a abordagem de um balanço de energia no edifício: produção (oferta de energia) versus consumo efetivo (procura de energia), denominado por balanço *G-L* (*generated - load*). E a seleção de uma abordagem com base num balanço de fluxos de energia: energia importada pelo edifício, sob a forma de combustíveis ou redes de energia, versus energia exportada através de redes, designado por balanço *E-D* (*exported - delivered*). A título exemplificativo e em concordância com o referido anteriormente, na figura 55a relativa ao método *E-D*, é possível identificar que existe um conjunto de frações/edifícios em que a energia fornecida (expressa em energia primária) é progressivamente reduzida e identificada através de indicadores relativamente próximos do balanço nulo de energia. No entanto, a mesma figura já não permite visualizar se essas situações advêm da adoção de estratégias conducentes à redução da procura de energia (aumento da eficiência energética) ou de energia proveniente de fontes de origem renovável, ou mesmo da conjugação de ambas. Por sua vez, o método *G-L* representado pela figura 55b, permite identificar a energia produzida no local a partir de fontes de origem renovável. Esta definição permite, desde logo, estabelecer indicadores plausíveis de serem incorporados na definição de nZEB e quantificar se um edifício é energeticamente eficiente (Gonçalves & Panão, 2013). Por outro lado, um balanço entre os fluxos de energia importada/exportada mostra a interação com a rede; é compatível na fase de monitorização, mas é o mais difícil de obter durante a fase conceção e projeto, porque requer estimativa dos padrões de consumo e simulação dinâmica detalhada. Já o método produção/consumo ignora completamente a interação com a rede de abastecimento, sendo mais adequado na fase inicial de projeto.

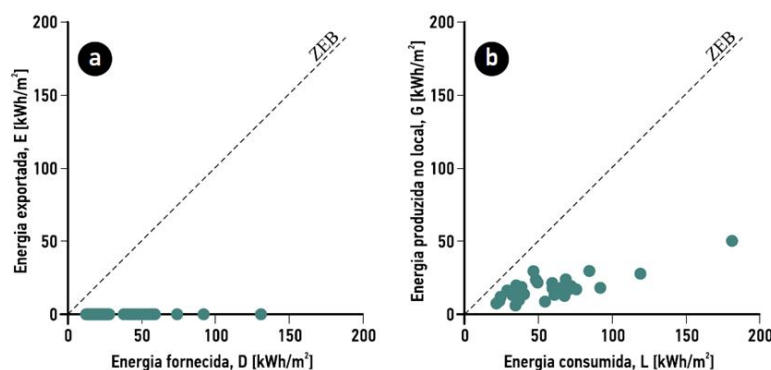


Figura 55 – Balanço de energia primária: (a) método E-D e (b) método G-L (Gonçalves & Panão, 2013)

5.4.2 Balanço energético e equivalência métrica

O balanço energético em torno de um edifício pode ser esquematicamente representado como na Figura 56. De acordo com a referida figura, os edifícios de balanço de energia zero trocam energia com a rede de distribuição na forma de combustíveis (eletricidade e/ou calor/frio e/ou combustíveis), que são convertidos em energia primária utilizando para o efeito fatores de conversão. Consequentemente, o equilíbrio entre a energia produzida (exportada) ($E_{exp,i}$) pelo edifício e a energia fornecida ($E_{del,i}$) ao edifício pode ser definido como:

$$\text{Balanço Energético (BE)} = \sum_i E_{exp,i} \times F_{p,i} - \sum_i E_{del,i} \times F_{p,i} \quad (5.1)$$

Em que os fatores de conversão F , de cada vetor energético i , são utilizados para converter as unidades físicas em outras métricas, como a energia primária ou de emissão de carbono equivalente.

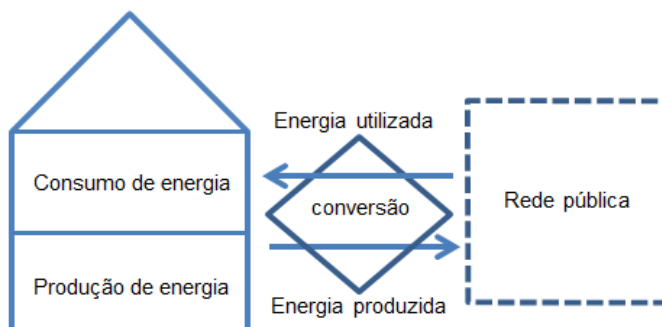


Figura 56 – Representação esquemática do balanço energético nulo

Analisando a Equação 5.1, pode tirar-se a conclusão de três cenários possíveis, dependendo do valor do balanço energético (BE). No caso de um balanço de energia anual nulo (produção igual ao consumo), o edifício é normalmente designado como de balanço nulo ou *net zero*. O termo *net zero energy buildings* (net ZEB) é usado para se referir a edifícios que se encontram interligados à rede, enquanto o termo ZEB é geralmente mais abrangente e pode ser entendido como um edifício autónomo, ou seja, um edifício autossuficiente (não interligado com rede) e, portanto, com necessidade de sistemas de armazenamento de energia para colmatar o desfaseamento diário/sazonal entre a procura de energia e a energia produzida através de fontes renováveis. A expressão “net” sublinha o facto de que um edifício injeta tanta energia na rede como a que retira da mesma durante uma base temporal, normalmente anual.

Num cenário em que o balanço é positivo (quando o edifício produz mais energia do que a que utiliza), o edifício é classificado como de balanço positivo ou *plus energy*, isto é, tem um balanço suficientemente excedentário para contribuir na alimentação da rede pública de distribuição de eletricidade e/ou nas redes urbanas de distribuição de energia térmica. Por outro lado, se o edifício cai ligeiramente abaixo do equilíbrio neutro, então neste caso pode ser referido como um edifício de balanço quase nulo ou *nearly zero*.

A expressão simples de balanço energético pode torna-se rapidamente complexa se forem consideradas outras características. Por exemplo, se a fronteira é traçada em torno de um grupo de edifícios, além das preocupações inerentes às redes de abastecimento e fatores de conversão, bem como a energia necessária às infraestruturas e indústria da comunidade. Nestes casos, é possível que os edifícios com balanço positivo forneçam a energia excedentária aos edifícios da comunidade próximos do balanço nulo, na perspetiva da comunidade alcançar o objetivo net ZEB. Outros estudos questionaram as similaridades e as diferenças nas diversas abordagens sobre o balanço de energia zero e definiram que o balanço energético deve ser calculado não apenas considerando o período de operação do edifício, mas deve incluir a energia incorporada nos materiais constituintes e sistemas técnicos, e assim avaliar a energia consumida durante toda a vida útil do edifício (Hernandez & Kenny, 2010). Kilkis (2007) refere que a definição ZEB deve abordar não só a quantidade, mas também a

qualidade da energia, para uma avaliação completa dos impactos ambientais dos edifícios. Propõe uma definição alternativa para o termo ZEB em particular, *net zero exergy building* (net ZExB) e define-a como sendo “*um edifício que tem uma soma anual total de transferência de exergia nula através da fronteira edifício-quarteirão num sistema urbano centralizado de energia, durante toda a transferência de energia elétrica ou qualquer outra transferência que ocorra num determinado período de tempo*”

Na perspetiva da equivalência métrica, os fatores de energia primária diferem de país para país, dependendo do *mix* nacional de energia, e traduzem o “peso” relativo de cada vetor energético, permitindo a soma de energias de forma distinta. Os fatores de conversão de energia primária consideram a energia total requerida ao longo da cadeia energética, isto é, desde a extração de combustível, captação ou refinação (se aplicável), produção, distribuição e utilização de energia. O consumo expresso em energia primária descreve melhor o impacto ambiental da utilização da energia. Por exemplo, quando são utilizados 10 kWh de eletricidade num edifício podem ser necessários 25 kWh_{EP} de energia na cadeia energética para a sua produção, distribuição e perdas na conversão. O fator de conversão de energia primária descreve esta relação. Neste exemplo concreto, é necessária 2,5 vezes mais energia do que a energia final requerida. A energia primária é calculada multiplicando a energia final fornecida pelo fator de conversão em energia primária (kWh/kWh_{EP}). Adicionalmente, os fatores de conversão servem de incentivo político a vetores energéticos em detrimento de outros, o que justifica a adoção de valores que não se baseiam apenas em considerações de natureza científica. Um bom exemplo é o caso dos fatores de conversão assimétricos, onde o fator de conversão para energia primária da energia fornecida pela rede de distribuição é diferente do fator utilizado para a energia exportada, para incentivar a energia produzida no local para autoconsumo. Outra abordagem possível é a quantificação das emissões equivalentes de dióxido de carbono, associadas ao consumo de energia nos edifícios, através da conversão dos fatores de energia primária para emissões de CO₂. Esta abordagem permite informação adicional sobre o impacto ambiental global da energia final, em termos de CO₂ emitido para atmosfera. Contudo, a evolução futura das emissões de carbono deve ser considerada nas análises do ciclo de vida, se se pretende obter resultados realistas.

Importa também tecer considerações no que respeita à contabilização dos combustíveis de origem renovável (biomassa, biocombustíveis, lenha, *pellets*). A norma EN 15063/2008 estabelece para os fatores de conversão entre energia final e energia primária as seguintes opções: fator de energia primária total (parte renovável e não renovável), que inclui a energia utilizada em todos os processos, desde a produção, transporte e extração; fator de energia primária não renovável, que inclui toda a energia utilizada nos mesmos processos, mas de origem não renovável. Por outro lado, na norma CEN/TR 15615/2008, os combustíveis de origem renovável são contabilizados como um vetor de energia fornecida, utilizando-se, portanto, o fator de energia primária não renovável. Realça-se que, sendo os combustíveis de origem renovável, o que se encontra contabilizado com fatores superiores a zero é a energia associada à produção e transporte.

5.4.3 Condição de fronteira e fluxos energéticos

Para definir qualquer edifício como edifício de elevado desempenho, ou energia próxima de zero, importa quantificar e especificar os fluxos energéticos considerados. Essa especificação é referida como fronteira do sistema e constitui a referência fundamental para traçar os indicadores energéticos. Nesta linha de princípio, podem identificar-se condições de fronteira em relação às necessidades de energia, aos sistemas técnicos ou aos fluxos de energia

importada-exportada de um edifício. Tipicamente, as instalações técnicas dos edifícios fornecem a energia final para satisfazer a procura expressa por energia útil¹¹, isto é, a energia necessária para o exercício de funções (aquecimento, arrefecimento, ventilação, águas quentes sanitárias, iluminação e outros equipamentos). Esta inclui, naturalmente, perdas de distribuição (por exemplo, distribuição da energia térmica para aquecimento e/ou arrefecimento) e eficiência dos sistemas técnicos (por exemplo, bombas de calor, caldeiras). Adicionalmente tem-se em conta a energia produzida no local proveniente de fontes renováveis, por exemplo, a energia solar captada por painéis (térmicos ou fotovoltaicos) que fornecem calor ou eletricidade para consumo próprio. Por sua vez, a energia fornecida aos sistemas técnicos através do edifício pode ser energia elétrica, térmica de redes urbanas de distribuição de calor e frio, bem como combustíveis de origem renovável ou de origem não renovável. A energia efetivamente fornecida é a energia fornecida pela rede menos a energia entregue (exportada) à rede. A energia de origem renovável produzida localmente é a energia produzida a partir de fontes renováveis, solar, biomassa e eólica (e hídrica, se disponível), no edifício ou nas suas proximidades. Esta energia produzida de origem renovável pode abastecer as instalações técnicas existentes no edifício ou pode ser diretamente injetada nas redes de energia. A figura 57 demonstra os fluxos energéticos num edifício de forma a incorporar o conceito nZEB ou net ZEB.

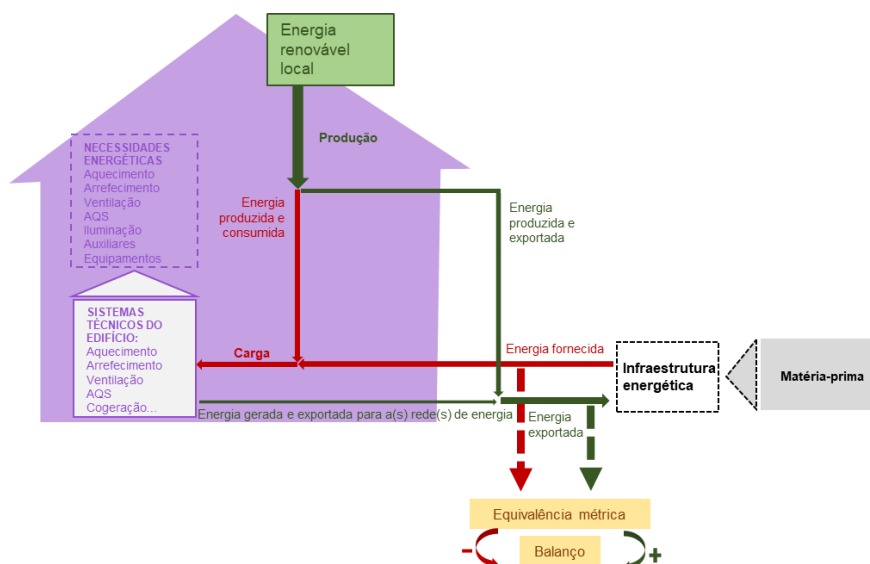


Figura 57 – Representação esquemática das condições de fronteiras e fluxos energéticos (adaptado de Belleri & Napolitano, 2012)

A REHVA¹² publicou uma definição adequada ao conceito “quase” ZEB concordante com a EPBD reformulada. A metodologia subjacente ao cálculo do índice de energia primária é baseada no balanço de fluxos de energia importados pelo edifício e a energia exportada através das redes de abastecimento (Kurnitski, 2013). Neste caso o desempenho energético é aferido pela determinação do indicador de energia primária EP_p , incluindo os consumos anuais de energia por vetor energético, para as funções típicas – de aquecimento, águas quentes sanitárias (AQS), arrefecimento, iluminação, ventilação/bombagem – e de outros equipamentos, contrastando com EPBD que obriga a incluir apenas a procura de energia

¹¹ A porção de energia final que se encontra efetivamente disponível para o consumidor para utilização após conversão final. Na conversão final, a eletricidade transforma-se por exemplo em luz, energia mecânica ou calor.

¹² Federation of European Heating, Ventilation and Air conditioning Associations

Segundo Kurnitski (2013) um edifício net ZEB tem um fator de energia primária não renovável nulo. Por outro lado, um edifício de balanço energético quase nulo depende do contexto nacional de cada país, incluindo: nível de energia primária que seja possível de atingir em termos técnicos; percentagem de energia primária coberta por fontes renováveis; incentivos financeiros disponíveis para implementação de energias renováveis ou medidas de eficiência energética; e por fim, avaliar implicações económicas em função das metas a atingir (Kurnitski, 2013).

Para além da definição estabelecida para o cálculo do indicador de energia primária alinhado com nZEB, Kurnitski (2013) propôs uma metodologia para a quantificação da energia renovável utilizada num edifício, baseada em termos de energia primária total. A condição de fronteira é considerada em torno das instalações técnicas de um edifício e expressa-se pela razão entre energia produzida e a energia consumida. Este rácio contabiliza todas as fontes de origem renovável, incluindo a energia térmica capturada no ambiente pelas bombas de calor, permuta térmica através do meio ambiente (ar, solo ou água) (por exemplo, bomba de calor geotérmica em regime de arrefecimento gratuito), e energia renovável produzida *off-site*, definição mais abrangente que permite a contabilização das fontes renováveis não produzidas no local.

Importa referir que a bomba de calor não constitui em si uma fonte de energia renovável, mas possui a capacidade de explorar fontes de calor de baixo potencial, tais como fontes de calor de rejeição (por exemplo, recuperação térmica do ar de exaustão) e fontes de calor naturais (isto é, ar ambiente e geotermia). Na razão consumo renovável/consumo total, para além da contabilização da energia final entregue pela bomba de calor – função da eficiência dos equipamentos –, a energia térmica capturada no ambiente também é contabilizada.

No que respeita à diversidade dos usos de energia a utilizar na avaliação do balanço energético, existem diferentes entendimentos entre os vários estudos existentes. Segundo Marszal et al. (2011), a maioria das definições não identificam especificamente quais os usos de energia a serem incluídos no balanço. A norma EN 15603/2008 considera que deve ser obrigatório e incluir apenas a energia que não depende do comportamento dos ocupantes, condições climatéricas e outras condições (ambientais e interiores), nomeadamente: aquecimento, arrefecimento, desumidificação, ventilação/bombagem, humidificação, água quente sanitária (AQS) e iluminação (para o setor não residencial). Realça-se que a inclusão de todos os consumos de energia existentes num edifício, por fonte energética, incluindo as de origem renovável, que através de um qualquer processo de transformação, dá resposta à procura de energia de um determinado uso, será claramente a mais alinhada com conceito do balanço de energia nulo e que envolve os diversos intervenientes a trabalharem em conjunto para atingir esse objetivo.

5.4.4 Contribuição da produção de energia proveniente de fontes renováveis

A produção de energia através de sistemas de captação das energias renováveis a contabilizar no balanço energético de um edifício, pode dar maior importância à energia gerada no edifício e/ou nas suas imediações, e aí promover os sistemas fotovoltaicos, solares térmicos ou outros como a geotermia, ou dar mais relevo à fatia da energia renovável fornecida pelas redes de energia. No caso desta última opção, a justificação deve ser ponderada, uma vez que, a aposta na contribuição da rede para o balanço energético dos edifícios poderá agravar um fator característico dos países do sul da Europa relacionado com o correto uso da energia. Por outro lado, existem países que têm elevada cota de energia elétrica renovável e outros que estão a fazer um esforço nacional para aumentarem a sua integração na rede; portanto, não fazia

sentido não ser contabilizada no balanço energético do edifício. A questão irá traduzir-se numa decisão em grande parte ditada por fatores de natureza estratégica ou política, naquilo que se pretende que seja uma decisão que balanceie adequadamente o nível de esforço necessário, a ambição pretendida e os resultados ou benefícios possíveis.

O espírito passa pela dinamização da descentralização da energia através de sistemas renováveis instalados o mais próximo possível dos pontos de consumo. A filosofia da EPBD reformulada centra-se na promoção das fontes locais de energia, refletindo a redução das perdas de distribuição e transporte das redes, devido à autossuficiência local de energia via renováveis, com todas as vantagens económicas (por exemplo, independência da incerteza do custo da energia) e ambientais associadas.

Marszal et al. (2010) representaram graficamente cinco possibilidades de fornecimento de energia proveniente de fontes renováveis, nomeadamente a produzida no local (*on-site*) e a de produção externa ao local (*off-site*), ver figura 59. Segundo os autores, o gráfico não deve ser interpretado como uma hierarquização, mas uma representação gráfica de diferentes possibilidades de captação e geração de energia através das renováveis. Os cinco níveis de fornecimento de energia são ordenados em função da sua localização e proximidade relativamente ao edifício. A produzida no local (I-III): integrada/instalada no edifício (por exemplo, sistemas fotovoltaicos na fachada e/ou cobertura); produção renovável localizada em área do terreno do edifício (por exemplo, sistemas fotovoltaicos instalados no parque de estacionamento); e produção renovável na área do terreno do edifício, mas através de importação de combustíveis de origem renovável do exterior (por exemplo, biomassa, biocombustíveis, etc.); A produção externa ao local (IV-V): geração de energia proveniente de fontes renováveis disponibilizadas externamente (*off-site*) através de centrais de produção e financiadas (parcialmente) pelos proprietários dos edifícios; por fim, a compra de energia renovável à rede de distribuição.

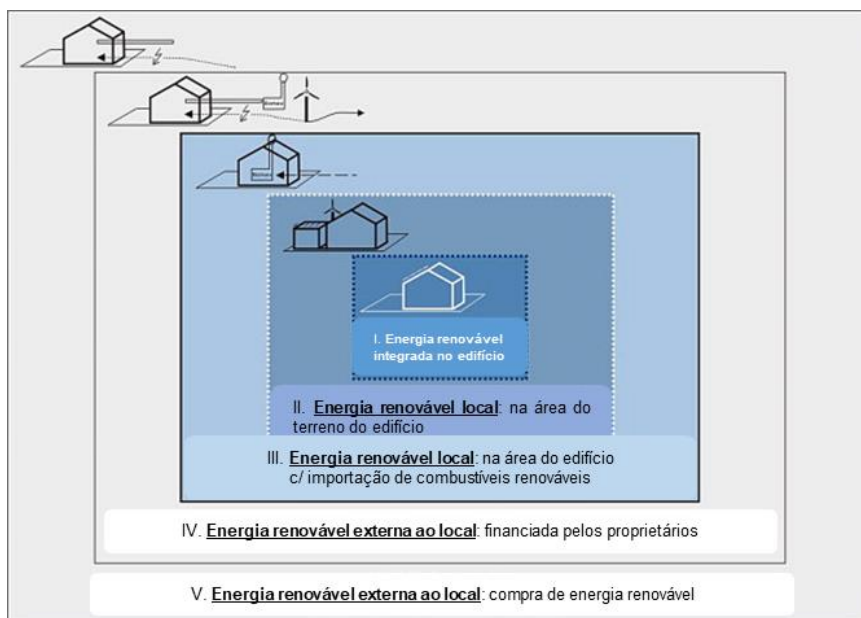


Figura 59 – Possibilidades de fornecimento de energia proveniente de fontes renováveis (adaptado de Marszal et al., 2010)

Na perspetiva da integração das renováveis nas redes de distribuição urbana de energia, a delimitação da condição de fronteira deverá ser alargada ao nível do bairro ou condomínio. Esta tendência de descentralização da energia é concordante com a produção de energia de proximidade aos edifícios. No norte e centro da Europa existe uma tradição na utilização de

redes de aquecimento urbano e os muitos bairros funcionam com energia fornecida pela biomassa. Neste caso, por exemplo, associando a integração de sistemas fotovoltaicos, os edifícios alcançam um balanço de energia positivo. Contudo, salienta-se a necessidade de não descurar a componente da eficiência energética nos edifícios.

No sentido de se fazer um paralelo com a EPBD e contabilizar a energia produzida nas proximidades dos edifícios recorrendo a fontes de origem renováveis, promovendo um aumento de integração de renováveis na rede elétrica e/ou nas redes urbanas de distribuição de energia térmica (sob a forma de eletricidade e/ou calor/frio), a delimitação da condição de fronteira estabelecida na figura 58 tem que ser alargada. Segundo a definição da REHVA (Kurnitski, 2013), essa contabilização deve ser considerada com fatores de energia primária diferentes, se existir um contrato de fornecimento de energia estabelecido entre o edifício e a produção renovável de proximidade, que permita assegurar que esse investimento a longo prazo (pelos proprietários do edifício) tenha reflexo efetivo no abastecimento energético do edifício. Isto aplica-se nos casos em que aquela energia renovável produzida nas proximidades seja integrada e distribuída através da rede elétrica ou sistema urbano de distribuição de calor/frio. Caso contrário, se não existir um contrato de fornecimento de energia estabelecido com o edifício, a produção renovável de proximidade deve utilizar os fatores de conversão para energia primária do *mix* energético da rede de abastecimento. A exequibilidade técnica e a rentabilidade dessa abordagem dependem, no entanto, da tecnologia da rede nacional de cada país e da flexibilidade da sua política energética. Na figura 60 observa-se um exemplo de produção de energia renovável de proximidade, através de um parque eólico que injeta energia elétrica na rede de distribuição. Neste quadro, admite-se que existe um contrato formalmente estabelecido para o fornecimento de energia, assegurando que a capacidade de produção renovável possa ser interligada e contabilizada no balanço energético do edifício (Kurnitski, 2013).

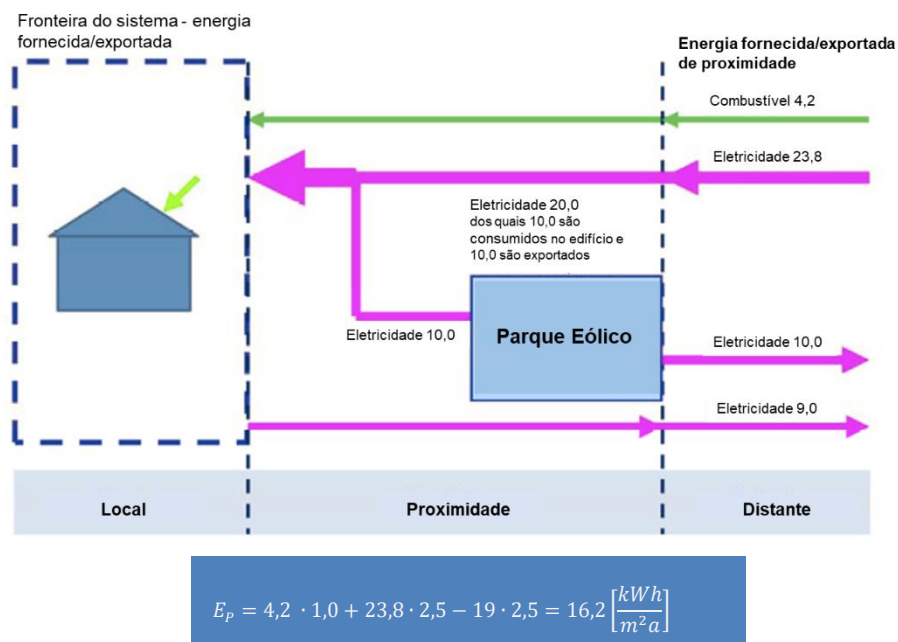


Figura 60 – Fluxos energéticos num edifício nZEB com produção renovável nas proximidades (Kurnitski, 2013)

Na tabela 2 identificam-se as definições mais representativas da prática corrente delineada para a implementação do balanço energético nulo, com base na revisão bibliográfica efetuada (Torcellini et al., 2006; Kurnitski, 2013; Hernandez & Kenny, 2010; Kilkis, 2007).

Tabela 2 – Definições do conceito do balanço de energia nulo adaptado de Deng et al. (2014)

Métodos	Sistema métrico	Escala temporal do balanço	Tipo de balanço	Condição de fronteira (ver figura 59)	Contribuição das Renováveis (ver figura 59)
Site ZEB	Energia Primária; Energia Final	Anual	ER / EU	II	Local; Externa
Source ZEB	Energia Primária; Energia Final		ER ou CER / EU	V	Local; Externa; Compra Externa
Cost ZEB	Custo energético		Rede: Ef/Eexp	III	Local
Emissions ZEB	Emissões de CO ₂		ER ou CER / EU	V	Local; Externa; Compra Externa
REHVA nZEB	Energia Primária		Rede: Ef/Eexp	I	Local
LC ZEB	Energia primária		ER / EU + Em	I	Local
Net ZExB	Exergia		Rede: Ef/Eexp	III	Local

ER – Energia Renovável; EU – Energia Utilizada; CER – Compra de Energia Renovável; Ef – Energia fornecida; Eexp – Energia exportada; Em – Energia incorporada nos materiais

5.4.5 Base temporal do balanço energético do edifício e a interação com a rede energética

A base temporal mais expressiva para o cálculo do desempenho energético dos edifícios é a anual, devido à necessidade de representar o intervalo completo de utilização de energia para todo o ciclo meteorológico. Contudo, a procura de energia nos edifícios depende do clima, do tipo de edifício, dos sistemas de AVAC, bem como das atividades desenvolvidas pelos ocupantes. Uma alternativa ao balanço anual passa por um balanço energético ao longo da fase de operação do edifício, por exemplo, 50 anos (Marszal et al., 2011). Por outro lado, as escalas temporais inferiores a um ano para o cálculo do balanço energético (sazonal, mensal ou diário), são úteis para avaliar a interação dos edifícios com a rede de distribuição (Hermelink et al., 2013). De acordo com estudos recentes (Hermelink et al., 2013) um balanço de energia anual não é capaz de fornecer a interação completa com a rede, assumindo que a rede tem uma capacidade de armazenamento energético ilimitado. O uso do balanço energético com escalas temporais reduzidas, permite maior coincidência entre o consumo efetivo e a produção de energia proveniente de fontes renováveis, mas por outro lado, pode ser suscetível de originar sistemas sobredimensionados. Além disso, torna-se mais difícil atingir o balanço de energia nulo quando comparado com o balanço anual, devido ao desfasamento sazonal entre a oferta (produção renovável) e a procura expressa pelos diferentes usos de energia (Marszal et al., 2011). A figura 61 mostra o índice de coincidência entre a energia elétrica consumida e a produção renovável através de sistema fotovoltaico, em diferentes bases temporais (anual, mensal, diária e horária) e dimensionado para um balanço anual nulo. Denota-se que sem armazenamento local, na base horária, apenas 25% da energia produzida coincide com a procura, sendo 75% injetada na rede durante um determinado intervalo de tempo e retirada da mesma noutro diferente (Koch et al., 2011). Esta particularidade implica o recurso à produção de energia, através de combustíveis fósseis e/ou a integração de dispositivos com adequada capacidade de armazenamento de energia, para potenciar o aproveitamento da componente renovável.

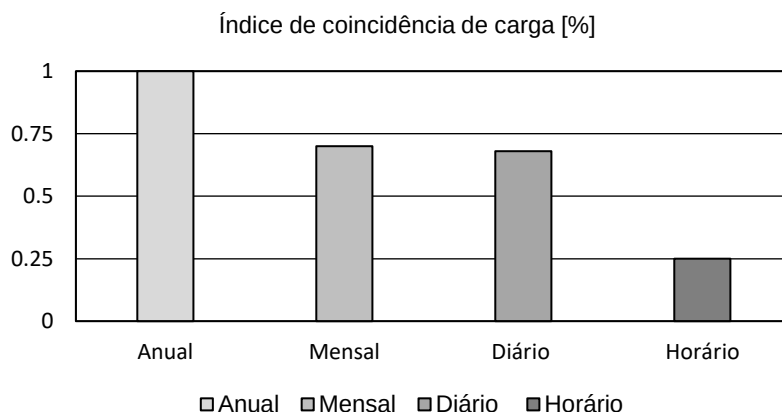


Figura 61 – Índice de coincidência entre a energia elétrica consumida e a produção renovável em diferentes escalas temporais (Koch et al., 2013)

Neste seguimento, assiste-se também a uma transformação na rede energética, devido à elevada penetração de fontes intermitentes (renováveis) que obriga à introdução do conceito de flexibilidade dos edifícios. Como na maioria dos casos, os períodos da geração de energia (elétrica ou térmica) não correspondem aos períodos em que se verificam as necessidades energéticas, desequilíbrios significativos podem surgir quer do lado dos edifícios, quer do lado das redes de distribuição. Assim, é necessária flexibilidade energética para adaptar o consumo energético dos edifícios à produção renovável como energia solar e eólica.

Por sua vez, o consumo/produção de energia elétrica é uma realidade, que cada vez mais altera a própria dinâmica do edifício e é fundamental para alcançar o balanço nulo. Atualmente surgem no mercado novos sistemas modulares que estão integrados e comunicam com a rede de distribuição, ao mesmo tempo que armazenam energia em baterias (por exemplo, de lítio de elevado desempenho) passíveis de serem usados em diversos tipos de aplicações, respondendo à necessidade de assegurar a estabilidade da rede nas zonas de distribuição de média e baixa tensão (permitem a integração no sistema elétrico de um número crescente de produção intermitente) e fazendo com que produtores e utilizadores de energia possam ter maior flexibilidade a mudanças na geração e na procura. O grande benefício proporcionado pelo sistema é a continuidade do serviço através da rede de abastecimento em qualidade e quantidade de energia e sem atraso. Paralelamente, no setor residencial começa a surgir a comercialização de baterias de armazenamento pensadas para o autoconsumo fotovoltaico e que têm capacidade suficiente para fornecer durante os maiores picos de consumo, a energia gerada pelo sistema (de autoconsumo) e armazenada pela bateria, durante os períodos em que as cargas a alimentar são praticamente inexistentes.

Esta nova realidade da flexibilização energética obriga a pensar não apenas no edifício, mas sim numa escala de comunidade de edifícios. Este paradigma altera a dinâmica dos edifícios e respetivas comunidades, obrigando-os a ter um papel mais ativo como consumidores e produtores, num mercado energético cada vez mais dinâmico. Como seria de esperar, exige-se também uma interação inteligente e uso eficiente por parte dos consumidores amplamente auxiliados por sistemas de gestão integrada de energia, que garantem que os equipamentos só são utilizados quando necessários, promovendo não só essa interação interna como também a externa, garantindo assim a integração dos edifícios nas redes inteligentes, onde a produção distribuída de energia tende a ganhar estatuto semelhante à ainda atual produção centralizada de eletricidade. As redes inteligentes de energia, ou segundo a terminologia inglesa, *Smart Energy Grids*, são necessárias para acomodar a produção descentralizada de energia renovável na rede de distribuição. Ou seja, redes bidirecionais potenciam a utilização de todos

ambientais da utilização de energia nos edifícios sejam reduzidos, no sentido de cumprir as metas de redução de carbono e da melhoria contínua do desempenho energético definidas na EPBD e nas suas posteriores reformulações. E, quando se tem como objetivo projetar edifícios de balanço de energia zero, devem ser hierarquicamente seguidos os procedimentos base na conceção dos mesmos, a saber: otimização de soluções passivas (arquitetura, soluções construtivas); otimização de soluções ativas (climatização, iluminação artificial, equipamentos e gestão otimizada e integrada dos sistemas técnicos); prever corretamente o consumo de energia do edifício na fase de projeto, recorrendo a simulação dinâmica detalhada que conduza a resultados fiáveis e, finalmente, dimensionamento dos sistemas de origem renovável para fornecer, no mínimo, uma quantidade de energia igual ao consumo de energia previsto para o edifício. Todavia, a modelação de edifícios de balanço de energia zero é um desafio maior que a modelação de edifícios comuns, já que é necessário dar maior ênfase na avaliação da massa térmica e na necessidade de integrar as tecnologias ativas renováveis, que nem sempre estão disponíveis nas ferramentas de simulação.

Além do mais, os sistemas de climatização, águas quentes sanitárias e os sistemas de produção combinada de calor e eletricidade, tornam-se cada vez mais eficientes e exploram cada vez mais as fontes renováveis para a satisfação da procura de energia. Como resultado, os sistemas energéticos serão inteiramente baseados em fontes renováveis e portanto, uma distinção clara entre os sistemas técnicos e os sistemas de captação de energia renovável tende a desaparecer, devido à evolução contínua da tecnologia e disponibilidade destes sistemas no mercado. A par disso, a gestão integral de todos sistemas (incluindo renováveis), tendo em vista a otimização e controlo do uso da energia e a sua flexibilidade na interação com a rede operacionalizando as redes inteligentes, permitirá a obtenção de balanços energéticos nulos.

No entanto, existem demasiadas variáveis de projeto, muitos e complexos sistemas a serem instalados e a funcionar harmoniosamente em conjunto, e ao mesmo tempo tentando minimizar o consumo de energia, e os custos de investimento inicial e de exploração. Assim sendo, deve ser alcançado o equilíbrio adequado entre os consumos energéticos para satisfazer a procura expressa por energia útil, a fim de minimizar ou mesmo eliminar períodos de desconforto para os ocupantes.

Em suma, caminha-se para um novo paradigma do parque edificado, em que é necessário reduzir consumos, integrar os vários sistemas do edifício, tendo em vista a otimização energética e a redução de custos e, ao mesmo tempo, garantir um papel mais ativo dos edifícios, como consumidores e produtores, num mercado energético cada vez mais agressivo. Simultaneamente, aliado a tudo isto, cada vez maior tecnologia, sensorização, monitorização de consumos, cuidado com as necessidades e controlo dos ocupantes.

A figura 63 demonstra os três vetores fundamentais do caminho net ZEB, bem como a visão holística da gestão otimizada e integrada dos sistemas técnicos.

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente: avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

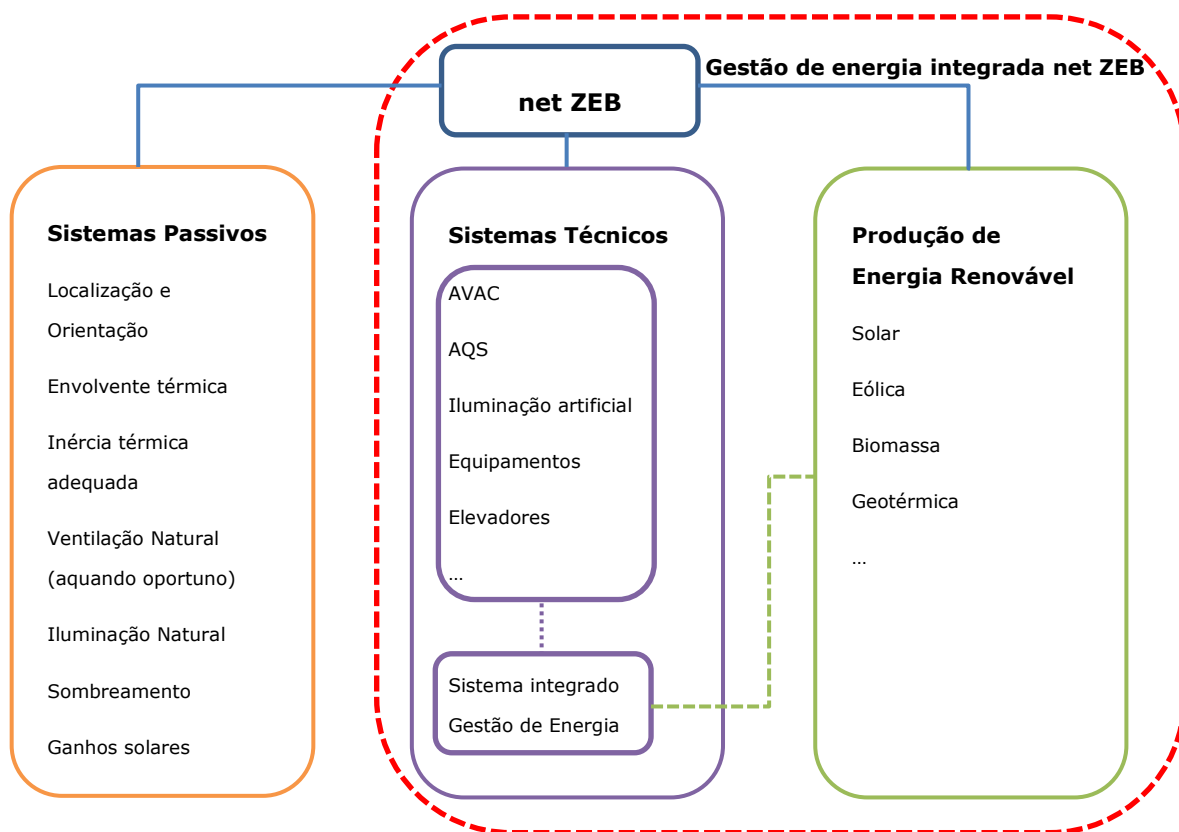


Figura 63 – Visão integrada dos vetores fundamentais para net ZEB adaptado de Deng et al. (2014)

A tabela 3 compara o estado atual dos edifícios com o caminho obrigatoriamente necessário seguir para a conceção de edifícios de balanço de energia nulo.

Tabela 3 – Paradigma atual versus Paradigma futuro na conceção de edifícios adaptado de Lisboa (2013a)

Paradigma atual	Paradigma Futuro
Cargas internas elevadas (iluminação, equipamentos e ocupação)	Cargas internas baixas (iluminação e equipamentos)
Soluções arquitetónicas existentes concebidas maioritariamente com poucas preocupações de eficiência energética	Soluções arquitetónicas otimizadas relativamente à eficiência energética
Sistemas de climatização existentes concebidos maioritariamente com poucas preocupações de eficiência energética	Sistemas de climatização otimizados relativamente à eficiência energética
Temperatura ambiente interior baixa, em conformidade com critérios clássicos de conforto térmico	Temperatura ambiente interior em conformidade com critérios de conforto adaptativo
Grandes exigências no que se refere à qualidade do ar interior e ao tratamento do ar exterior, devido a ambiente urbano significativamente poluído e ruidoso, explicado pelo trânsito automóvel	Ambiente exterior de qualidade devido à implantação do veículo elétrico, permitindo a maior viabilidade de sistemas de ventilação natural transversal
Caudal de ar novo constante e dimensionado para o pico de ocupação	Ventilação adequada às necessidades abrangendo todo o edifício.
Produção energética centralizada	Produção energética descentralizada

Ainda referente a recomendações chave para conceção de edifícios nZEB, a tabela 4 propõe algumas recomendações em climas frios e temperados (Virta et al., 2012).

Tabela 4 – Critérios chave para conceção de nZEB, em climas frios e em climas temperados (Virta et al., 2012).

	Unidades	Baixa energia	Energia (quase) zero
Potência específica de ventilação (SFP ¹³) Unidades de tratamento de ar	[kW/(m ³ /s)]	< 2,0	1,0
Eficiência dos sistemas de recuperação de calor	[%]	> 60	> 80
Ventilação adequada às necessidades	-	sala de reuniões	todos os espaços
Densidade de potência de iluminação	[W/m ²]	< 10	< 5
Controlo de iluminação	-	horário, luz do dia	horário, luz do dia, ocupação
U - envidraçados	[W/(k.m ²)]	< 1,2	< 1,0
Fator solar dos envidraçados ($g_{L,v}$)	-	< 0,7	adaptável (estações)
Sombreamento solar	-	sim	Automático
Infiltrações (q ₅₀)	[m ³ /h.m ²]	< 1,5	0,6
Percentagem de energia renovável	[%]	> 10	> 20

Cunha (2015) realizou estudos paramétricos no cenário base de um edifício de serviços existente, através dos dois eixos de atuação: eficiência energética/produção local, de forma a identificar soluções que visassem otimizar o desempenho energético do edifício, no sentido de atingir a meta do balanço energético quase nulo. Na figura 64 visualiza-se o consumo de energia de cada análise parametrizada (quantificada em % face ao cenário base), na zona climática do Porto, independentemente de terem progredido ou não ao longo do processo da análise. Denota-se que a intervenção na envolvente térmica não teve praticamente visibilidade na otimização do desempenho energético. Geralmente, num edifício de serviços existe menor exposição às condições exteriores através da envolvente e, portanto, menor dependência do clima; em contrapartida, existe mais relevo das cargas internas, que dependem essencialmente das condições de operação do edifício, ou seja, das cargas resultantes do metabolismo das pessoas, do calor resultante da iluminação e do funcionamento de equipamentos nos locais climatizados. Ora, nos edifícios de serviços normalmente é conveniente ter uma relativa capacidade térmica da envolvente para rejeitar cargas internas durante a maior parte do ano. Contudo, à medida que as cargas internas são reduzidas através de medidas de eficiência energética, os efeitos do clima poderão tornar-se mais óbvios e imediatos. Voltando à figura 64, é visível a redução dos consumos energéticos através da combinação simultânea de diferentes estratégias de ação. Como se pode imaginar, a combinação de medidas de eficiência energética e de sistemas de energia renováveis (isto é, conjunto de múltiplas soluções) são mais propensas a conduzir a um verdadeiro desempenho direcionado para o “balanço de energia nulo”. Mas tais estratégias devem resultar de um acurado trabalho de investigação e experiência passada.

¹³ *Specific Fan Power* é um fator, expresso em kW/(m³/s), que indica a eficiência de utilização de energia elétrica do conjunto de todos os ventiladores de admissão e de extração de ar num edifício. Ou seja, estabelece o limite máximo para o consumo elétrico (em kW) necessário para movimentar 1 m³/s de ar no edifício.

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente: avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

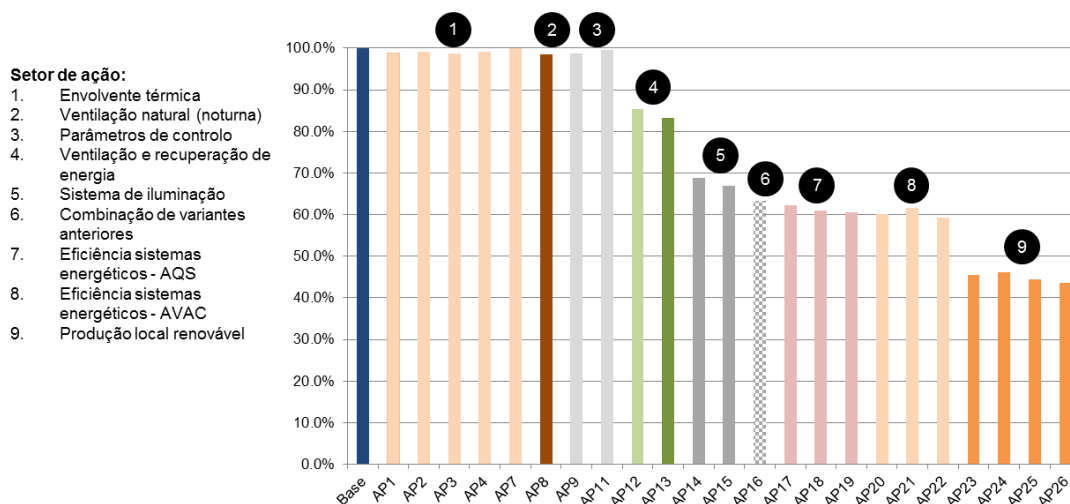
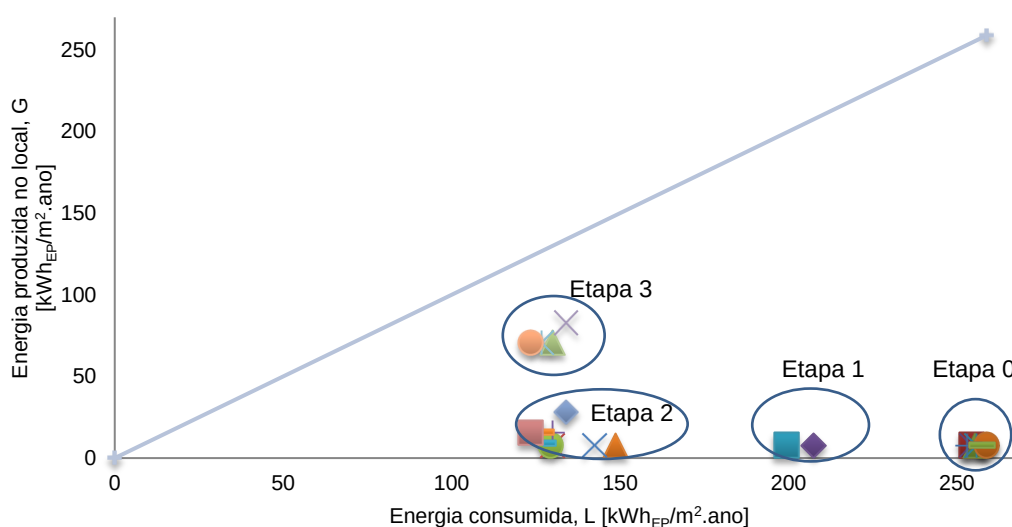


Figura 64 – Custos energéticos do edifício base e de cada solução ou conjunto de soluções parametrizadas (expressas em percentagem) face ao cenário base

A evolução construtiva e a proveniência das estratégias implementadas é facilmente entendida pela análise do método da oferta de energia (G) – procura de energia (L) da figura 65 (Cunha, 2015).



Etapa 0 – medidas sem expressão na envolvente térmica; Etapa 1 – medidas singulares (redução das cargas internas); Etapa 2 – combinação simultânea de estratégias e seleção de sistemas energeticamente eficientes; Etapa 3 – lado da oferta, através do aumento da produção local de energia.

Figura 65 – Balanço de energia primária, método G-L em edifício de serviços

No que respeita à abordagem metodológica a seguir no contexto do balanço de energia zero, a figura 66 demonstra adequadamente essa avaliação. O tempo de vida de um edifício pode ser dividido em quatro fases, com sejam: preparação (produção e transporte), construção do edifício, manutenção e demolição. Esta análise de ciclo de vida (ACV) permite identificar os impactos ambientais associados aos diferentes estágios do edifício. O consumo de energia primária durante todo o período de vida envolve: a energia incorporada nos materiais de construção, energia associada à utilização e a energia associada à reciclagem (Deng et al., 2014). Para avaliar a evolução contínua do desempenho do balanço energético nulo, é fundamental a utilização de ferramentas de simulação dinâmica, de forma a prever

corretamente o desempenho energético do edifício, durante as etapas de projeto, construção e comissionamento, avaliando de uma forma quantitativa, os consumos potenciais de energia do edifício e dos seus sistemas, com base na localização, nas características da envolvente, na eficiência dos sistemas técnicos e para determinadas condições de utilização e funcionamento dos sistemas, correlacionando os resultados com parâmetros económicos que suportem a análise de viabilidade económica ao longo do tempo de vida do edifício. Posteriormente, durante os outros estágios do ciclo de vida (utilização, manutenção e demolição), procedimentos de monitorizações e simulação dinâmica continuamente calibrada às condições reais de funcionamento – ocupação, equipamentos, iluminação, set-points, etc. –, são fundamentais para garantir o desempenho real durante o tempo de funcionamento.

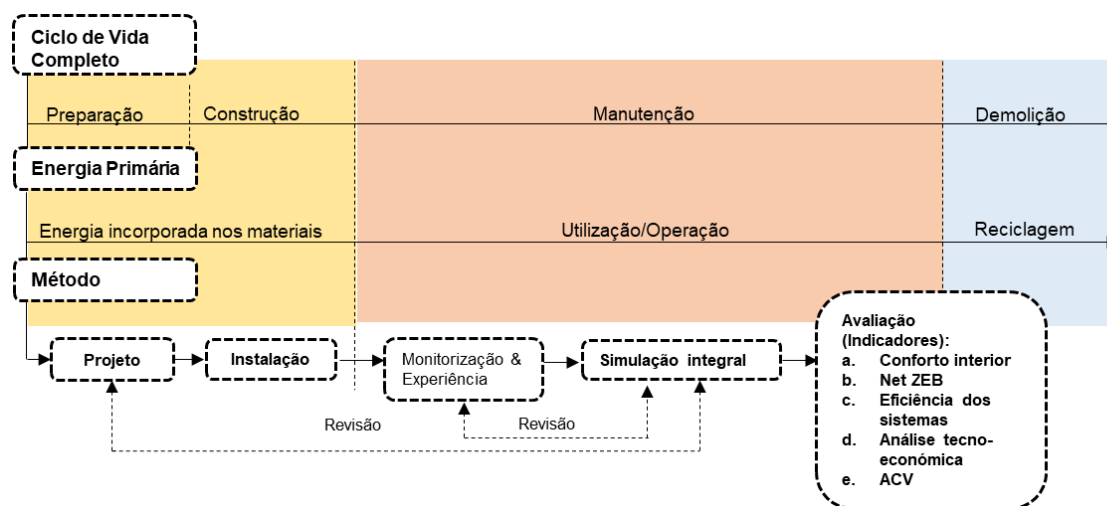


Figura 66 – Avaliação metodológica a seguir no contexto net ZEB ou nZEB (adaptado de Deng et al., 2014).

Clarificando, a informação sobre o desempenho deve ser obtida ao longo do seu tempo de vida, isto é, fabrico dos materiais, projeto, construção, comissionamento, gestão da manutenção e demolição. Uma vez introduzida e armazenada numa ferramenta de modelação da informação do edifício, a gestão e diversas análises tornam-se fáceis e de rápida execução e os indicadores são continuamente atualizados.

Importa ainda salientar que é consensual considerar a energia operacional dos edifícios (iluminação, aquecimento, arrefecimento, etc.) a fatia preponderante dos consumos energéticos, aceitando-se que a energia consumida na fase de construção (energia incorporada nos materiais) não seja muito relevante. Além do mais, a maioria dos esforços institucionais promovem a redução da fase de operação. Todavia, à medida que isso se vai sucedendo, em virtude de existirem edifícios cada vez mais eficientes em termos energéticos, maior peso adquire a parcela da energia incorporada.

5.5.1 Balanço energético nulo no contexto do setor hoteleiro

No âmbito de um projeto europeu sobre unidades hoteleiras – *nearly Zero Energy Hotels* (neZEH), 16 hotéis-piloto de 7 países da União Europeia (Croácia, França, Grécia, Itália, Roménia, Espanha e Suécia) representando as 5 zonas climáticas da Europa (vd. Figura 67), foram alvo de intervenção a fim de atingir o compromisso do balanço energético próximo do nulo. Na metodologia de determinação dos termos de referência neZEH, foram utilizadas definições consolidadas nZEB, em termos de utilização global de energia primária, dos contextos nacionais e analisadas diversas bases de dados europeias com informação relevante

sobre a utilização de energia nos edifícios, que permitiu concluir que o uso de energia do setor residencial, apresentava um comportamento mais fiável e em linha com às principais utilizações típicas do setor (denominadas funções de cliente) (Tournaki et al., 2014).

Em complemento, e tendo em consideração a norma EN 15251 (EN 15251, 2007), foram realizados ajustamentos adicionais associados à energia afeta ao arrefecimento ambiente (função da zona climática) e à energia associada à ventilação, que conjugados com os fatores de energia primária, deram origem aos indicadores específicos do setor hoteleiro do parque existente para os países envolvidos no projeto (Tournaki et al., 2014). Além disso, foi acrescentada a parcela de energia associada a equipamentos elétricos, devidamente quantificada pelos fatores de energia primária nacionais, determinando-se os consumos específicos de energia primária neZEH (Tournaki et al., 2014).

Na tabela 5 visualizam-se os indicadores de desempenho mínimos neZEH (expressos em energia primária) para os hotéis dos países parceiros do projeto (parque novo e reabilitado) – representando o zonamento climático da UE – e os indicadores de desempenho do setor hoteleiro: amostra dos índices de energia primária para hotéis referente a 2008. Na figura 67 observa-se o zonamento climático e a contribuição de renovável recomendada pelo projeto neZEH para cada zona climática da Europa.

Tabela 5 – Indicadores de utilização de energia primária neZEH e de energia primária para hotéis referente ao ano de 2008 (Tournaki et al., 2014; Buso et al., 2014; Derjanecz, 2015)

País	Hotéis novos [kWh _{EP} /(m ² .a)] ^a	Hotéis reabilitados (+ 30%) ^a [kWh _{EP} /(m ² .a)]	Hotéis função cliente (nível 2008) [kWh _{EP} /(m ² .a)]
Croácia	77	100	398
França	115	150	352
Grécia	76	99	418
Itália	71	93	222
Roménia	80	104	395
Espanha	72	94	240
Suécia	134	175	520

^a Energia associada aos usos típicos (aquecimento, arrefecimento, ventilação/bombagem, AQS e iluminação) denominada por “função cliente” + aparelhos elétricos

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente: avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

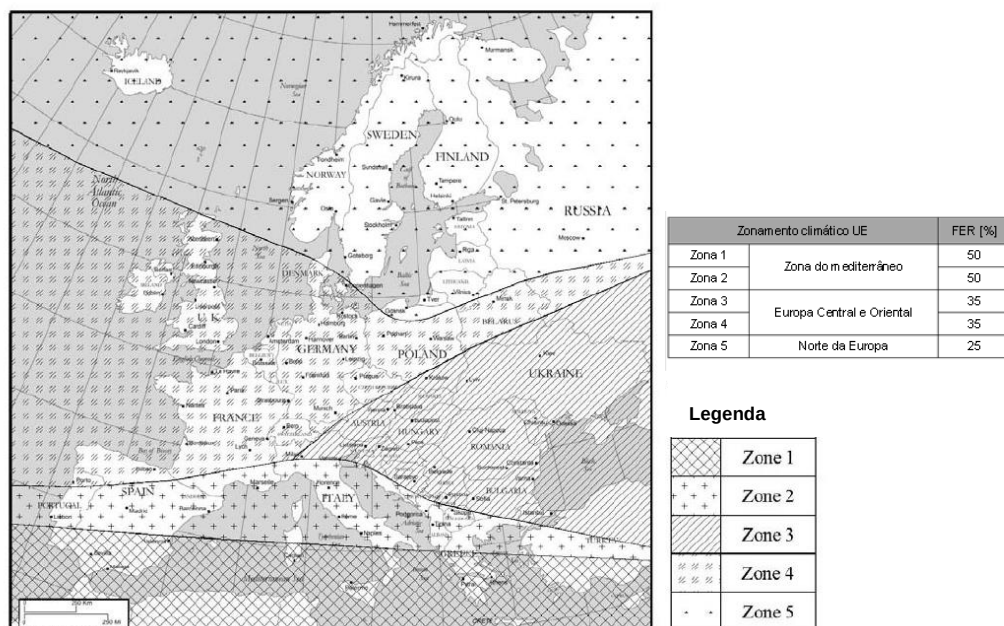


Figura 67 – Zonas climáticas da UE com indicação da contribuição de fontes de energia renovável (FER) recomendada pelo projeto neZEH

Denota-se que os indicadores de desempenho referentes ao ano de 2008 têm que sofrer uma redução (média) de 75% para o alcançar o compromisso neZEH. A par disso, os indicadores neZEH do parque reabilitado sofrem um aumento de 30% face ao parque edificado novo (vd. Tabela 5).

No que respeita às “utilizações de energia típicas do setor hoteleiro”, o critério definido pelo projeto neZEH está em linha com a EPBD reformulada, nomeadamente satisfazer a procura de energia associado aos usos típicos (aquecimento, arrefecimento, ventilação/bombagem, preparação de água quente e iluminação) garantindo os níveis de conforto interior para as zonas de hóspedes/funcionários, segundo as recomendações da norma EN 15251/2007 (Tournaki et al., 2014). Tendo presente este princípio, as zonas onde as condições interiores devem ser garantidas, incluem: quartos, receção, todas as áreas comuns (restaurantes, bar, salas de reuniões) e zona de escritórios, e foram denominadas por “função cliente”. São zonas que apresentam um comportamento padrão em termos de condições interior entre o setor hoteleiro. O projeto *Hotel Energy Solutions* (HES¹⁴) reforça esta nota e refere que a utilização de energia nos hotéis é relativamente regular no que diz respeito aos consumos associados ao sistema de climatização (Buso et al., 2014). Por outro lado, a energia final que satisfaz a procura expressa por energia útil, associado a outros serviços que podem ou não ser disponibilizados pelos hotéis, tais como cozinha, lavandaria, piscina, SPA, sauna, ginásio, etc., são denominados por “função não-cliente” e abrangem o uso de energia necessária para o exercício de funções “extra”. Nos hotéis-piloto do projeto neZEH, o balanço de energia para

¹⁴ *Hotel Energy Solutions* é um projeto criado pela Organização Mundial do Turismo em colaboração com as Nações Unidas e União Europeia. Este projeto tem como objetivos: informar, formar e fornecer apoio técnico às pequenas e médias empresas do setor do turismo e alojamento, com o intuito de promover o aumento da eficiência energética e a utilização de sistemas de energias renováveis no setor.

as funções cliente e não-cliente foram calculados separadamente, sempre que possível (Tournaki et al., 2016).

Na generalidade dos 16 hotéis-piloto, estima-se que a utilização de energia primária para satisfazer o exercício de funções (aquecimento, arrefecimento, AQS, ventilação/bombagem dedicadas ao sistema de climatização, iluminação e outros equipamentos elétricos) afetas às áreas funcionais típicas de um hotel – funções cliente – pode diminuir em média de 277 kWh/(m².ano) para 102 kWh/(m².ano), se forem aplicadas as medidas de otimização energética identificadas nas auditorias técnicas, como mostra a figura 68a, o que representa uma redução de 63% face à situação inicial. Quanto à contribuição de sistemas de captação de energia renovável, estima-se um crescimento médio que representa mais do dobro quando comparado com o cenário base (figura 68b). Por sua vez, as zonas de serviços do tipo “extra” – funções não-cliente – que devido à sua elevada intensidade energética são dominantes no desempenho global dos hotéis, podem diminuir o seu consumo de energia primária em média 49% face ao cenário base. Em termos globais, estima-se uma redução do consumo de energia primária na ordem dos 63% e um aumento de 2,7 vezes a percentagem de incorporação renovável relativamente ao cenário inicial. Estima-se que sejam evitadas 2 444 tCO₂ anualmente (neZEH, 2016; Tournaki et al., 2016). Na figura 69 visualiza-se a redução alcançada do consumo de energia primária e das emissões de CO₂ para cada hotel-piloto do projeto.

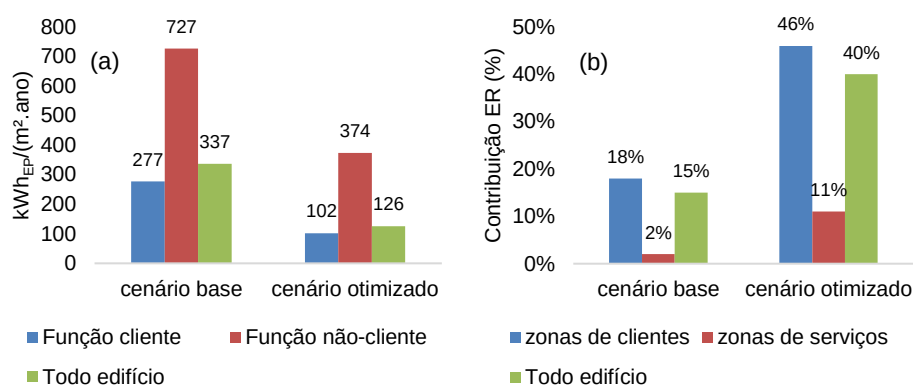


Figura 68 – Cenários base e otimizado para os 16 hotéis-piloto: (a) Indicador médio de energia primária e (b) contribuição média dos sistemas de energias renováveis (neZEH, 2016)

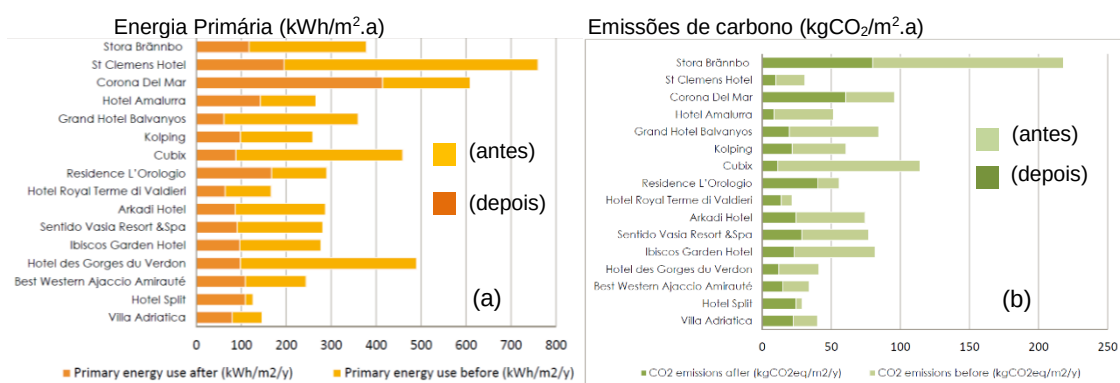


Figura 69 – Metas alcançadas: (a) Redução do consumo de energia e (b) redução das emissões CO₂ em cada hotel-piloto (neZEH, 2016)

Concordante com considerações referidas ao longo deste trabalho, em neZEH (2013a) reforça-se que o foco para otimização de energia se centra maioritariamente nos sistemas AVAC e na iluminação, que representam entre 65% a 75% do consumo global de energia de um hotel típico. A restante procura da energia, na ordem dos 25-35%, representa os consumos associados a equipamentos de cozinha, refrigeração, equipamentos de escritório e outros equipamentos diversos (neZEH, 2013a).

Neste seguimento, neZEH (2013a) concebeu cinco eixos de ação que permitem aproximar de zero o balanço de energia de unidades hoteleiras. A metodologia está totalmente alinhada com a visão holística do conceito nZEB e encontra-se hierarquizada da seguinte forma:

- Gestão racional da procura energética: auditorias ou diagnósticos de energia; sistemas de monitorização dos consumos; plano de formação de funcionários e informação aos clientes sobre uso eficiente de recursos e respetivo envolvimento na causa;
- Redução das necessidades de energia (aquecimento e arrefecimento ambiente): adequado isolamento térmico da envolvente; assegurar proteção solar dos vãos envidraçados através de dispositivos de sombreamento; espaços verdes exteriores; ventilação controlada, etc.;
- Utilização de equipamentos energeticamente eficientes: caldeiras de alta eficiência, “chillers” com eficiências elevadas, lâmpadas de elevada eficácia, redução das necessidades de água, através de dispositivos eficientes, etc.);
- Sistemas eficientes: adotar sistemas de aquecimento a baixas temperaturas e arrefecimento a temperaturas elevadas; isolamento térmico das redes de distribuição de energia térmica; assegurar controlo eficiente e regular *set-point* para temperaturas recomendadas; recuperação de calor rejeitado do condensador, etc.;
- Utilização de sistemas de aproveitamento de energias renováveis: instalação de coletores solares térmicos, sistemas fotovoltaicos, bombas de calor, *chillers* de absorção, caldeiras a biomassa, etc.

Atendendo à estreita relação entre o clima e a viabilidade técnica e económica das soluções, foram considerados três critérios de classificação prioritários: investimento, potencial de otimização energética e zonamento climático europeu. Por exemplo, as tecnologias renováveis, como sistemas de energia solar térmica e fotovoltaica, são mais eficazes sob o ponto de vista da rentabilidade nos climas mediterrânicos (caraterizados com maior nível de radiação solar) do que noutros climas. É fundamental ter em conta o impacto das condições climáticas, na utilização da energia e na relação custo-eficácia das múltiplas soluções de eficiência energética e integração das renováveis nos edifícios da União Europeia. Nas figuras 70 e 71, evidenciam-se as soluções e tecnologias para os cinco eixos de ação em função dos três critérios fundamentais para o setor da hotelaria. Contudo, o esforço do investimento e o potencial de redução da fatura energética – função dos custos energéticos – determinam o retorno do investimento que é classificado como de curto (período entre 1 e 3 anos), médio (período entre 3 e 8 anos) ou longo prazo (superior a 8 anos). Com base nestas premissas, a estratégia da implementação das soluções/tecnologias deve seguir prioritariamente uma ordem crescente, iniciando-se com medidas de rentabilidade imediata ou de curto prazo, até às medidas de elevado capital. As soluções de rentabilidade de longo prazo necessitam de investimentos elevados, por exemplo: aproveitamento geotérmico de baixa entalpia através da implementação de bomba de calor e respetivos furos geotérmicos para permuta térmica, instalação de central fotovoltaica para autoconsumo, entre outros. No entanto, potenciam maiores economias de energia e são essenciais, quando combinadas com soluções simultaneamente integradas em fases anteriores, para alcançar o padrão desejado nZEB.

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente: avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

Período de Retorno de Investimento: 1 a 3 anos 3 a 8 anos > a 8 anos

Gestão racional da procura energética	Investimento			Economia da Energia (Potencial)			Zonas climáticas europeias				
	Baixo	Médio	Alto	Baixo (1 a 5 %)	Médio (5 a 15 %)	Alto (> 15 %)	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
	1 - Exequível ; 2 - recomendado ; 3 - altamente										
Monitorização da energia	✓			✓			3	3	3	3	3
Auditoria energética		✓				✓	3	3	3	3	3
Rótulo ecológico europeu (EU ECOLABEL)		✓				✓	2	2	2	2	2
Formação do pessoal	✓			✓			3	3	3	3	3
Informação aos clientes	✓			✓			3	3	3	3	3

Redução da necessidades de energia	Investimento			Economia da Energia (Potencial)			Zonas climáticas europeias				
	Baixo	Médio	Alto	Baixo (1 a 5 %)	Médio (5 a 15 %)	Alto (> 15 %)	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
	1 - Exequível ; 2 - recomendado ; 3 - altamente										
Substituição de vãos			✓			✓	1	1	2	2	3
Reforço de isolamento nos vãos envidraçados		✓			✓		3	3	2	2	3
Isolamento térmico da envolvente			✓			✓	1	1	2	2	3
Redução da permeabilidade ao ar pela envolvente	✓				✓		2	2	2	2	2
Dispositivos de sombreamento nos vãos envidraçados		✓			✓		3	3	2	2	1
Espaços verdes exteriores e coberturas ajardinadas para aumentar o conforto no período de Verão	✓			✓			3	3	2	2	1

Equipamentos eficientes	Investimento			Economia da Energia (Potencial)			Zonas climáticas europeias				
	Baixo	Médio	Alto	Baixo (1 a 5 %)	Médio (5 a 15 %)	Alto (> 15 %)	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
	1 - Exequível ; 2 - recomendado ; 3 - altamente										
Iluminação eficiente		✓				✓	3	3	3	3	3
Equipamentos elétricos de baixo consumo e com alta classificação	✓			✓			2	2	2	2	2
Motores de alto rendimento nos equipamentos de AVAC	✓				✓		2	2	2	2	2
Caldeiras de elevada eficiência		✓				✓	2	2	2	2	3
Soluções de arrefecimento ambiente eficientes		✓				✓	3	3	2	1	1
Micro-geração			✓			✓	2	2	2	2	2
Elevada eficiência na recuperação de calor dos sistemas de ventilação (> = 70%)		✓				✓	2	2	3	2	3
Dispositivos eficientes para redução das necessidades de água e consumo de AQS	✓				✓		3	3	3	3	3

Figura 70 – Eixos de ação para eficiência energética: gestão da procura, redução das necessidades de energia e equipamentos eficientes adaptado de neZEH (2013a)

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente: avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

Período de Retorno de Investimento: 1 a 3 anos 3 a 8 anos > a 8 anos

Sistemas eficientes	Investimento			Economia da Energia (Potencial)			Zonas climáticas europeias				
	Baixo	Médio	Alto	Baixo (1 a 5 %)	Médio (5 a 15 %)	Alto (> 15 %)	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
							1 - Exequível ; 2 - recomendado ; 3 - altamente				
Interruptores automáticos nos quartos acionados com cartão	✓				✓		2	2	2	2	2
Controlo automático de iluminação	✓				✓		2	2	2	2	2
Isolamento térmico de equipamentos e redes de distribuição da energia térmica	✓			✓			1	1	1	1	1
Utilização correta dos sistemas de climatização	✓				✓		3	3	3	3	3
Regulação dos set-points para as temperaturas recomendadas (aquecimento e arrefecimento ambiente)	✓				✓		3	3	3	3	3
Promoção de arrefecimento gratuito (incluindo ventilação natural noturna)	✓			✓			2	2	2	2	2
Utilização do calor rejeitado no condensador	✓				✓		3	3	2	1	1
Sistema de ventilação híbrida		✓			✓		2	2	2	2	2
Sistema de aquecimento a baixa temperatura		✓				✓	1	1	2	2	3
Sistema de arrefecimento a alta temperatura		✓				✓	3	3	2	2	1

Sistemas de aproveitamento ER	Investimento			Economia da Energia (Potencial)			Zonas climáticas europeias				
	Baixo	Médio	Alto	Baixo (1 a 5 %)	Médio (5 a 15 %)	Alto (> 15 %)	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
							1 - Exequível ; 2 - recomendado ; 3 - altamente				
Energia geotérmica (bomba de calor)			✓			✓	1	1	2	2	3
Energia aerotérmica (bomba de calor)		✓			✓		3	3	2	2	2
Energia hidrotérmica (bomba de calor)			✓			✓	2	2	2	3	2
Chiller de absorção			✓			✓	3	3	2	2	1
Mini-Hídrica			✓			✓	1	1	1	1	1
Energia eólica de pequena escala			✓			✓	1	1	1	2	1
Caldeira a biomassa			✓			✓	1	1	2	2	3
Painéis solares térmicos		✓			✓		3	3	2	2	1
Painéis fotovoltaicos		✓			✓		3	3	2	2	2

Figura 71 – Eixos de ação para eficiência energética: sistemas eficientes e sistemas de aproveitamento das energias renováveis adaptado de neZEH (2013a)

5.5.2 Balanço energético nulo no sul da Europa

Os principais consumidores de energia nos edifícios são os equipamentos instalados, a iluminação e os sistemas de AVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado). O comportamento térmico e o consumo com o AVAC dependem da arquitetura do edifício, da qualidade térmica das soluções construtivas, do comportamento dos seus ocupantes, das cargas internas indesejáveis (as quais podem ter origem na iluminação, nos equipamentos e ocupantes), do tipo de uso, do regime de utilização (permanente ou intermitente), das condições climáticas do local de implementação e localização geográfica em termos de altitude. No entanto, nem todas as boas práticas recomendadas pelo norte e centro da Europa são recomendáveis para climas mediterrânicos.

Existem procedimentos fundamentais que devem ser seguidos e considerados no projeto, construção e reabilitação dos edifícios – em particular, nos edifícios de balanço de energia (quase) nulo – no sul da Europa, que são decisivos na definição de uma estratégia ótima para atingir a sustentabilidade e a performance energética desejada nos edifícios. Apresentam-se em seguida as estratégias fundamentais na obtenção deste objetivo nZEB, que deve ser considerado “triangular”: suficiência energética, incorporação de renováveis e, ao mesmo tempo, eficiência económica.

5.5.2.1 Soluções construtivas de elevada qualidade térmica

As cargas térmicas exteriores dependem das condições climáticas e resultam das trocas de calor e massa através da envolvente exterior dos edifícios. As trocas de calor entre os ambientes interior e exterior registam-se essencialmente através dos elementos opacos e transparentes da envolvente exterior dos edifícios. Em geral, nas situações correntes encontradas nos elementos construtivos, as trocas térmicas realizam-se pela combinação de dois ou mais modos de transferência de calor (condução, radiação e convecção). Nesta concordância, o setor habitacional apresenta naturalmente, maior exposição às condições exteriores através da sua envolvente: pelo facto de ser um edifício de habitação e, portanto, de menores dimensões, existe maior razão entre a área da envolvente (através da qual se processam as trocas de calor) e volume interior, logo tem maior relevo a resistência térmica da envolvente no comportamento térmico do edifício. Em termos práticos, admite-se que as trocas térmicas através da envolvente opaca são proporcionais à diferença de temperatura entre os ambientes exterior e interior e inversamente proporcionais à resistência térmica do elemento que os separa.

Um edifício ideal em termos térmicos seria aquele em que fosse possível garantir o conforto dos ocupantes sem necessidade de consumir energia para aquecimento e/ou para arrefecimento. Embora não seja possível construir um edifício com esta capacidade, é possível tomar medidas que minimizem o impacto destes consumos. Devem ser utilizadas soluções construtivas que assegurem baixas perdas térmicas pela envolvente. Ou seja, as soluções construtivas devem apresentar coeficientes de transmissão térmica muito baixos (valores de resistência térmica elevados) e deve existir a preocupação da correção eficaz de todas as situações de pontes térmicas (planas e lineares). A utilização correta do isolamento e, especialmente, se o mesmo for colocado pelo exterior da envolvente, reduz significativamente a transferência de calor através da envolvente (paredes, coberturas, pavimento e envidraçados), uma vez que restringe as perdas por condução na estação de aquecimento (inverno) e reduz os ganhos por condução na estação de arrefecimento (verão). É de realçar as coberturas dos edifícios (em particular na habitação), uma vez que as perdas e os ganhos de calor pela cobertura assumem por vezes um papel particularmente importante, principalmente nos casos em que aquele elemento construtivo possui uma percentagem de área elevada relativamente aos restantes elementos construtivos. Para além deste aspeto, são as superfícies que mais radiação solar recebem durante o verão. Outro aspeto a ter em consideração, é a cor do revestimento das superfícies da envolvente opaca, sendo que cores claras se traduzem em menores valores de captação da radiação solar, pelo que é aconselhável escolher superfícies exteriores com baixo coeficiente de absorção para favorecer o desempenho térmico dos edifícios na estação de arrefecimento.

Outro aspeto importante para a redução das trocas energéticas através da envolvente do edifício, na estação fria, é a minimização das infiltrações de ar exterior (estanquicidade das frinchas – caixilhos, ou juntas de construção). No entanto, a redução da permeabilidade do edifício deve ser conjugada com uma adequada e controlada taxa de ventilação para assegurar a manutenção das condições de higiene e salubridade do ar interior, prevenindo o risco de condensações e garantindo a qualidade do ar interior.

Complementarmente, a mobilização da capacidade dos elementos de construção de absorver e de armazenar ou de restituir a energia absorvida para o ambiente interior depende de dois fatores. Em primeiro lugar da resistência térmica e da localização da camada do isolante que integra os elementos (anteriormente referido). Em segundo lugar, da espessura do elemento

que é afetada pelas alterações dos ambientes com que contacta. A massa térmica refere-se a todos os materiais que armazenam o calor proveniente da radiação solar. Se os elementos construtivos da envolvente não forem isolados pelo interior, a radiação é primeiramente absorvida pela envolvente construtiva e, durante o tempo em que este processo ocorre (tanto maior quanto maior for a massa), a temperatura do ar interior não acusa (ou acusa pouco) a entrada de energia térmica no local. De facto, é a massa que se encontra em contato direto com o ambiente interior que interage com este, e que consequentemente condiciona a variação da sua temperatura. Bloquear esta interação através de isolamento pelo interior é anular a inércia térmica¹⁵. Tendo em conta o referido, pode concluir-se com generalidade que a inércia térmica contribui para uma maior estabilização das temperaturas interiores relativamente às oscilações térmicas do exterior. Um edifício com inércia térmica forte faz um melhor uso dos ganhos de calor do que um edifício de inércia térmica fraca (rapidamente aquecido ou arrefecido). Os benefícios decorrentes de uma inércia térmica elevada tornam-se mais interessantes durante os períodos quentes (verão e meia estação), principalmente em edifícios com ganhos solares e internos importantes. Daí que, no caso do verão, a massa térmica das construções possa ser utilizada como meio passivo de reduzir a carga térmica de arrefecimento. À noite, a parcela de calor acumulado nas paredes é restituída para o interior provocando um aumento da sua temperatura. Se, por razões de conforto, esse efeito for contraproducente, promove-se o arrefecimento gratuito através da ventilação natural, pois durante o período noturno a temperatura exterior é normalmente inferior à temperatura interior. Em suma, de modo a permitir o recurso a sistemas de arrefecimento gratuito e a suavizar as situações de “pico térmico” as soluções construtivas devem ser pensadas e projetadas para resultar num edifício com inércia térmica forte.

No caso dos vãos envidraçados, além das trocas térmicas por condução através desses vãos, tratadas de modo idêntico aos elementos opacos e quantificadas pelo correspondente coeficiente de transmissão térmica (quanto menor for o seu valor, melhores serão as características térmicas do envidraçados), há que considerar os ganhos térmicos devidos à radiação solar, quantificados pelo quociente entre a energia solar total transmitida e a energia incidente, definindo-se como fator solar ($g_{L,v}$). Se na estação fria a subida de temperatura do ambiente interior (provocada pela energia solar incidente que atravessa o vidro) se revela benéfica em termos de contribuição para obtenção de condições interiores de conforto, o mesmo não sucede nos períodos quentes e de meia estação. Nestes períodos, quer a subida de temperatura, quer a própria radiação solar incidente nos espaços interiores, se revelam fatores significativos de desconforto. A utilização de vãos envidraçados duplos ou triplos com revestimento de baixa emissividade e com transmissão seletiva é o mais adequado para edifícios que possuem tanto necessidades de aquecimento no inverno como de arrefecimento no verão. As características de baixa emissividade destes vidros reduzem as perdas de calor por condução no inverno, ao baixar o coeficiente de transmissão térmica dos envidraçados. O revestimento permite que o calor do Sol entre no edifício, mas reduz de forma significativa as perdas de calor do interior do edifício, refletindo o calor radiante de volta para o espaço ambiente. Complementarmente, durante os períodos quentes, as propriedades do revestimento de transmissão seletiva (revestimento solar protetivo) permitem a iluminação natural, mas

¹⁵ O termo inércia térmica refere-se à capacidade de um elemento construtivo armazenar calor e só libertá-lo ao fim de certo tempo. A inércia térmica pode ser usada para absorver os ganhos de calor durante o dia (reduzindo a carga de arrefecimento) e libertá-los à noite (reduzindo a carga de aquecimento). Esta capacidade depende em grande parte da massa dos elementos de construção, do calor específico e também da sua condutibilidade térmica.

bloqueiam uma fração substancial da energia solar infravermelha, limitando assim os ganhos internos da radiação solar direta.

De seguida caracterizam-se na figura 72a a qualidade térmica da envolvente, nomeadamente os valores médios para os coeficientes de transmissão térmica (U) das soluções construtivas opacas e de vãos envidraçados dos hotéis, com base nos dados estatísticos do Sistema de Certificação Energética (SCE), no que diz respeito ao parque existente (e certificado) de edifícios de hotelaria. No caso dos fatores solares dos envidraçados ($g_{l,v}$) e fatores solares (globais) dos vãos envidraçados com todos os dispositivos de proteção, permanentes ou móveis, totalmente ativados (g_T) e que, basicamente, definem a percentagem da energia solar incidente que entra para o interior através dos vãos, na figura 72b é possível observar os seus valores (médios) para os hotéis existentes, também com base nos dados do SCE. Em complemento, indicam-se as soluções de referência dos elementos da envolvente térmica a considerar no edificado novo, em função da sua zona climática. Na figura 73 apresenta-se a evolução temporal ao nível das soluções construtivas correntes (paredes, envidraçados, coberturas e pavimentos) do contexto nacional, concordantes com a caracterização da envolvente térmica do parque de hotelaria existente.

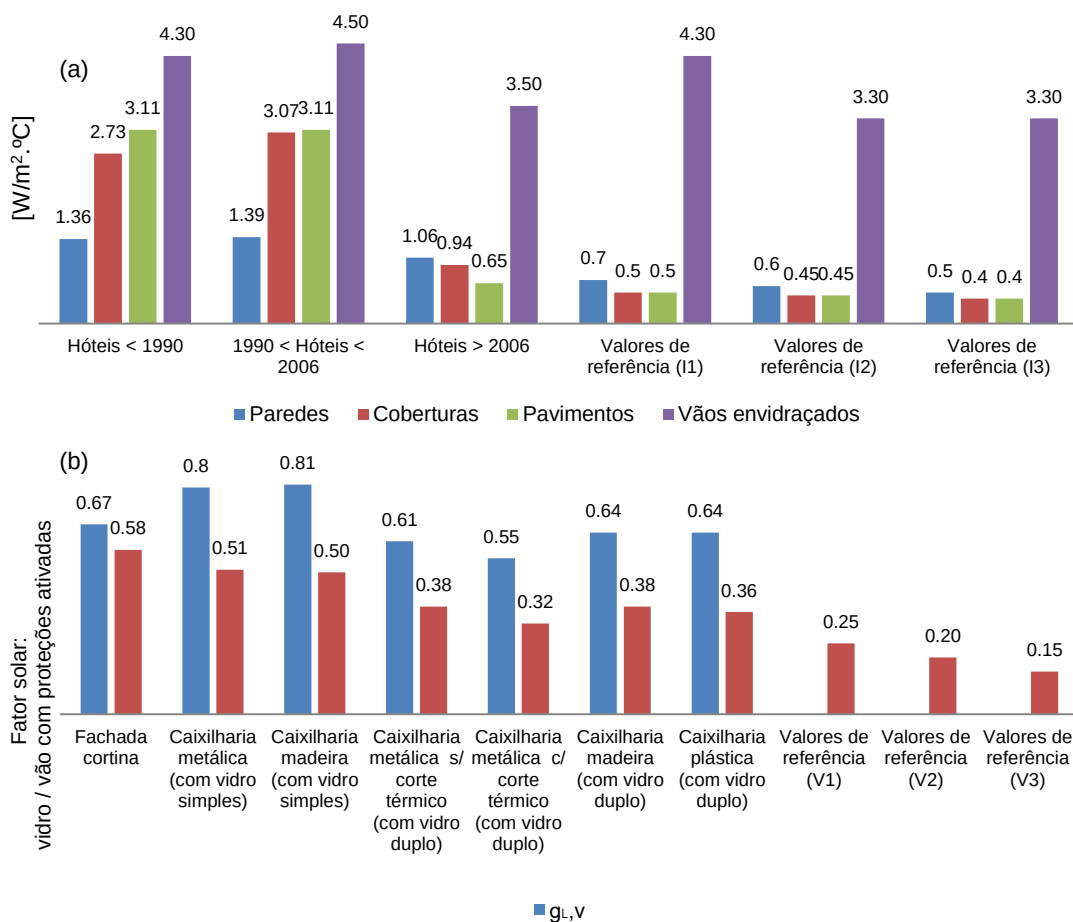


Figura 72 – Qualidade térmica da envolvente do parque hoteleiro existente (contexto nacional)
(Gonçalves, 2015; TP, 2013)

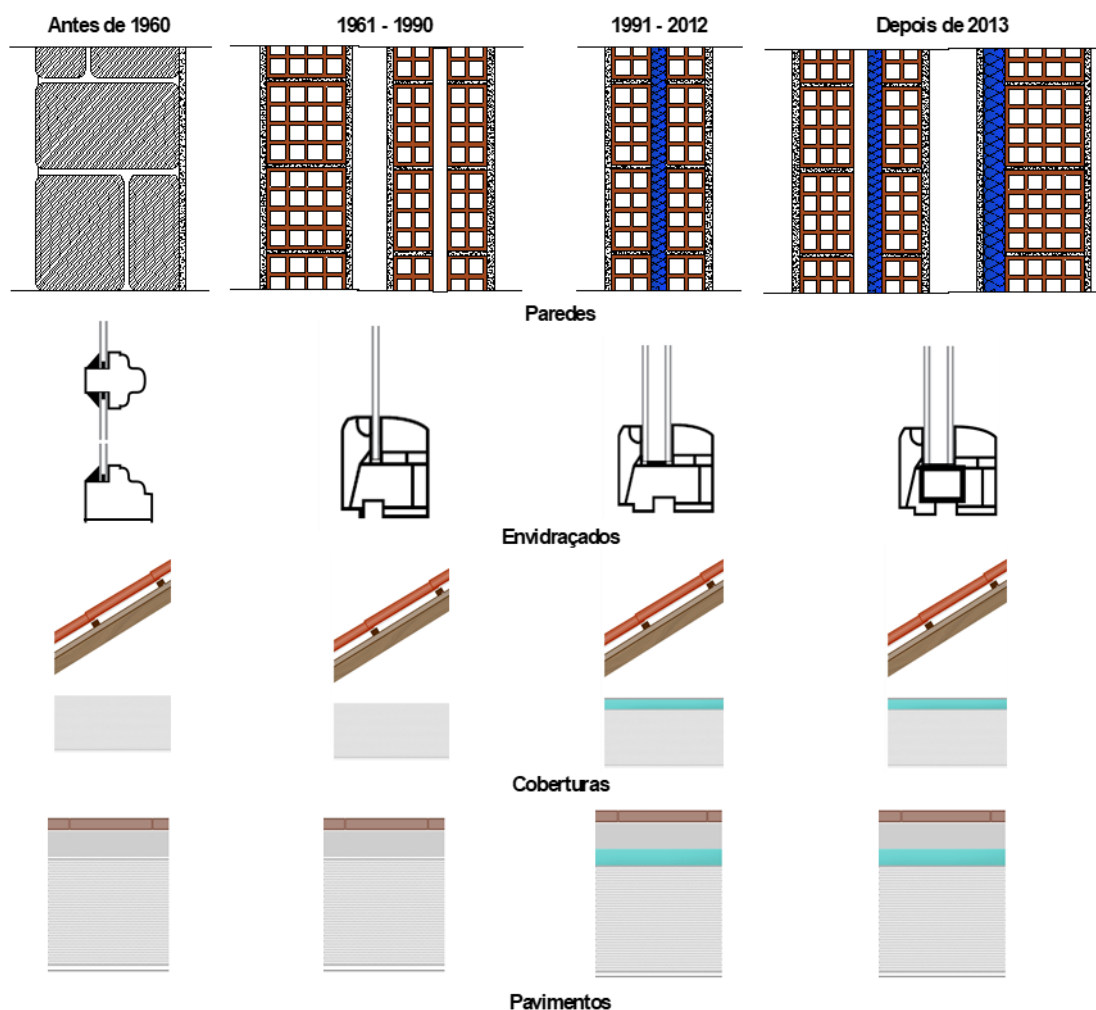


Figura 73 – Evolução temporal das soluções construtivas no contexto nacional, incluindo do setor hoteleiro (SouthZEB, 2016a)

5.5.2.2 Soluções de arquitetura apropriadas ao clima mediterrânico

A generalidade dos edifícios são atualmente concebidos com a preocupação dominante da estética, sendo, entre outros aspetos, sacrificada a eficiência energética àquele objetivo. A arquitetura dos edifícios, nomeadamente a área de vãos envidraçados, a sua distribuição e a sua exposição à radiação solar direta, tem uma influência significativa sobre os consumos de energia. Assim, o primeiro passo é alcançar a quantidade certa de acesso solar, o suficiente para fornecer o calor durante os meses mais frios, mas evitar o sobreaquecimento no verão. Isso é conseguido através de uma combinação da localização e orientação, *layout* dos compartimentos, seleção de envidraçados e sombreamento. Todos estes elementos funcionam em conjunto e, portanto, devem ser considerados de forma holística. Um edifício é ele próprio um coletor solar, cujas fachadas para além das coberturas veem o movimento aparente do Sol ao longo do dia e do ano, sendo sucessivamente iluminadas, e por isso constituem elas próprias superfícies naturais de captação da radiação solar se para tanto tiverem sido desenhadas e construídas com base nos materiais que possibilitam não só a captação, mas também o armazenamento dessa energia para mais tarde ser distribuída. Assim, os edifícios devem ser em primeiro lugar edifícios bioclimáticos, desenhados de acordo com o clima do local, minimizando as necessidades de energia e garantindo as condições de conforto térmico.

No caso da estação fria, a promoção dos ganhos solares deve passar pela utilização de sistemas passivos de aquecimento: ganho direto, ganho indireto e isolado. Em todos os sistemas solares passivos destinados ao aquecimento existem parâmetros básicos a ter em atenção: o posicionamento da abertura envidraçada (a sul no hemisfério norte); a interação entre a energia solar incidente e os meios de armazenamento de energia; e a forma de distribuição do calor para o espaço ambiente.

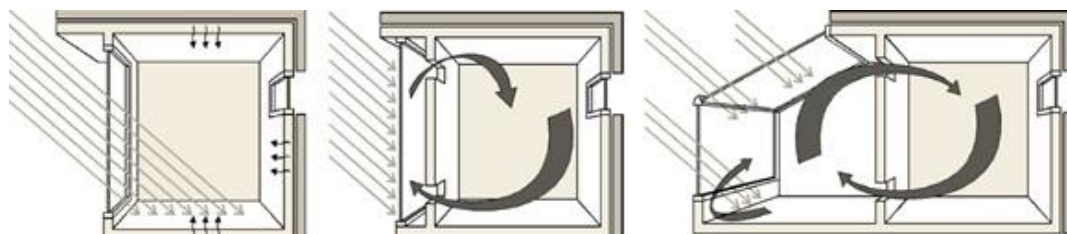


Figura 74 – Sistemas passivos, em estratégia de promoção de ganhos solares na estação do inverno: ganho direto, indireto e isolado (Gonçalves & Graça, 2004).

No entanto, os sistemas passivos de aquecimento devem permitir a captação solar, mas garantir um sombreamento eficaz no verão para limitar os ganhos térmicos associados à radiação solar incidente na envolvente envidraçada. A par disso, nos períodos em que não há Sol, nomeadamente de noite, a proteção dos vãos envidraçados (que apresentam perdas elevadas quando comparados com envolvente opaca) deve ser realizada com recurso a sombreamentos móveis para reduzir as perdas térmicas. A inercia térmica deve ser bem dimensionada por forma a evitar sobreaquecimentos durante os períodos críticos. A massa térmica desempenha um papel estabilizador das condições interiores, atenuando a amplitude térmica no interior dos edifícios. Quanto maior for a massa térmica, menor será essa variação, sendo que também será mais difícil aquecer o edifício, sendo necessário um equilíbrio entre massa térmica, isolamento e área de vãos, dependendo muito do tipo de edifício e sua localização. De notar que apenas faz sentido otimizar a captação de ganhos solares com sistemas solares passivos, se a envolvente térmica for extremamente cuidada do ponto de vista térmico.

Embora com menos impacto, a exposição direta ao Sol das fachadas também não é negligenciável. Nas regiões mais quentes do sul da Europa devem ser utilizadas soluções que minimizem o mais possível a exposição direta das fachadas aos raios solares. Por sua vez, os ganhos solares diretos na envolvente opaca podem ser atenuados com recurso a paredes do tipo fachada ventilada e a sótãos com desvão fracamente ventilado (por exemplo, em moradias).

A ausência de um eficaz sombreamento das superfícies envidraçadas no período de inverno, aliada à elevada carga térmica interna (por exemplo, edifícios de tipologia escritórios) pode levar a que o pico de necessidades de arrefecimento ocorra no inverno (nas fachadas orientadas a sul), sendo o sombreamento completamente eficaz no verão. Deste modo, os vãos envidraçados devem estar equipados com dispositivos e/ou elementos construtivos que façam o uso da evolução da trajetória solar ao longo do ano para maximizar de modo inteligente os ganhos solares no período de inverno e minimizá-los no verão. Portanto, para se atingir o objetivo do balanço nulo é necessário evitar completamente a incidência de radiação solar direta nas superfícies envidraçadas no período de verão e gerir essa mesma incidência no período de inverno.

Na perspetiva da estação de arrefecimento, deve tirar-se partido das fontes frias exteriores (água, solo, ar exterior) para baixar a temperatura interior dos espaços. Desta forma, os sistemas de arrefecimento passivo (ventilação natural, arrefecimento pelo solo, arrefecimento evaporativo e arrefecimento radiativo) podem diminuir consideravelmente a necessidade de recurso aos sistemas ativos. Adicionalmente, a radiação solar através dos vãos envidraçados, que é normalmente a parcela mais elevada da carga de arrefecimento de um edifício, pode ser minimizada através da utilização de barreiras protetoras (quer no plano do envidraçado, quer fora dele, integradas na própria construção), interceptando a radiação direta incidente antes desta atingir o vidro, ou promovendo a utilização de revestimento solar protetivo nos vãos envidraçados (vidros de controlo solar), pois tal limita os ganhos internos da radiação solar direta. Refira-se que envidraçados de controlo solar são tipicamente de vidro duplo e, portanto, combinam também propriedades de baixa emissividade, limitando as perdas térmicas do interior para o exterior em períodos mais frios (inverno). Assim, a melhoria da eficiência energética dos vidros no sul da Europa é uma forma eficiente de aumentar o conforto interior e de assegurar uma economia de energia substancial.

Por outro lado, e tal como já referido, a restrição dos ganhos de calor através da envolvente do edifício depende também da sua massa térmica, ou seja, deve tirar-se partido da capacidade de armazenamento térmico do edifício para atenuar o aquecimento do ar interior, reduzindo a amplitude térmica diária (inércia forte).

Voltando às estratégias que visam a dissipação de calor por arrefecimento passivo, a ventilação natural assume um papel relevante, especialmente em determinadas horas do dia, quando a temperatura exterior é inferior à temperatura interior dos edifícios, podendo ser bastante efetiva à noite e início da manhã, removendo a carga interna dos edifícios, em particular nas habitações. A ventilação natural é gerada por uma única ação motora – um diferencial de pressões. Efetivamente é sempre uma diferença de pressão entre duas zonas que força o movimento do ar conduzindo ao processo de ventilação. Nos processos de ventilação natural existem então dois meios para gerar o diferencial de pressões necessário: diferentes pressões estáticas no interior dos espaços (em análise) criadas por ação natural do vento, e um diferencial na massa volúmica do ar provocado por ações de aquecimento/arrefecimento.

Em suma, a ventilação natural é um processo promovido pelas diferenças de pressão, de um lado e outro das janelas, portas, grelhas ou outros dispositivos apropriados, quer devido a diferenças de temperatura entre o ar exterior e o ar interior, quer por ação direta do vento sobre as edificações. Existe um conjunto de elementos da arquitetura que podem ser utilizados para assegurar a ventilação natural nos edifícios, tais como: ventilação cruzada, chaminé solar e captadores de vento.

Para além destas estratégias, o próprio solo, cujas temperaturas são sempre inferiores à temperatura do ar exterior (durante o verão), é uma excelente fonte de arrefecimento dos edifícios. Ainda nesta linha, refere-se o arrefecimento radiativo, tirando partido da diferença de temperatura radiativa entre a envolvente do edifício (geralmente, coberturas) e a temperatura do “céu” (Gonçalves & Graça, 2004), e o arrefecimento provocado pela evaporação de água, que promove a renovação de ar dos espaços fazendo passar o ar exterior por um processo evaporativo.

Apresentam-se na figura 75 esquemas de várias estratégias passivas de arrefecimento, incluindo: ventilação transversal (ventilação de um espaço ou de um conjunto de espaços associados, através de aberturas colocadas em duas paredes opostas); ventilação por efeito de chaminé (variação da densidade do ar, que resulta da diferença de temperatura entre o ar

exterior/ar interior e aberturas a diferentes níveis); arrefecimento pelo solo (através de tubos enterrados); arrefecimento radiativo e arrefecimento evaporativo.

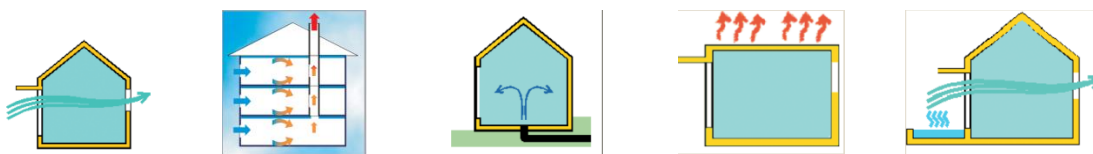


Figura 75 – Estratégias passivas na estação de arrefecimento: ventilação transversal, ventilação por efeito chaminé, arrefecimento pelo solo, arrefecimento radiativo e arrefecimento evaporativo (Gonçalves & Graça, 2004; SouthZEB, 2016b).

No contexto da eficiência energética nos edifícios torna-se importante não só demonstrar de modo claro como a iluminação natural pode contribuir para essa otimização energética, como ainda disponibilizar ferramentas e metodologias de avaliação que permitam na conceção assegurar essa eficiência energética sem prejuízo das condições interiores de iluminação natural. Vários estudos existentes, que têm demonstrado os benefícios da utilização da iluminação natural nos edifícios, são oriundos do norte da Europa onde predominam as condições de céu encoberto, com invernos longos e rigorosos e verões curtos e moderados. Nestas regiões, a existência de vãos envidraçados de dimensões generosas (com vidros de elevado desempenho térmico), é vantajosa do ponto de vista energético ao contribuir para o aproveitamento da luz natural, diminuindo simultaneamente os consumos associados à energia elétrica e contribuindo, na estação de inverno, com ganhos solares úteis para minimizar as necessidades de aquecimento dos espaços. De modo geral, nestes casos, as estratégias de aproveitamento da iluminação natural estão associadas à maximização das áreas envidraçadas, não originando problemas de sobreaquecimento na estação de aquecimento. Todavia, nas regiões do sul da Europa, com boas condições para o aproveitamento da luz natural nos edifícios, e em que uma das prioridades é o controlo dos ganhos solares na estação de arrefecimento, nem sempre as estratégias de iluminação natural adotadas têm comprovado os seus atributos como tecnologia que promove a eficiência energética. De facto, é comum encontrar edifícios com vãos envidraçados de forma, dimensões e tipo inadequados, com os dispositivos de sombreamento encerrados durante a maior parte dos períodos diurnos, com a iluminação artificial em funcionamento, com problemas de desconforto térmico e visual, e com gastos suplementares de energia de climatização na tentativa de atenuar os efeitos de ambientes interiores globalmente desconfortáveis, e que conduzem invariavelmente a gastos energéticos desnecessários, em particular no que diz respeito à energia elétrica de iluminação. A maior parte destes problemas resulta da deficiente articulação entre as estratégias de aproveitamento da iluminação natural, de controlo da radiação solar, de controlo do encadeamento e de controlo da iluminação elétrica.

Por forma a maximizar a iluminação natural, e deste modo minimizar os consumos de energia associados à iluminação, os edifícios devem possuir vãos envidraçados de elevado desempenho, para maximizar a entrada de luz solar e minimizar as perdas de calor, com área suficiente e adequadamente distribuídos. Todos os vãos envidraçados devem ter proteções pelo exterior e preferencialmente móveis e opacas (quando totalmente fechadas). Os vãos orientados a sul devem ser protegidos por palas horizontais ou elementos com sombreamento equivalente de dimensão adequada, para que bloqueiem apenas a radiação solar direta no verão. Note-se, que a exposição a sul é uma situação bastante favorável quando comparada com as restantes posições porque é a única que permite tirar partido positivo das diferentes

alturas do Sol na estação fria e quente. Por outro lado, só se recomendam vãos envidraçados orientados a este e a oeste se for possível efetuar um sombreamento totalmente eficaz no período de verão. O recurso para esse efeito a vegetação de folha caduca, que permite criar condições distintas de sombreamento no inverno e no verão, no sentido duma maior adequação às necessidades, pode revelar-se bastante interessante, embora em áreas urbanas seja por vezes difícil de se conceber. Para promover a iluminação natural de qualidade e sem grande variabilidade ao longo do dia e do ano e sem o risco de ganhos térmicos, os vãos podem estar orientados para o norte. Em certos edifícios, o sombreamento é de facto a melhor solução, uma vez que permite um controlo dinâmico da entrada de luz e calor do edifício (a melhor solução será a combinação do sombreamento exterior com uma proteção interna contra o encandeamento). Como elemento potenciador, o recurso a dispositivos de sombreamento automatizados pode reduzir as necessidades energéticas e melhorar a qualidade do ambiente interior, aumentando ou diminuindo a superfície efetiva do vão envidraçado durante o inverno ou o verão, respetivamente.

É importante realçar que a iluminação natural proporciona ambientes interiores mais confortáveis e agradáveis, contribuindo para o bem-estar, saúde e produtividade dos ocupantes. Contudo, os aspetos quantitativos da iluminação natural (nos edifícios) dependem das condições de nebulosidade do céu, do período do dia e do ano, das características geométricas do edifício e dos compartimentos, das dimensões e propriedades dos vãos envidraçados, do grau de obstruções exteriores e ainda das características refletométricas dos materiais superficiais interiores. Para além dos aspetos relacionados com a expressão quantitativa da iluminação natural (que tem essencialmente que ver com a garantia de uma iluminação suficiente para a realização das tarefas visuais, sendo esses níveis de iluminação expressos em iluminâncias – lux, ou seja, o fluxo luminoso por unidade de área) há ainda que referir os fatores adicionais relacionados com os aspetos qualitativos que regulam o encandeamento, a atenção e a distração e que se manifestam no conforto visual dos ocupantes (Santos, 2001). Compreende-se deste modo a importância de projetar a iluminação natural em qualidade e quantidade suficiente. Por outro lado, o uso impróprio da luz natural reduz a produtividade e aumenta o absentismo dos trabalhadores. Para potenciar o aproveitamento da luz natural é necessário organizar o espaço interior de forma a promover a sua penetração no espaço e não ser causa de desconforto, conferindo um equilíbrio entre proteção solar, transmissão de luz e contato visual com o exterior. Para ser bem utilizada, obriga a cuidados na conceção e funcionamento da iluminação artificial. Uma boa estratégia de iluminação natural assenta na combinação dos princípios de captar, transmitir, distribuir (direta ou indireta), proteger e controlar a luz natural. É assim conveniente o recurso a estratégias de iluminação natural direta combinados com outros elementos, a fim de melhorar a entrada ou o controlo de luz natural nos compartimentos. Constituem, entre outras, disposições favoráveis para a obtenção de condições de iluminação natural mais eficiente nos edifícios: compartimentos pouco profundos ou iluminados por mais de uma fachada, vãos com áreas generosas e localizados em posição elevada; a incorporação de prateleiras refletoras nos vãos e o recurso à iluminação zenital através de claraboias, lanternins, poços de luz, etc., que permitem obter uma distribuição mais uniforme da iluminação natural nos espaços e, ainda, garantir acesso de espaços interiores a esse tipo de iluminação (Vasconcelos de Paiva, 2000).

Na figura 76 pode-se visualizar um conjunto de técnicas usadas para melhorar a iluminação natural, quer estratégias de iluminação direta do exterior, quer estratégias de iluminação indireta do exterior.

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente: avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

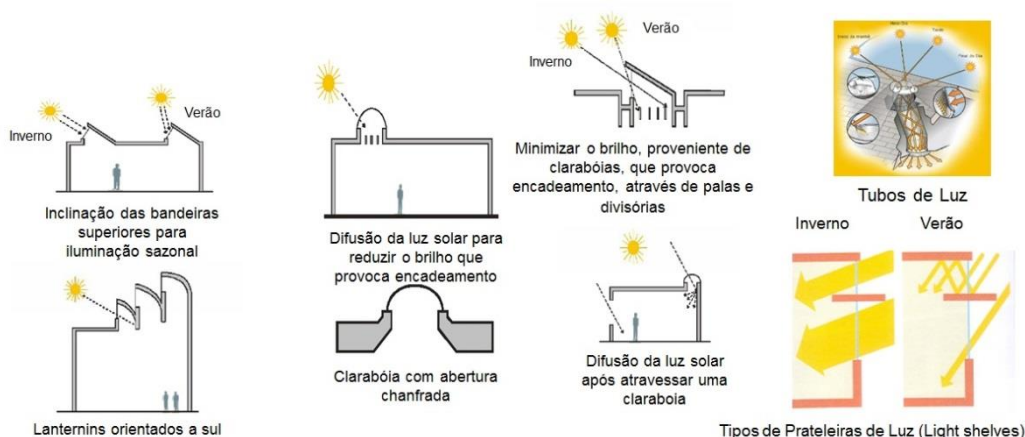


Figura 76 – Estratégias usadas para melhorar a iluminação natural (SouthZEB, 2016b)

5.5.2.3 Sistemas de iluminação energeticamente eficientes

A proporção da energia total requerida que é gasta por um sistema de iluminação artificial para manter em funcionamento um edifício é bastante superior ao que se poderia pensar. No caso de algumas tipologias de edifícios não residenciais, como por exemplo centros comerciais, os sistemas de iluminação são normalmente os maiores consumidores de energia do edifício. Sublinha-se ainda que no verão a iluminação consome a “dobrar” pois a que não é convertida em eletricidade é desperdiçada sob forma de calor, que depois os sistemas de arrefecimento têm que remover. Nos hotéis, o consumo de energia elétrica associada à iluminação pode representar entre 15% a 45% do total do consumo de energia elétrica (Styles et al., 2013). Na Figura 77, estão representados os consumos de energia (diários) de um sistema de iluminação tradicional, sem qualquer tipo de controlo, de uma unidade hoteleira com 65 quartos, onde é visível o domínio do consumo dos corredores, lobby, quartos e restaurantes (a dimensão do círculo representa o consumo expresso kWh). Em contrapartida, na figura 78 denota-se a otimização energética conseguida através de um sistema de iluminação energeticamente eficiente e utilizando uma estratégia de controlo adequada.

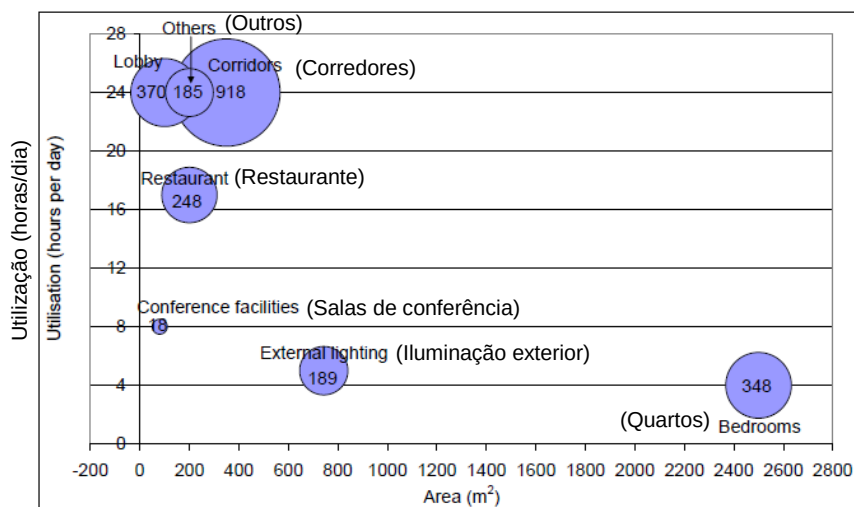


Figura 77 – Consumo diário de energia elétrica de iluminação de um hotel (kWh, dimensão do círculo), setorizado por diferentes espaços (áreas): sistema de iluminação tradicional (Styles et al., 2013)

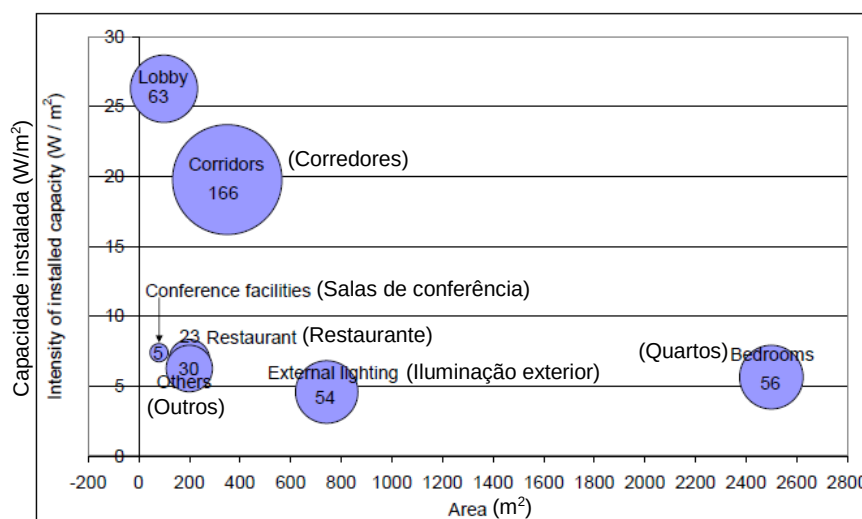


Figura 78 – Consumo diário de energia elétrica de iluminação de um hotel (kWh, dimensão do círculo), setorizado por diferentes espaços (áreas): sistema de iluminação eficiente (Styles et al., 2013)

A escolha de sistemas de iluminação e a sua adequada articulação com as estratégias de iluminação natural constitui um fator determinante na eficiência energética nos edifícios, em particular os não residenciais. Todavia, o conceito de eficiência energética só faz sentido se o sistema de iluminação (natural e artificial) proporcionar as condições necessárias para o desempenho das tarefas visuais em segurança e conforto, garantindo um ambiente interior visual agradável que contribua para o bem-estar dos ocupantes. De modo geral, uma iluminação artificial energeticamente eficiente pode ser conseguida mediante a minimização de duas variáveis: os períodos de utilização da luz artificial e a potência instalada. O recurso à iluminação natural e criteriosa seleção de sistemas de controlo permitem reduzir os períodos de funcionamento da iluminação artificial. Os sistemas de iluminação artificial (fonte de iluminação, luminárias e sistemas de controlo) e a sua correta manutenção asseguram a minimização da potência instalada ao otimizarem a conversão eficiente da energia elétrica em luz visível. Recomenda-se assim o recurso a sistemas de iluminação artificial energeticamente eficientes e flexíveis, sem prejuízo das necessidades quantitativas (satisfação dos níveis de iluminação) e qualitativas (ausência ou minimização do desconforto visual) da iluminação. Por exemplo, instalando lâmpadas fluorescentes de alta eficiência aplicadas em luminárias com refletores de alta refletividade, conseguindo-se densidades de potências na ordem dos 4 a 6 W/m², sem adular os parâmetros de qualidade da luz gerada e níveis de iluminação adequados (EN 12464-1, 2002). Esta potência pode ser ainda mais baixa com recurso à tecnologia de LEDS (diodos emissores de luz). Nos edifícios com instalações antigas, deve proceder-se à reconversão dos sistemas de iluminação com a substituição de lâmpadas de halógeno e fluorescente por lâmpadas LED. Os sistemas de iluminação devem ter uma distribuição, localização e potência adequadas à função a que se destinam e estar convenientemente setorizados. Por exemplo, segregar corretamente os circuitos de alimentação elétrica das luminárias em função da sua posição, relativamente às aberturas nas fachadas e da distribuição das atividades nos espaços.

Os edifícios com maior consumo de energia elétrica para iluminação e que simultaneamente possuem períodos de funcionamento coincidentes com os períodos de maior disponibilidade de luz natural são aqueles que potencialmente podem obter maiores economias de energia.

Destacam-se os edifícios públicos, escolares, de escritórios e serviços, bibliotecas e museus, ou mesmo edifícios industriais. Embora nos restantes tipos de edifícios (por exemplo, hotéis e restaurantes) também sejam possíveis economias significativas em energia elétrica de iluminação, o facto de operarem (também) durante o período noturno implica que essas economias deverão ser conseguidas essencialmente à custa de sistemas de iluminação artificial eficientes.

A correta e adequada utilização da iluminação natural nos edifícios, e em particular naqueles com ocupação predominante diurna, pode contribuir de modo significativo para a eficiência energética, conforto visual e bem-estar dos ocupantes desses edifícios. Contudo, a iluminação natural devido à sua variabilidade ao longo do dia e ao longo do ano, só por si, pode não proporcionar a iluminação suficiente ou adequada ao longo de todo o período de utilização. Assim, os espaços interiores devem dispor de sistemas de iluminação artificial apropriados de modo a suplementarem a iluminação natural, quando tal for necessário. Uma boa conceção arquitetónica do ponto de vista da maximização da iluminação natural, aliada a um adequado sistema automático de comando da iluminação artificial, pode reduzir drasticamente o consumo de energia em iluminação. As estratégias de controlo automático combinando o controlo por deteção de ocupação e regulação contínua do fluxo luminoso emitido em função do conhecimento do nível de luz presente nos espaços (controlo automático por *dimming*), leva a uma redução efetiva dos consumos da iluminação, através da utilização da potência elétrica unicamente quando esta é necessária e, no caso particular do controlo por regulação contínua do fluxo luminoso, com níveis adaptados à disponibilidade de luz natural. Ou seja, nas salas com janelas exteriores a iluminação deve ser controlada por sensores fotoelétricos, nos quartos a iluminação deve ser controlada por chave-cartão e nos corredores, instalações sanitárias e espaços de escritório, a iluminação deve ser controlada por sensores de presença. Para se atingir edifícios de balanço de energia nulo é necessária a aplicação das mais eficientes tecnologias de iluminação artificial, aliada a uma conceção otimizada e inteligente da contribuição da iluminação natural.

A par disso, os sistemas de controlo da iluminação elétrica devem assegurar que a luz é disponibilizada na quantidade adequada, no local adequado e durante o período de tempo apropriado. Os principais parâmetros que influenciam a seleção do tipo de controlos da iluminação são: disponibilidade da luz natural, padrões de utilização dos espaços, possibilidade ou não de regulação gradual das fontes de iluminação; grau de sofisticação do controlo e custos de investimento, e potencial de economia de energia associada à iluminação. No que respeita aos principais modos de controlo da iluminação elétrica, que podem ser usados separadamente ou em combinação, são: controlo manual localizado, controlo temporizado, controlo por *reset*, controlo de ocupação e controlo fotoelétrico ON/OFF e gradual (Santos, 2007).

Na regulamentação nacional de eficiência energética em edifícios de comércio/serviços (RECS, 2013a), são indicados os requisitos para os níveis de iluminância em função do tipo de atividade a desempenhar nos espaços, em total harmonia com o estipulado na norma EN 12464-1. Paralelamente, é também especificado um limite para a potência luminosa instalada por unidade área (densidade de potência), através de uma relação matemática que relaciona essa grandeza com a iluminância média a obter e manter ao nível do plano de trabalho. Pinto (2016) refere para as unidades de alojamento (quartos) dos hotéis, uma densidade de potência de iluminação inferior a 5 W/m^2 ($E_m = 100 \text{ lux}$). Styles et al. (2013) indicam como termo de referência global uma densidade de potência de iluminação instalada inferior a 10 W/m^2 e um consumo anual de energia elétrica de iluminação não superior a $25 \text{ kWh/m}^2\text{.ano}$. Na tabela 6

indicam-se os valores recomendados para a iluminância média a manter e densidade de potência de iluminação, em função do tipo de espaços existentes em empreendimentos hoteleiros.

Tabela 6 – Recomendações de sistemas de iluminação (EN 12464-1, 2002; RECS, 2013a)

Tipo de espaço	Iluminância mantida E_m [lx]	Densidade de potência de iluminação [W/m ² .100 lx]
Entrada	100	3,8
Lounge	200	3,8
Instalações Sanitárias	200	3,8
Vestiários/Balneários	200	3,8
Cozinha	500	3,4
Lavandaria/zonas de inspeção e costura	300/750	2,4
Corredores/Circulações	100	3,8
Escritórios até 6 pessoas	500	2,4
Arquivos	200	3,4
Quartos	100	3,8
Restaurante Buffet/Bar/Refeições	300	3,8
Salas de Conferência e de reuniões	500	2,4
Zonas técnicas/arrumos	100	3,4
Escadas	150	3,8

5.5.2.4 Instalação de equipamentos de elevada eficiência

No decurso das atividades, os ocupantes dos edifícios recorrem frequentemente a uma grande variedade de equipamentos, como por exemplo: computadores, fotocopiadoras, impressoras e outros equipamentos diversos. Atualmente existem edifícios com uma densidade de equipamentos na ordem dos 20 W/m². É assim urgente reduzir ao máximo estes consumos, quer através do uso racional dos mesmos, quer pela utilização de equipamentos de classe energética A+ ou superior. Terá que se dar um novo salto evolutivo na conceção dos equipamentos para conseguir atingir o objetivo nZEB ou net ZEB. A aplicação de novas conceções de soluções e tecnologias informáticas, nomeadamente “*Cloud Computing*”, poderá levar o consumo em equipamentos nos edifícios, em particular de tipologia tipo escritórios, para valores significativamente inferiores aos atuais. É de notar que esta tipologia, por norma, se encontra inserida nos empreendimentos hoteleiros, em especial no setor de 4 e 5 estrelas.

5.5.2.5 Sistemas AVAC energeticamente eficientes

Num edifício energeticamente ideal, os sistemas de aquecimento/arrefecimento seriam desnecessários. A componente passiva seria suficiente para garantir as condições de conforto. Como atualmente ainda não existem condições económicas e tecnológicas suficientes para construir tal edifício, ou se aceita a possibilidade de em determinados períodos existirem condições de desconforto térmico ou se recorre a sistemas de AVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado). No entanto, nos edifícios de balanço nulo os consumos de energia dos sistemas de AVAC têm que ser obrigatoriamente baixos. Os sistemas para aquecimento e/ou arrefecimento têm de ser de elevada eficiência, selecionados numa perspetiva de eficiência sazonal, ou seja, caracterizados pelo desempenho a diversas temperaturas para aquecimento e/ou arrefecimento que avaliem o desempenho real médio dos sistemas ao longo do ano, mas sem negligenciar o desempenho energético dos equipamentos a plena carga (COP - *Coefficient of Performance* ou EER - *Energy Efficiency Ratio*), pois este influencia o pico da carga elétrica, caso particular das bombas de calor e dos *chillers*.

A definição dos parâmetros do ambiente interior e a estratégia de controlo são um dos critérios mais importantes para um edifício energeticamente eficiente. A temperatura ambiente interior é importante no que se refere aos consumos energéticos, devendo-se optar por condições interiores moderadas, com regulação de *set-points* dinâmicos ajustando-se às necessidades de aquecimento e/ou arrefecimento através de temperaturas mais favoráveis, ou *set-points* fixos durante todo o funcionamento (por exemplo, inverno 20°C em vez de 22°C; verão 26°C em vez de 24°C). A norma Europeia EN 15251 estabelece valores para temperaturas operativas no interior em condições de verão e de inverno, em função do grau de exigência estabelecido para o edifício e para os seus ocupantes. A classificação do ambiente térmico deve ser estabelecida com base nas classes de conforto I, II ou III. Assim, a classe I é recomendada para espaços onde é requerido o nível de qualidade mais elevado, enquanto que a classe II se refere a um nível de expectativa normal (edifícios novos e reabilitados) e a classe III a um nível de expectativa mais moderado (edifícios existentes) (EN 15251, 2007).

Neste contexto, Cunha (2015) avaliou diferentes *set-points* de temperatura para garantir as condições de conforto térmico interior (T_{cf}) e analisou o seu impacto no consumo energético de um edifício de serviços. Para o efeito seguiu as considerações indicadas da norma EN 15251, relativas à gama de temperaturas para ambientes interiores em função do espaço e tipo de atividade. Para o período de aquecimento considerou a regulação do *set-point* para 20°C, 21°C e 22°C, respetivamente. No período de arrefecimento a regulação do *set-point* considerada foi de 24°C, 25°C e 26°C. Os resultados demonstraram que, o aumento de 2°C da temperatura do ar interior na estação fria representa um acréscimo de 17% da utilização de energia para aquecimento. Por outro lado, um aumento de 1°C na temperatura do ar interior durante a estação quente representa uma redução de 16% na utilização da energia para arrefecimento (figura 79).

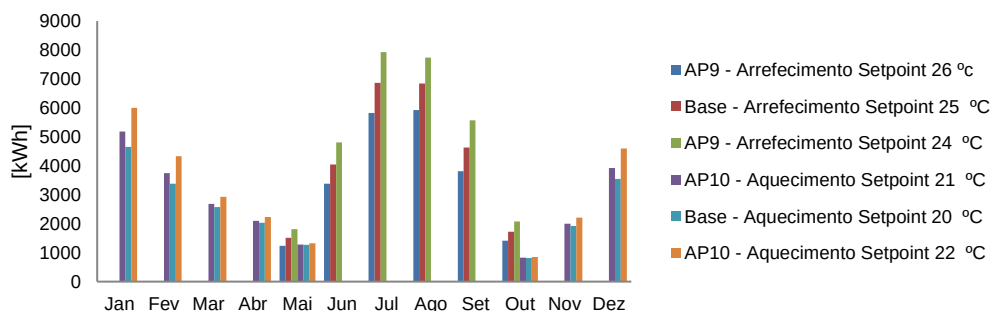


Figura 79 – Efeito da temperatura interior na energia utilizada no edifício para aquecimento e arrefecimento ambiente

No mesmo âmbito, em função da tipologia do edifício e em atividades próximas do sedentário, deve avaliar-se a possibilidade de recorrer a estratégias de conforto adaptativo. As pessoas adaptam-se às condições climáticas e ao tempo, especialmente durante o período de arrefecimento. O nível de adaptação e expectativa está fortemente relacionado com as condições climáticas exteriores, em particular nos edifícios sem sistemas de arrefecimento ativo. Neste âmbito, a referida norma (EN 15251, 2007) indica um critério de cálculo – modelo adaptativo com intervalos de temperatura aceitáveis – para edifícios de serviços e residenciais, sem sistemas de climatização mecânicos ativos, o qual considera que o facto de uma pessoa ter a possibilidade de se adaptar, alterando o seu vestuário, abrindo/fechando uma janela ou até reduzindo a sua atividade, a torna mais tolerante (menos expectante) relativamente ao ambiente térmico circundante. No modelo de cálculo constante da norma EN

15251 a temperatura de conforto é determinada com base na temperatura exterior observada nos dias que antecedem as medições, T_{mp} (temperatura média ponderada), e o “desvio” definido em torno daquele valor (o qual determina a gama de temperatura aceitável) depende da categoria (classes I, II e III anteriormente referidas) em que o ambiente térmico é classificado (EN 15251, 2007). Na mesma linha, a ASHRAE¹⁶ 55 (2004) para espaços naturalmente condicionados, estabelece que a resposta térmica destes espaços depende em parte da temperatura exterior do mês em questão e tem em conta também as mudanças no vestuário usado, que acompanha as estações do ano, sendo os limites de conforto calculados para cada mês. Estes critérios são utilizados em edifícios sem sistemas de arrefecimento (em funcionamento) e são válidos para edifícios de escritórios e outras tipologias, onde as atividades predominantes são sedentárias. Ainda assim, estes modelos podem apontar diretrizes para controlar a temperatura em edifícios com sistemas ativos de climatização em função da temperatura exterior, de forma a reduzir a utilização da energia. Contudo, os modelos de conforto adaptativo são pensados para situações em que os ocupantes têm a possibilidade de adaptar o seu vestuário às condições de conforto térmico (interiores e/ou exteriores) e não deverá ser utilizado em edifícios com código de vestuário.

Entretanto, a utilização de temperaturas moderadas nos circuitos de água aquecida e arrefecida, aliada, por exemplo, à utilização de sistemas de superfície radiante (pavimentos, paredes e tetos) de aquecimento de baixa temperatura e de arrefecimento de temperatura elevada são vantajosas do ponto de vista da eficiência energética e do desempenho da fonte térmica (bombas de calor/*chillers*, caldeiras, caldeiras de condensação, etc.). Atualmente os equipamentos usados para a geração de água refrigerada (*chillers*) estão equipados com controlos digitais que apoiam os outros equipamentos instalados no circuito do fluido frigorigéneo (compressores, ventiladores, válvulas de expansão eletrónicas, etc.). Deste modo, os controlos deverão ser capazes de adaptar dinamicamente a temperatura de condensação e evaporação. Além do mais, a eficiência energética do equipamento térmico – de geração de frio (*chiller*) – diminui significativamente quando se diminui a temperatura da água refrigerada produzida, pelo que a temperatura de saída de água no evaporador do *chiller* deve ser a mais elevada possível. Os níveis de eficiência mais elevados são conseguidos com baixas temperatura de condensação e elevadas temperaturas de evaporação. Ao reduzir a temperatura de condensação, e por conseguinte a pressão do condensador, no modo de arrefecimento, permite-se a redução do rácio de compressão quando a temperatura ambiente é baixa, reduzindo-se o consumo e aumentando a eficiência do equipamento. Isto também é aplicável quando a temperatura de evaporação aumenta, no caso do funcionamento em versão bomba de calor, para o aquecimento do circuito de água quente. A eficiência energética da bomba de calor diminui quando se aumenta a temperatura de condensação, pelo que a temperatura de condensação deve ser a mais baixa possível (figura 80).

¹⁶ American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers.

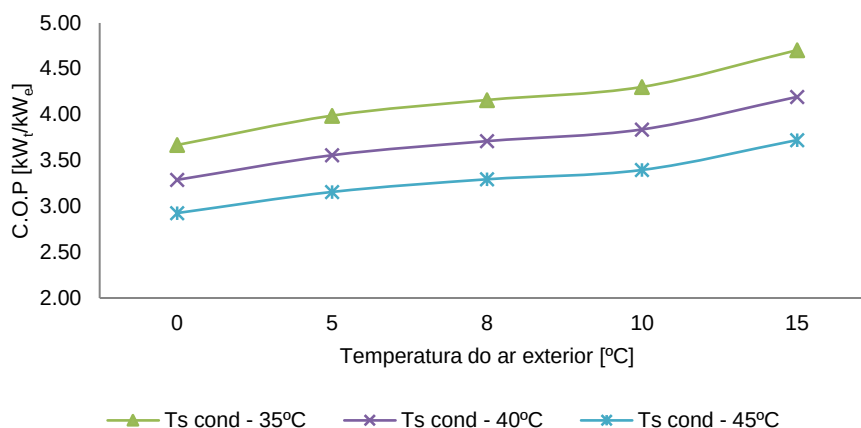


Figura 80 – Níveis de eficiência de *chiller*/bomba de calor: COP vs. Temperatura exterior

Nesta conformidade, importa então clarificar a definição de bomba de calor. Entende-se por bomba de calor, por compressão de um vapor, um sistema que realiza um ciclo termodinâmico entre duas fontes de energia, uma a baixa temperatura – fonte fria – e a outra a mais alta temperatura – fonte quente – transferindo o calor da fonte fria para a fonte quente graças ao fornecimento de uma certa quantidade de trabalho. Os seus elementos principais são quatro: evaporador, compressor, condensador e elemento de expansão. De forma simplificada, pode dizer-se que transferem a energia presente no ar exterior, no solo ou na água, a uma temperatura mais baixa, para um dado meio a temperatura mais alta – ar ambiente interior, água para aquecimento, ou outro fluido intermédio. Na realidade trata-se de uma máquina frigorífica¹⁷ mas de funcionamento “ao contrário”, isto é, com o objetivo do aquecimento. Se uma máquina pode funcionar alternativamente, quer produzindo aquecimento, quer produzindo arrefecimento, denomina-se bomba de calor reversível. No modo de funcionamento para arrefecimento ambiente a fonte de calor (ar, solo ou na água) serve para rejeitar o calor retirado do ambiente interior. O princípio de funcionamento baseia-se no ciclo de compressão de vapor. A figura 81 mostra um esquema básico do princípio de funcionamento de um *chiller*/bomba-de-calor¹⁸, bem como a eficiência do equipamento, medida pela razão entre o calor removido na fonte fria ($\dot{Q}_{evap}$) e a potência fornecida à máquina, designada por EER (*energy efficiency ratio*), na estação de arrefecimento, e o funcionamento na estação de aquecimento, através do quociente entre o calor libertado no condensador ($\dot{Q}_{cond}$) e a potência elétrica consumida, designado por COP (*coefficient of performance*).

¹⁷ Nas situações correntes de climatização, as máquinas frigoríficas são tipicamente de ciclo de compressão, podendo rejeitar o calor para a atmosfera ou para um outro circuito de fluido térmico, normalmente água. Quando funcionam com uma rede de distribuição a água, são designados comercialmente por *chiller* “água-água” ou “ar-água”, consoante o modo de rejeição de calor. O calor libertado para uma rede de água é posteriormente lançado na geoesfera por permutadores secos, torres de arrefecimento, permuta para rios ou para o solo.

¹⁸ No *chiller*/bomba de Calor, o ciclo frigorífico está concentrado num equipamento único, sendo a água (arrefecida e/ou aquecida) utilizada como fluido de transporte de energia entre o equipamento e o espaço a climatizar.

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente: avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

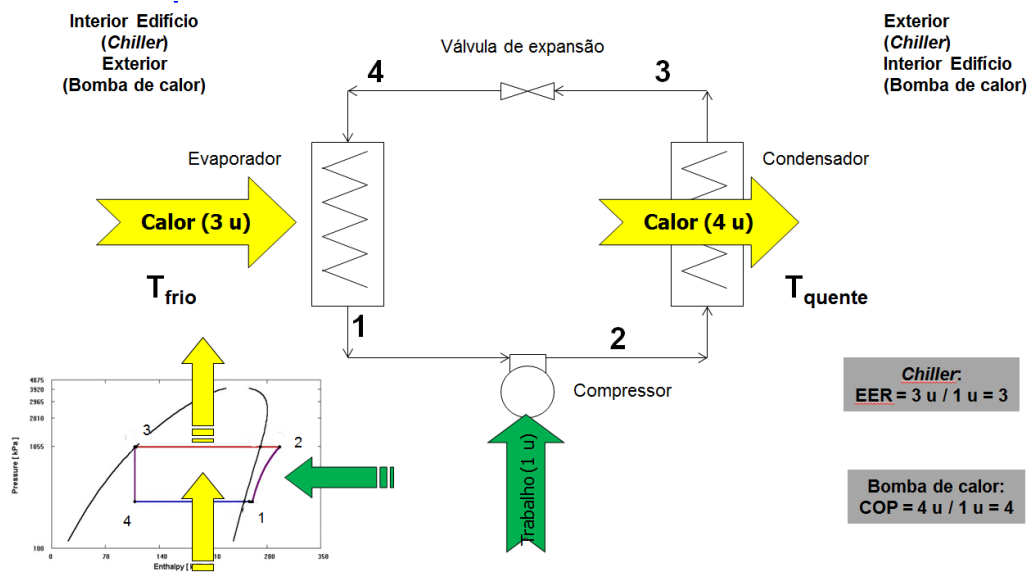


Figura 81 – Esquema básico explicativo de um *chiller*/bomba-de-calor

A utilização da bomba de calor como fonte fria ou fonte quente em associação com um sistema de aquecimento ou de arrefecimento por superfície radiante (superfície emissora), que funciona com temperaturas do fluido de trabalho próximas da temperatura operativa do espaço, traduz-se num aumento de eficiência e permite a fácil integração de fontes renováveis. Em situações de arrefecimento é possível recorrer ao aproveitamento da geotermia superficial usando água de um recurso hídrico, lago, albufeira, rio ou aquífero subterrâneo, permitindo dispensar o funcionamento das torres de arrefecimento (economizando-se energia, água, produtos químicos e manutenção) e melhorando o rendimento dos *chillers* água-água, uma vez que os mesmos irão operar com água no condensador a temperaturas mais baixas do que as torres de arrefecimento conseguem fornecer.

Complementarmente, devido à estabilidade da temperatura do solo é possível utilizar o arrefecimento passivo sem necessitar de recorrer à bomba de calor. Ou seja, o recurso ao aproveitamento geotérmico através de bomba de calor água-água reversível (bomba de calor geotérmica) interligando os circuitos primários dos equipamentos a permutadores enterrados na vertical, em circuito fechado, garantindo quer o aquecimento, quer o arrefecimento ambiente. No verão, a bomba de calor apenas funciona em modo reversível quando se esgota o potencial de arrefecimento gratuito. Durante a restante parte do verão o calor dissipado para solo (em modo reversível) aquece o solo e, como resultado, otimiza o desempenho da bomba de calor durante o inverno. A utilização de bombas de calor geotérmicas é uma alternativa viável na climatização de edifícios, permitindo a maximização da eficiência, a redução do consumo de energia, das emissões de CO₂ e dos custos de exploração dos edifícios. Na tabela 7 compara-se a utilização de um sistema convencional (*chiller* e caldeira interligados a ventiloconvetores) com a utilização de uma bomba de calor (reversível) interligada a pavimento radiante, para satisfazer as necessidades de aquecimento/arrefecimento ambiente de uma moradia de 350 m², traduzindo-se numa economia de energia na ordem de 60%.

Tabela 7 – Comparação de sistema de climatização convencional com sistema de climatização via bomba geotérmica com superfície radiante, adaptado de Sousa (2014).

Sistema de Climatização	Consumo de Energia	Emissões CO ₂	Economia de energia		Custo anual da exploração
	[kWh/m ² .ano]	[ton/ano]	[kWh/m ² .ano]	[%]	[€/m ²]
Ch/BC geotérmica + Pavimento radiante	31,71	3,86	47,14	60%	3,5
Chiller + Caldeira + ventiloconvetores	78,86	8,82	-	-	10,6

No diz respeito à ventilação, sempre que a temperatura exterior seja favorável, a renovação do ar deve ser efetuada por ventilação natural, ou quando muito híbrida (modos de ventilação natural e mecânica combinados). Por exemplo, um sistema pode ter grelhas de admissão para promover a ventilação natural e uma unidade de extração mecânica que é ativada apenas quando o caudal de ar que entra pelas grelhas é insuficiente para as necessidades do espaço. Na figura 82 é possível visualizar um sistema de ventilação híbrida. No caso concreto, o ar novo (ar exterior) é admitido através de janelas – com possibilidade de abertura – e extraído por abertura de lanternins ou por ventiladores de exaustão.

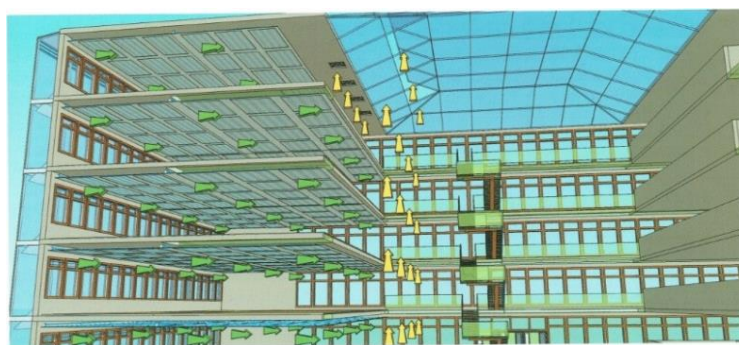


Figura 82 – Integração de sistema de ventilação híbrida em edifício de serviços (Virta et al., 2012)

Nos períodos de ventilação mecânica deve ser recuperado o calor contido no ar de rejeição e devem existir dispositivos que permitam, no verão, o recurso ao arrefecimento gratuito. Os sistemas de recuperação usam permutadores de calor para transferir calor e humidade. De acordo com a segunda lei da termodinâmica, a transferência espontânea de energia sob forma de calor só pode ocorrer de um local com a temperatura mais elevada para um com a temperatura mais baixa. Assim, a avaliação do desempenho da unidade de recuperação de calor é realizada através da sua eficácia, e é definida como o rácio entre o calor transferido no permutador de calor de um fluido para outro, comparado com o máximo absoluto de calor que poderia ser transferido de um fluido para outro se a área de permuta de calor fosse infinita. Na figura 83 visualiza-se o aumento da eficácia sensível (ϵ_t) de um recuperador de calor ar/ar (permutador de placas de fluxos cruzados) de uma unidade de tratamento de ar novo (UTAN), obtida através do correto ajustamento dos caudais extração/insuflação de rede de distribuição do ar (termicamente tratado e filtrado). No caso concreto, existia um excesso de caudal de insuflação em espaços sem ocupação permanente, que poderiam ser ventilados por ar transferido de espaços mais nobres. Deste modo, a eliminação do caudal de ar novo mantendo a correta hierarquização das pressões dos espaços, permitiu novo reequilíbrio de caudais (aproximação dos caudais insuflação/exaustão) e, conseqüentemente, o impacto positivo no

aumento da eficiência sensível do recuperador de calor e a redução significativa nos consumos associados ao aquecimento ambiente e à ventilação (Cunha, 2015).

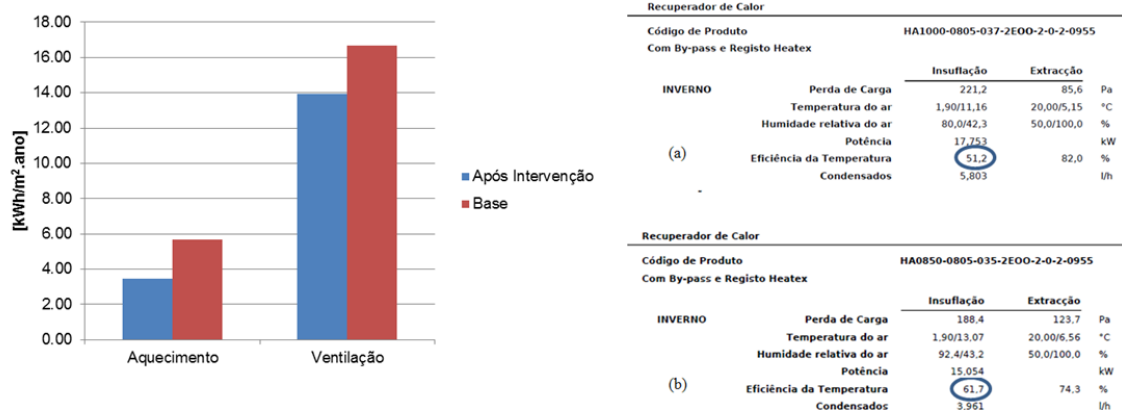


Figura 83 – Impacto do aumento da eficiência sensível na recuperação de calor ar/ar nos consumos de energia final para aquecimento e ventilação: (a) eficiência sensível da UTAN e (b) eficiência sensível da UTAN após intervenção

Todavia, em muitas unidades de tratamento de ar dotadas de módulo de recuperação de calor, o maior consumo que este componente provoca no ventilador poderá ser superior ao benefício associado à redução de consumo de energia térmica. Esta situação ocorre normalmente nas zonas menos frias e com horários de funcionamento diurnos. Nestes casos deve ser avaliado o custo-benefício.

As unidades de tratamento de ar/ar novo (UTA/UTAN) são as maiores consumidoras de energia nos sistemas de ventilação e ar condicionado. São utilizadas para o tratamento do ar, que inclui o aquecimento, arrefecimento, humidificação e desumidificação, filtragem, distribuição do ar, etc. Os ventiladores não só têm que vencer a resistência na rede de condutas, mas também a perda de carga na própria UTA/UTAN. Portanto, o objetivo é a redução do consumo de eletricidade dos ventiladores (Brelvi et al., 2013). Neste quadro, as unidades de ventilação e/ou unidades de condicionamento de ar (UTA/UTAN) devem utilizar grupos motor-ventilador de alto rendimento, de transmissão direta, com variação de velocidade por motores comutados eletronicamente, bem como serem dimensionadas para consumos específicos de ventilação baixos, utilizando as orientações dos indicadores *SFP* (*Specific Fan Power*) da norma EN 13779, para as categorias mais elevadas (*SFP 1*, *SFP 2* e *SFP 3*) (EN 13779, 2007). Além disso, no setor de tratamento e distribuição do ar, a perda de carga do sistema deve ser reduzida nas unidades de condicionamento do ar e na rede de condutas. Na rede de condutas pode ser melhorada através da redução da velocidade do ar nas condutas e da seleção de elementos (por exemplo, atenuadores de ruído, mudanças de secção e outros acessórios localizados) com baixas perdas de carga para o sistema. O segundo potencial para melhoria é a própria unidade de condicionamento do ar, que normalmente exibe perdas de pressão que são o dobro das perdas de pressão nas condutas. As perdas de pressão destas unidades podem ser reduzidas através da seleção de velocidade frontal baixa, pois esta influencia a perda de carga e o consumo de eletricidade da unidade. Contudo, as unidades de condicionamento do ar com velocidade frontal baixa (normalmente 1,5 m/s ou inferior) exigem mais espaço nas salas técnicas, devendo esta particularidade ser acautelada aquando do dimensionamento inicial e nos cálculos do custo do ciclo de vida (Brelvi et al. 2013). Complementarmente, em determinadas tipologias de edifícios, como sejam escolas, hotéis, restaurantes, escritórios, teatros, entre outros, deve ser considerada a possibilidade de

utilização de ventilação adequada às necessidades (ou segundo a terminologia inglesa, *Demand Controlled Ventilation – DCV*), com os caudais de ar novo controlados em função da ocupação dos espaços, da temperatura ambiente e/ou da qualidade do ar interior (CO_2). Os sistemas de ventilação adequados às necessidades são mais adequados para locais com cargas variáveis e com uma ocupação de elevada densidade. Quanto maior for a variação das cargas no tempo, maior é o potencial de economia de energia, quando comparado com um sistema de caudal de ar constante. A figura 84 ilustra a vantagem de instalar sistemas DCV para controlar os caudais de ar em locais com ocupação variável. Com um sistema de caudal de ar constante, o caudal de ar projetado para o número máximo de ocupantes é constante, enquanto que num sistema DCV a taxa de ventilação se adapta à procura real.

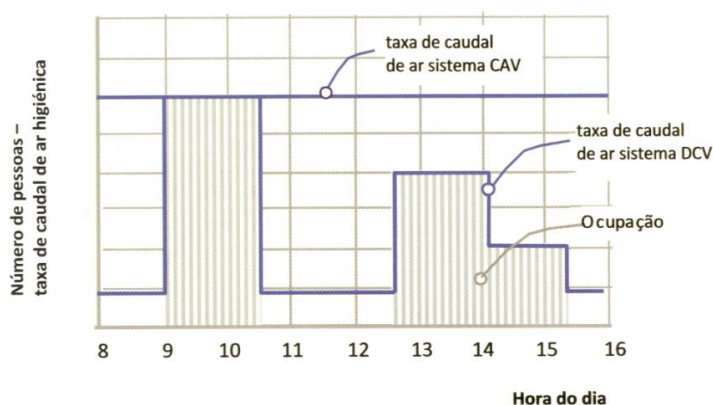


Figura 84 – Comparação de um sistema DCV com um sistema de caudal de ar constante em instalações com controlo do ar (Brelvi et al., 2013)

Em sintonia com o referido, na figura 85 observa-se a estimativa da redução do consumo energético associado à ventilação de um edifício de serviços face a um cenário base com sistema de caudal de ar constante. A economia de energia é alcançada devido à utilização de ventiladores mais eficientes, através da seleção de ventiladores com consumo específico de classe SFP2 (EN 13779, 2007) e utilização de ventilação adequada às necessidades de utilização, com base no controlo do caudal de ar novo em função do principal indicador da qualidade do ar interior, nomeadamente a presença de CO_2 (Cunha, 2015).

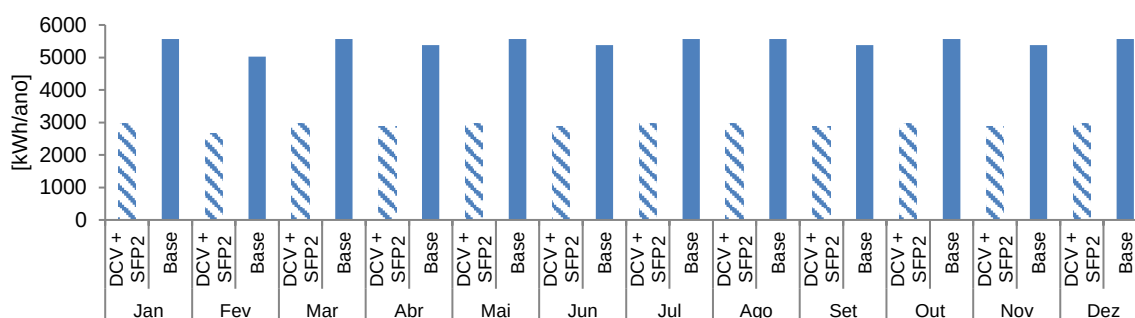


Figura 85 – Estimativa da economia de energia associada à ventilação através da utilização de sistema DCV e seleção de ventiladores mais eficientes

Importa ainda referir relativamente à qualidade do ar interior, que os níveis de filtragem a utilizar nos sistemas de ventilação devem ser especificados de acordo com a EN 13779, em função da classificação do ar exterior, mas com bastante racionalidade, pois introduzem perdas de carga elevadas que conduzem a um aumento significativo do consumo de energia

nos ventiladores. Por último, deve existir uma gestão automática centralizada e otimizada que comande todos os sistemas energéticos do edifício, incluindo o funcionamento do AVAC.

5.5.2.6 Produção de energia no local (ou proximidades) a partir de fontes renováveis

É sabido, que a um nZEB é exigido que produza energia suficiente para numa base temporal, normalmente anual, satisfazer maioritariamente os seus consumos. Para além disso, esta energia tem que ser proveniente de fontes renováveis ou ser produzida no local ou nas proximidades. Em termos de energia proveniente de fontes renováveis, os sistemas mais viáveis são os solares térmicos, sistemas a biomassa e os de energia geotérmica.

Na linha da integração de tecnologias e renováveis, o aproveitamento geotérmico de baixa temperatura que se realiza através de uma bomba de calor água-água encontra-se em uso crescente. Este sistema utiliza-se para aquecimento/arrefecimento ambiente através de superfícies radiantes e para complemento da energia solar térmica na produção de água quente para fins sanitários (AQS). Com vantagem de, na sua produção de calor ou frio, não ser afetado pelas condições climáticas e apresentar eficiências instantâneas na ordem dos 300% a 600%, promovendo o desenvolvimento sustentável da utilização da energia. Na figura 86 pode visualizar-se um exemplo deste tipo de integração de sistemas energéticos – com o solar térmico e a bomba de calor água-água – tirando partido do aproveitamento geotérmico – de baixa temperatura – para satisfazer a climatização e a AQS (através de um depósito de acumulação). No interior do depósito existe um pequeno reservatório onde é preparada a água quente sanitária. Para complemento da sua temperatura, a água quente sanitária passa pelo apoio antes da utilização. O apoio térmico é concebido para funcionar com água pré-aquecida e só fornecer a energia necessária para a água garantir a temperatura regulada, evitando assim a utilização excessiva de gás e reduzindo as emissões de dióxido de carbono (CO₂). O aquecimento de água no depósito de acumulação é realizado prioritariamente pelo sistema solar, sendo complementado pela bomba de calor. No verão este funciona apenas para a preparação da AQS, pois o arrefecimento fica a cargo da bomba de calor a funcionar como máquina frigorífica. Pode, no entanto, ser utilizado o arrefecimento passivo sem necessidade de recorrer à bomba de calor, até se esgotar o potencial de arrefecimento gratuito.

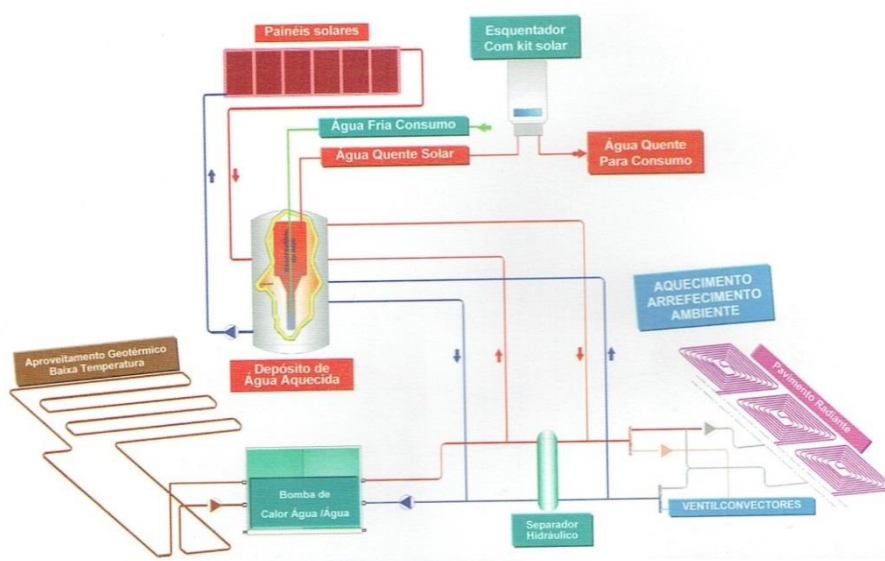


Figura 86 – Exemplo de integração de sistemas renováveis: bomba geotérmica e solar térmico (Ramos & Ascenso, 2008)

Os outros sistemas mistos convencionais, constituídos por painéis solares que para além da AQS fornecem energia para aquecimento ambiente e que são complementados pelas bombas de calor ar-água, que adicionalmente fornecem também a energia necessária para garantir o arrefecimento ambiente, são uma alternativa económica, que contribuem para o desempenho energético dos edifícios e bastante utilizados em pequenas instalações (por exemplo, apartamentos ou moradias unifamiliares).

Em termos de energia produzida no local ou nas proximidades através de renováveis, os sistemas atualmente mais viáveis são os sistemas fotovoltaicos e os eólicos. Para além destes existem outros, mas que normalmente ou não estão disponíveis ou não são economicamente viáveis (mini-hídricas, energia das ondas, energia das marés, sistemas solares concentradores, etc.). Quer os sistemas de cogeração – produção simultânea de energia térmica e elétrica a partir da mesma fonte – e trigerção – utilização do calor rejeitado da cogeração para produção de água arrefecida, permitindo o uso em *chillers* de absorção para aplicações em arrefecimento ambiente – funcionam atualmente quase exclusivamente a gás natural, que tratando-se de um combustível com origem fóssil não se enquadra como energia renovável. Contudo e dentro desta linha, os equipamentos de micro-cogeração para o setor doméstico são uma solução integrada e que contribuem para o aumento da eficiência energética e diminuição das emissões de CO₂. Neste cenário, a pilha de combustível é uma solução que permite a integração num único equipamento a disponibilização de potência térmica (na ordem de 1,7 kW, para aquecimento ambiente e água quente sanitária) e de potência elétrica (na ordem de 1 kW, para satisfação das necessidades de utilização própria ou cedência à rede elétrica do excesso não utilizado, dependendo das estratégias nacionais ou locais). Difere das unidades de microgeração baseadas na utilização de motores de combustão interna, devido ao seu funcionamento se basear no processo da eletrólise de hidrogénio e oxigénio. Estes sistemas apresentam flexibilidade na combinação com fontes de origem renovável, mas ainda não se encontram num estado de maturação que permita a sua comercialização em larga escala.

No entanto, e contrariando esta tendência, existem tecnologias no mercado suficientemente maduras, disponíveis e competitivas; o que se espera do mercado é a massificação das tecnologias já existentes para acompanhar uma procura crescente e necessária. Por exemplo, os concentradores solares térmicos e híbridos (fotovoltaico/térmico) que são utilizados para aplicações de produção de vapor e produção de energia elétrica, sistemas de cogeração híbridos solar/gás ou biomassa, para aquecimento de água, quer industrial, quer em grandes edifícios, etc. Apesar de não ser frequente no nosso país, por combinação de diversos fatores, existem atualmente instaladas no centro e norte da Europa, aplicações solares térmicas de larga escala interligadas a redes de aquecimento urbano, que fornecem energia térmica para aquecimento ambiente e águas quentes sanitárias (*solar district heating*, na versão inglesa) a múltiplos edifícios locais, ao nível de bairros ou condomínios, a par do recurso à biomassa anteriormente referida no subcapítulo 5.4.4. Ainda no âmbito de sistemas de cogeração com base em energias renováveis implementados nos edifícios, existem também vários exemplos, destacando-se as centrais de cogeração a biogás, sendo a eletricidade produzida para autoconsumo e a energia térmica fornecida a um sistema centralizado de aquecimento para satisfazer as necessidades de consumo do edifício. Por último, importa realçar o uso de *chillers* de absorção a energia solar como solução para edifícios com necessidades elevadas e permanentes de arrefecimento. Os *chillers* de absorção diferem das unidades térmicas de compressão de vapor pelo facto de utilizarem um processo térmico e/ou químico para gerarem o efeito de refrigeração necessário para produzir água refrigerada. Não existe compressão mecânica do fluido frigorigéneo. Num *chiller* de absorção a fonte de calor (por exemplo, calor

solar) aciona o processo de arrefecimento, pelo que o compressor é substituído por um absorvedor químico, um gerador e uma bomba. Nesta linha, o modelo híbrido fotovoltaico/térmico permite produzir toda a energia necessária ao funcionamento do *chiller*, tanto térmica como elétrica, resultando do processo um excesso de energia térmica que poderá ser utilizada em água quente sanitária (AQS) e também um excesso de energia elétrica que poderá ser utilizada para autoconsumo. Ora, esta solução existe já implementada em alguns edifícios de dimensão e é uma excelente aposta, uma vez que o custo de manutenção é reduzido e apresenta atrativo retorno de investimento. Assim, combinar a cogeração com o uso das renováveis, apresenta vantagens significativas – nomeadamente, benefícios energéticos, ambientais, económicos e aumento da segurança de abastecimento energético, através da redução da importação de combustíveis devido ao uso de recursos energéticos locais.

No seguimento das tecnologias de arrefecimento solar que utilizam o solar térmico para produzir frio, na figura 87 visualiza-se o funcionamento de um *chiller* de absorção assistido por energia solar que funciona com água aquecida do sistema solar (fluido térmico quente utilizado como fonte de calor para o sistema frigorífico de absorção), para produção de água refrigerada para alimentação da rede hidráulica das unidades terminais (ventiloconvetores), com a particularidade do sistema integrado funcionar para aquecimento ambiente, “bypassando” na válvula de três vias a distribuição da energia térmica ao *chiller*, através de um circuito hidráulico e fornecendo diretamente às unidades terminais de climatização água aquecida quando necessário.

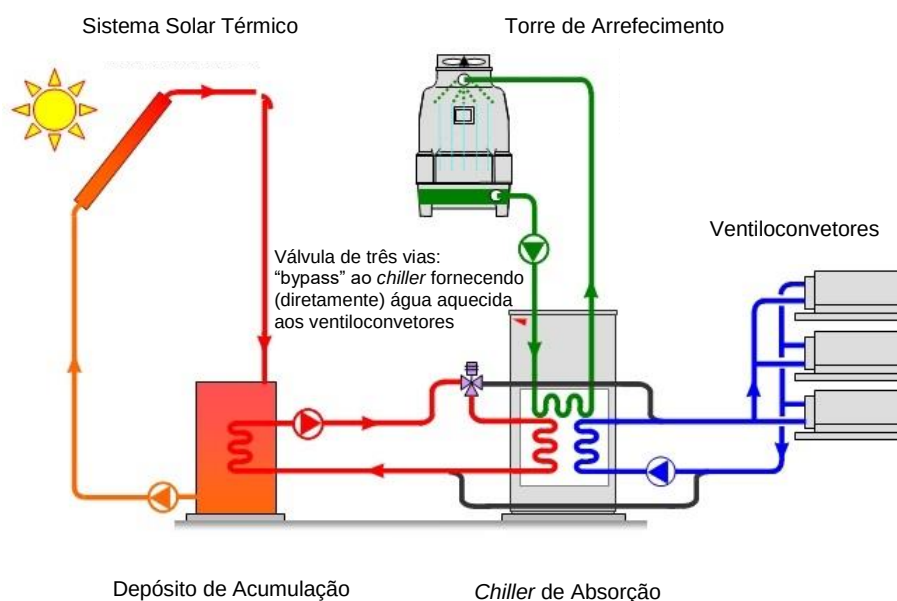


Figura 87 – *Chiller* de absorção (solução utilizada: água – brometo de lítio, em que a água é o refrigerante) assistido por energia solar para produção de água refrigerada (SouthZEB, 2016b)

5.5.2.7 Utilização racional do edifício e dos seus sistemas e equipamentos

Mesmo que um edifício tenha uma componente passiva (arquitetura e soluções construtivas) de excelência, dispositivos internos (iluminação e equipamentos) muito eficientes, sistemas de AVAC otimizados e elevada utilização de energias renováveis e produção de energia a partir de fontes renováveis, não cumprirá os requisitos para ser de balanço de energia nulo se a utilização do edifício e dos seus sistemas e equipamentos não for racional. Ou seja, um

edifício só será de balanço neutro se os sistemas de regulação e de controlo estiverem programados de forma ajustada para o edifício em questão e os utilizadores tiverem comportamentos que minimizem os consumos de energia. É essencial que exista uma equipa de técnicos adequadamente habilitados, que providencie para que o funcionamento dos equipamentos e sistemas energéticos do edifício seja o mais eficaz possível. Devem estar previstos automatismos que permitam desligar de forma permanente ou temporária os equipamentos e os sistemas que não estejam a ser utilizados, que possam ser “dispensados” ou que estejam localizados em zonas do edifício que de momento não estão a ser utilizadas. Contudo, esta integração total de todos os sistemas e subsistemas de um edifício num único sistema de gestão integrada deve pensar na sua interação com o utilizador. A inibição de atuação do utilizador em determinados casos, em particular nos edifícios de serviços, pode não resultar na solução mais eficiente. Por exemplo, sistemas automatizados que obrigam a que todas as janelas estejam fechadas, com um funcionamento constante do sistema de AVAC. Em climas mediterrânicos a simples abertura das janelas poderá ser suficiente, evitando que o sistema de climatização esteja a funcionar em determinadas alturas do ano. O que se pretende no futuro próximo é que a automação consiga reconhecer as preferências do utilizador, tanto quanto possível. Será um desafio tecnológico para a automação e integração de sistemas nos edifícios.

5.6 Viabilidade económica dos edifícios de balanço de energia nulo

No contexto da viabilidade económica, é consensual que existem atualmente os conhecimentos, as tecnologias construtivas, os materiais e os equipamentos suficientes, para projetar edifícios que permitam alcançar os requisitos energéticos exigidos pela EPBD e as suas posteriores revisões. A questão que levanta muitas dúvidas é se são uma aposta economicamente interessante.

Neste quadro, apesar de inicialmente acarretarem custos mais elevados, os nZEB traduzem poupança energética durante o ciclo de vida. Por outro lado, os proprietários beneficiam financeiramente da aposta nestes edifícios devido ao aumento da valorização imobiliária com impactos diretos a diversos níveis, como sejam: redução dos custos do ciclo de vida; aumento do tempo de vida do edifício e respetivos equipamentos; períodos de arrendamento e renovações de contrato mais longos; receitas contínuas e diminuição dos riscos de responsabilização (Virta et al., 2012). É igualmente importante considerar os custos potenciais de não investir nos edifícios de balanço de energia nula. Estima-se que nos próximos anos a evolução do preço da energia aumentará consideravelmente, sendo que os custos da energia têm um grande impacto no cálculo dos custos do ciclo de vida. Em simultâneo, o mercado do carbono e eventual aplicação de taxas podem ter impacto nos custos futuros relacionados com a energia e também com os edifícios.

No que se refere ao custo de ciclo de vida, este corresponde ao custo total, a valores atuais, da construção, exploração, manutenção e desativação de um edifício para um determinado período de tempo. O período de vida de um edifício estende-se desde a fase de planeamento até à fase final de reutilização ou demolição, passando pelas fases de projeto, construção e operação. As decisões tomadas nas fases iniciais de projeto e construção podem afetar fortemente os custos e eficiências de fases subsequentes. Deste modo, na seleção de materiais de construção e sistemas energéticos, a análise do custo de ciclo de vida deve ser utilizada como principal indicador. Por exemplo, para determinar se a opção por sistemas de climatização energeticamente eficientes ou envidraçados de elevado desempenho térmico, que

podem significar custos iniciais superiores mas traduzindo-se em reduções expressivas durante a exploração e manutenção, são ou não vantajosas em termos de custo-benefício.

Este tipo de análise é especialmente adequada para apoiar a escolha entre diferentes investimentos em medidas ou combinações de medidas – eficiência energética e de geração de energia através de renováveis – com o intuito de melhorar o desempenho energético dos edifícios, com o melhor compromisso entre o custo de investimento e o custo ao longo do ciclo de vida do edifício. Para o proprietário na altura da exploração, o edifício ideal será aquele cujo custo global durante todo o período de vida do mesmo seja o menor possível, designado como “ponto ótimo de rentabilidade económica”. Assim, o interesse económico de um edifício de balanço de energia nulo vai depender do preço de compra da energia e da sua evolução ao longo do período de funcionamento. No caso do aumento das tarifas da energia ser maior do que o valor da taxa de inflação, o custo de construção de edifícios de balanço energético nulo tende aproximar-se do nível ótimo de rentabilidade, tornando a edificação deste tipo de edifícios economicamente mais interessante. Por outro lado, no caso do aumento da compra de energia ser inferior ou igual à taxa de inflação, o custo de construção ou reabilitação de um net ZEB ou nZEB afastar-se-á do ponto de rentabilidade económica. E, nesta situação, a edificação deste tipo de edifícios poderá ser economicamente desvantajosa para o proprietário, a menos, claro está, que a construção seja subsidiada a nível nacional ou Europeu.

Torna-se visível pela figura 88 que o padrão nZEB apresenta uma lacuna financeira quando comparado com os níveis de rentabilidade ótima. Os níveis nZEB comparados com níveis de custo-ótimo apresentam uma diferença a favor do custo-ótimo. Deste modo, é necessário construir caminhos para contrabalançar esta diferença, que passam quer por estratégias e políticas públicas de promoção dos nZEB, quer pela transformação e evolução da tecnologia disponível no mercado, a saber (SouthZEB, 2016):

- Ações do Governo promotoras dos nZEB:
 - Incentivos económicos que reduzam o custo do investimento inicial;
 - Regular taxas de juro baixas para nZEB resultará em taxa de atualização inferior;
 - Aumento das taxas nos preços da energia resultará em maiores *cash-flows* gerados da economia de energia.
- Ações de Mercado promotoras dos nZEB:
 - Avanços tecnológicos podem resultar em equipamentos mais económicos e mais eficientes, resultando em custos de investimento inicial menores e em maiores poupanças energéticas;
 - Avanços tecnológicos respeitantes à qualidade e tempo de vida útil das soluções/equipamentos e produtos disponíveis, podem resultar em menores incertezas de investimento e logo numa menor taxa de atualização.

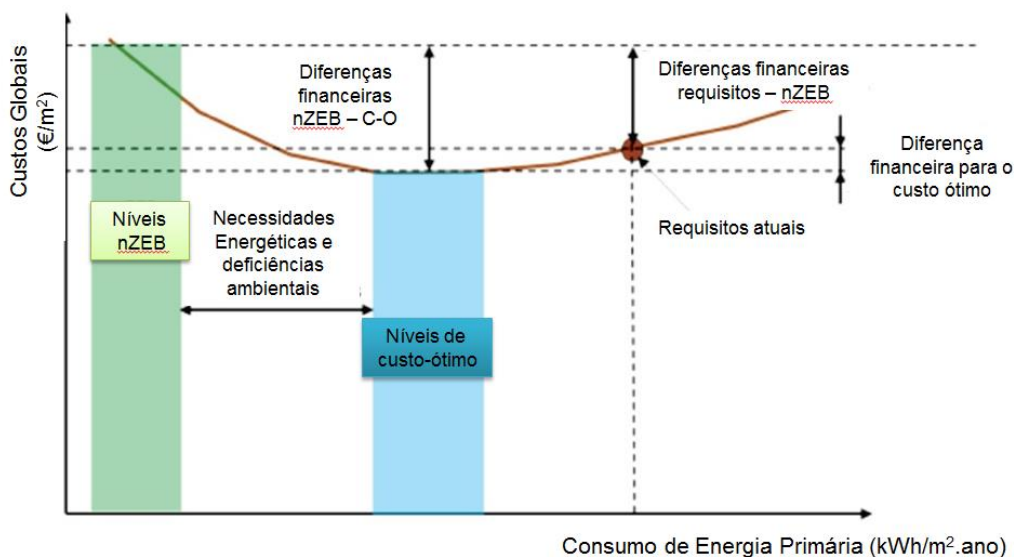


Figura 88 – Custo económico durante todo o ciclo de vida de um nZEB: nível nZEB vs. nível ótimo de rentabilidade (SouthZEB, 2016b)

Importa ainda referir, que os benefícios dos edifícios nZEB vão muito para além da redução do consumo energético, mitigação das emissões de CO₂ e redução da dependência energética (BPIE, 2012):

- Benefícios ambientais: através da redução da procura energética que reduz impactos ambientais gerais tais como extração, produção e abastecimento de energia;
- Benefícios locais: desde a melhoria do conforto na sua dimensão global (térmico, acústico, visual e qualidade do ar);
- Benefícios sociais: provenientes da mitigação da pobreza energética (com maior relevância no setor residencial);
- Benefícios para a saúde e aumento de produtividade: através da melhoria da qualidade do ambiente interior (incluindo uma ventilação eficiente e adequada, bons níveis de iluminação natural e boa qualidade do ar interior) aumentando o bem-estar e a produtividade;
- Benefícios macroeconómicos: promoção de tecnologias inovadoras e criação de oportunidades de mercado para tecnologias novas ou mais eficientes e através da criação de incentivos a projetos-piloto e à transformação de mercado;
- Benefícios económicos privados: maiores investimentos podem ser compensados pelas poupanças energéticas ao longo do ciclo de vida do edifício. Quando um edifício é vendido, a elevada qualidade técnica pode ser compensada até 30% de aumento do preço de venda;
- Criação de emprego: através do aumento da implementação de medidas de eficiência energética e de sistemas de energias renováveis;
- Diminuição da dependência de combustíveis fósseis e consequentemente dos custos de energia.

6 Caso de estudo

6.1 Introdução ao caso de estudo

Definiu-se como um dos objetivos centrais desta Tese a caracterização do Desempenho Energético-Ambiental de uma unidade hoteleira de 4 estrelas – EVA Hotel – localizada em Faro (zona climática do mediterrâneo), propriedade do Grupo AP Hotels & Resorts. É um edifício que iniciou o seu ciclo de utilização nos finais dos anos 60, tendo sofrido a primeira grande intervenção no final da década de 90. Pretende-se avaliar o estado atual do edifício (fontes energéticas e o uso da mesma) e, a partir dessa análise, desenvolver estudos paramétricos de forma a implementar um conjunto simultâneo de soluções de eficiência energética e integração de sistemas energéticos renováveis neste edifício base, com o objetivo de alcançar níveis compatíveis com a proximidade nula (níveis nZEB), em contexto de reabilitação. De seguida, é avaliada a viabilidade económica das estratégias recomendadas na perspetiva do custo económico, ou seja, os níveis de desempenho energético que representam os custos mais competitivos (reduzidos) ao longo do ciclo de vida económico estimado (fase de utilização), sendo o custo global determinado tendo em conta os custos de investimento, os custos de manutenção e os custos de funcionamento. Adicionalmente, aborda-se a análise económica pela perspetiva dos critérios clássicos de avaliação: período de retorno de investimento e valor atual líquido.

Esta avaliação teve duas fases distintas: uma primeira fase que representou a recolha de toda a informação, que incluiu intervenção no local (vistoria detalhada e medições), caracterização geral e caracterização energética do edifício, e uma segunda fase que serviu para agrupar todo o trabalho de análise e sistematizar a informação, incluindo construção e ajuste do modelo, simulação energética detalhada do edifício e respetivos sistemas energéticos. Para tal, o trabalho delineado e realizado foi dividido em partes distintas, que a seguir se sintetizam:

- Caracterização do edifício, das infraestruturas energéticas (existentes) e dos respetivos regimes de exploração;
- Avaliação das condições ambientais de iluminação, bem como das condições de conforto térmico e análise expedita do nível de qualidade do ar interior (QAI);
- Cálculo do consumo de energia associado às diferentes utilizações (com base na caracterização do edifício, das infraestruturas energéticas e do regime de exploração), através da análise detalhada da faturação energética por forma de energia e do cruzamento de informação (faturação energética – consumos identificados) de forma a validar as hipóteses e os cálculos efetuados;
- Interpretação dos resultados, cálculo dos índices de uso de energia e água, assim como dos seus respetivos custos e comparação com as referências (benchmarking);
- Simulação dinâmica detalhada com vista a obter a estrutura de consumos anuais e mensais, referentes aos principais usos finais, nas condições de utilização atuais do

edifício e calibração do modelo de simulação, isto é, ajuste dos parâmetros relevantes (perfis de utilização e parâmetros de controlo) até que os consumos por este calculados sejam semelhantes aos reais (conhecidos por análise da faturação energética e consumos medidos). Para o efeito, recorreu-se ao programa *DesignBuilder* v5.0.1.24 que é uma interface da ferramenta de simulação energética *EnergyPlus*;

- Análise crítica aos resultados da simulação e cálculo do indicador de desempenho energético do hotel, com base nos resultados da simulação após respetiva validação;
- Parametrização de estratégias passivas e soluções ativas no cenário base, através da integração simultânea de medidas de otimização do desempenho energético, com recurso à simulação energética detalhada. Os estudos têm incidência, de forma hierárquica, na redução das necessidades energéticas por intervenção na envolvente térmica, otimização do sistema de iluminação e, especial enfoque, na eficiência energética a montante dos sistemas de conversão de energia, parâmetros de controlo dos sistemas AVAC, assim como na eficiência dos sistemas de produção de energia térmica. Em paralelo, sistemas de captação das energias renováveis estudados para o edifício serão quantificados no balanço energético, de modo a alcançar um compromisso para a proximidade do balanço nulo – quantificação de níveis nZEB para o setor hoteleiro;
- Imposição de um requisito mínimo para a eficiência energética do edificado hoteleiro existente a reabilitar (incentivo à transformação do parque para nZEB), via consumo de energia final e primária, salvo demonstração de inviabilidade técnica e económica.
- Identificação progressiva da redução percentual de energia primária conseguida por cada medida isolada ou integrada, pelo método da procura de energia vs. oferta de energia;
- Impacto da alteração climática no desempenho energético da unidade hoteleira, no cenário base e nas análises paramétricas influentes, usando para o efeito dados climáticos de duas localizações geográficas distintas (Mediterrâneo – Atenas – e Europa Central e Ocidental – Londres);
- A partir dos resultados das parametrizações estudadas, realização de análises técnico-económicas das soluções a aplicar. Critérios de avaliação de viabilidade económica a utilizar: custos de ciclo de vida (custo-ótimo), período de retorno de investimento e valor atual líquido. Paralelamente, será analisada a lacuna financeira entre os níveis nZEB e os níveis de custo-ótimo.

6.2 Caraterização geral do edifício

O edifício em estudo é uma unidade hoteleira de 4 estrelas que entrou em funcionamento em meados de setembro de 1966 e foi alvo da primeira grande intervenção no final da década de 1990. Encontra-se localizado junto à costa em centro urbano, e pelas comodidades e serviços que oferece pode afirmar-se que é um empreendimento que vive essencialmente do turismo com fins de lazer (Spa/Bem-Estar) e negócios.

O edifício em causa situa-se em Faro, a 3 m de altitude, pertencendo à zona climática I1/V3 (RECS, 2013a), tendo em consideração as condições ambientais indicadas na tabela 8. É uma unidade que se situa na zona climática mais amena durante o inverno e na zona mais severa (temperatura mais elevada) no verão. De forma geral, apresenta uma área total de pavimento de 9 986 m², dos quais 4 071 m² correspondem a quartos e circulação dos quartos (41% da área total); 867 m² a ginásio; 165 m² a pequena loja; 245m² a lavandaria, 324m² a cozinha e serviços de apoio, 329 m² a restaurante, 504 m² a salas polivalentes, e 737 m² a áreas técnicas.

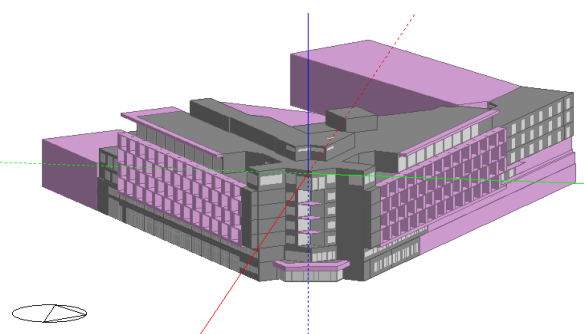
A restante área é distribuída pelos sete pisos, nomeadamente: zonas de serviço e apoio, circulações, zona de escritórios, economato, escada interior, arrumos, escadas técnicas, instalações sanitárias, vestiários, receção, sala de pessoal e refeitório, cabeleireiro e barbeiro.

O hotel é constituído por 8 pisos (incluindo cobertura), todos acima do solo, apresenta um pé direito médio ponderado de 2,9 m e contém fachadas orientadas a nascente, poente, nordeste, sudeste, sudoeste e noroeste.

Na Figura 89 observam-se as fotografias da fachada principal do edifício, fachada a sudeste (quartos com vista Marina) e a fachada a nordeste (quartos com vista Cidade). É ainda possível a visualização tridimensional do modelo geométrico criado, tendo em conta o levantamento das características físicas e funcionais, efetuado através do *Google SketchUp 8* e, posteriormente, exportado em ficheiro de formato gbXML para o *DesignBuilder*. Importa realçar que, durante a vistoria, foi confirmado o levantamento geométrico disponível na forma de peças desenhadas do imóvel, pela medição direta das principais dimensões do interior. De ressaltar que o levantamento realizado foi documentado através de um relatório fotográfico do interior e do exterior do imóvel, do qual constam no Anexo A alguns dos registos que ilustram as principais soluções construtivas, equipamentos de climatização e AQS instalados, sistemas de iluminação e outros equipamentos ou sistemas relevantes existentes no edifício.



(a) Fachada principal



(b) Modelo 3D no DesignBuilder



(c) Fachada a sudeste (Quartos Marina)



(d) Fachada a nordeste (Quartos Cidade)

Figura 89 – Fachadas principais do edifício

Nas tabelas 9 e 10 identificam-se as áreas totais do edifício, as áreas por orientação da envolvente, a relação entre a área dos vãos envidraçados por orientação (A_{env}) e a área da fachada onde estes se inserem (A_{evo}) e o Fator de forma (F.F), definido como a relação entre o somatório das áreas da envolvente exterior¹⁹ e interior²⁰ do edifício e o respetivo volume interior. Quanto menor o fator de forma mais compacto é o edifício e melhor comportamento térmico apresenta.

Tabela 8 – Condições exteriores (Despacho 15793-F, 2013)

Localização	Faro
Zona climática de inverno	I1
Duração da estação de aquecimento [meses]	4,8
Temperatura ext. média mensal – inverno [°C]	12,2
Graus-dia de aquecimento base 18 [°C.Dias]	731
Zona climática de verão	V3
Temperatura ext. média mensal – verão [°C]	23,1

Tabela 9 – Áreas totais do edifício

	Área Total [m²]
Clubes desportivos sem piscina	867
Cozinhas	324
Empreendimentos turísticos, de 4 ou mais estrelas	7 648
Lavandaria	245
Pequenas Lojas	165
Zonas técnicas	737

Tabela 10 – Principais características dimensionais do edifício

Paredes	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO		Total
Parede Exterior [m²]	0	700	175	694	0	808	150	359		2886
Envidraçados Exteriores	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Horizontais	Total
Total [m²]	0	428	88	351	0	207	23	22	39	1159
A_{env}/A_{evo} [%]	0	38	34	34	0	20	13	6	F.F [m ⁻¹]	0,28

Foram identificados os espaços sem necessidades térmicas e sem ocupação permanente descritos na tabela 11, na qual se inclui o valor do seu respetivo coeficiente de redução de perdas (b_{tr}), determinado com base na metodologia da norma EN ISO 13789 e de acordo com a regulamentação nacional sobre o desempenho energético em edifícios (ISO, 2007; Despacho 15793-K,2013).

¹⁹ “Envolvente exterior” é o conjunto dos elementos do edifício que estabelecem a fronteira entre o espaço interior e o ambiente exterior.

²⁰ “Envolvente interior” é a fronteira que separa os espaços interiores do edifício de ambientes não climatizados e sem ocupação permanente (período de utilização médio inferior a 2h por dia), tais como estacionamento, áreas técnicas e armazéns relacionados.

Tabela 11 – Espaços sem necessidades térmicas e sem ocupação permanente

Descrição do espaço não útil	b_{tr}^{21}
Edifício Adjacente	0,60
C.1 (Courette piso 1 e 2)	0,70
Central Térmica P0 (SO)	1,00
Zona Técnica 1.14	0,80
Zona Técnica 1.2	0,50
Central AVAC	0,60
C.2 (entre pisos 1 e 4)	0,30
C.3 (pisos 2 a 5)	0,30
Zonas Técnicas Piso 6	0,90
C.4	0,60
Terminal Autocarros	1,00

No modelo de simulação dinâmica detalhado para a parametrização das perdas pela envolvente em contacto com espaços sem necessidades térmicas e sem ocupação permanente, considerou-se a metodologia prevista pelo programa *DesignBuilder*, a saber:

- Os espaços identificados na tabela 11 foram introduzidos em simulação, não considerando nenhum sistema de climatização associado aos mesmos, pelo que a temperatura destes é calculada em simulação em função da área das envolventes em contacto com exterior e em contacto com o hotel, das condições climáticas e do tipo de construção de cada elemento da envolvente.

Importa também referir que as duas frações do edifício identificadas como ginásio e loja têm exploração autónoma e sistemas de climatização independentes; como tal, estas duas frações não foram consideradas no decurso dos trabalhos da auditoria.

6.3 Qualidade térmica da envolvente

No decurso da auditoria foi efetuada a identificação visual dos elementos da envolvente do edifício. Dada a falta de informação sobre as soluções construtivas (paredes), foi necessário recorrer aos valores por defeito indicados no anexo II do ITE 54 (Informação Técnica Edifícios) (ITE 54, 2010) publicada pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), que permite quantificar, com base na idade e na espessura da alvenaria, os coeficientes de transmissão térmica (U) das soluções opacas verticais, sobre as quais se desconhece a respetiva constituição. No caso da envolvente opaca horizontal, recorreu-se as soluções construtivas expectáveis indicadas pelo Sistema de Certificação Energética (SCE) – nomeadamente, a nota técnica relativa aos coeficientes de transmissão térmica de elementos opacos da envolvente dos edifícios: valores por defeito (ADENE, 2013).

²¹ Coeficiente de redução de perdas (b_{tr}), valor entre zero e um (inclusive). Parâmetro que traduz o grau de afastamento da temperatura do local sem exigências de conforto térmico da temperatura interior da zona independente/edifício em análise (coeficiente de redução de perdas térmicas para locais não aquecidos). Na regulamentação Nacional, são adotados valores convencionais em função do volume do local não condicionado, das suas condições de ventilação e da relação entre as áreas da envolvente interior e exterior.

Salienta-se, ainda, que as pontes térmicas planas foram quantificadas mediante majoração, em 35%, do valor dos coeficientes de transmissão térmica (U) das soluções opacas verticais, devido à impossibilidade da sua caracterização detalhada.

No que respeita aos vãos envidraçados, os valores dos coeficientes de transmissão térmica (U) foram determinados através do anexo III do ITE 50 do LNEC (ITE 50, 2006). De acordo com o levantamento efetuado no local, os vãos envidraçados do edifício são caracterizados maioritariamente por três tipos distintos, nomeadamente:

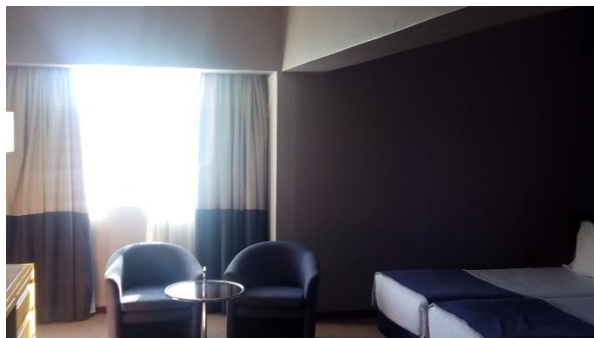
- Vãos simples, constituídos por caixilharia de alumínio sem corte térmico, com vidro duplo incolor (6 mm, lâmina de 6 mm (ar), 4 mm) e fator solar do vidro ($g_{l,v}$) de 0,78. Estes encontram-se inseridos na fachada sudeste dos quartos, salas polivalentes, restaurante, circulações e outras zonas de serviço;
- Vãos duplos, constituídos por caixilharias de alumínio sem corte térmico, em que as janelas exteriores e interiores dispõem de vidro duplo incolor, com fator solar ($g_{l,v}$) calculado em 0,61. Estes encontram-se inseridos na fachada nordeste dos quartos orientados para a cidade;
- Vãos simples, constituídos por caixilharia de alumínio sem corte térmico, com vidro duplo refletante colorido na massa (4 mm), lâmina de 6 mm (ar) e vidro incolor (6 mm), fator solar ($g_{l,v}$) de 0,40. Estes encontram-se inseridos na zona dos escritórios, receção, bar e zona de estar.

Relativamente aos dispositivos de proteção solar, foi possível identificar dois tipos de proteção em função do tipo de espaço que servem, a saber:

- Zona dos quartos (do exterior para o interior): cortina transparente de cor clara, pelo interior, seguida de uma cortina opaca também de cor clara;
- Sala de estar e bar, salas polivalentes e restaurante: dispositivo de proteção solar pelo interior, do tipo estores de lona opaca de cor clara;

Importa indicar, em consonância com o que se indica acima, que no modelo de simulação dinâmica a parametrização dos dispositivos de sombreamento móvel (dos vãos envidraçados) foi considerada que os mesmos estão ativos a 60%.

Na figura 90 encontram-se imagens que evidenciam as características dos principais vãos envidraçados existentes e anteriormente descritos.



(a) Vãos simples com vidro duplo incolor. Proteção solar interior através de cortina transparente de cor clara, pelo interior, seguida de uma cortina opaca também de cor clara.



(b) Vãos duplo com vidro duplo incolor. Proteção solar interior através de cortina transparente de cor clara, pelo interior, seguida de uma cortina opaca também de cor clara.



(c) Vãos simples, com vidro duplo refletante colorido na massa e vidro incolor. Proteção solar pelo interior, do tipo estores de lona opaca de cor clara.



(d) Vãos simples com vidro duplo incolor. Proteção solar interior, do tipo estores de lona opaca de cor clara.

Figura 90 – Principais características dos vãos envidraçados existentes no hotel

Na tabela 12 visualiza-se a gama dos coeficientes de transmissão térmica das diferentes soluções construtivas identificadas, fatores solares globais (g_T) e os valores de referência para a qualidade térmica da envolvente para a zona climática onde se insere o edifício. Em complemento, na tabela 13 resumem-se as suas características gerais e salienta-se qualitativamente o seu desempenho em termos de isolamento térmico e proteção solar, face aos valores de referência preconizados pelo SCE. Refira-se que sendo um edifício existente não tem que cumprir qualquer requisito de qualidade térmica da envolvente.

Tabela 12 – Gama da qualidade térmica da envolvente do edifício e valores de referência

	U_{max} [W/m².°C]	U_{min} [W/m².°C]	$U_{ref} - I1$
Paredes Exteriores	1,7	0,96	0,7
Paredes Interiores	1,47	0,88	
Pavimentos Exteriores	3,10		0,5
Pavimentos Interiores	2,21		
Coberturas Exteriores	2,6		
Coberturas Interiores	2,25		
Vãos envidraçados exteriores (U_w)	6,5	2,20	4,3
Vãos envidraçados: Proteção solar	Fator solar do vão com proteção totalmente ativada (g_T)		$g_{max} / g_{ref} - V3$
	0,38 / 0,20 / 0,16		0,5 / 0,15

Tabela 13 – Resumo geral da qualidade térmica da envolvente

Envolvente opaca vertical: Tipo	Simples/dupla sem isolamento
Envolvente opaca vertical: Cor	Clara
Envolvente opaca horizontal: Tipo	Terraço sem isolamento
Envolvente opaca horizontal: cor	Escura
Vãos envidraçados: Tipo	Alumínio, vidro duplo/vidro simples, incolor. Vidro duplo, controlo solar
Vãos envidraçados: Proteção solar	Dispositivos interiores de cor clara/ palas e varandas
Isolamento térmico	Inferior aos valores de referência
Proteção solar	Em linha com o fator solar de referência

No Anexo B.2 encontra-se o valor de coeficiente de transmissão térmica superficial (U) que caracteriza cada uma das diferentes soluções construtivas que compõem a envolvente do imóvel, bem como o fator solar do envidraçado que caracteriza os diferentes vãos envidraçados, juntamente com a indicação das fontes de informação que suportam os valores considerados. No Anexo A encontram-se igualmente imagens que evidenciam as principais características dos elementos/soluções construtivas que definem a qualidade térmica da envolvente.

No que respeita à inércia térmica do edifício, verificou-se no capítulo 5 que esta depende da massa de construção que fica exposta ao ambiente interior (não coberta por material isolante). A mobilização da capacidade de um elemento de construção de absorver e de armazenar ou de restituir a energia absorvida para o ambiente interior depende de dois fatores: da resistência térmica e da localização de camadas isolantes que integram o elemento, e da espessura do

elemento que é afetada pelas alterações dos ambientes com que contacta. Em termos práticos a consideração destes fatores traduz-se pela massa superficial útil de cada elemento da construção (M_{Si}). Assim, o M_{Si} é calculado em função da sua localização no edifício e da sua constituição. Atendendo a que os revestimentos superficiais, consoante o nível da sua resistência térmica, podem alterar em maior ou menor grau as características de inércia térmica dos elementos, a massa superficial útil calculada deve ser corrigida através de um fator de redução (r).

Por outro lado, o estudo centrou-se num edifício de serviços existente, onde existem situações em que se verifica a impossibilidade e limitação no acesso a informação válida e, portanto, neste caso concreto, a quantificação da inércia térmica interior do imóvel foi determinada recorrendo ao método simplificado proposto pelo n.º 2.2 do Despacho n.º 15793-E/2013.

A classe de inércia considerada para o imóvel foi Média (vd. Anexo B.4).

Na figura 91 é possível observar as principais plantas ilustrativas do edifício (vd. Anexo B.1).

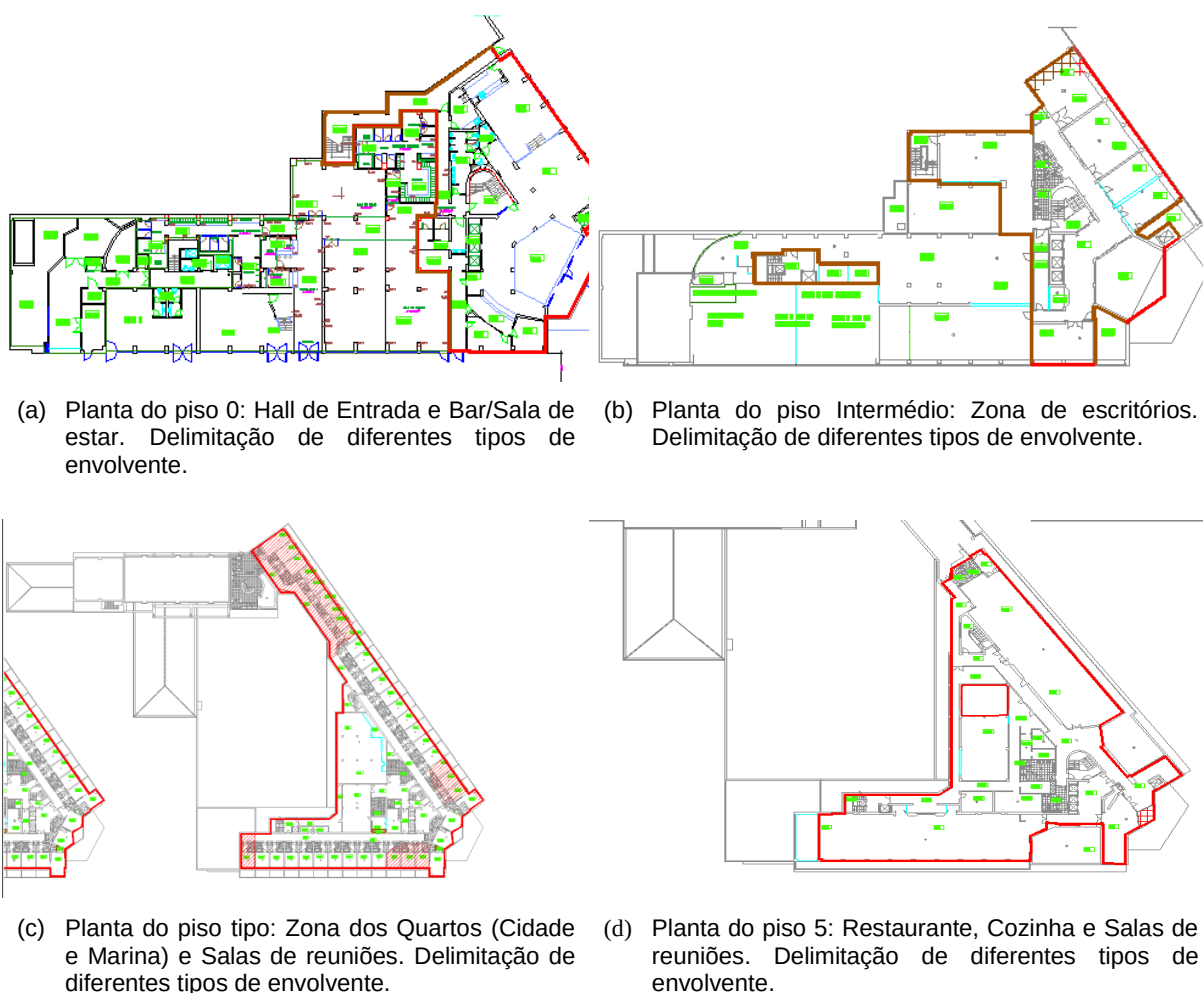


Figura 91 – Principais plantas do hotel

De notar que, a delimitação a vermelho corresponde a envolvente exterior (horizontal e vertical) e a castanho denota-se a envolvente interior (horizontal e vertical) sem requisitos de qualidade térmica, mas com trocas de calor.

No Anexo B.1 visualizam-se todas as plantas e cortes do edifício em estudo, bem como se caracteriza a delimitação da sua envolvente, conforme aferido durante a auditoria.

6.4 Caracterização do sistema de AVAC

O sistema de climatização implementado é do tipo ar-água, com a geração de energia térmica realizada através de sistema centralizado alimentado pelas formas de energia elétrica e gás natural. A distribuição da energia (térmica) através de rede hidráulica é a dois tubos com fluido de transporte a água (circuito primário e circuito secundário), desacoplamento hidráulico por coletor e regulação de potência por variação de caudal com válvulas de 2 vias. A tubagem de distribuição encontra-se isolada, é executada em ferro preto da série média e quando à vista encontra-se protegida mecanicamente por chapa de aço galvanizado. As condutas da rede aerólica, provenientes das unidades de tratamento de ar/ar novo (UTA/UTAN), são construídas em chapa de aço galvanizado, devidamente isoladas e, quando no exterior, estão protegidas mecanicamente.

A geração de frio é realizada por duas unidades arrefecidas a ar, do tipo *Chiller* ar/água, operando com fluido refrigerante R-410A, localizados no exterior (cobertura), com potência unitária de 264 kW para arrefecimento, com eficiência (EER) de 2,66. Esta unidade fornece, durante a estação quente, água arrefecida às baterias das unidades terminais de climatização (ventiloconvetores do tipo conduta, móvel ou cassette) e às baterias das unidades de tratamento de ar. O calor gerado é obtido através de dois equipamentos térmicos (caldeiras com 465 kW de potência térmica útil unitária e eficiência de 90%), localizados na central térmica, que durante a estação de inverno possuem a tarefa de produzir água quente para os ventiloconvetores e unidades de tratamento de ar, e durante todo o ano de satisfazer as necessidades de água quente sanitária (AQS). Na central térmica (localizada no piso 0), encontram-se dois depósitos para acumulação de água quente sanitária, com a capacidade de 5000 litros cada, interligados a dois permutadores de calor exteriores, do tipo placas, de 300 kW de potência térmica unitária que são alimentados pelo grupo térmico. Assim, os circuladores respetivos de água quente efetuam a circulação constante de água pela rede de distribuição, garantindo igualmente o aquecimento adicional das instalações sanitárias através dos toalheiros aquecidos.

No que respeita ao tratamento ambiente, as zonas dos quartos, salas polivalentes e zonas de escritórios são climatizadas através de ventiloconvectores (VCs) a dois tubos.

Os corredores das zonas dos quartos são unicamente condicionados pelas unidades de ar novo (UTAN) dedicadas aos quartos.

As salas de conferências, restaurante, cafetaria, pastelaria e circulações do piso 5, bem como o bar, hall (ambos no piso 0) e outros serviços operacionais, são climatizadas unicamente através de unidades de tratamento de ar (UTA), misturando o ar novo admitido do exterior com ar de retorno, sendo posteriormente tratado e insuflado nos espaços, ou através de unidades com 100% de ar novo (UTAN). Adicionalmente, para o tratamento ambiente do hall, existem duas unidades de recirculação e, no caso do bar (piso 0), a climatização é ainda realizada por um sistema energeticamente individualizado, comercialmente designado por “*split*”, versão bomba de calor, constituído por unidade exterior e diretamente interligado a uma única unidade interior (do tipo cassette), através de tubagem de cobre, isolada termicamente, para circulação do fluido frigorigéneo (R-407), constituído por 2 circuitos, de ida e de retorno.

A lavandaria, vestiários, zonas de cozinha e economato, são tratados por unidades independentes (para cada zona) de ventilação com bateria de água quente.

Existe também uma unidade de expansão direta, do tipo mural, para controlo de temperatura da zona onde se localizam os servidores (piso 0).

A renovação do ar ambiente é promovida através da insuflação de ar novo, termicamente tratado e filtrado em unidades de tratamento de ar/ar novo e insuflado diretamente nos diferentes espaços que servem o edifício (zonas de clientes e zonas de serviços) por intermédio de grelhas e/ou difusores interligados à rede de condutas, ou admitido no retorno das unidades terminais (VCs) no caso dos quartos.

O ar (total ou parcial) extraído é encaminhado através de uma rede de condutas independente para os respetivos ventiladores de extração, numa quantidade proporcional à insuflada, proporcionalidade definida consoante a exigência de relação de pressão a garantir.

A extração está posicionada de forma a efetuar o melhor “varrimento” do volume interior e encontrando-se sempre que possível do lado oposto à introdução de ar novo.

A extração dos sanitários é realizada mediante ventiladores de extração específicos e exclusivos, sendo que o ar de compensação é proveniente dos espaços circundantes por depressão.

A cozinha e restaurante dispõem de *hotte* em aço inoxidável com ventilação mecânica de desenfumagem de extração (equipada com filtro metálico de gorduras, de forma a assegurar que o ar extraído está em condições de ser rejeitado diretamente para o exterior) e de compensação de ar. Os ventiladores de insuflação para compensação do ar e extração da *hotte* possuem variador de velocidade, de modo a regular o caudal de funcionamento do sistema. Desta forma evita-se a contaminação e mistura de odores.

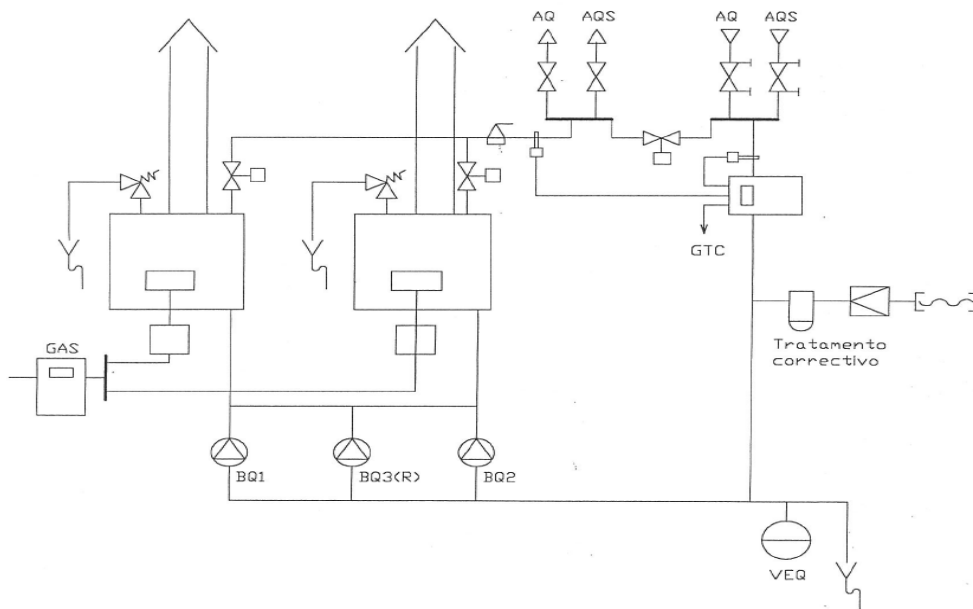
Por fim, de referir ainda que na instalação se encontra instalado um sistema de regulação e controlo garantindo a limitação da temperatura máxima e mínima, regulação das potências de aquecimento e arrefecimento, possibilidade de fecho ou redução de potência, em períodos de não ocupação; encontram-se, ainda, os acessórios necessários à monitorização dos seguintes parâmetros, recorrendo a contadores de energia (térmica e elétrica), manómetros, termómetros, pressóstatos diferenciais, sondas de pressão diferencial para ar e sondas de temperatura interior e exterior: consumo elétrico/térmico dos grupos de conversão de energia térmica; estado de colmatagem dos filtros de ar e de água; temperatura do ar exterior; temperatura média do ar interior; temperatura da água nos circuitos de ida/retorno; temperatura de insuflação de ar novo e respetivos acessórios; os equipamentos do sistema AVAC encontram-se interligados por um sistema de gestão técnica centralizado (SGTC), destinado à gestão do sistema, incluindo a supervisão, monitorização e comando com interligação a computador, podendo ser alterados os parâmetros de controlo dos diversos equipamentos.

De notar que para a caracterização do sistema instalado de climatização e preparação de AQS (em particular dos respetivos valores de eficiência dos equipamentos), foram considerados os elementos recolhidos no levantamento e as especificações técnicas dos catálogos dos equipamentos.

O tipo de sistemas de conversão de energia térmica e os respetivos valores de eficiência identificados para as funções que desempenham, bem como os sistemas de tratamento de ar associados e os demais equipamentos, encontram-se descritos no Anexo C, juntamente com a indicação das fontes de informação que suportam a caracterização realizada. No Anexo A encontram-se igualmente imagens que evidenciam os principais sistemas e suas características.

Nas figuras 92 e 93 é possível observar os esquemas de princípio simplificados dos sistemas de conversão e distribuição da energia térmica existentes no hotel, em linha com a breve descrição efetuada sobre os sistemas de climatização e preparação de AQs.

(a)



(b)

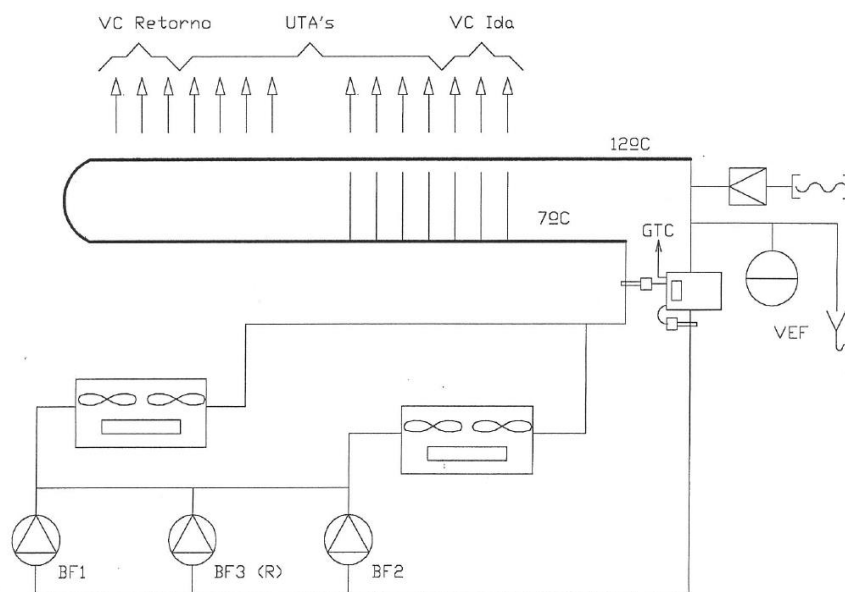


Figura 92 – Esquemas de princípio simplificados: (a) geração de água quente e (b) geração de água refrigerada

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente: avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

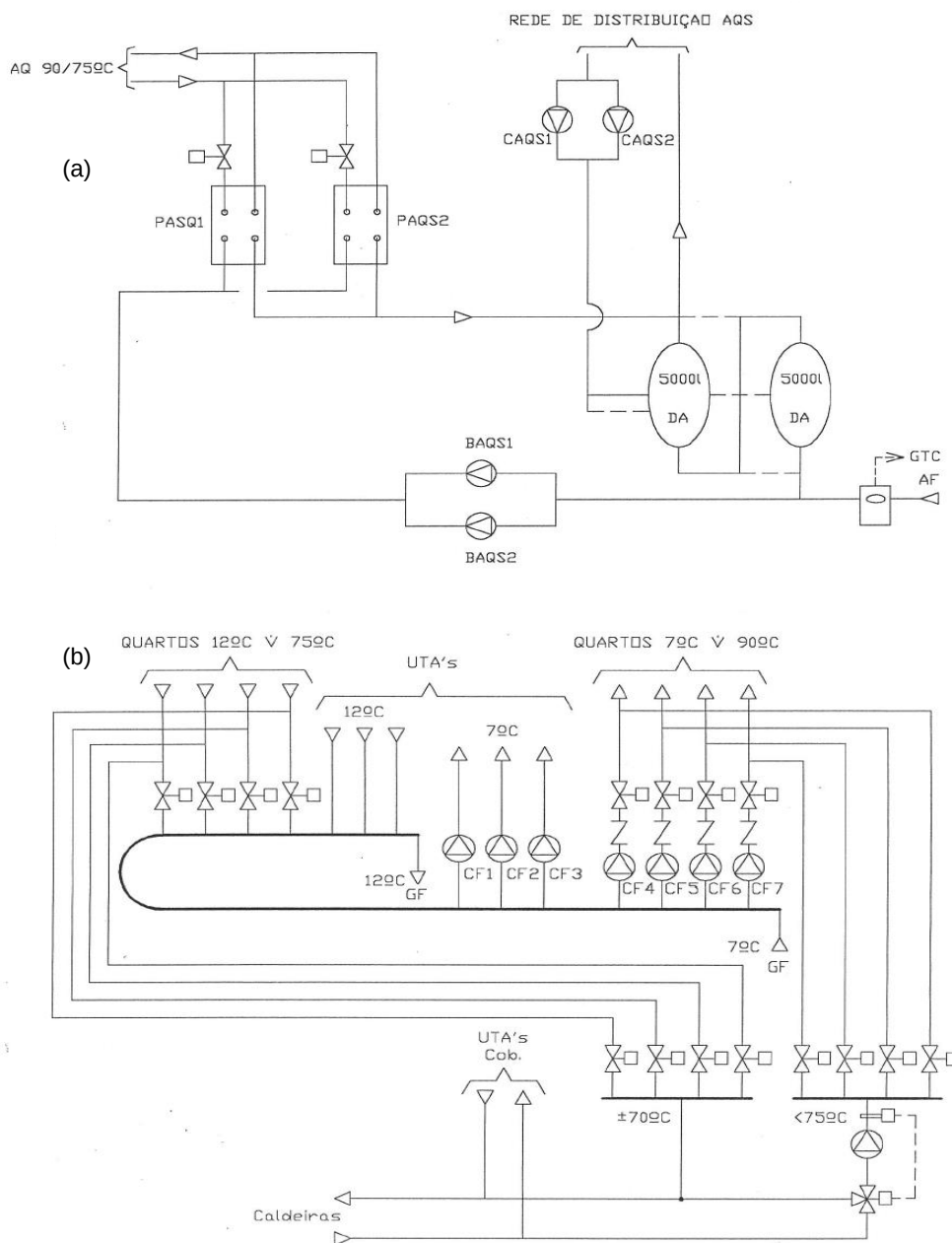


Figura 93 – Esquemas de princípio simplificados: (a) sistema de preparação de AQS e (b) subestação de distribuição de água quente e água refrigerada

6.5 Caraterização das cargas internas

As trocas de calor e massa através da envolvente exterior resultam em carga térmica sensível (energia trocada a humidade constante) e latente (energia trocada a temperatura constante) respetivamente. A admissão de ar exterior (ar novo) resulta também numa carga térmica sensível e latente. A utilização do edifício (ocupação, iluminação, uso de equipamento diverso) leva a que se libertem calor e vapor de água, ou seja, a que existam cargas térmicas interiores. As cargas térmicas são agrupadas em cargas térmicas exteriores, cargas internas e outras cargas térmicas. As cargas térmicas exteriores dependem das condições climáticas e resultam das trocas de calor e massa através da envolvente exterior dos edifícios. As cargas

térmicas internas (ao espaço climatizado) dependem essencialmente das condições de funcionamento do edifício. São cargas resultantes do metabolismo das pessoas, do calor resultante da iluminação e do funcionamento de equipamentos nos locais climatizados.

Neste subcapítulo, importa centrar o tema nas cargas internas, nas quais existe libertação de calor para o espaço climatizado devido a pessoas, equipamentos e iluminação.

6.5.1 Ocupação

No caso da ocupação, o hotel apresenta uma densidade média de 11,65 m²/ocupante para as unidades de alojamento (quartos) e de 28,22 m²/ocupante para a restante área (zonas de serviço/clientes), dividindo-se pelos hóspedes e os funcionários permanentes no edifício. Estes ocupantes distribuem-se pelas diversas áreas funcionais de diferentes usos no edifício, nomeadamente a zona de clientes (quartos, circulações públicas, *lobby*, bar, restaurante e salas de reuniões) e a zona de serviço (lavandaria, cozinha, vestiários, escritórios, economato, entre outros), tal como anteriormente referido no capítulo 4. No que respeita à taxa de calor sensível e latente libertada por cada pessoa (taxa de metabolismo), foi considerada em função da atividade desenvolvida em cada espaço e o número de ocupantes do espaço em causa, com base nas indicações da *ASHRAE Handbook – Fundamentals, chapter 18, Table 1* (ASHRAE, 2013).

Ainda neste domínio, a taxa de ocupação média anual (do ano tipo) para o hotel do caso de estudo, tendo por base os dados fornecidos de ocupação para o período entre 2014 a 2015, é bastante sazonal, apresentando um valor médio anual de 66%; contudo, tem um valor superior à média nacional (53%) e à média da região Algarvia (59%) registada em 2015 (INE, 2015).

É também importante salientar que a taxa de ocupação média traduz a relação entre o número de dormidas e o número de camas disponíveis no ano tipo, sendo este suportado no histórico dos mapas de ocupação disponibilizados do período entre 2014 a 2015, representativo do funcionamento normal do edifício.

Entretanto, pela análise da figura 94, é perceptível que os consumos de utilização de recursos (energia elétrica, gás natural e água) da unidade hoteleira estão diretamente relacionados com a taxa de ocupação e com as condições ambientais exteriores. Pelo que a ocorrência simultânea das maiores taxas de ocupação com períodos mais quentes, aumenta a sua vulnerabilidade ao funcionamento eficiente da instalação (sistemas técnicos), de modo a garantir os serviços e as condições de conforto na qualidade exigida pelos clientes.

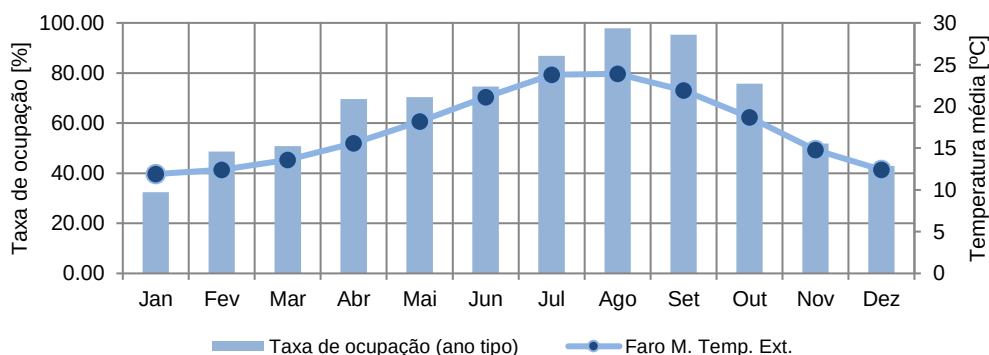


Figura 94 – Taxa de ocupação do ano tipo em função da temperatura média exterior

6.5.2 Equipamentos

A potência média instalada de equipamentos em funcionamento no hotel é de sensivelmente 33,7 kW (densidade média de 3,8 W/m²). Este edifício apresenta diversos tipos de equipamentos internos, de acordo com a tipologia e a funcionalidade dos espaços a que se destinam, sejam estes quartos, receção, bar, cozinha e restaurante, lavandaria, zona de escritórios ou outros espaços de apoio ao bom funcionamento do edifício. Neste âmbito, durante as visitas técnicas ao hotel, efetuou-se um levantamento pormenorizado de todos equipamentos instalados, o qual permitiu quantificar a potência instalada em cada zona (potência dos equipamentos calculada mediante os seus valores médios). Quando os equipamentos não possuíam etiquetas com as características técnicas, recorreu-se aos valores tabelados nas diretivas europeias. Assim, para a determinação da densidade de potência, contribuem equipamentos característicos da tipologia hotel de 4 estrelas (TV, secadores de cabelo e minibar), equipamentos específicos de zona escritórios (computadores, impressoras e fotocopiadoras), bem como equipamentos característicos da cozinha (arcas congeladoras, armários frigoríficos, fornos, fogões industriais, banho-maria, máquinas de café e sumo, entre outros) e lavandaria (máquinas de lavar e secadores de roupa industriais, ferros de engomar, calandra, etc.). Salienta-se, ainda, que as zonas de serviços lavandaria e cozinha apresentam potências bastante elevadas face aos restantes espaços. Isto deve-se ao facto de se encontrarem instalados equipamentos industriais de elevada potência, próprios das tipologias em questão. A densidade instalada na zona da lavandaria é de 577 W/m² (100% utilização elétrica) e na zona da cozinha de 536 W/m², sendo que neste caso, a utilização energética reparte-se entre o gás natural (40,6%) e a eletricidade (59,4%).

6.5.3 Iluminação

Finalmente, no que se refere a iluminação, o edifício apresenta uma potência instalada de aproximadamente 46,5 kW em iluminação exterior e interior, distribuída pelos diversos espaços, que representa uma densidade global de 5,2 W/m², sendo que a iluminação exterior representa apenas 7,5% do total. A iluminação interior é bastante diversificada, sendo maioritariamente composta por lâmpadas fluorescentes compactas e fluorescentes tubulares. Nas instalações sanitárias comuns do hotel a iluminação é controlada por detetores de movimento.

Em concordância com o referido, observa-se pela figura 95 que cerca de metade (51%) das lâmpadas instaladas são do tipo fluorescente tubular, enquanto a restante metade se distribui entre fluorescente compacta não integrada (24%), LED (12%), fluorescente compacta (11%) e halogéneo (2%). De modo genérico, a iluminação existente é constituída por balastros eletrónicos.

Nas tabelas 14 e 15 apresentam-se a potência total instalada por tipo de iluminação e a densidade de potência existente no edifício por tipologia, respetivamente. Na perspetiva global, a densidade de iluminação é consideravelmente inferior ao termo de referência de 10 W/m² indicado da publicação de Styles et al. (2013).

Tabela 14 – Caracterização dos sistemas de iluminação existentes

Tipo de Iluminação	Interior [kW]	Exterior [kW]	Total [kW]
LED	4,3	1,4	5,7
Fluorescente tubular	22,7	1,1	23,8
Fluorescente compacta	4,9	0,0	4,9
Fluorescente compacta n/integrada	10,7	0,4	11,1
Halogéneo	0,4	0,6	1,0
Total	43,0	3,5	46,5

Tabela 15 – Densidade de iluminação interior

	Área [m²]	[kW]	[W/m²]
Cozinhas	324	2,4	7,4
Empreendimentos turísticos, de 4 ou mais estrelas	7648	35,9	4,7
Lavandaria	245	1,0	4,2
Zonas técnicas	737	3,6	4,8

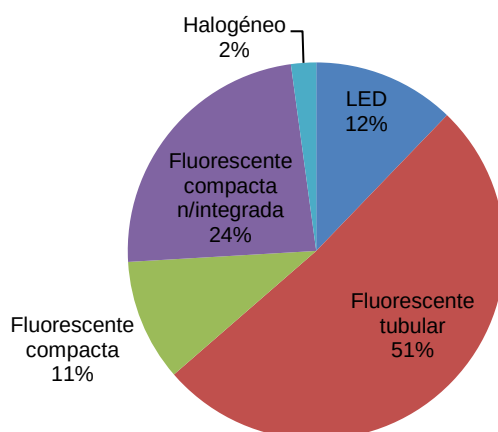


Figura 95 – Distribuição do tipo de iluminação da unidade hoteleira

Na tabela 16 indicam-se os valores da potência luminosa por unidade de área das diferentes zonas do edifício e comparam-se com as densidades de referência, calculadas em função dos níveis de iluminância recomendados, segundo o referencial normativo nacional e concordante com a norma EN 12464-1 (RECS, 2013a; EN 12464-1). Esta potência corresponde ao requisito mínimo aplicável, que pretende impôr requisitos de iluminação, mais concretamente de valores máximos de Densidade de Potência de Iluminação (DPI), a que determinados espaços, por via do uso a que estão destinados, deverão ter (RECS, 2013a). É aplicável aos edifícios novos (não residenciais), mas serve de indicador para aferir a eficiência energética associada à iluminação. Assim, determina-se a Densidade de Iluminação de Referência (DPI_{ref}) pela seguinte metodologia de cálculo:

$$DPI_{ref} = \frac{E_m}{100} \cdot DPI_{max} \quad (6.1)$$

em que:

DPI_{ref} Densidade de Potência de Iluminação de Referência, $[W/m^2]$

E_m Iluminância média mantida, segundo a EN 12464-1, $[lux]$

DPI_{max} Densidade de Potência de Iluminação máxima, conforme tabela I.28 (RECS, 2013a), $[W \cdot m^{-2} / 100 lux]$

Em regra, denota-se que as densidades de iluminação associadas aos vários espaços apresentam valores inferiores à densidade de referência, salvo os espaços assinalados a negrito (vd. Tabela 16), que podem melhorar este requisito. Por outro lado, a “política” contínua de substituição dos sistemas iluminação existentes, por sistemas de iluminação artificial mais eficientes (do tipo LED), pode ajudar a explicar os bons resultados de DPI da maior parte das zonas do edifício.

Tabela 16 – Densidades de potência de referência vs. densidades de potência do hotel

Zonas	DPI ref.	DPI edif.	Condição
	$[W/m^2]$	$[W/m^2]$	
Espaço da Recepção	5,1	4,1	Adequado
Instalações Sanitárias	7,2	5,0	Adequado
Vestiários/Balneários	7,6	4,4	Adequado
Cozinha	10,8	7,4	Adequado
Copas	6,8	7,7	A Melhorar
Lavandaria	7,2	4,2	Adequado
Corredores/Circulações	3,8	3,9	A Melhorar
Escritórios até 6 pessoas	12,7	8,8	Adequado
Quartos	4,5	3,3	Adequado
Restaurante Buffet/Bar/Refeições	12,5	6,9	Adequado
Salas de Conferência e de reuniões	12,0	13,4	A melhorar
Zonas Técnicas/arrumos	3,4	4,6	A melhorar
Escadas	5,4	1,8	Adequado

Por sua vez, é sabido que uma iluminação inadequada ao espaço físico (em excesso ou em defeito), e ao propósito que o mesmo serve, tende a afetar o rendimento das pessoas. Ora, como se trata de um edifício em funcionamento normal, foi possível avaliar as condições de conforto lumínico, através da medição pontual dos níveis da iluminância média em cada espaço tipo, seguindo metodologias apropriadas (EN 12464-1, 2002; ISO 8995-1, 2002; IDAE, 2001). Os sistemas de iluminação devem garantir níveis médios de conforto visual aos ocupantes dos espaços dos edifícios em consonância com as normas regulamentares em vigor, como é exemplo a norma EN 12464-1 (EN 12464, 2002). Esta norma define níveis de iluminância média ao nível do plano de trabalho, em função do tipo de atividades a desempenhar nos espaços, os quais são úteis para efeito de avaliação das condições de iluminação do espaço e aferir da eficiência energética dos respetivos sistemas. Na tabela 17 é possível observar os valores de iluminância (média) medidos e comparar com os valores estabelecidos na norma EN 12464-1.

Tabela 17 – Níveis de iluminância pontuais registados vs. Níveis recomendados pela EN 12464-1

Local de medição - Tipo	Pisos	Mantida Em [lx]	EN12464-1 Em [lx]	(-30%) Em [lx]	(+30%) Em [lx]	Protocolo	Condição
Átrio de entrada (fachada este)	Piso 0	450	100	70	130	Iluminação natural	Adequado
Instalação Sanitária - Quarto 130	Piso 1	190	200	140	260	Iluminação artificial	Adequado
Instalação Sanitária - Quarto 401	Piso 4	200	200	140	260	Iluminação artificial	Adequado
Instalação Sanitária pública	Piso 0	90	200	140	260	Iluminação artificial	Não adequado
Balneário masculino (fachada sudoeste)	Piso 3	200	200	140	260	Iluminação natural e artificial	Adequado
Cozinha (fachada sudoeste)	Piso 5	510	500	350	650	Iluminação natural e artificial	Adequado
Copa	Piso 4	150	200	140	260	Iluminação artificial	Adequado
Lavandaria (fachada sudoeste)	Piso 2	300	300	210	390	Iluminação natural e artificial	Adequado
Corredor (acesso aos quartos)	Piso 4	100	100	70	130	Iluminação artificial	Adequado
Gabinete (fachada nordeste)	Piso intermédio	450	500	350	650	Iluminação natural e artificial	Adequado
Gabinete (fachada noroeste)	Piso 1	400	500	350	650	Iluminação natural e artificial	Adequado
Quarto 130 (fachada nordeste)	Piso 1	90	100	70	130	Iluminação artificial	Adequado
Quarto 401 (fachada sudeste)	Piso 4	100	100	70	130	Iluminação artificial	Adequado
Sala refeições* (fachadas sudoeste/sudeste)	Piso 5	530	300^a	210	390	Iluminação natural e artificial	-
Sala de Conferência (fachada nordeste)	Piso 5	520	500	350	650	Iluminação natural e artificial	Adequado
Sala de reunião (fachada sudeste)	Piso intermédio	490	500	350	650	Iluminação natural e artificial	Adequado
Zona técnica/arrumo	Piso intermédio	100	100	70	130	Iluminação artificial	Adequado
Escadas (clientes - acesso aos pisos)	Piso 4	150	150	105	195	Iluminação artificial	Adequado

^aA norma não define um valor para sala de restaurante, pois o importante é o ambiente a criar.

Da análise da tabela 17 pode constatar-se que os níveis de iluminação da unidade hoteleira se encontram globalmente em linha com o aconselhável pelo normativo técnico. Contudo, utilizando como critério de avaliação $\pm 30\%$ dos níveis médios estabelecidos pela norma, observa-se que o espaço da instalação sanitária (de uso geral no piso 0) se encontra bastante abaixo desse referencial (-55% do nível médio de referência). Nestas situações, em que os valores de iluminância medidos são inferiores aos indicados na norma EN 12464-1, poder-se-á estar perante um cenário em que as condições oferecidas aos utilizadores do espaço e do ponto de vista da qualidade da iluminação estejam comprometidas, sendo por isso desejável a recomendação de medidas que garantam condições, do ponto de vista lumínico, adequadas. Na situação inversa, denota-se que no átrio da entrada principal os elevados níveis de iluminação são exclusivamente garantidos através do aproveitamento da iluminação natural, o que proporciona um adequado ambiente luminoso interior (iluminação geral), sem provocar qualquer desconforto visual. Adicionalmente, a iluminação artificial é complementar e proporciona uma iluminação localizada e uniforme às tarefas visuais, na zona da receção. Esta influência positiva da iluminação artificial neste espaço, resulta da sua geometria e dimensão, caracterização dos vãos e das reflexões internas, que permitem garantir uma adequada distribuição da luz natural. De qualquer modo, justifica-se uma chamada de atenção para o facto da caracterização da iluminância neste espaço ter sido realizada pela manhã, em

condições reais de utilização, não tendo sido possível aferir os níveis de iluminância mantida na presença de iluminação artificial.

É importante realçar que a campanha de medições (pontuais) de iluminâncias aos vários espaços tipo, de diferentes funcionalidades, decorreu em abril de 2017 (durante a auditoria técnica), em condições de céu limpo e ao longo do dia. Neste âmbito, as condições de iluminação em serviço foram obtidas em condições reais de utilização dos espaços, de modo a obter-se um valor representativo do nível médio de iluminância em cada ambiente interior. A determinação do valor de iluminância média foi efetuada através da medição num determinado número de pontos dentro de cada espaço e uniformemente distribuídos (IDAE, 2001), recorrendo a um luxímetro devidamente calibrado, da marca UNI-T, modelo UT382 e com n.º de série 1120619007. Estas medições seguiram diferentes protocolos, consoante a funcionalidade e a realidade de utilização do local, nomeadamente: (1) medição aferida na presença de iluminação natural, sem dispositivos de proteção solar ativados; (2) medição aferida na presença de iluminação natural e artificial, com dispositivos de proteção solar parcialmente ativados; e ainda, (3) medição aferida na presença de iluminação artificial, com dispositivos de proteção solar totalmente ativados.

Relativamente aos perfis de utilização, foram considerados os perfis horários reais para a ocupação, iluminação e utilização de equipamentos, para cada zona térmica do edifício, com base no levantamento detalhado, na informação recolhida entre os funcionários e corpo de gestão do hotel, bem como através da monitorização dos quadros elétricos realizada no período da auditoria técnica.

No Anexo A encontram-se igualmente imagens que evidenciam alguns dos sistemas de iluminação e equipamentos. No Anexo F.4 encontram-se representadas as densidades e os perfis utilizados em cada zona.

6.6 Avaliação das condições de conforto e verificação expedita da concentração de CO₂

O hotel foi sujeito a um estudo de avaliação das condições de conforto higrotérmico e análise expedita do nível de qualidade do ar interior (QAI), que decorreu em abril durante a auditoria técnica. Entretanto, antes da demonstração dos resultados das medições de parâmetros de qualidade do ambiente interior, expõe-se uma abordagem geral sobre o tema e, em particular, sobre as recomendações de condições satisfatórias de conforto aplicáveis a espaços interiores, especificadas em documentos regulamentares ou normativos, as quais serviram de base à apreciação das condições registadas na presente secção do caso de estudo.

Os edifícios devem ser concebidos para criarem condições de ambiente interior de conforto, em função da atividade desenvolvida da sua população (ocupantes), uma vez que nas civilizações mais desenvolvidas a população passa cerca de 85% a 95% do seu tempo dentro dos edifícios (Wargocki, 2009). O conforto é uma sensação humana, que expressa satisfação na relação entre um indivíduo e o ambiente circundante. Essa sensação de conforto é subjetiva, muda de acordo com as idades, sexos e disposições. Assim, o conceito de qualidade do ambiente interior é muito abrangente e depende de variáveis como: temperatura, humidade relativa, velocidade do ar, caudal de ar novo, tipo de ocupação, concentração de poluentes, nível de ruído, iluminação, etc. Estas podem ser agrupadas em quatro vertentes fundamentais, que são interrelacionáveis e que influenciam consideravelmente a saúde física e a sensação de conforto, a saber: qualidade do ar (salubridade do ar), conforto térmico, conforto acústico (não será alvo de análise neste trabalho) e conforto visual (analisado no subcapítulo anterior).

No que respeita ao conforto térmico, a sua definição clássica é a apresentada por Fanger (1972) que o descreve como sendo “o estado de espírito em que o indivíduo expressa satisfação com o ambiente térmico”. Por outras palavras, convencionalmente um indivíduo está confortável termicamente quando não sente nem calor nem frio.

Essa satisfação relativamente ao ambiente térmico depende, além dos fatores físicos que determinam as trocas de calor entre o corpo humano e o meio ambiente em que se encontra (balanço térmico), de outros fatores de carácter social, cultural e psicológico que se relacionam com as diferenças na perceção e na resposta a estímulos sensoriais, fruto de experiências passadas e da expectativa dos utentes dos espaços.

As trocas de calor que definem o balanço térmico são influenciadas por diversos parâmetros físicos, que se podem subdividir em parâmetros ambientais, nomeadamente as temperaturas do ar e média radiante²², a humidade absoluta do ar e a velocidade do ar, e em parâmetros individuais. Os primeiros podem ser avaliados quantitativamente por medição com equipamentos específicos. Os segundos podem ser estimados em função da taxa de metabolismo e a resistência térmica conferida pelo vestuário e dependem, ainda, da atividade física exercida.

Os métodos mais generalizados para a avaliação das condições de conforto térmico, são os que se encontram definidos nas normas EN ISO 7730 (ISO, 2005), ASHRAE 55 (ASHRAE, 2004) e EN 15251 (EN 15251, 2007). De modo genérico, foram baseados na metodologia desenvolvida por Fanger (1972), que tem por base a determinação do índice PMV (*Predicted Mean Vote*) calculado a partir de uma equação de balanço térmico para o corpo humano, em que intervêm os termos de geração interna e de troca de calor com o ambiente circundante. Com base numa escala psicofisiológica com 7 níveis, variando de -3 (muito frio) a +3 (muito quente), para exprimir as sensações de frio e calor, e relacionando a equação deduzida com os votos de sensação térmica recolhidos de numerosos ensaios (mais de 1300 pessoas testadas), Fanger (1972) estabeleceu um índice – PMV (Voto Médio Previsível) – que pretendia estimar a sensação térmica num dado espaço interior a partir do conhecimento dos parâmetros ambientais (temperaturas do ar e média radiante, velocidade e humidade do ar) e individuais (atividade física e vestuário). O PMV representa a opinião média de um grupo de pessoas relativamente a um dado ambiente, e expressa as respetivas sensações térmicas de acordo com a escala de sete níveis (escala de sensação térmica) apresentada na figura 96.

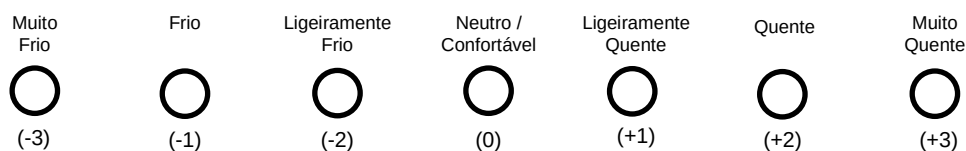


Figura 96 – Escala de sensação térmica

Adicionalmente, com base numa estatística dos resultados da observação correlacionou o valor de voto assim calculado com a percentagem previsível de gente insatisfeita – PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*) – procurou estabelecer uma previsão da percentagem

²² A temperatura média radiante é, por definição, a temperatura uniforme superficial de um espaço fictício negro fechado, para o qual resultam trocas de calor por radiação com o ocupante, iguais às verificadas com a temperatura do contorno (espaço envolvente) real. Por outras palavras, é uma medida da troca de calor por radiação entre o ocupante e as superfícies envolventes.

de pessoas insatisfeitas com as condições térmicas existentes. Este índice estima, para um grupo significativo de pessoas, a percentagem daquelas suscetíveis de se sentirem incomodadas termicamente, isto é, aquelas que escolheriam os valores +3, +2, -2 ou -3 para descrever a sua sensação térmica (ASHRAE, 2004; ISO 2005). Com base nos índices térmicos PMV e PPD, a normalização existente recomenda valores máximos de PPD para ambientes térmicos moderados (temperatura do ar $< 26^{\circ}\text{C}$) que correspondem a determinados intervalos de valores de PMV. A zona de conforto térmico aconselhada (para edifícios novos) é definida pelo intervalo de valores de PMV entre $- 0,5$ e $0,5$, o que significa que a percentagem previsível de pessoas insatisfeitas (PPD) deve ser inferior a 10% (ISO, 2005; ASHRAE, 2004; EN 15251, 2007). Na tabela 18 apresentam-se os valores recomendados, para várias classes de ambientes térmicos (com diferentes níveis de exigência que diminuem da classe A para a classe C), de modo a que um dado ambiente térmico seja considerado aceitável em termos dos índices PPD e PMV.

Tabela 18 – Ambientes térmicos e respetivas exigências (EN ISO 7730, 2005)

Categoria	Situação térmica do corpo como um todo	
	PPD [%]	PMV
A	< 6	$- 0,2 < \text{PMV} < + 0,2$
B	< 10	$- 0,5 < \text{PMV} < + 0,5$
C	< 15	$- 0,7 < \text{PMV} < + 0,7$

A classe A (elevada expectativa) é recomendada pela norma para espaços ocupados por pessoas debilitadas com necessidades especiais (crianças, idosos e deficientes); a classe B é indicada para edifícios novos ou sujeitos a ações de reabilitação; finalmente, a classe C, pode adotar-se em edifícios já existentes.

De acordo com a descrição do edifício estudado (vd. 6.2), para os espaços avaliados pode admitir-se que a classe dos ambientes a considerar é a C. Tendo em conta os valores referidos na tabela 18 são recomendados uma percentagem prevista de insatisfeitos (PPD) inferior a 15%, e um voto médio previsível (PMV) compreendido entre $- 0,7$ e $+ 0,7$. Salienta-se, ainda, que no anexo da norma EN ISO 7730, se recomenda para a categoria C, atividade²³ de nível sedentário ligeiro (1,2 met) e para as condições típicas de vestuário²⁴ de inverno (1 clo) e de verão (0,5 clo), as temperaturas operativas (T_o)²⁵ de conforto de $22 \pm 3^{\circ}\text{C}$ (velocidade média do ar máxima de $0,21 \text{ (m/s)}$) e de $24,5 \pm 2,5^{\circ}\text{C}$ (velocidade média do ar máxima de $0,24 \text{ (m/s)}$), respetivamente, para as estações de aquecimento (inverno) e de arrefecimento (verão).

²³ A unidade utilizada para caraterizar o nível de atividade (metabolismo) é o “met” (1 met = $58,15 \text{ W/m}^2$)

²⁴ A unidade utilizada para caraterizar a resistência térmica do vestuário é o “clo” (1 clo = $0,155 \text{ m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C/W}$)

²⁵ A temperatura operativa é definida como a temperatura uniforme de uma superfície negra fechada em que as trocas de calor por radiação e por convecção são iguais às existentes no ambiente atual não uniforme. Ou seja, uma média da temperatura do ar e da temperatura média radiante ponderada pelos coeficientes respetivos. Num espaço em que a temperatura média radiante é próxima da temperatura do ar, situação corrente, a temperatura operativa pode ser considerada igual à temperatura do ar.

Em termos de conforto térmico e tal como mencionado acima, na norma europeia EN 15251 (EN 15251, 2007) também se encontram definidas gamas de temperatura operativa para diferentes classes de conforto térmico, atendendo à percentagem previsível de insatisfeitos. Para edifícios climatizados a norma especifica os limites aceitáveis dos índices PMV e PPD, em que as classes de I a III da norma EN 15251 são as equivalentes às classes A a C apresentadas na tabela 18. A metodologia estabelecida para edifícios passivos (modelo de conforto adaptativo) encontra-se explicada no Capítulo 5 (vd. 5.5.2.5). Na tabela 19, encontram-se as temperaturas de ambiente interior adequadas ao edifício em estudo, função do grau de exigência estabelecido para o conforto térmico e segundo as condições típicas de vestuário de inverno (1 clo) e de verão (0.5 clo), adaptadas da norma EN 15251.

Tabela 19 – Temperatura operativa de conforto para edifícios com sistemas ativos de climatização (adaptado de EN 15251, 2007)

Tipo de edifícios / espaço	Categoria	Temperatura Operativa (T_o) (°C)	
		Mínima para aquecimento (inverno) (1,0 clo)	Máxima para arrefecimento (Verão) (0,5 clo)
Quartos, receção, bar, restaurante, zonas de escritórios (auditórios, salas de conferência, gabinetes). Atividade sentaria (1,2 met)	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
	III	18 / 19,0	27,0
Circulações (1,6 met)	II	16	25

As condições ambientais da norma EN 15251 estão de certa forma alinhadas com as definidas na regulamentação nacional sobre o desempenho energético dos edifícios com sistemas de climatização ativos e passivos (RECS, 2013a). Efetivamente, para edifícios com sistemas ativos as necessidades energéticas são determinadas considerando temperaturas na gama de 20°C a 25°C, sendo considerado que um edifício é passivo quando a percentagem de horas de ocupação anual em que se verificam necessidades de aquecimento e/ou arrefecimento, para manter a temperatura interior de conforto compreendida no intervalo de 19°C a 27°C, não excede mais de 10% do tempo de ocupação (RECS, 2013a). No caso da norma EN 15251, as excedências das condições de conforto oscilam de 3% a 5% do tempo de ocupação e numa base de cálculo diária, semanal ou anual (EN 15251, 2007).

Neste âmbito, para avaliar as condições de conforto térmico interior (T_{cf}) dos diferentes espaços do hotel, optou-se pelos critérios definidos da norma EN 15251, respeitantes a espaços com sistemas ativos.

No que respeita à humidade, a humidade absoluta (x_{ar}) não deve exceder 12 g./kg_a (ASHRAE, 2004) e a humidade relativa deve estar compreendida entre os 30% e 70%, para não ter efeito significativo na atividade humana; contudo, deve evitar-se que em período de verão exceda os 60% (Lazzarin & Nalini, 2004). A humidade relativa inferior a 25% está associada ao aumento do desconforto e a secagem das membranas mucosas e pele, que podem levar a formação de gretas e irritação. Pelo contrário, níveis de humidade relativa elevados podem resultar na condensação nas superfícies interiores do edifício, podendo criar-se

condições propícias ao desenvolvimento de micro-organismos (APA, 2010). A influência da humidade relativa é tanto maior quanto maior for a temperatura.

Paralelamente, uma boa qualidade do ar interior (QAI) nos edifícios está intimamente dependente da ventilação. As concentrações de dióxido de carbono (CO_2) no interior dos edifícios, devidas essencialmente à contaminação exterior e à atividade humana no interior do edifício, são um reconhecido indicador do desempenho dos sistemas de ventilação. Assim, elevadas concentrações deste composto podem ser sinais de uma deficiente ventilação dos espaços interiores, e estão frequentemente associadas a concentrações igualmente elevadas de outros poluentes. A premissa básica é que se o sistema de ventilação (natural ou mecânico) não está a ser eficaz na remoção deste gás, então provavelmente também não o está a ser, na remoção de outros poluentes, que por sua vez se acumulam na mesma proporção. As concentrações de dióxido de carbono nos espaços interiores variam de acordo com o local, ocorrência, hora do dia, tendendo em aumentar durante o dia. Os níveis típicos encontrados num espaço em avaliação variam entre 600 e 800 ppm (APA, 2010; ADENE, 2009). Por esta razão, realizou-se uma verificação expedita da concentração de CO_2 no edifício durante o período normal de funcionamento, com o objetivo de avaliar a qualidade do ar interior (QAI), mais especificamente o desempenho do sistema de ventilação e, consequentemente, indiciar a existência de outros poluentes.

No domínio regulamentar nacional, o atual Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS, 2013b), através da Portaria n.º 353-A/2013, especifica os requisitos de qualidade do ar interior, abrangendo requisitos quanto à renovação mínima do ar interior, aspetos de manutenção das instalações e limiares de proteção para os poluentes físico-químicos. De acordo com aquele regulamento, pode concluir-se que o nível de ventilação é inadequado quando os níveis de CO_2 excedem os 1250 ppm, podendo surgir casos de dores de cabeça, irritação de olhos e garganta, fadiga, etc.

No âmbito do estudo, e durante a observação *in loco* (auditoria técnica), foram realizadas medições pontuais às condições de ambiente interior do hotel, de modo a avaliar as condições de conforto térmico (T_{cf}) e a qualidade do ar interior (eficiência do sistema ventilação) proporcionadas aos respetivos utentes. Nesse sentido, mediram-se e registaram-se as condições do conforto higrotérmico e os níveis de concentrações de dióxido de carbono, em diversos espaços interiores do hotel, representativos do tipo de atividades e funcionalidades do mesmo, nomeadamente em zonas de estar dos clientes (quartos, átrio de entrada, restaurante, zona do bar e sala de conferências) e em zonas de serviços (cozinha, lavandaria, sala de refeições funcionários, vestiários e zona de escritórios). As referidas medições decorreram em simultâneo com a avaliação dos consumos de energia e padrões de utilização do hotel.

O registo das medições das condições higrotérmicas (temperatura e humidade relativa do ar) e a verificação expedita do nível de CO_2 , no interior e no exterior do edifício, realizaram-se no dia 10 de abril de 2017, entre as 11:00 horas e as 16:00 horas. A metodologia utilizada seguiu as orientações constantes em guias técnicos nacionais e regulamentação nacional no âmbito da qualidade do ar interior (APA, 2010; APA, 2015; ADENE, 2009; RECS, 2013b); seguiu-se igualmente a norma ISO 16000-1 (2004).

A medição dos pontos de amostragem definidos para o âmbito dos trabalhos foi efetuada sem perturbações. Não foram identificadas nas proximidades do edifício eventuais fontes de poluição que pudessem afetar a verificação expedita do nível de CO_2 . Na tabela D1 do Anexo D apresentam-se as localizações das medições e as respetivas atividades aí desenvolvidas.

O tempo de amostragem, por ponto, teve uma duração mínima de cinco minutos, com equipamento (portátil) físico-químico de leitura em tempo real, sendo a amostragem efetuada no interior dos compartimentos, a um metro e meio de altura e o mais afastado possível de fontes de contaminação, tais como: pessoas, plantas e sistemas de ar condicionado.

Para as medições foi utilizado o seguinte equipamento, devidamente calibrado, a saber:

- Medidor de dióxido de carbono, humidade e temperatura, modelo – KIMO AMI 300, com n.º de série NEM1501857, com sonda multiparamétrica. As gamas de deteção são, para o dióxido de carbono 0-5000 ppm, com resolução 1 ppm, para a humidade de 5 a 95%, com resolução 0,1% e para a temperatura de -20 a 80 °C, com resolução 0,1 °C.

Face aos resultados obtidos e evidenciados na tabela D1 do Anexo D, retiram-se as seguintes ilações:

- Os valores medidos e registados do parâmetro químico – CO₂ – em todos os pontos de amostragem, encontram-se abaixo do valor limite de referência (1250 ppm) (RECS, 2013b), cumprindo, portanto, o critério de conformidade mais exigente. Note-se que para o limite definido para edifícios existentes pode ser considerada uma margem de tolerância de + 30% do valor de referência; O máximo registado para o poluente CO₂ é de 812 ppm e o mínimo de 460 ppm. Noutra perspetiva, através da concentração de CO₂ ajustada à taxa de ocupação (1.º critério de conformidade: quociente entre a ocupação máxima e a ocupação efetiva aquando as medições no local de amostragem, vd. D.1), o cenário também é satisfatório, não evidenciando problemas de ventilação deficiente e sobrelotação nos espaços da amostragem (figura 97). Contudo, é importante salientar que estas medições devem ser realizadas num período mais alargado (mínimo de 8 horas), durante o normal funcionamento do edifício. Infelizmente não foi possível estender o período de medição, o que poderia conduzir a resultados diferentes. Nesta concordância, caso se tivesse utilizado como critério de verificação o antigo regulamento relativo ao desempenho energético de edifícios (RSECE, 2006), denotava-se não conformidade no 1.º critério (máximo de referência - 984 ppm) nos pontos de medição designados como Restaurante (ref. 6.9) e Sala Afonso III-1 (ref. 6.7), evidenciando ventilação insuficiente face ao número de ocupantes verificado nestes espaços (figura 97). Nestas circunstâncias, o tempo de aquisição de dados (medição) deveria então ser prolongado (por exemplo, 8 horas), de forma a reduzir o erro associado a um curto período de amostragem;
- Na avaliação do conforto térmico (T_{cf}), os valores registados pelas leituras das temperaturas interiores, enquadram-se na categoria II (nível de expectativa normal) da norma EN 15251, para espaços com sistemas de climatização. As temperaturas interiores oscilaram entre 23,9°C a 25,6°C, com um valor médio registado de 25°C, não indiciando qualquer situação de desconforto térmico. Recorde-se que as recomendações de condições satisfatórias de conforto térmico aplicáveis a espaços interiores podem ser expressas por vários indicadores, sendo o mais corrente a temperatura do ar, uma vez que é a variável com mais influência na sensação térmica; Quanto à humidade relativa, os valores registados encontram-se dentro dos valores recomendados (Lazzarin & Nalini, 2004), estando compreendida entre 36,8% e 47,1%, com um valor médio registado de 41,5%; Relativamente aos índices térmicos, calculados com base nas medições dos parâmetros ambientais e na estimativa dos

parâmetros individuais (atividade e vestuário)²⁶, observa-se que os valores obtidos para o índice PMV (dos diferentes espaços de amostragem) variam entre o “nem frio nem quente” ($PMV = 0,18$) e o “ligeiramente quente” ($PMV = +1,03$) (figura 98), o que corresponde a uma variação da percentagem de insatisfeitos (PPD) de 6% e 27%, respetivamente. Ora, considerando os limites recomendados nas normas EN ISO 7730, ASHRAE 55 e EN 15251 ($PPD < 15\%$: $-0,7 < PMV < 0,7$), verifica-se que os resultados dos índices calculados para os locais de amostragem das zonas de clientes e zonas de serviços se enquadram nos valores máximos admissíveis especificados, proporcionando condições de conforto térmico, segundo os critérios propostos por aquelas normas. Porém, nas zonas da lavandaria e cozinha, os resultados dos índices térmicos (PMV e PPD), indicam situação de ligeiro desconforto térmico (produção de calor interno dos equipamentos). De realçar, em consonância com o referido no ponto anterior, que a monitorização deve ser realizada em contínuo, num período bem mais alargado (mínimo de 8h), de forma a reduzir o erro associado a um curto período de amostragem.

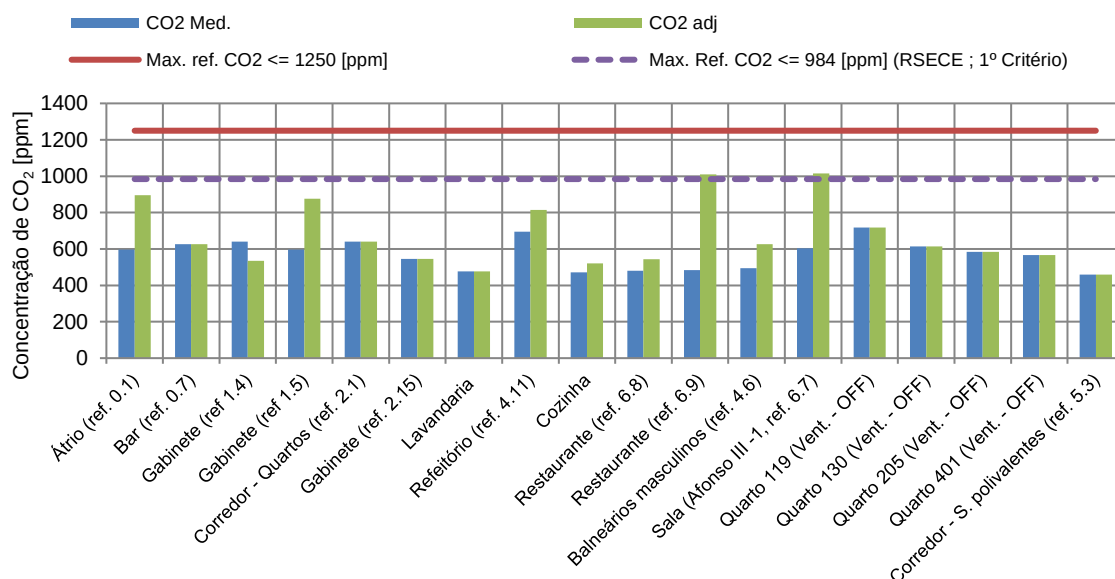


Figura 97 – Resultados dos níveis de concentração de CO₂ obtidos nos locais da amostragem

²⁶ Note-se que foram efetuadas medições à temperatura e humidade relativa. Sendo a temperatura média radiante estimada de + 1°C acima da temperatura do ar ambiente e a velocidade do ar de 0,1 m/s; Face à informação obtida durante a observação visual efetuada, os valores estimados para a taxa de metabolismo (atividade física) foram: 1 met para quartos, 1,6 met para a cozinha e lavandaria e 1,2 met para os restantes espaços. Para a resistência térmica do vestuário adotou-se 0,8 clo (valor intermédio entre inverno e verão).

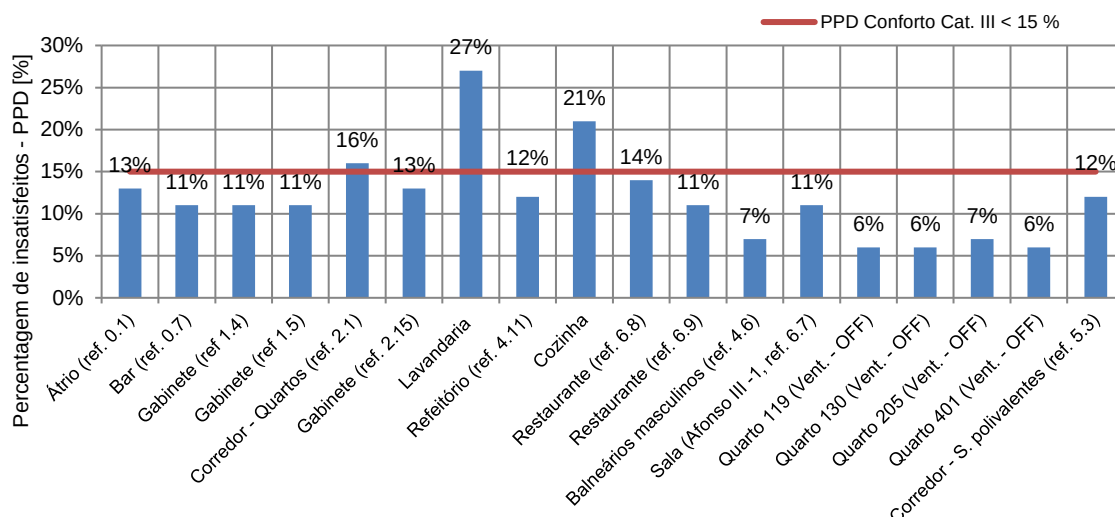


Figura 98 – Resultados das condições de conforto térmico, segundo a EN 15251

Os registos das medições efetuadas para os pontos de amostragem selecionados estão indicados na tabela D 1 do Anexo D. Na tabela incluem-se também as medições realizadas no exterior. Recorde-se que as medições foram efetuadas com equipamento portátil, com registos de leitura com duração mínima de 5 minutos em cada ponto de monitorização, sendo os resultados correspondentes aos valores médios obtidos durante esse período de medição.

6.7 Análise integrada dos consumos energéticos e hídricos – Edifício

O edifício utiliza a eletricidade e o gás natural como fontes de energia. A análise geral do consumo energético teve como suporte o histórico das faturas mensais emitidas pelas entidades fornecedoras, e tendo como base temporal os anos de 2013, 2014 e 2015 de atividade, representativos do funcionamento normal do edifício. Neste âmbito, ao nível da energia elétrica os consumos energéticos (médios) anuais do edifício representam um total de 1,29 GWh, correspondendo a um consumo de energia primária de 277 tep, o que em termos de emissões de CO₂ para atmosfera equivale a cerca de 463,5 ton CO₂ eq/ano²⁷. Este consumo energético reflete-se num custo médio anual de 136 193 € (0,1058 €/kWh) de energia elétrica. Na vertente da energia térmica, o consumo médio anual de gás natural é de 1,15 GWh, o que representa um consumo de energia primária de 99 tep, equivalendo a 232 ton CO₂ eq/ano e refletindo um custo médio anual de 58 253 € (0,051€/kWh). Por sua vez, no que diz respeito ao consumo de água da rede pública, incluindo a recolha de saneamento e resíduos sólidos, o imóvel consome anualmente cerca de 21 838 m³, o que representa um custo médio anual de 132 707 € (tabela 20). No plano energético, a eletricidade expressa-se por 74% da energia primária consumida no edifício, enquanto a energia térmica (gás natural) representa 26% daquele consumo global, conforme se denota na tabela 20 e figura 99a.

²⁷ Fatores de conversão entre energia final e primária (vd. Nota 2): eletricidade, $F_{p,i} = 215 \times 10^{-6} \text{ tep/kWh}_{el} / F_{p,i} = 2,5 \text{ kWh}_{EP}/\text{kWh}_{el}$ (importa destacar o rendimento elétrico médio de 40% na produção de energia elétrica por via térmica); gás natural, $F_{p,i} = 86 \times 10^{-6} \text{ tep/kWh}_{gn}$, Poder Calorífico Inferior (PCI_{gn}) = 1,077 tep/ton (45,1 GJ/ton) / $F_{p,i} = 1 \text{ kWh}_{EP}/\text{kWh}_{gn}$ (de salientar a conversão a 100% de energia primária em final, trata-se de regra a nível nacional) (Despacho 17313, 2008; Despacho 15793-D, 2013); Na determinação das emissões de CO₂ associadas ao consumo de energia nos edifícios, $F_{p,i} = 0,144 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}_{EP}$ para a eletricidade e $F_{p,i} = 0,202 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}_{EP}$ para o gás natural (Despacho 15793-D, 2013).

Tabela 20 – Caracterização do consumo de energia e água para o ano tipo – Edifício

Fonte de energia	Consumo anual Energia Final [kWh]		Consumo anual Energia primária [kWh _{EP}]		Custo anual de Energia [€]		[€/kWh]	Emissões anuais de CO ₂
Eletricidade	1 287 604	53%	3 219 009	74%	136 193 €	70%	0,1058	463,5
Gás Natural	1 148 325	47%	1 148 325	26%	58 253 €	30%	0,0510	232,0
Total	2 435 928	100%	4 367 334	100%	194 445 €	100%	-	695,5
Consumo de água (m ³)	21 838		Custo de água [€]		132 707 €		[€/m ³]	6,077

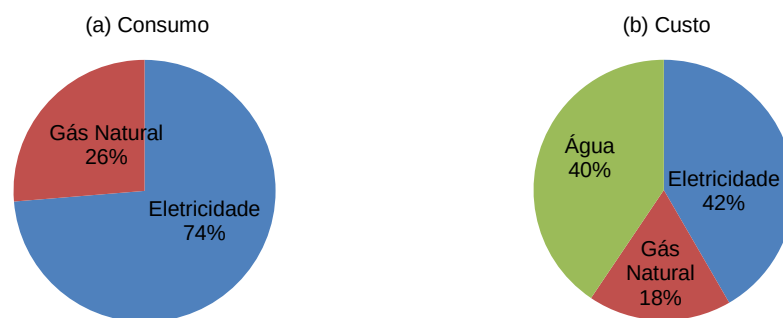


Figura 99 – Desagregação do consumo de energia primária por fonte no edifício (a) e custos associados (b)

Em termos do custo global, a fatura de energia e água para o ano tipo (ou ano de referência) foi de 327 152 €, com a maior parcela destinada à eletricidade (42%), seguindo-se o consumo de água (40%) e o gás natural (18%), conforme se observa na figura 99b.

Note-se que para obtenção dos valores anteriormente indicados, foram analisados os 3 anos consecutivos acima referidos, das faturas de energia e água existentes no edifício, o que permitiu a obtenção dos consumos médios e definir um ano tipo (ou de referência), conforme se visualiza na figura 100. Ora, nesta concordância, o consumo de energia primária, designado como consumo efetivo (CEP_{ef}), foi calculado a partir desse consumo (médio) anual de energia final (E_f), por fonte (i), expresso em kWh e convertido em energia primária ($F_{p,i}$) pelos respetivos fatores de conversão anteriormente indicados, a partir da seguinte expressão:

$$CEP_{ef} = \sum_i (E_{f,i} \times F_{p,i}) \quad (6.2)$$

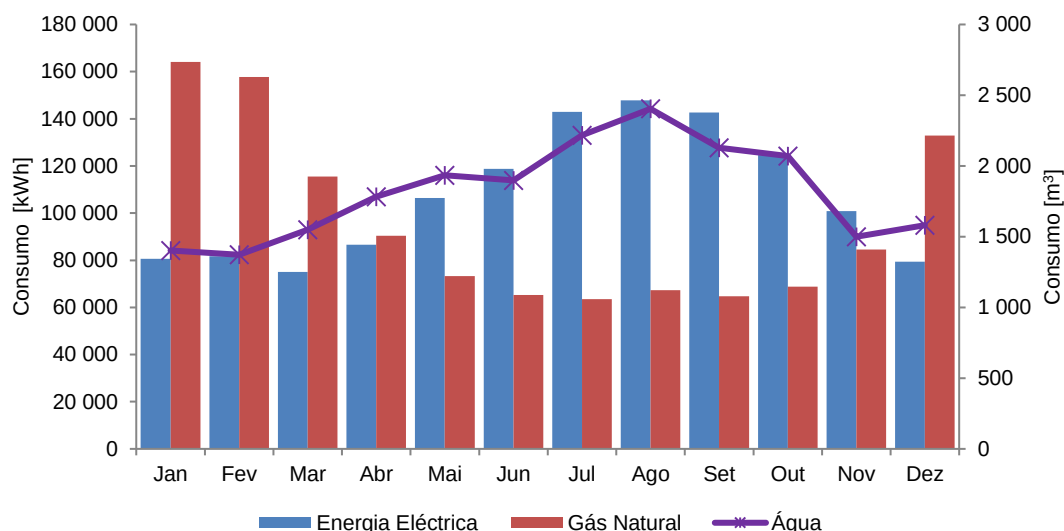


Figura 100 – Distribuição dos consumos energéticos e hídricos no ano tipo – Edifício

Da análise da figura 100, é possível desenhar o perfil de consumo das duas formas de energia, e evidenciar claramente que a taxa de ocupação (da tipologia hotel no edifício) e a temperatura do ar exterior são determinantes na evolução anual do consumo de energia, principalmente da eletricidade, devido à necessidade de garantir os padrões de conforto requeridos pelos hóspedes na estação de verão (vd. Figura 94). De facto, observa-se que o consumo elétrico anual reflete a energia associada às necessidades de arrefecimento ambiente, sendo crescente ao longo da primavera e máximo no verão, passando a ser decrescente no outono e mínimo no inverno, espelhando o consumo elétrico base (79,18 MWh), associado à iluminação e a todos os equipamentos elétricos existentes. Por outro lado, a energia térmica (gás natural) é consumida pelas caldeiras existentes (destinada ao aquecimento ambiente e à produção de água quente sanitária (AQS)) e equipamento de cozinha. Da figura 100 denotam-se claramente dois períodos distintos: um período em que existe consumo para satisfazer as necessidades de aquecimento ambiente e o consumo base, tipicamente de novembro a março, e um segundo período de consumo base, associado exclusivamente à preparação de AQS e ao equipamento de cozinha, sensivelmente constante na ordem de 6383 m³ (67,20 MWh), na meia-estação e verão. No que se refere ao consumo de água, segue a tendência do consumo elétrico e da taxa de ocupação, ou seja, crescente na primavera e com o seu máximo no pico do verão, quando a temperatura do ar exterior é mais elevada. Nesta concordância, na figura 101 observa-se a evolução mensal dos encargos energéticos e hídricos, onde se destaca o domínio da estação de arrefecimento (verão), em particular nos meses de julho a setembro. De realçar, ainda, o impacto do custo associado ao consumo de água que é bastante expressivo e muito semelhante à parcela da eletricidade, em termos de tendência e de custo global.

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente: avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

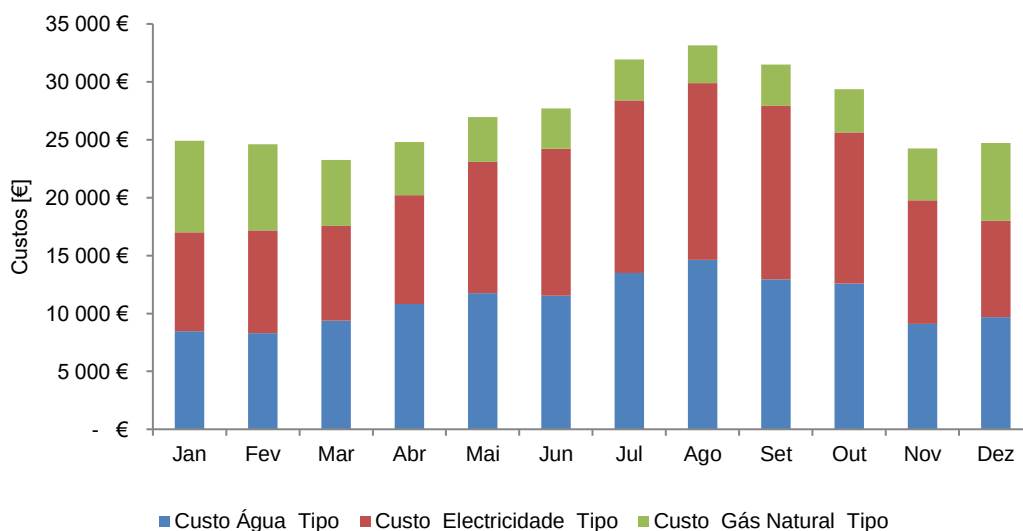


Figura 101 – Evolução mensal dos encargos de energia e água – Edifício

Durante a auditoria técnica, foram disponibilizados os registos dos consumos de energia elétrica dos diversos contadores instalados no quadro principal, afetos aos principais consumidores (setores) desta forma de energia, para o período compreendido entre 2014 a 2015, o que permitiu, após confirmação da sua consistência na representatividade do normal funcionamento do edifício, a obtenção dos consumos médios (definição do ano de referência) para as duas frações existentes no edifício (Loja e Ginásio), para além da tipologia principal – Hotel.

Ainda neste âmbito, foram também fornecidos os mapas de ocupação do ginásio para o período da auditoria (2013 – 2015), que aliados à taxa de ocupação (vd. 6.5.1) e à consistência dos mapas de refeições servidas no hotel durante o período em análise, possibilitou estimar e desagregar os consumos de gás natural e de água para o ano tipo, por tipologia existente no edifício²⁸.

A figura 102 mostra a distribuição, em percentagem, do consumo energia final por tipologia existente no edifício, nomeadamente: (1) eletricidade – 93% para o Hotel, 5% ginásio e loja representando apenas 2 % desse consumo; (2) gás natural – 62% para o Hotel e 38% ginásio.

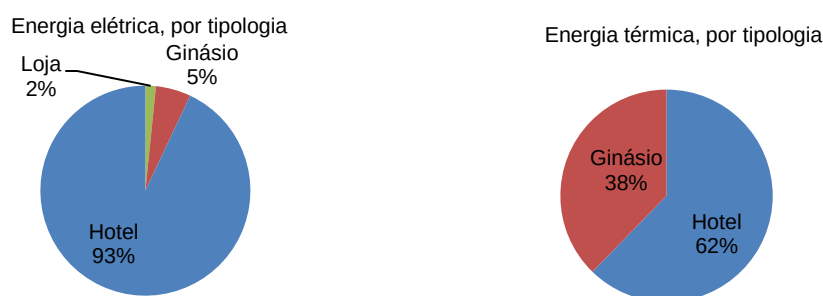


Figura 102 – Distribuição do consumo de energia final por fonte – Edifício

²⁸ Face à informação obtida durante a observação visual, e com base em indicadores de referência de consumo de água para as tipologias em questão (Pinto, 2015), foram considerados os seguintes valores, a saber: quartos – 200 l/(dia.PAX); serviço de lavandaria – 6 l/kg_{roupa} (comprovado *in loco*, 0,55 kg_{ginásio}/PAX e 0,80 kg_{hotel}/PAX de roupa para tratamento, excluindo roupa de cama); cozinha – 20 l/refeição e ginásio – 127 l/utilizador.

Destaca-se que a energia estimada resultante do consumo de gás natural no ginásio tem um peso na ordem de 38%. Essa energia é utilizada para satisfazer as necessidades de água quente sanitária (AQS) e aquecimento ambiente dos vestiários/balneários (Masculino e feminino) do ginásio. De salientar que a renovação do ar ambiente nestes espaços é efetuada a partir dos sistemas mecânicos de termoventilação e ventilação, cujas secções das baterias (destas unidades) se encontram diretamente associadas à central de geração de água quente do hotel. Importa também realçar, em virtude da elevada percentagem de energia consumida em gás natural no ginásio, a recomendação da instalação de contadores de entalpia, para a contabilização quantitativa da energia térmica utilizada no serviço de água quente afeta àquela tipologia.

Na perspetiva da estrutura do consumo de água, visualiza-se o esperado domínio do hotel (68%, figura 103b), mas constata-se o expressivo peso do ginásio (32%), devido ao consumo de água dos vestiários/balneários e ao tratamento de roupa (toalhas) pela lavandaria do hotel, serviço que no período da auditoria (2013 a 2015) ainda era prestado. Antes de baixar ao detalhe da caracterização energética do hotel, deixa-se uma síntese (tabela 21) da análise integrada da utilização de recursos energéticos e hídricos do edifício, anteriormente exposta.

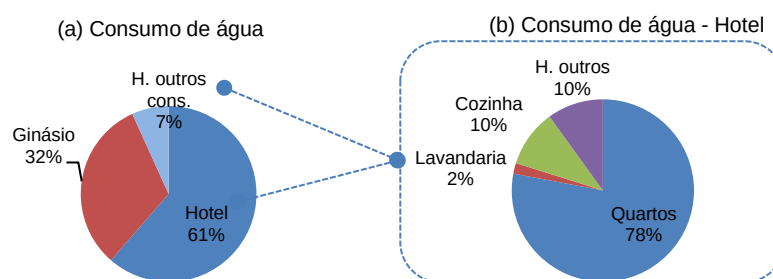


Figura 103 – Distribuição do consumo de água: (a) edifício e (b) hotel

Importa recordar que as duas frações do edifício denominadas como ginásio e loja têm gestão e utilização totalmente autónoma e sistemas de climatização independentes (exceto a particularidade do aquecimento ambiente dos vestiários/balneários do ginásio); como tal, estas duas frações não foram consideradas no decurso dos trabalhos da auditoria.

Tabela 21 – Tabela síntese de distribuição de consumos finais (energia e água) e custos associados – Edifício

Fonte de energia	Edifício		Hotel		Ginásio e loja	
	Consumo	Custo (€)	Consumo	Custo (€)	Consumo	Custo (€)
E. elétrica [kWh]	1 287 604 53%	136 193 € 70%	1 197 201 63%	126 664 € 78%	90 403 17%	9 529 € 30%
G. Natural [kWh]	1 148 325 47%	58 253 € 30%	715 404 37%	36 486 € 22%	432 921 83%	21 767 € 70%
Subtotal	2 435 928	194 446 €	1 912 605	163 149 €	523 324	31 296 €
Água [m³]	21 838	132 707 €	14 885	90 458 €	6 952	42 249 €
Total		327 152 €		253 607 €		73 545 €

6.7.1 Análise integrada dos consumos energéticos e hídricos – Hotel

No que se refere ao hotel, facilmente se extrai numa análise pormenorizada da tabela 21 da secção anterior, que o seu consumo de energia primária anual representa um total de 3,71 GWh_{EP} (319 tep), maioritariamente afeto à eletricidade (81%), contribuindo decisivamente para o elevado custo energético desta unidade e traduzindo-se num Indicador de Eficiência Energética efetivo (IEE_{ef}) de 414,16 kWh_{EP}/m², o que em termos de emissões globais de CO₂ equivale a cerca de 575,5 ton CO₂ eq/ano. Note-se que o IEE_{ef} não é mais do que a razão entre o consumo (global) efetivo de energia primária (CEP_{ef}) e o elemento determinante que justifica esse consumo, neste caso a dimensão física do hotel que é a área total de pavimento (A_p), resultando na seguinte expressão geral, expressa em kWh_{EP}/m²:

$$IEE_{ef} = CEP_{ef}/A_p \quad (6.3)$$

Ainda no domínio das métricas quantitativas de desempenho, com base em auditorias energéticas de 7 unidades hoteleiras de 4 e 5 estrelas (Silva Santos, 2016) (vd. Figura 47), localizadas na costa Algarvia, e tendo em conta as suas taxas de ocupação anual, avaliou-se a eficiência do hotel para os consumos de energia e água. Na figura 104 apresentam-se os respetivos indicadores de desempenho desse consumo e a sua comparação face à unidade hoteleira em estudo. Mas considerou-se como elemento determinante a “quantidade” de serviço prestado, que é o número de dormidas anual, ou seja, a razão entre o consumo de recursos (energéticos e hídricos) e aquele elemento determinante. No caso do consumo de energia refere-se à energia final em kWh. Apesar de se tratar de uma amostra reduzida, verifica-se que os indicadores de desempenho associados ao recurso energético do hotel estão acima da média das unidades hoteleiras de 4 e 5 estrelas da região, nomeadamente: + 48% para a eletricidade e + 28% para o gás natural. Em termos globais, o consumo específico de energia corresponde a 59 kWh/PAX, sendo 40% superior ao valor médio registado para a zona em questão. Desta forma, o hotel caracteriza-se por um consumo específico de 37 kWh/PAX para a eletricidade e de aproximadamente 22 kWh/PAX para o gás natural. O consumo de água depende de vários fatores como piscina exterior, lavandaria, cozinha, unidades de alojamento (quartos), entre outros, e representa um consumo na ordem de 458 l/PAX (35% inferior ao valor médio da região).

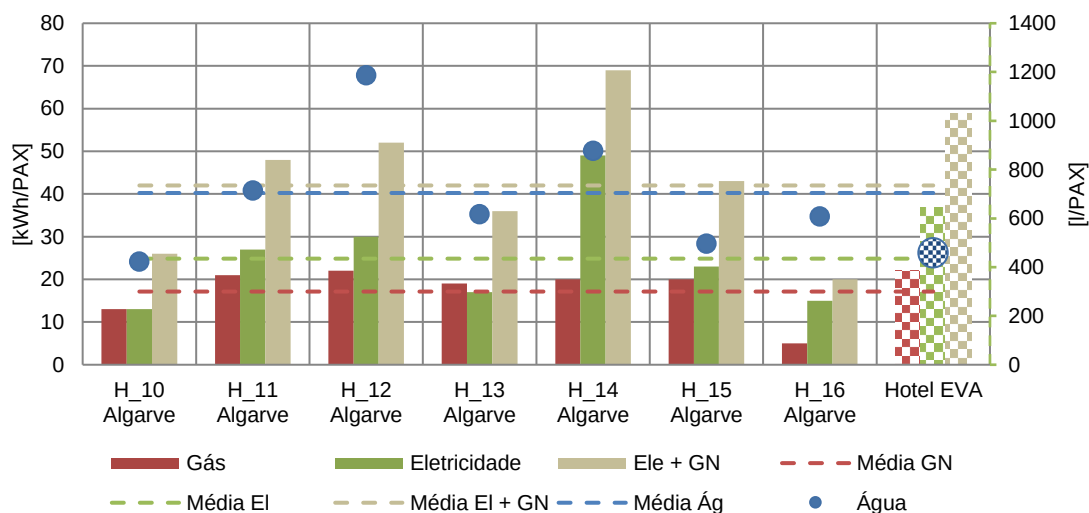


Figura 104 – Consumo específico de energia e água no hotel vs. termos de referência

Noutra abordagem mais global, analisando os resultados da tabela 21 face ao plano nacional, verifica-se que o indicador de desempenho energético do hotel de 4 estrelas, tendo como elemento determinante a área de pavimento (8954 m^2 , excluindo a loja e o ginásio), é de aproximadamente 214 kWh/m^2 , cerca de 13% inferior ao valor médio do consumo específico de energia nos hotéis portugueses de 4 e 5 estrelas (245 kWh/m^2) e estando em linha com a média nacional do consumo específico por dormidas (60 kWh/PAX) (Ferreira & Freitas, 2011).

No caso do consumo de energia dedicada à cozinha e a lavandaria utilizou-se como elemento determinante o número de refeições e a quantidade de roupa lavada em quilogramas, respetivamente. Neste seguimento, a produção de refeições é responsável por uma parte significativa dos consumos de eletricidade e de gás natural, apresentando um valor médio por refeição de $5,86 \text{ kWh}$, cerca de 41% inferior ao valor médio dos hotéis nacionais de 4 e 5 estrelas (10 kWh/refeição) (Ferreira & Freitas, 2011); contudo existem referenciais de melhores práticas que podem variar entre 1 a 2 kWh/refeição (Styles et al., 2013).

Para o serviço de lavandaria, pela análise à informação disponibilizada este setor consome um valor médio de $2,2 \text{ kWh/kg}$ para o ano tipo (excluindo tratamento de roupa de cama), apenas associado à energia elétrica final, estando ligeiramente acima do referencial para este uso funcional, que recomenda um valor inferior a 2 kWh/kg (Styles et al., 2013) e bastante abaixo do referencial nacional indicado por Ferreira & Freitas (2011), que indica um consumo médio por kg de roupa lavada de 10 kWh .

Em complemento, tendo por base o histórico existente (consumos energéticos e hídricos), foram estimados os custos específicos (€/PAX) do hotel e comparados com os valores médios determinados de outros hotéis existentes da zona Algarvia no âmbito do projeto AdaPTAC:T (Pinto et al., 2016c), conforme ilustrado na figura 105. Os resultados mostram custos de energia e água no hotel de cerca $7,80 \text{ €/PAX}$ (hotel), dos quais $3,90 \text{ €}$ (50%) se reportam ao consumo de energia elétrica, $2,78 \text{ €}$ (36%) ao consumo de água e $1,12 \text{ €}$ (14%) ao consumo de gás natural, estando em termos globais, acima $2,80 \text{ €}$ do valor médio registado dos hotéis do Algarve.

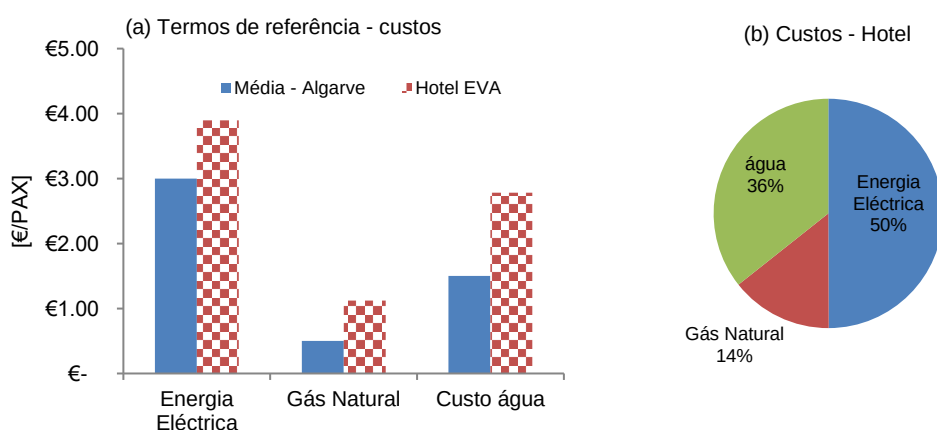


Figura 105 – Custos de energia e água (€/PAX) – (a) valor médio Algarve vs. hotel e (b) desagregação dos custos – hotel

Entretanto, a desagregação dos consumos (médios) mensais por vetor energético e por tipologia no edifício, permitiu definir um perfil anual de consumo tipo associado ao hotel (figura 106b). Na figura 106 ilustra-se a comparação, expressa em percentagem, entre o perfil de consumo – Edifício vs. Hotel. De facto, denota-se que as principais diferenças se centram

entre os meses de novembro a março, associadas ao consumo de gás natural e correspondendo ao período de menor taxa de ocupação (45%) do hotel, ressaltando o reduzido peso afeto à utilização (final) de aquecimento ambiente, contrastando com o domínio dedicado exclusivamente à preparação de AQS e ao equipamento de cozinha. No que diz respeito ao consumo elétrico, o edifício é dominado totalmente pelo consumo do hotel, refletindo a sazonalidade turística (período de verão) e a tendência crescente da energia associada às necessidades de arrefecimento ambiente, diretamente relacionada com a taxa de ocupação do hotel e com o clima, ou seja, a ocorrência simultânea das maiores taxas de ocupação com o período mais quente origina o aumento daquela forma de energia (figura 107). É, no entanto, oportuno mencionar que o aumento do consumo de energia elétrica no decorrer do mês de abril até ao fim de outubro prende-se, efetivamente, com a entrada em funcionamento da central de “produção” frio e respetivo grupo de bombagem para fazer face aos padrões de conforto térmico requerido pelos clientes.

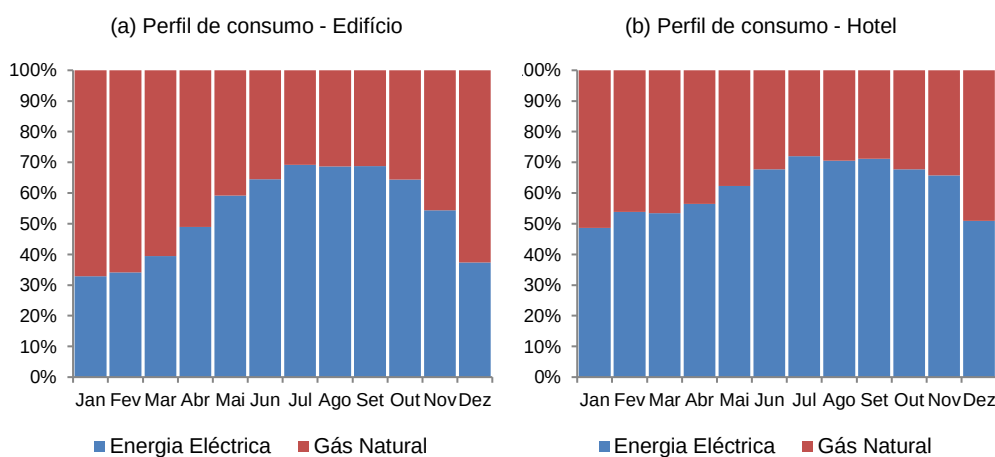


Figura 106 – Distribuição dos consumos mensais por forma de energia do ano Tipo: (a) edifício e (b) hotel

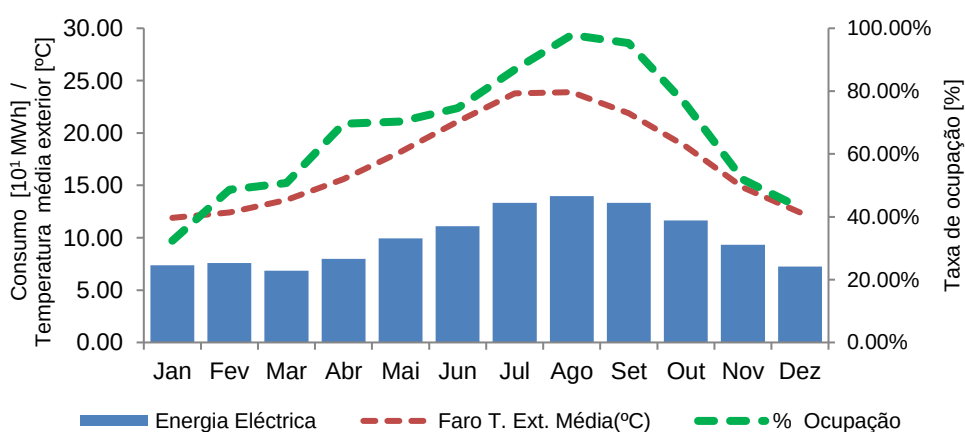


Figura 107 – Distribuição mensal do consumo elétrico vs. influência da temperatura exterior e taxa de ocupação do hotel

A desagregação dos consumos de energia elétrica por utilização final no hotel foi efetuada tendo como base a campanha de medições do consumo global do edifício e dos consumos parciais do hotel, estando a metodologia utilizada descrita no Anexo E. Note-se que os equipamentos utilizados na auditoria estão calibrados segundo as indicações do fabricante.

As medições realizadas durante o trabalho de campo permitiram conhecer com rigor suficiente a estrutura de consumos durante o período da auditoria. Todavia, sendo o consumo de energia do hotel fortemente influenciado pelas condições do ambiente exterior, a determinação da estrutura de consumos anual (pelos usos finais – n) tem que ser estimada de uma das seguintes formas: através de propostas simplificadas (i.e., métodos de regressão/assinatura do edifício, métodos dos graus-dias, entre outros), ou com recurso a simulação dinâmica detalhada. No caso concreto deste estudo, recorreu-se a ambas. Assim, no que diz respeito ao consumo elétrico e, em particular, à parcela dedicada ao arrefecimento para o período mais crítico (maio-outubro), foi necessário recorrer à assinatura do edifício, mais especificamente ao modelo de regressão 3PC (*Three-parameter cooling change-point model*): trata-se de um modelo de três parâmetros, que relaciona o consumo de energia associado ao arrefecimento (para este efeito) do edifício com a temperatura do ar exterior, neste caso a temperatura média mensal ($\bar{T}_{amb}$). Genericamente, o modelo de previsão ($E_{mod,ele}$) destaca o consumo de energia utilizada para satisfazer, quer a procura de arrefecimento ambiente, quer a procura de outros usos elétricos, nomeadamente: o consumo de energia elétrica base (a), que representa os consumos independentes do clima (iluminação, equipamentos) e “sensivelmente” constantes; a componente elétrica influenciada pela temperatura exterior, podendo ser considerada o declive da reta (b); e a temperatura de mudança (T_{ch}), representada como o início do aumento da energia associada ao arrefecimento ambiente, diretamente relacionada com a temperatura exterior, ou seja, a ocorrência do período mais quente origina o aumento daquela forma de energia a partir de uma determinada temperatura – T_{ch} . Esta correlação ressalta da observação da figura 108 e pode ser traduzida pela seguinte equação (o sinal “+” indica que apenas diferenças de temperatura positivas são consideradas, caso contrário essa diferença é nula) (Kissock et al., 2002):

$$E_{mod,ele} = a + b \cdot (\bar{T}_{amb} - T_{ch})^+ \quad (6.4)$$

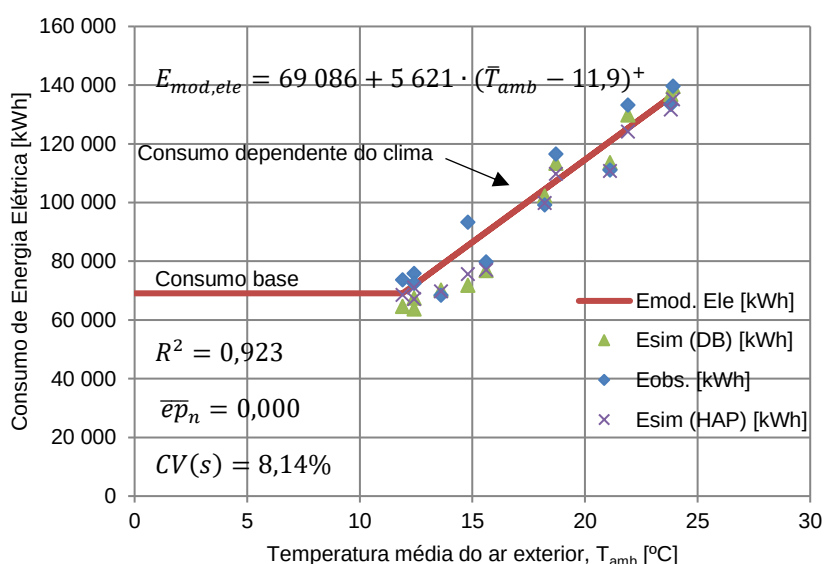


Figura 108 – Energia elétrica observada vs. modelo de previsão 3PC

Entretanto, é relevante observar que os resultados do modelo de regressão (E_{mod}) e os resultados dos dois modelos obtidos por simulação dinâmica efetuados (E_{sim}), evidenciam um ajustamento fiel ao funcionamento real, simbolizado como consumo de energia (por fonte i) observada ou faturada (E_{obs}), neste caso a energia elétrica.

Depois de ajustar o modelo de previsão ao conjunto dos dados (valores observados), foi necessário avaliar a “qualidade” do ajuste. O modo mais simples de “testar” a qualidade do ajuste é representar graficamente os dados e o modelo ajustado, de modo a verificar (visualmente) se os parâmetros obtidos numericamente descrevem, de facto, a relação entre variáveis. Pela figura 108 denota-se claramente que o modelo escolhido é adequado. Em complemento, na avaliação da qualidade do ajuste efetuado pelo método dos mínimos quadrados, ou seja, pela minimização das distâncias verticais entre os pontos (dados) e a curva (modelo de previsão), recorreram-se aos seguintes índices estatísticos: (1) o coeficiente de determinação (R^2), que mede a proporção da variação de E (energia) em relação à média que é explicada pela equação de regressão ajustada ($E_{mod,ele}$) – em princípio, a qualidade do ajuste será tanto maior quanto mais R^2 se aproximar da unidade; (2) o erro percentual médio normalizado ($\overline{ep}_n$), que representa o quociente entre o erro absoluto e valor médio observado da grandeza ($\bar{E}_{obs}$), devidamente ajustado por n_p (n.º de pontos observados) e p (n.º de parâmetros do modelo); e também, (3) o coeficiente de variação ($CV(s)$) que traduz o quociente, expresso em percentagem, entre o erro-padrão de E ($s(E)$) e a média dos valores observados ($\bar{E}_{obs}$). Estes índices estatísticos são calculados através das seguintes expressões:

R^2	Coeficiente de determinação	$R^2 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^{n_p} (E_{obs,i,t} - E_{mod,i,t})^2}{\sum_{t=1}^{n_p} (E_{obs,i,t} - \bar{E}_{obs,i})^2} \quad (6.5)$
$\overline{ep}_n$	Erro percentual médio normalizado, [%]	$\overline{ep}_n = \frac{\sum_{t=1}^{n_p} (E_{obs,i,t} - E_{mod,i,t})}{(n_p - p) \cdot \bar{E}_{obs,i}} \quad (6.6)$
$CV(s)$	Coeficiente de variação, [%]	$CV(s) = \frac{\sqrt{\sum_{t=1}^{n_p} (E_{obs,i,t} - E_{mod,i,t})^2 / (n_p - p)}}{\bar{E}_{obs,i}} \quad (6.7)$

em que:

$E_{obs,i,t}$ Consumo de energia (por fonte i) observada ou faturado no período t , [kWh]

$E_{mod,i,t}$ Consumo de energia (por fonte i) estimada pelo modelo no período t , [kWh]

$\bar{E}_{obs,i}$ Consumo de energia médio (por fonte i), [kWh]

$n_p; p$ n_p – Representa o n.º de pontos observados ($n_p = 12$ meses) e p – traduz o n.º de parâmetros do modelo

Paralelamente, como condição de validação foi o utilizado um coeficiente de determinação (R^2) mínimo de 0,75 (Sonderegger, 1998). Neste caso concreto, viu-se que a relação entre a energia elétrica e a média da temperatura exterior pode ser representada pelo modelo de regressão da equação 6.4, sendo a percentagem de contribuição do modelo (temperatura média exterior) para explicação da variação do consumo de energia elétrica na ordem de 92% ($R^2 = 0,92$), podendo-se concluir que o modelo de regressão apresenta um bom ajustamento aos dados observados. Adicionalmente, na abordagem de validação dos restantes índices estatísticos ($\overline{ep}_n$) e $CV(s)$, seguiram-se as recomendações indicadas na ASHRAE *Guideline* 14 (2002), nomeadamente: $\leq 5\%$ e $\leq 15\%$, respetivamente, para o erro percentual médio normalizado ($\overline{ep}_n$) e coeficiente de variação ($CV(s)$), ambos numa base temporal mensal.

Pela figura 108 observa-se um erro relativo ($\overline{ep}_n$) de 0,000 e um coeficiente de variação $CV(s)$ de 8,14%, estando em linha com o referido anteriormente, ou seja, confirmando a boa qualidade do modelo de regressão. Assim, a estrutura de consumo anual da utilização final dedicada ao arrefecimento ambiente e ventilação associada, entre maio a outubro (do ano

tipo), foi calculada pela equação 6.4. Para os restantes meses o consumo referente ao AVAC foi determinado tendo como referência o mês da realização da auditoria (abril).

Como nota, deve esclarecer-se que a energia utilizada pela ventilação, quando associada ao aquecimento ou arrefecimento ambiente, é considerada, neste estudo e apenas na metodologia utilizada para a realização da auditoria energética, incluída nestes grupos. Só aquela que é independente do aquecimento e do arrefecimento é que poderá aparecer em separado.

Genericamente, a desagregação do consumo de energia elétrica pelas utilizações finais, foi obtida com base nos seguintes critérios: registos das medições efetuadas aos quadros dos principais usos funcionais do hotel; determinação de consumos tendo em atenção as potências instaladas e os fatores de utilização dos sistemas, efetuando o cálculo de perfis de consumo, através das potências e dos horários de funcionamento; tendo sempre como suporte de referência os dias e o respetivo mês (abril) da realização da auditoria, taxa de ocupação, mapa de refeições (no caso da cozinha) e, no caso da lavandaria, mapas de ocupação do hotel e ginásio, pois além de processar o seu serviço de lavandaria também realizou o tratamento da roupa daquela tipologia (com exploração totalmente independente) no período de 2013 a 2015. Para esta área funcional do hotel, o consumo elétrico médio anual foi determinado diretamente, e após validação da sua consistência, tendo por base os dados fornecidos de consumos elétricos dos anos 2014-2015. Neste caso específico, avaliou-se ainda a relação entre a energia elétrica consumida e o tratamento de roupa realizado no serviço de lavandaria (vd. Anexo E).

Na vertente da energia térmica (gás natural) não houve lugar a medições, mas é sabido que o consumo deste vetor energético, se reparte pelo aquecimento ambiente, preparação de água quente sanitária (AQS) e equipamentos de cozinha. Neste seguimento, houve necessidade de recorrer uma proposta metodológica que possibilitasse uma representação fiel de cada parcela daqueles usos (n) finais no consumo do hotel.

Esclarecendo a abordagem do método, o aquecimento ambiente para a estação fria (tipicamente de novembro a março), foi determinado numa base mensal, pela diferença entre o consumo total do edifício para aquele período, ou seja, através dos consumos médios de gás natural que permitiram definir o ano de referência e o valor médio base, associado exclusivamente à preparação de AQS e ao equipamento de cozinha. Posteriormente, este consumo obtido associado à utilização do aquecimento foi devidamente ajustado pela taxa de ocupação média do hotel para a estação fria.

No que diz respeito ao consumo de gás dedicado ao uso da água quente sanitária, a energia global (mensal) necessária para satisfazer a procura daquele fim (Q_a), foi calculada em função da taxa de ocupação mensal do ano de referência (tipo) do hotel, suportado nos dados de consumo diário de água quente (M_a) – para o hotel considerou-se como valor diário de referência 120 l/pax de água quente a uma temperatura de utilização de 45°C²⁹ (concordante com a categoria de hotel de 4 estrelas) –, da temperatura média mensal da água da rede (T_{red}) e da temperatura de acumulação (T_{acm}), através da expressão 6.10, entretanto convertida em energia final através da eficiência ($\eta_{n,k}$) dos equipamentos de geração de água quente (caldeiras).

²⁹ Note-se que o consumo diário de referência a 45°C foi corrigido para a temperatura de acumulação considerada (60°C).

Relativamente ao consumo de energia térmica na cozinha (confeção de refeições e lavagem de loiça), é sabido que na estação de arrefecimento (maio a outubro) não existe aquecimento ambiente (distribuição da energia térmica a dois tubos, só tem possibilidade de aquecer ou de arrefecer), pelo que o cálculo do gasto de energia, para o ano tipo e período respetivo, foi determinado pela diferença direta entre o consumo de gás natural e a energia final destinada a usos sanitários (hotel e ginásio³⁰). Nos restantes meses, o cálculo do consumo, de base temporal mensal, foi determinado através da média do consumo dos meses críticos (verão) devidamente corrigido pela fração ou parcela mensal das refeições, que foram obtidas pelos mapas fornecidos no decurso da auditoria técnica. De salientar que a sua consistência foi confirmada pelo cruzamento dos dados extraídos do levantamento do equipamento (potências médias) e perfil de utilização determinado.

Em termos globais, o consumo anual do hotel associado ao vetor energético (i) – $E_{f,i}$, neste caso gás natural – $E_{f,gn}$, foi obtido com base no somatório dos diferentes usos finais, conforme a expressão 6.8, que representa a metodologia utilizada para estimar e desagregar o consumo de gás natural utilizado naquela tipologia:

$$E_{f,gn} = E_{aq,gn} + Q_a/\eta_{a,k} + E_{coz,gn} \quad (6.8)$$

sendo que os termos da equação 6.8 podem ser traduzidos pelas seguintes expressões:

$E_{aq,gn}$ – Consumo anual de gás natural associado ao aquecimento ambiente do hotel, $\left[\frac{kWh}{ano}\right]$	$E_{aq,gn} = \bar{f}_{pax,inv} \cdot \sum_{ano} (E_{gn,inv} - \bar{E}_{Base,gn})_{mes} \quad (6.9)$
Q_a – Energia útil anual necessária para preparação de AQS do hotel, $\left[\frac{kWh}{ano}\right]$	$Q_a = \frac{\sum_{t=1}^{12} (M_a \cdot \rho_{água} \cdot c_{págua} \cdot (T_{acm} - T_{red,t}) \cdot n_t \cdot f_{pax,t})}{3600} \quad (6.10)$
$\eta_{a,k}$ – Eficiência do sistema k, servindo o uso Q_a	
$E_{coz,gn}$ – Consumo anual de gás natural associado à cozinha do hotel, $\left[\frac{kWh}{ano}\right]$	$E_{coz,gn} = \sum_{ano} (E_{coz,gn,ver} + \bar{E}_{coz,gn,max} \cdot f_{coz,gn,inv}) \quad (6.11)$

em que:

$E_{gn,inv}$	Consumo de gás natural no edifício para o ano tipo, durante o intervalo mensal da estação de inverno (inv), $[kWh]$
$\bar{E}_{Base,gn}$	Consumo médio mensal base (AQS e ao equipamento de cozinha) de gás natural do edifício para o ano tipo, $[kWh]$
$\bar{f}_{pax,inv}$	Fração correspondente à ocupação média do hotel, resultante dos valores mensais da estação de inverno (inv)
M_a	Consumo diário de água quente, $[l/dia]$
$\rho_{água}$	Massa volúmica da água, $\rho_{água} = 1 \left[\frac{kg}{l}\right]$

³⁰ Na determinação do consumo de energia térmica destinada ao uso de AQS no ginásio, considerou-se um consumo médio de 12 l/min de água quente a 45°C por pessoa e um tempo de utilização de 6 minutos. Este consumo foi ajustado à taxa de ocupação mensal de referência desta tipologia.

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente: avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

$c_{p\acute{a}gua}$	Calor específico da água, $C_p = 4,187 [kJ/kg \cdot ^\circ C]$
T_{acm}	Temperatura de acumulação da água, $[^\circ C]$
$T_{red,t}$	Temperatura média mensal da água da rede, $[^\circ C]$
n_t	Número de dias do mês [dias]
$f_{pax,t}$	Fração correspondente à ocupação mensal do hotel no ano tipo
$E_{coz,gn,ver}$	Consumo de gás natural associado à cozinha, durante o intervalo mensal da estação de verão (<i>ver</i>). Determinado pela diferença entre o consumo de gás natural (tipo) e a energia final destinada a usos sanitários, $[kWh]$
$\bar{E}_{coz,gn,max}$	Consumo médio mensal de gás natural do ano tipo associado à cozinha dos meses de maior consumo (<i>max</i>) – (verão), $[kWh]$
$f_{coz,gn,inv,t}$	Fração correspondente à produção de refeições mensal do ano tipo para a estação de inverno

Com base nos aspetos metodológicos anteriormente descritos, levantamento técnico exaustivo e medições realizadas, foi construído um modelo representativo da estrutura dos consumos anuais de energia do hotel, apresentados na tabela 22. Importa realçar que a partir da variação do consumo elétrico, com base nas faturas, determinaram-se as variações dos “outros consumos” indicados na referida tabela 22.

Tabela 22 – Desagregação dos consumos de energia do hotel

Tipo de utilização	Auditoria [kWh/ano]		
	Eletricidade	Gás Natural	Total
Aquecimento		<u>168 790³¹</u>	
Arrefecimento		-	
Bombas		-	
Ventilação		-	
AVAC^a total	410 445	168 790	579 235
Iluminação	150 302		150 302
Equipamentos	524 031	244 402	768 433
Águas Quentes Sanitárias	-	305 633	305 633
Iluminação Exterior	15 099	-	15 099
Elevadores	21 900	-	21 900
Outros consumos	75 424	-	75 424
Total	1 197 201	718 824	1 916 025

^a O consumo de energia inclui o consumo total de aquecimento, arrefecimento, ventilação e bombagem

³¹ Valor preliminar original afeto ao aquecimento ambiente ($E_{aq,gn}$) antes de ser ajustado, através de regressão linear ao modelo da simulação dinâmica para aquele uso (coeficiente de determinação 0,97, o que demonstra um bom ajustamento). Apresenta um desvio percentual de 2% face ao valor ajustado para aquela utilização (165 372 kWh/ano). Em termos globais, no vetor energético do gás natural o impacto é inferior a 0,5%, sendo este o valor – corrigido – que está incluindo no valor global de gás natural apresentado na tabela 21 e que explica a ligeira diferença entre os totais das tabelas 21 e 22.

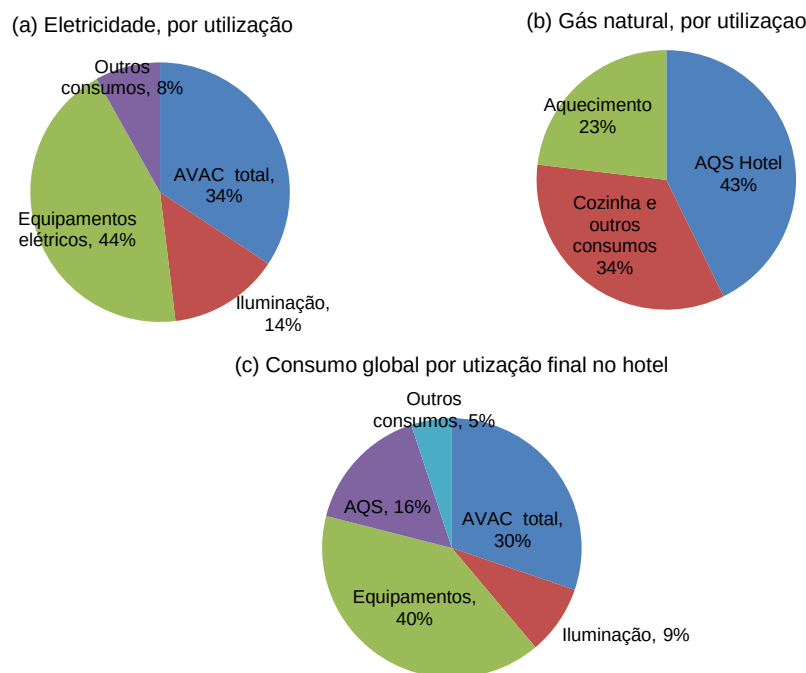


Figura 109 – Desagregação dos consumos do hotel: (a) e (b) por forma de energia e utilização final e (c) consumo global por utilização

Tal como já apresentado, o consumo de energia elétrica é predominante na estrutura global do hotel e decisivo na constituição dos custos energéticos totais, destacando-se neste vetor o peso relativo do AVAC (34%) e dos equipamentos elétricos (44%), onde se inclui a lavandaria, cozinha, equipamento de escritório, entre outros. O restante consumo elétrico reparte-se pela iluminação (interior e exterior) (14%) e “outros consumos” (note-se que foram incluídos os equipamentos de elevação nesta parcela) (8%) (figura 109a). Pela perspetiva do gás natural, como seria expectável, destaca-se o elevado consumo em AQS (águas quentes sanitárias), que apenas contabiliza o consumo inerente ao serviço de quartos, e representa a maior percentagem desta forma de energia (43%), seguido da cozinha (34%) e do aquecimento ambiente (23%) (figura 109b). Note-se que este último peso do aquecimento ambiente tem a influência direta da variação da taxa de ocupação (reduzida na estação fria, inferior a 50%) e beneficia da zona climática onde se insere o hotel.

Em termos globais, relativamente às utilizações finais, o grupo designado por AVAC (que agrupa o aquecimento, o arrefecimento, a ventilação e a bombagem) e o consumo inerente ao AQS representam, no seu conjunto, cerca de 46% da energia utilizada no hotel (30% para o AVAC, 16% para a preparação de água quente sanitária). Recorde-se que esta utilização conjunta é muito dependente da sazonalidade típica de um empreendimento turístico no Algarve, da categoria do hotel, da preferência dos hóspedes e esta diretamente relacionada com a elevada taxa de ocupação entre maio a outubro, que é superior a 80%. Estas duas parcelas representam uma quantidade de energia final que, apesar de mais significativa, está praticamente a par da utilização afeta aos equipamentos (40%) associados às zonas de serviço e zonas de clientes disponibilizadas pela unidade hoteleira, com principal domínio da cozinha e lavandaria. Os restantes consumos, como se observa na figura 109c, repartam-se pela iluminação (9%) e pelo grupo designado por “outros consumos” (5%).

6.8 Simulação dinâmica (Funcionamento Real)

O objetivo da simulação dinâmica consiste em obter os consumos de energia necessários à manutenção das condições de conforto interiores estipuladas pelo utilizador e avaliar o impacto da introdução de determinadas alterações, na envolvente do edifício, nos sistemas de climatização e águas quentes sanitárias, ou nos padrões de utilização ou controle, em termos de economia de energia.

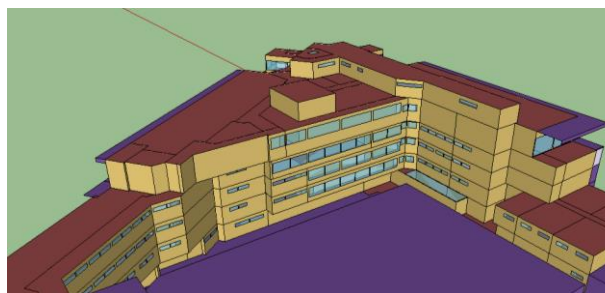
O programa de cálculo que serviu de base à simulação numérica do desempenho energético do hotel foi o *EnergyPlus*, pois inclui todas as potencialidades requeridas para este trabalho, tem um grande suporte bibliográfico de apoio à sua utilização e a sua metodologia de cálculo encontra-se perfeitamente validada. Todavia, a principal limitação desta ferramenta prende-se com a dificuldade de introdução dos dados, uma vez que não dispõe de nenhuma interface gráfica para esse fim. Contudo, está preparado para comunicar com muitos programas de introdução de dados e de leitura/análise de resultados. Neste âmbito, foi utilizado o programa *DesignBuilder*, que pode ser usado como interface para simulação de desempenho energético de edifícios através da ferramenta *EnergyPlus* (DesignBuilder, 2016).

Neste trabalho a criação da geometria do edifício/Hotel foi realizada com o recurso ao *Google SketchUp 8* e posteriormente importada para o *DesignBuilder*, para aprimorar a construção do modelo do edifício, caraterizar a sua envolvente térmica, os seus sistemas energéticos, e realizar as simulações para a determinação dos consumos energéticos, quer para caraterização “fiel” das condições reais de funcionamento, quer para avaliação das diferentes estratégias de otimização a implementar no hotel.

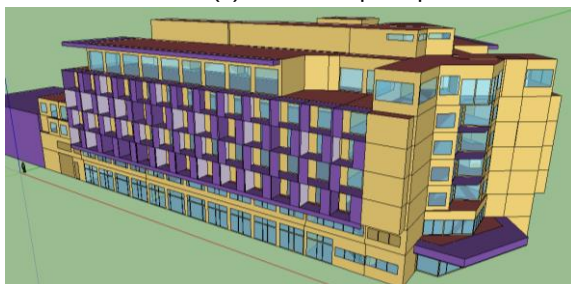
O modelo de simulação foi construído com base nas plantas, cortes e alçados existentes, constantes do projeto de arquitetura, e que refletem a realidade construída. Em complemento, quando necessário, as considerações adotadas foram suportadas nas evidências recolhidas em contexto da auditoria.



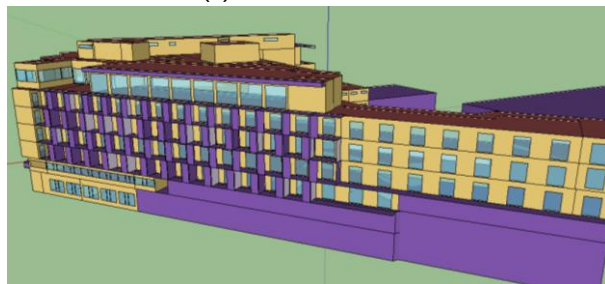
(a) Fachada principal



(b) Fachada a sudoeste



(c) Fachada a sudeste (Quartos Marina)



(d) Fachada a nordeste (Quartos Cidade)

Figura 110 – Vistas tridimensionais do modelo geométrico de simulação

Tal como referido anteriormente, esta simulação dinâmica detalhada teve como objetivo estabelecer um modelo matemático representativo das condições do funcionamento real do hotel e auxiliar a desagregação dos consumos mensais de energia por utilização final e por forma de energia. Posteriormente, este modelo é utilizado para, em condições reais de funcionamento com base na avaliação energética, calcular o Indicador de Eficiência Energética simulado (IEE_{sim}), bem como os indicadores de eficiência energética – IEE_{nZEB} .

No sentido de facilitar a análise técnica dos edifícios, quer a nível de simulação quer a nível da análise dos sistemas técnicos, existe necessidade de agrupar os diferentes espaços, criando o que se denomina por “zonamento” do edifício. O zonamento torna-se tão mais fácil de definir quanto mais perto se seguir a disposição espacial da arquitetura. Esta facilidade na definição deverá ser confrontada com as dificuldades inerentes à introdução de um número crescente de zonas e ao esforço acrescido no tratamento de dados que lhe é proporcional. O zonamento deve permitir a caracterização de cada uma das zonas térmicas do edifício, tendo em consideração as características de ocupação dos espaços, a orientação dos mesmos, os sistemas técnicos instalados, entre outros. Assim, no modelo de simulação do estudo foram consideradas zonas térmicas tendo em conta os seguintes critérios: zonas climatizadas, zonas não climatizadas, sistemas de climatização, exposição solar, cargas internas, perfis de utilização e controlo. Na figura 111 visualiza-se um exemplo do zonamento do modelo de simulação do hotel para o piso 2.

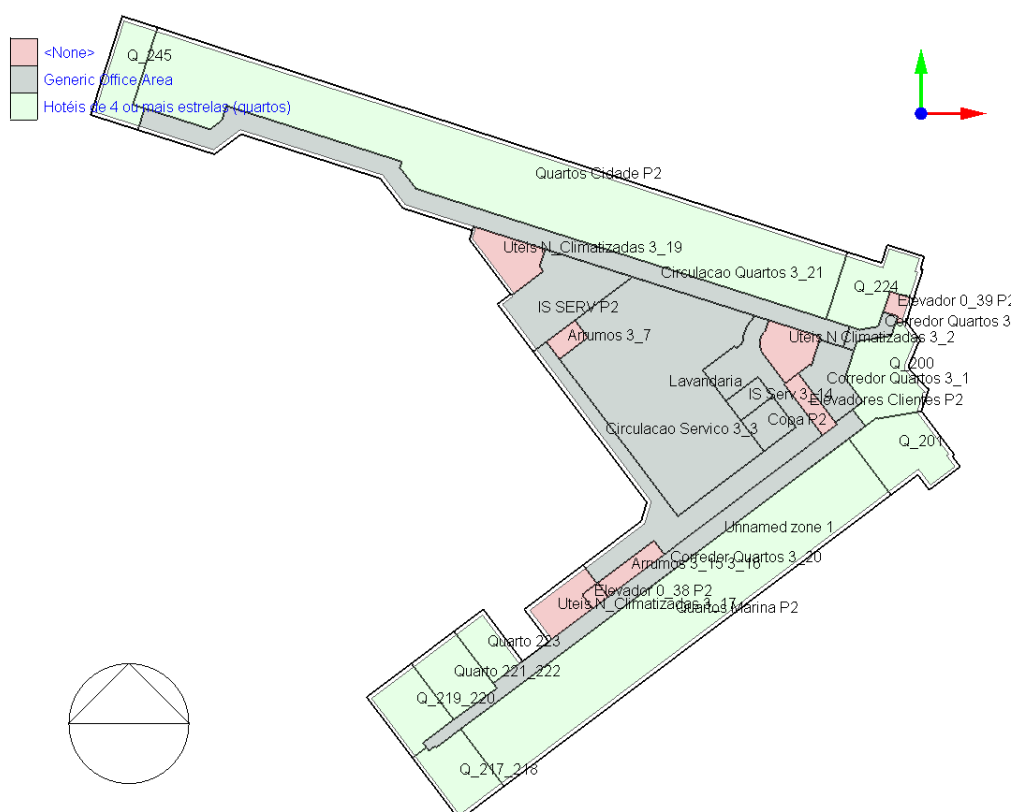


Figura 111 – Exemplo de zonamento do modelo de simulação do piso 2

No modelo de simulação foram utilizados todos os elementos relativos às condições reais de funcionamento do hotel, nomeadamente densidades e perfis de utilização de ocupação, equipamentos, iluminação e *set-points* de temperatura de operação do sistema de climatização obtidos no processo de auditoria, a partir da observação e da monitorização dos quadros elétricos (vd. Anexo F). As temperaturas interiores consideradas para aquecimento e

arrefecimento ambiente (T_{cf}) foram de 22°C e 24°C respetivamente (condições de conforto obtidas em contexto da auditoria).

A contabilização do caudal de ar insuflado diretamente nos espaços teve como base os caudais de ar novo efetivo insuflado pelas unidades de tratamento de ar/ar novo para ocupação, que constam do Anexo C. O período de funcionamento dos sistemas de climatização considerado na simulação corresponde ao período de ocupação do edifício. No modelo de simulação, de acordo com o funcionamento real do edifício, considerou-se que a central térmica de arrefecimento e respetivo grupo de bombagem se encontram desligados nos meses de janeiro a março e novembro a dezembro. O ficheiro climático utilizado no modelo de simulação corresponde integralmente aos dados climáticos disponibilizados pelo LNEG, através da importação do ficheiro no formato “*.epw” (*EnergyPlus Weather*) para o programa de simulação.

No modelo de simulação foi feita a análise dos consumos mensais e anuais por forma de energia e a desagregação dos mesmos por utilização final. Na tabela 23 e figuras 112 e 113 é possível visualizar o resumo dos resultados (anuais e mensais) que incluem a estrutura desses consumos estimados para o cenário base – hotel – em condições reais de utilização. Denota-se, em concordância com o subcapítulo 6.7.1, que o hotel consome tipicamente, em termos de energia final, 1 151 MWh de eletricidade (62%) e 701 MWh de gás natural (38%), sendo o seu consumo total repartido conforme a tabela 23. Estes consumos obtidos através de simulação energética são evidenciados no Anexo F através dos “*Outputs*” do programa de simulação utilizado.

Tabela 23 – Resultados da simulação base (ano tipo): desagregação dos consumos de energia final e energia primária, por utilização e fonte

Consumo anual de energia (por tipo de uso)	Energia Final [kWh/ano]			Energia Primária	
	Eletricidade	Gás Natural	[%]	[kWh _{EP} /ano]	[%]
Aquecimento	826	166 201	9%	168 265	5%
Arrefecimento	160 544		9%	401 359	11%
Águas Quentes Sanitárias	-	297 535	16%	297 535	8%
Bombas	67 429	-	4%	168 572	5%
Ventilação	175 282	-	9%	438 205	12%
Iluminação	172 427	-	9%	431 068	12%
Outros Equipamentos	219 936	-	12%	549 840	15%
Cozinha	190 866	237 191	23%	714 355	20%
Lavandaria	163 221	-	9%	408 052	11%
Total	1 150 530	700 927	100%	3 577 251	100%

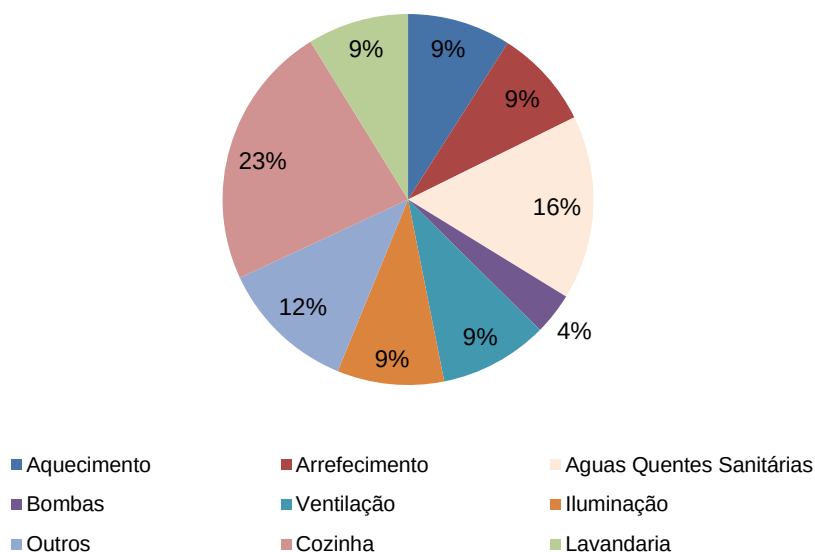


Figura 112 – Desagregação percentual por utilização, do consumo de energia final, no hotel do ano tipo (simulada)

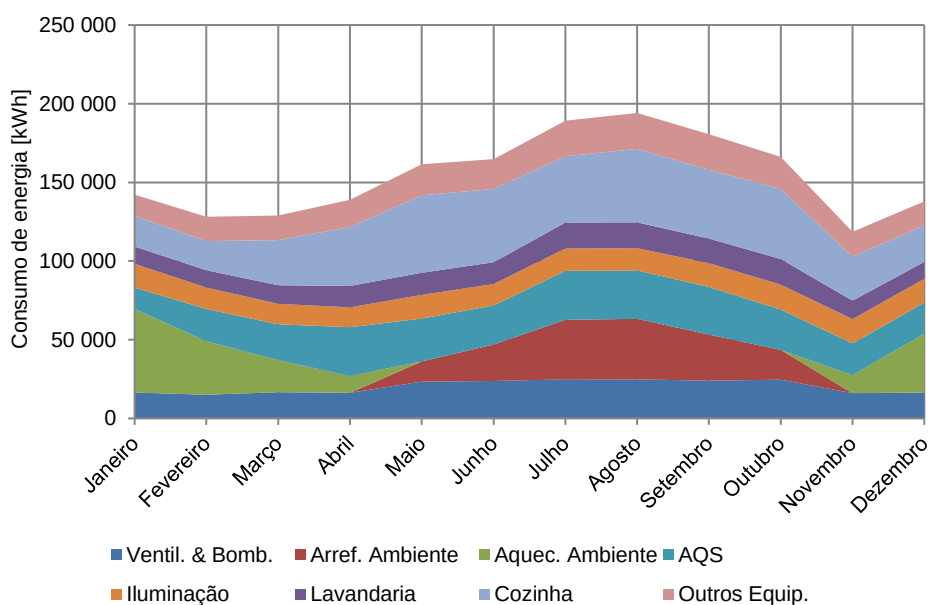


Figura 113 – Utilização mensal de energia final no hotel do ano tipo (simulada)

Em termos globais, a importância da climatização e preparação de água quente sanitária (com 47%) é notória, representando 35% do consumo elétrico e 66% do consumo de gás natural. De destacar os equipamentos associados às zonas de serviço facultadas pelo estabelecimento hoteleiro, em particular a cozinha (23%), que se apresenta como o maior consumidor energético pela perspetiva individual. O consumo de “outros” (12%) deve-se, essencialmente, ao peso de equipamentos de escritórios, quartos e aos equipamentos de elevação. O restante consumo reparte-se pelas parcelas afetas à iluminação (9%) e ao serviço de lavandaria (9%).

Torna-se evidente que a prioridade de ação na otimização do desempenho energético deve centrar-se neste consumo combinado – climatização e preparação de água quente sanitária (AQS). Todavia, a utilização de energia para satisfazer o exercício das funções – aquecimento e arrefecimento ambiente, ventilação e bombagem, AQS, iluminação e equipamentos de

elevação – associadas às áreas funcionais típicas de um estabelecimento hoteleiro, nomeadamente zonas-de-estar dos clientes (quartos, restaurante, bar, receção, entre outras zonas comuns públicas) e zonas de serviço associadas a escritórios e a outros serviços de apoio (a clientes e funcionários) apresentam – entre o setor – um comportamento padronizado em termos de condições interiores a garantir. Além do mais, importa realçar que, para o exercício do conjunto daquelas funções, existe um gasto energético de 57% do consumo global do hotel em análise. Estes consumos são designados como regulados e serão referenciados neste estudo por consumos de energia para satisfazer os usos do tipo “R”. Por outro lado, todos os restantes consumos, como sejam: sistemas de bombagem e ventilação pontual, iluminação dedicada com utilização pontual, sistemas de frio ou outro tipo de equipamentos e, ainda, os dedicados à produção, em especial produção de refeições e lavagem de loiça (cozinha) e produção de roupa lavada e engomaria (lavandaria), entre outros, são denominados por não regulados e serão referenciados por consumos de energia para satisfazer os usos do tipo “NR”. Embora o enfoque do estudo se centre nos consumos energéticos regulados e, em particular, na satisfação eficiente do exercício das funções dedicadas ao AVAC (que agrupa o aquecimento, o arrefecimento, a ventilação e a bombagem) e AQS, pela análise dos resultados das figuras 112 e 113 é evidente que não se podem descuidar os 32% da energia final, afeta à utilização de energia não regulada das zonas de serviço: cozinha e lavandaria.

6.8.1 Calibração do modelo de simulação

A caracterização energética seguinte resulta da simulação dinâmica construída para o contexto real do hotel, ajustada com a análise das faturas e dos consumos medidos, assim como de diversas informações recolhidas ao longo da auditoria sobre o funcionamento do edifício – hotel. As figuras 114 e 115 demonstram o bom ajustamento do consumo elétrico e do consumo de gás natural mensal e anual, obtido a partir da simulação dinâmica, em relação aos valores médios resultantes das faturas dos fornecedores de energia (eletricidade e gás natural) durante o período de 2013 a 2015.

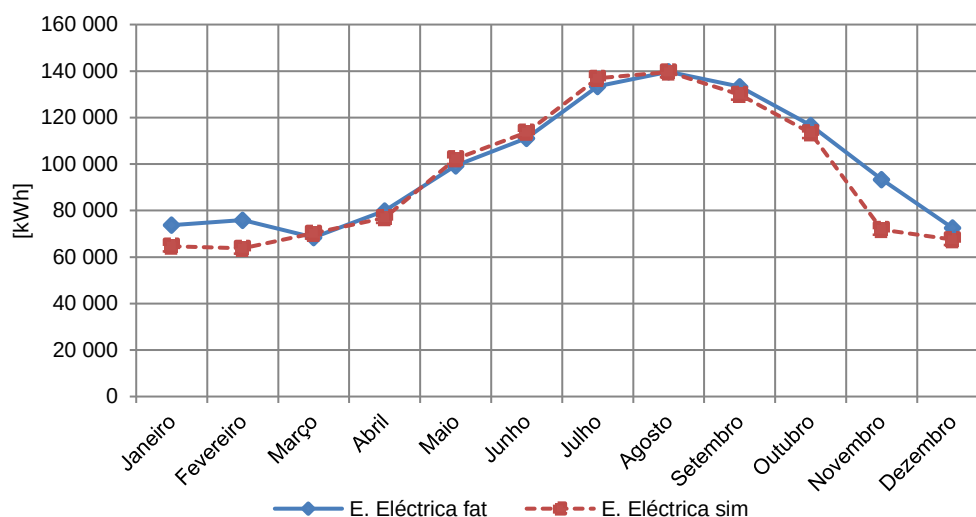


Figura 114 – Consumo de energia elétrica: simulado vs. faturado

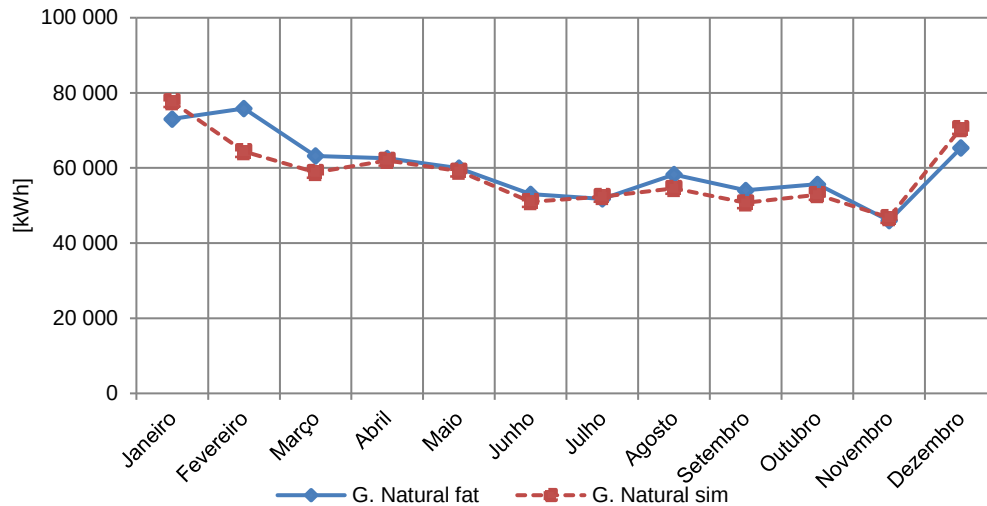


Figura 115 – Consumo de gás natural: simulado vs. faturado

Como critério de avaliação da calibração do modelo, recorreu-se aos índices estatísticos explicados no subcapítulo 6.7.1 – coeficiente de determinação, equação 6.5 e coeficiente de variação ($CV(s)$), equação 6.7 –, com uma única diferença nesta última expressão, porque neste caso p , o n.º de parâmetros do modelo, toma o valor nulo. Por sua vez, o erro percentual médio normalizado ($\overline{ep}_n$), traduzido pela equação 6.6, é substituído pelo erro percentual (ep), que representa o quociente entre o erro absoluto – diferença entre o consumo de energia (por fonte) faturado ($E_{obs,i,t}$) e o simulado ($E_{sim,i,t}$) no período t – e valor observado da grandeza ($E_{obs,i,t}$), de acordo com a seguinte expressão:

$$ep = \frac{\sum_{t=1}^{n_p} (E_{obs,i,t} - E_{sim,i,t})}{\sum_{t=1}^{n_p} (E_{obs,i,t})} \quad (6.12)$$

Os critérios de validação da calibração seguiram as recomendações anteriormente referidas, nomeadamente as sugeridas na *ASHRAE Guideline 14* (2002) (base temporal mensal – $ep \pm 5\%$ e $CV(s) \leq 15\%$) e por Sonderegger (1998) ($R^2 \geq 0,75$), que se encontram indicados na tabela 24, juntamente com os resultados da avaliação da qualidade do ajuste. Assim, naquela tabela observa-se que os índices considerados relevantes para a aferição se enquadram nas gamas de aceitação estabelecidas, demonstrando a convergência satisfatória entre o modelo e a média do histórico de consumos, e evidenciando o nível de confiança – elevado – que se pode depositar no modelo construído.

Tabela 24 – Critérios de avaliação da calibração do modelo de simulação

Critério (base temporal mensal)	$-5\% \leq ep \leq +5\%$	$CV(s) \leq 15\%$	$R^2 \geq 0,75$
Eletricidade	3,9%	8,1%	0,95
Gás Natural	2,5%	7,4%	0,77

Em complemento, como procedimento de “boas práticas” considera-se que um modelo de simulação bem calibrado deve igualmente prever consumos para as principais utilizações finais (de iluminação, equipamentos, aquecimento e arrefecimento) com uma margem de erro igual ou inferior a 5% em relação aos consumos reais. Analisando as medições efetuadas, históricos de consumos, e após trabalhar exaustivamente os dados obtidos, foi efetuada uma desagregação dos consumos do hotel por utilizador final e por fonte de energia. Na tabela 25 é possível comparar os resultados da estrutura de consumos obtidos pela simulação com as medições efetuadas, ajustadas com as faturas e através dos procedimentos referentes aos formalismos matemáticos utilizados (vd. 6.7.1). Em termos globais pode concluir-se em concordância com as tabelas 22 e 23, que o modelo criado simula consistentemente, ou seja, de forma ajustada, a dinâmica comportamental do hotel para o período de referência.

Tabela 25 – Comparação dos consumos energéticos da auditoria e da simulação

Consumo [kWh/ano]	Eletricidade			Gás Natural		
	Auditoria	Simulação	ep [%]	Auditoria	Simulação	ep [%]
Aquecimento		826	-	168 790	166 201	2%
Arrefecimento		160 544	-	-	-	-
Bombas		67 429	-	-	-	-
Ventilação		175 282	-	-	-	-
AVAC TOTAL	410 445	404 080	2%	168790	166201	2%
Iluminação	150 303	157 501	-5%			
Equipamentos	524 031	551 949	-5%	244 402	237 191	3%
Águas Quentes Sanitárias	-	-	-	305 633	297 535	3%
Iluminação Exterior	15 099	14 926	1%	-	-	-
Elevadores	21 900	22 073	-1%	-	-	-

Importa agora explicar o contexto metodológico que serviu de base na avaliação do desempenho energético-ambiental do hotel, na forma de indicadores numéricos de energia final e energia primária. Assim, no que diz respeito às parcelas relativas aos usos (n) regulados (R), de aquecimento/arrefecimento ambiente e aquecimento de águas sanitárias, o cálculo foi realizado mediante a simulação dinâmica, através da informação da curva de eficiência do sistema de geração de energia térmica em função da carga, e de acordo com o 1.º termo da expressão 6.13.

No que respeita aos outros usos de energia do tipo regulado (R) (iluminação interior e exterior, bombagem e ventilação afeta aos sistemas de climatização e elevadores) e tipo não regulado (NR) (equipamentos elétricos e equipamentos gás natural alocados aos diversos espaços de clientes e serviços, incluindo cozinha e lavandaria), foram também obtidos diretamente da simulação dinâmica e traduzem-se pelas expressões 6.13 (2.º termo) e 6.14, respetivamente.

$$E_{R,i} = \left[\sum_{n=n_R} \left(\sum_k \frac{f_{n,k} \cdot Q_n}{\eta_{n,k}} + \sum_k f_{n,k} \cdot y_{n,k} \right) \right]_i \quad (6.13)$$

$$E_{NR,i} = \left[\sum_{n=n_{NR}} \left(\sum_k f_{n,k} \cdot y_{n,k} \right) \right]_i \quad (6.14)$$

em que:

$E_{R,i}$	Consumo de energia por fonte i para os usos do tipo R ($E_{R,i}$), [kWh/ano]
$E_{NR,i}$	Consumo de energia por fonte i para os usos do tipo NR ($E_{NR,i}$), [kWh/ano]
Q_n	Necessidades de energia para o uso n , [kWh/ano]. Note-se que para as necessidades de energia dedicadas à preparação de AQS: $Q_n = Q_a$ de acordo com a expressão 6.10.
$y_{n,k}$	Consumo de energia do equipamento/sistema k para o uso n
$f_{n,k}$	Fração das necessidades (ou consumo) de energia para o uso n , suprimidas pelo sistema k
$\eta_{n,k}$	Eficiência do sistema k , servindo o uso n
i	Fonte de energia, incluindo as de origem renovável

De acordo com o formalismo matemático anteriormente explicitado, o estabelecimento do Indicador de Eficiência Energética simulado (IEE_{sim}), que traduz o consumo anual (global) de energia do hotel obtido por simulação, com base na localização do mesmo, nas características da envolvente, na eficiência dos sistemas técnicos e nos perfis reais de utilização, pode ser determinado através do somatório dos consumos anuais específicos de energia primária, relacionados com os vários usos, regulados e não regulados, deduzidos de eventuais contribuições locais de fontes de energia renovável (note-se que no cenário base não existe energia produzida via fonte renovável). A energia específica total consumida (IEE_{sim}) é, então, dada por:

$$IEE_{sim} = IEE_R + IEE_{NR} - IEE_{REN} \quad (6.15)$$

onde:

IEE_R	Consumo anual de energia primária regulado, $\left[\frac{kWh_{EP}}{m^2 \text{ ano}} \right]$	$IEE_R = \frac{1}{A_p} \sum_i (E_{R,i} \cdot F_{p,i}) \quad (6.16)$
IEE_{NR}	Consumo anual de energia primária não regulado $\left[\frac{kWh_{EP}}{m^2 \text{ ano}} \right]$	$IEE_{NR} = \frac{1}{A_p} \sum_i (E_{NR,i} \cdot F_{p,i}) \quad (6.17)$
IEE_{REN}	Produção de energia elétrica e térmica de fontes renováveis e destinada ao autoconsumo, $\left[\frac{kWh_{EP}}{m^2 \text{ ano}} \right]$	$IEE_{REN} = \frac{1}{A_p} \sum_i (E_{REN,i} \cdot F_{p,i}) \quad (6.18)$

em que:

A_p	Área total de pavimento do edifício, [m^2]
E_i	Consumo de energia por fonte i para os usos do tipo R ($E_{R,i}$), ou tipo NR ($E_{NR,i}$) e produção de energia elétrica e/ou térmica por fonte renovável i , destinada ao edifício ($E_{REN,i}$), expresso em [kWh/ano]
$F_{p,i}$ ³²	Fator de conversão de energia final para energia primária, por fonte de energia i , que traduz o rendimento global do sistema de conversão e transporte de energia, $\left[\frac{kWh_{EP}}{kWh} \right]$

³² Fatores de conversão entre energia final e primária para eletricidade de origem renovável, $F_{p,i} = 2,5$ kWh_{EP}/kWh_{el}. No caso de energia térmica de origem renovável, o fator $F_{p,i}$ toma o valor 1 kWh_{EP}/kWh_{térmica} (Despacho 15793-D, 2013).

Neste contexto, apresenta-se na tabela 26 um quadro resumo comparativo dos principais indicadores de desempenho do hotel, com base no seu funcionamento real – cenário base simulado versus cenário base auditado. Adicionalmente, também é possível visualizar as utilizações finais (específicas, tipo **R**) obtidas através da simulação dinâmica detalhada vs. auditoria.

Tabela 26 – Principais indicadores de desempenho (globais) do hotel

Indicadores de Desempenho - Hotel	Real	Simulado
Consumo anual de Energia primária [kWh _{EP} /m ²]	414,16	399,50
Consumo anual de Energia final [kWh/m ²]	213,60	206,76
Consumo anual de Energia primária [kWh _{EP} /PAX]	114,06	110,03
Eletricidade [kWh/PAX]	36,82	35,39
Gás Natural [kWh/PAX]	22,00	21,56
Água [l/PAX]	458	-
Utilizações reguladas [kWh/m ²]		
Aquecimento	64,31	18,65
Arrefecimento		17,93
Ventilação e Bombagem		27,11
Águas Quentes Sanitárias	34,13	33,23
Iluminação	18,47	19,26
Outros R	2,45	2,47
Indicadores Económicos		
Custo anual de energia elétrica [€/PAX]	3,90 €	3,74
Custo anual de gás natural [€/PAX]	1,12 €	1,10
Custo energético global [€/PAX]	5,02 €	-
Custo de água [€/PAX]	2,78 €	-

Importa ainda descrever a metodologia estabelecida para o balanço energético próximo de nulo (nZEB), em termos de indicadores numéricos de energia primária, para o parque hoteleiro existente, com especial enfoque no setor de 4 e 5 estrelas, em contexto de reabilitação – beneficiação ou recuperação –, e que foram utilizados no âmbito deste trabalho. A abordagem utilizada é, em certa medida, concordante com as recomendações nacionais e europeias relativas ao desempenho energético dos edifícios e traduz-se pelo indicador de eficiência energética – IEE_{nZEB} –, que pode funcionar como um instrumento de medida na execução do compromisso da definição nZEB, tendo como ponto de partida o desempenho energético regulado do cenário base do edifício (hotel) em avaliação, obtido dos consumos energéticos resultantes da calibração do modelo de simulação, utilizando os dados e informação conseguidos na auditoria energética, tendo por base os elementos que respeitam as condições reais de funcionamento (ocupação, sistemas de climatização, ventilação, equipamentos, iluminação e *set-points* de temperatura). Ora este índice é determinado apenas pela soma dos consumos de energia destinados aos usos do tipo “R”, isto é, as utilizações com comportamento padronizado entre o setor hoteleiro e que permitem a satisfação das funções de conforto e bem-estar das diferentes áreas funcionais de serviço e clientes do hotel,

deduzidos das contribuições de energia produzida localmente para autoconsumo, proveniente de fontes de origem totalmente renovável.

Assim, o balanço de energia para a determinação dos níveis nZEB (IEE_{nZEB}), resulta do balanço global entre a energia consumida regulada (R) por fonte de energia ($E_{R,i}$) e a energia (elétrica e/ou térmica) produzida no local, por fonte renovável ($E_{REN,i}$) e para consumo, entretanto convertidas para energia primária ($F_{p,i}$) por unidade de área total de pavimento (A_p). A cada vetor energético i , incluindo os de origem renovável, está associado um sistema k , com uma eficiência $\eta_{n,k}$, para satisfazer, total ou parcialmente ($f_{n,k}$), a procura expressa por energia útil (Q_n), isto é, a energia necessária para os diferentes usos n , neste caso: aquecimento/arrefecimento ambiente e preparação de águas quentes sanitárias e, incluindo, naturalmente, o sistema de iluminação, sistema de ventilação/bombagem e equipamentos de elevação, aqui designados por $y_{n,k}$.

Deste modo, a quantificação numérica para o desempenho energético nZEB dos hotéis existentes de 4 e 5 estrelas, em contexto de reabilitação, é obtida adaptando a equação 6.15 conforme a seguinte expressão geral:

$$IEE_{nZEB} = \frac{1}{A_p} \sum_i \left[F_{p,i} \cdot \sum_{n=n_R} \left(\sum_k \frac{f_{n,k} \cdot Q_n}{\eta_{n,k}} + \sum_k f_{n,k} \cdot y_{n,k} \right) \right] - \frac{1}{A_p} \sum_i (E_{REN,i} \cdot F_{p,i}) \quad (6.19)$$

6.9 Otimização de soluções isoladas e integradas

A reabilitação térmica e energética dos edifícios surge como uma das vias mais promissoras sempre que os edifícios ou as suas partes constituintes (espaços, elementos de construção ou instalações) se mostrem inadequados para o completo desempenho das funções para o qual foram concebidos ou que deles passam a ser exigidas em face da evolução das condições de utilização, dos padrões de qualidade considerados satisfatórios, salubridade, conforto e funcionalidade.

Cabe assinalar que neste trabalho o termo “reabilitação” é sinónimo de beneficiação, cobrindo ações ou operações que visem garantir ao hotel uma qualidade superior à que possuía aquando da sua construção, e que, além de conduzirem à redução do consumo de energia e respetiva fatura pelo aumento da eficiência, devem ter reflexos colaterais bastante benéficos na melhoria das condições de conforto dos seus utilizadores. Em termos de consumo energético, fatores como o desafio que representa o aumento da competitividade, a importância da redução de custos e a crescente sensibilização para os problemas ambientais, combinaram-se para criar condições favoráveis à otimização dos recursos energéticos e à introdução de tecnologias utilizadoras de energias renováveis. A importância da utilização eficiente e racional das várias formas de energia é ainda reforçada pelo facto de os custos energéticos representarem um peso expressivo no custo global de exploração da unidade hoteleira (em estudo), onde a realização de ações que visem economias de energia e o aumento do desempenho do hotel e da sua instalação é sempre oportuna³³. Perante um cenário compatível com a realidade existente do parque hoteleiro, em particular o de 4 e 5 estrelas, criou-se assim

³³ Note-se que os termos “energia” e “economias de energia” representam os usos de energia e de água. Embora haja diferenças entre ações para eficiência energética e ações para eficiência de água, elas têm muitos atributos comuns e frequentemente fazem parte do mesmo projeto.

uma oportunidade, e em certa medida um desafio, para dotar o imóvel de níveis de desempenho energético superiores e avaliar a sua compatibilidade com o objetivo nZEB no âmbito da reabilitação.

Neste subcapítulo, pretendem realizar-se estudos paramétricos no cenário base, através dos dois eixos de atuação – eficiência energética/produção local de energia, de forma a identificar soluções devidamente estruturadas que visem o aumento do desempenho energético-ambiental do hotel, em contexto de reabilitação, compatível com o objetivo nZEB. Do lado da procura de energia, os estudos têm incidência na otimização da envolvente, na redução das cargas internas e na eficiência dos sistemas energéticos. Do lado da oferta, no aumento da utilização de energia renovável, através da implementação de sistemas de produção local de energia renovável (térmica e elétrica) para autoconsumo. Posteriormente, é avaliado o impacto da alteração climática no desempenho energético da unidade hoteleira, no cenário base e nas análises paramétricas influentes, usando para o efeito dados climáticos de duas localizações geográficas distintas (Mediterrâneo – Atenas – e Europa Central e Ocidental – Londres).

A figura 116 esquematiza a estratégia de ação para eficiência energética (devidamente decomposta) utilizada neste trabalho. Realça-se que as ações de otimização assinaladas a negrito são as que foram avaliadas para respetiva implementação.

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente:
avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

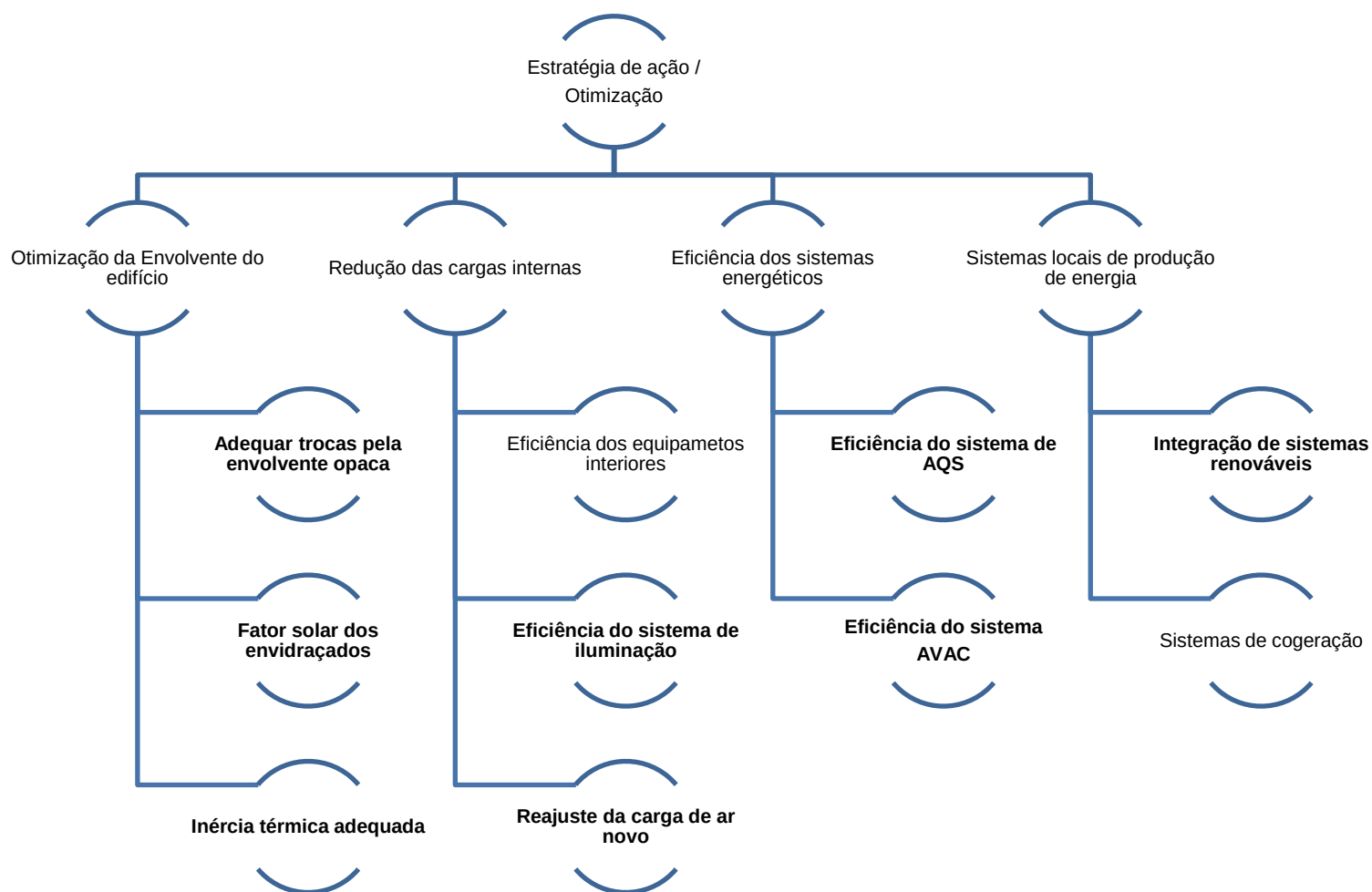


Figura 116 – Diagrama geral de ação para implementação das medidas de otimização

As estratégias de ação sob o chapéu das funções principais de otimização são representadas, neste trabalho, através das trocas pela envolvente (coeficiente de transmissão de calor, cuja variação aumentará ou reduzirá o fluxo de calor para o exterior e o controlo das infiltrações de ar); pela fração solar dos envidraçados, ou melhor o produto da área de envidraçados, com orientação relevante para a obtenção de ganhos solares, pelos respetivos fatores solares; pelo armazenamento de calor através dos materiais de construção; pela eficiência dos equipamentos interiores, que engloba todos os equipamentos (elétricos e gás); pela eficiência do sistema de iluminação; pelo caudal de ar novo, em particular aquele que é dependente do número de ocupantes; pela seleção das eficiências dos sistemas de aquecimento de águas quentes sanitárias (AQS) e do sistema AVAC; e finalmente os sistemas relativos à autoprodução de energia, especialmente os sistemas de painéis solares para aquecimento de águas sanitárias, sistemas fotovoltaicos e sistemas de cogeração.

Todavia, estas ações que têm em vista a economia de energia, não são independentes e normalmente estão fortemente relacionadas entre si. Um exemplo deste facto pode ser visível entre a otimização da envolvente e a redução das cargas internas: a definição dos envidraçados deve depender das necessidades de iluminação; no entanto, fluxos de energia elevada pelos envidraçados causam encadeamento. Ao serem reduzidos, implicam a alteração do sistema de iluminação em zonas internas do edifício, pelo que existe uma relação entre os ganhos solares e a carga de iluminação proveniente de um sistema de iluminação ativa. Assim, há uma interligação entre a definição dos envidraçados e o funcionamento de um sistema de iluminação ativa, cujos efeitos sinérgicos de otimização não são normalmente considerados num processo comum de reabilitação energética. Neste seguimento, deve salientar-se ainda que o sistema de águas quentes sanitárias (AQS) deve ser definido após ponderação sobre os sistemas locais de produção de energia e do AVAC, reforçando o interesse do esforço coletivo entre os setores de ação para eficiência energética.

Relativamente ao caudal de ar novo, é dependente da ocupação e interfere na qualidade do ar interior (incorporado na legislação nacional como requisito de QAI). Em contexto de reabilitação, deve ser prescrito um valor mínimo que garanta uma categoria de qualidade do ar, tendo em atenção que ao aumento do caudal de ar novo é associado o aumento do consumo de energia. Note-se que o caudal de ar novo pode ainda contribuir para a remoção da carga interna em situações de arrefecimento, quando a entalpia, ou temperatura do ar exterior, é inferior à do ar nas condições médias interiores.

Nesta concordância, é oportuno dar especial relevo à eficiência dos sistemas energéticos – em particular, à eficiência dos sistemas AVAC, ou sistemas para aquecimento, ventilação e ar condicionado, devido à sua influência na estrutura global de consumos (31%), não desconsiderando, contudo, o normal predomínio do consumo em AQS (águas quentes sanitárias) (16%) característico desta e de todas as unidades hoteleiras e, em particular, nas unidades hoteleiras existentes. Acresce ainda que neste caso concreto, existe a interligação dos sistemas, ou seja, as caldeiras existentes para aquecimento destinam-se a transferir o calor resultante da queima do combustível (gás natural) para o fluido (água quente) que é transportado, durante a estação fria, até aos sistemas de tratamento ambiente, e durante todo ano, para os depósitos de acumulação de água quente sanitária, por intermédio dos permutadores de placas, para satisfazer as necessidades de água quente sanitária.

Assim sendo, a estratégia de ação para eficiência dos sistemas AVAC pode ser decomposta em quatro subsectores: adequação das redes de distribuição de energia térmica (ET), recuperação de energia, eficiência dos equipamentos, e comando e controlo. Esclarecendo, a

saber: através da correta utilização do conjunto motor-ventilador nas UTAs/UTANs, fornecendo um caudal de ar novo devidamente ajustado às necessidades de cada espaço; pela necessidade de adequar os caudais de água por correta seleção dos grupos motor-bomba de caudal variável e a sua respetiva associação a válvulas de controlo do fluxo de água nas unidades/sistemas; através da recuperação de energia das unidades de condicionamento de ar, pelo uso dos respetivos módulos de recuperação de calor no ar de rejeição, considerando que o seu desempenho é um o balanço entre o benefício – a potência térmica recuperada – e o prejuízo – o aumento da potência elétrica da ventilação –, permitindo ainda o arrefecimento gratuito e recuperando o calor libertado para o exterior pelos grupos de geração (unidades de produção de água refrigerada (UPARs)/*chillers*, bombas de calor ou caldeiras). Neste caso, um efeito semelhante ao anterior surge quando se considera uma recuperação de calor no equipamento de geração (utilização de calor rejeitado nos circuitos de condensação dos *chillers*), que implica necessariamente um aumento de perda de carga e de consumo de energia associado. Caso os períodos de recuperação de calor sejam pequenos e o funcionamento dos sistemas de recuperação constante, a utilização de recuperadores pode ser contraproducente; através da seleção da eficiência dos equipamentos, utilizando em particular motores com eficiência *premium* – designada por IE3, segundo a norma IEC 60034-30 (IEC, 2014) –, e caldeiras e UPARs de elevada eficiência. Em particular, a UPAR deverá ter elevado rendimento em condições nominais (EER), mas também um elevado rendimento sazonal, para o que é comum utilizar-se o índice ESEER (índice de Eficiência Energética Sazonal Europeu). Em termos genéricos, deve funcionar com temperaturas de evaporação e de condensação tão próximas entre si quanto possível e ter controlo a cargas parciais. De igual modo, o sistema de aquecimento deve ter controlo de carga e apresentar elevado rendimento; através do melhoramento do comando e controlo, adequando os *set-points* de temperatura interiores para valores mais altos nos períodos de arrefecimento e para mais baixos nos períodos de aquecimento. Otimização dos *set-points* de temperaturas nos circuitos de distribuição de energia térmica (p.e., aquecimento a baixa temperatura e arrefecimento a alta temperatura). Em contrapartida, a seleção da eficiência dos geradores de calor depende das temperaturas dos circuitos de ar e água. Quanto mais elevada a temperatura da rede de água fria, melhor a eficiência da UPAR, mas maiores serão os caudais de água e de ar movimentados e maior a dimensão dos permutadores. Um efeito similar ocorre com a redução da temperatura do circuito de água quente. Este parâmetro de otimização (ajuste de temperatura dos circuitos de distribuição) interfere ainda na definição das temperaturas de funcionamento da UPAR (seleção da temperatura evaporado/condensador). Um efeito análogo ocorre pela dependência entre a escolha da eficiência da UPAR e a existência de recuperação naquela unidade – aproveitamento de forma útil do calor que é rejeitado pelo condensador. Porém, e ainda no mesmo subsector – comando e controlo –, a análise dos registos de monitorização dos consumos de energia em grandes edifícios existentes, permite muitas vezes constatar que os sistemas técnicos – AVAC, iluminação, equipamentos – operam fora dos horários que seria pressuposto operarem, a sua correção origina benefícios imediatos. Por último, é necessário otimizar a condução dos geradores de calor/frio. Por exemplo, determinadas UPARs têm eficiências muito elevadas a cargas parciais baixas, sendo preferível ter várias unidades em funcionamento a carga parcial do que uma única. Com efeito similar, a potência da caldeira não pode ser muito superior à potência necessária sob o risco de resposta errática daquele equipamento. Dado que as necessidades de aquecimento ao longo do ano se situam muito abaixo das necessidades nominais, é geralmente de interesse considerar a instalação de mais de uma caldeira, permitindo desta forma a repartição de potências.

Por outro lado, existem medidas de otimização que não estão decompostas no diagrama de ação para eficiência dos sistemas AVAC, mas que merecem o seu especial destaque. Neste contexto, interessa realçar a beneficiação da estanquicidade da rede de condutas existentes e acessórios (i.e., mangas flexíveis, uniões de condutas, sistemas de vedação, portas de inspeção das UTAs/UTANs, etc.) – é usual medir caudais de fuga elevados nos sistemas aeráulicos, por vezes a inspeção visual à rede permite identificar defeitos de estanquicidade, de fácil e imediata resolução –, a melhoria dos isolamentos das redes de transporte (tubagem e condutas) de fluidos, equipamentos e acessórios, que são dependentes da temperatura dos fluidos em circulação e da respetiva dimensão dos componentes – que, dada a sua extensão em algumas situações, pode, quando mal isolada e/ou mantida, competir em pé de igualdade com os componentes mais “nobres” da instalação técnica, nomeadamente equipamentos de conversão de energia e propulsão de fluidos – e, finalmente, a otimização das perdas de carga nas redes de água e de ar, é frequente encontrar redes de transporte de fluidos incorretamente balanceadas prejudicando a sua eficácia (capacidade de transportar os fluidos adequadamente) e a sua eficiência (distribuição dos fluidos térmicos com benefício energético e económico). A figura 117 mostra o diagrama de ação para implementação das medidas de otimização associadas à eficiência dos sistemas AVAC. De referir que as ações assinaladas a negrito são as que foram avaliadas para respetiva implementação.

Salienta-se, ainda, que todos os estes critérios e/ou estratégias de ação enumeradas sob o chapéu da eficiência energética dos sistemas AVAC, surgem nas normas europeias e na atual regulamentação nacional, pela respetiva transposição da diretiva para o Desempenho Energético dos Edifícios e suas constantes reformulações, previamente apresentadas ao longo deste trabalho. Além disso, estão alinhadas com a norma ASHRAE 90.1³⁴ (ASHRAE, 2007) relativa à eficiência energética em edifícios não residências e não industriais. Esta norma não é um regulamento, mas tem sido utilizada como um regulamento, ou como a base para a sua criação em diversos países.

³⁴ A ASHRAE 90.2 é a versão relativa a edifícios residenciais.

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente:
avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

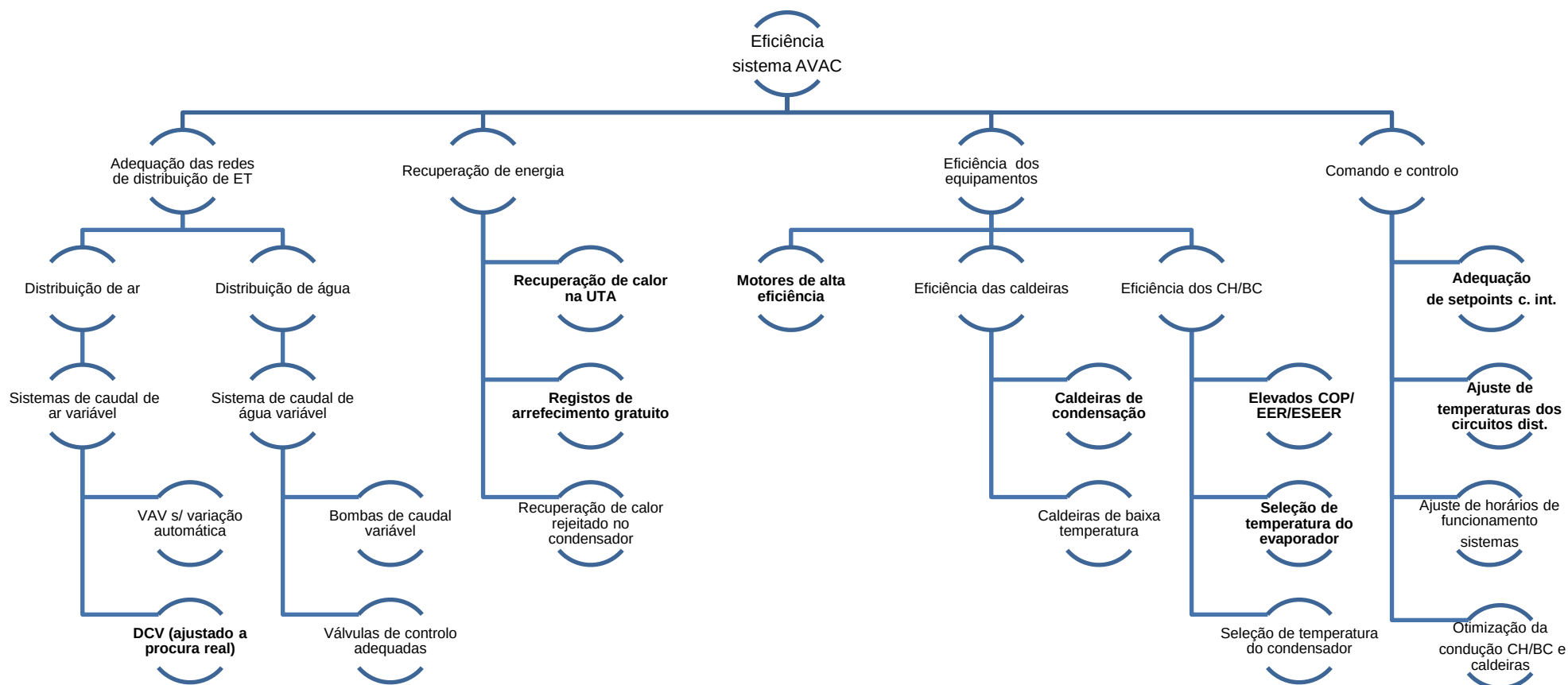
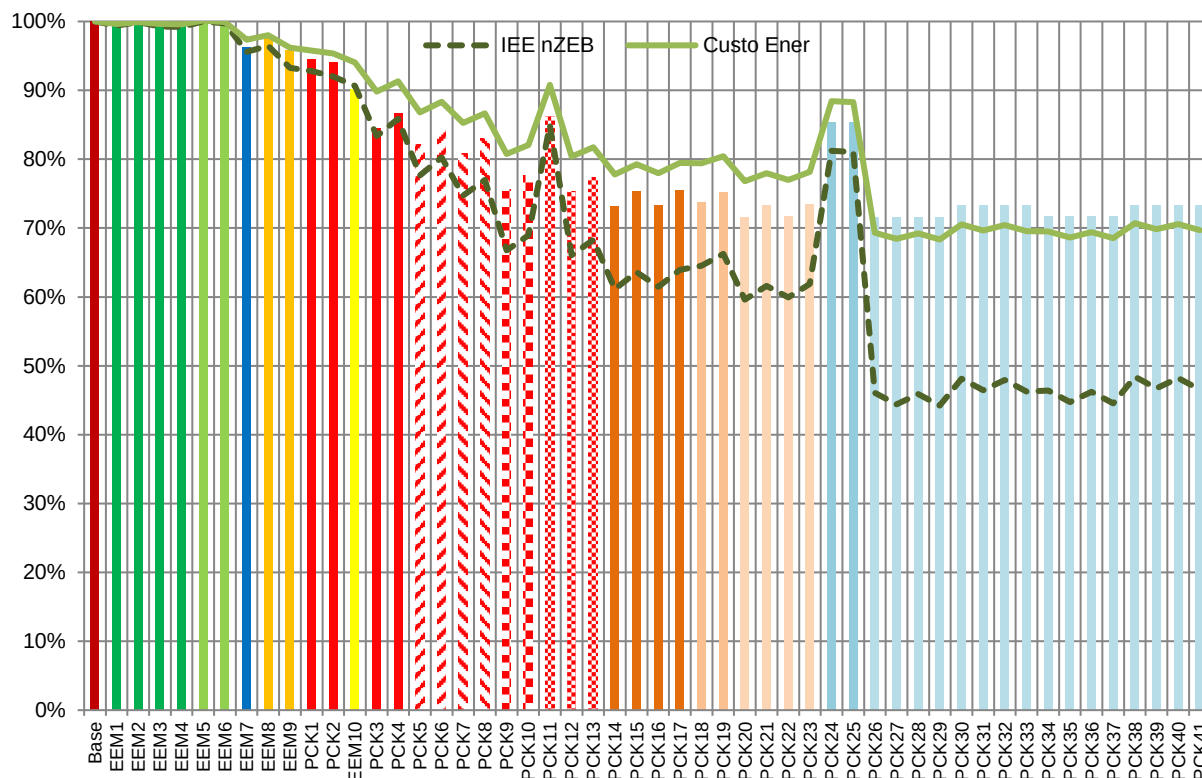


Figura 117 – Diagrama de ação para implementação das medidas de otimização para eficiência energética dos sistemas AVAC

Antes de passar ao detalhe do estudo das medidas de otimização, importa demonstrar o quadro geral do impacto de cada uma delas em termos de consumo global de energia e custo face ao cenário base. As medidas de melhoria estudadas são singulares e/ou combinadas simultaneamente, uma vez que trazem sinergias ao permitir reforçar o efeito de cada uma delas, tendo por outro lado em conta que, por vezes, só quando se adota uma determinada medida o efeito da outra é completamente assegurado; algumas seguiram na progressão de implementação, outras não. Dado que as medidas não são normalmente independentes, isto é, a implementação de uma medida afeta o cálculo do custo e do benefício de outras medidas, foi seguida uma prioridade de implementação, com especial ênfase no interesse económico, estabelecida a sua sequência e posteriormente realizado o cálculo do custo e do benefício de cada medida considerando o efeito das medidas já implementadas em fases anteriores. Na figura 118 visualiza-se o consumo, o custo global (regulado e não regulado) e o respetivo indicador de eficiência energética (IEE_{nZEB}) de cada análise parametrizada, na zona climática de referência (Faro), independentemente de terem progredido ou não ao longo do processo de análise. A partir da variante PCK13, o estudo incidiu nos equipamentos térmicos de geração de calor e/ou frio e nos sistemas de captação de energias renováveis. As cores representam medidas associadas aos diferentes setores de atuação. Salienta-se que deve ser dada prioridade à implementação de medidas que incidem sobre aspetos a montante do sistema de climatização, isto é, medidas cuja implementação provoca uma redução do consumo de energia no próprio setor, mas também, indiretamente, no sistema de climatização devido à redução da carga térmica (ganhos ou perdas de calor) que provocam.

De sublinhar ainda que no decurso deste trabalho e, em particular, deste capítulo, o foco é exclusivamente dedicado às oportunidades de otimização dos consumos regulados. No Anexo G apresenta-se a matriz com a descrição das medidas de otimização estudadas, bem como a sua afetação a cada análise parametrizada, singular ou combinada. Complementarmente, neste Anexo encontram-se também todos os cálculos que serviram de base à elaboração deste subcapítulo.



- Edifício base (zona climática - Faro) (1)
- Otimização da Envolvente: Substituição dos vãos envidraçados (2)
- Otimização da Envolvente: Reforço do isolamento térmico (pelo exterior) (3)
- Otimização da Envolvente: Dispositivos de admissão de ar autorreguláveis a 20 Pa (4)
- Eficiência dos sistemas energéticos - AVAC: Adequação dos set-points das condições interiores (5)
- Combinação simultânea de medidas (Otim. Env. + Red. Carg. Inter. + Eficiência dos S. energ.) (6)
- Eficiência dos sistemas energéticos - AQS (7)
- Combinação simultânea de medidas, com enfoque nos equipamentos térmicos (geração de frio) (8)
- Combinação simultânea de medidas, com enfoque nos equipamentos térmicos (geração de calor) (9)
- Combinação simultânea de medidas: com enfoque nos equipamentos térmicos (geração de frio e calor) (10)
- Combinação simultânea de medidas, com enfoque na produção local renovável (térmica) (11)
- Combinação simultânea de medidas, com enfoque na produção local renovável (térmica e elétrica) (12)

Figura 118 – Consumo e custo de energia do hotel base e de cada solução ou conjunto de soluções parametrizadas e IEE_{nZEB} , expressos em percentagem, face ao cenário base

6.9.1 Otimização da envolvente

— Envolvente não opaca: vãos envidraçados

Relativamente à envolvente não opaca (vãos envidraçados), avaliou-se o impacto da substituição dos vãos envidraçados existentes (vd. Anexo B.2) no comportamento térmico e energético do hotel. Foram analisados os seguintes vãos envidraçados em termos de qualidade térmica e controlo solar, a saber:

- EEM1: Vãos envidraçados com propriedades de baixa emissividade (*low-E*) e de controlo solar, nomeadamente, vãos simples de caixilharia em PVC de classe 4 no que se refere à permeabilidade ao ar, com vidro duplo (*low E-ES* 6 mm, lâmina 12 mm (ar), incolor 6 mm), fator solar ($g_{L,v}$) – 0,422 e coeficiente de transmissão térmica do vão (U_w) – 1,59 W/(m².°C);
- EEM2: Vãos envidraçados com propriedades de controlo solar (transmissão seletiva), nomeadamente, vãos simples de caixilharia em PVC, de classe 4 no que se refere à permeabilidade ao ar, com vidro duplo (colorido na massa 6 mm, lâmina 12 mm (ar), incolor 6 mm), fator solar ($g_{L,v}$) – 0,497 e coeficiente de transmissão térmica do vão (U_w) – 2,33 W/(m².°C);
- EEM3: Vãos envidraçados com propriedades de controlo solar, nomeadamente, vãos simples de caixilharia em PVC, de classe 4 no que se refere à permeabilidade ao ar, com vidro duplo (colorido na massa 6 mm, lâmina 12 mm (ar), incolor 6 mm), fator solar ($g_{L,v}$) – 0,35 e coeficiente de transmissão térmica do vão (U_w) – 2,35 W/(m².°C);
- EEM4: Vãos envidraçados com propriedades de baixa emissividade (*Low-E*) e de controlo solar, nomeadamente, vãos simples de caixilharia em PVC, de classe 4 no que se refere à permeabilidade ao ar, com vidro duplo (*low E-ES* 6 mm, lâmina 12 mm (ar), incolor 6 mm), fator solar ($g_{L,v}$) – 0,35 e coeficiente de transmissão térmica do vão (U_w) – 1,50 W/(m².°C).

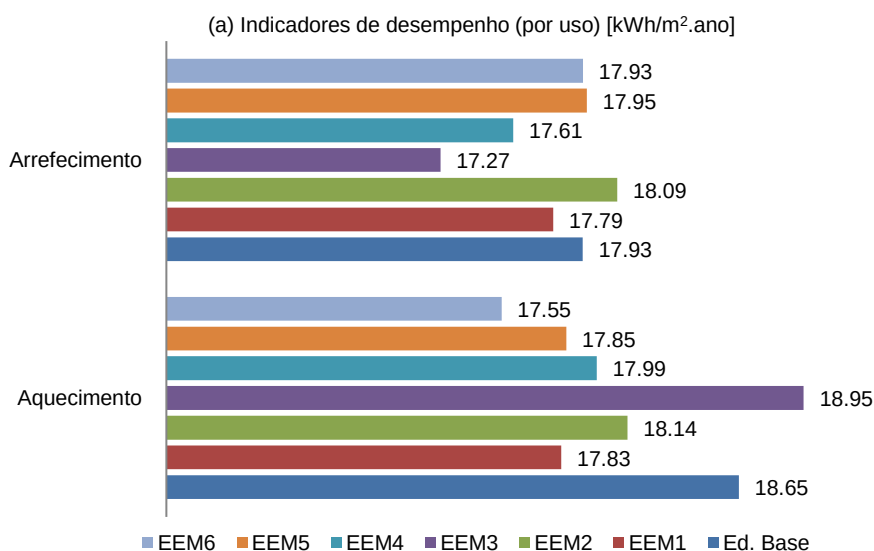
Em termos de economia de energia global, a reabilitação térmica dos vãos envidraçados através das medidas (singulares) anteriormente referidas não é expressiva face ao cenário base real simulado, os resultados variam entre 0,5% (EEM1 e EEM4) a 0,2% (EEM2 e EEM3). Ainda assim, de destacar o melhor comportamento dos envidraçados de dupla função. As características de baixa emissividade reduzem as perdas de calor no inverno, ao passo que durante o período quente as propriedades de transmissão seletiva permitem a iluminação natural, mas bloqueiam uma parcela substancial da energia solar infravermelha. Acresce ainda que na estação fria, ou mais concretamente com o tempo frio, os vãos envidraçados podem originar situações de desconforto térmico nos ocupantes, devidas quer a correntes de ar frio causadas por infiltrações de ar não-controladas através das juntas da caixilharia, quer à radiação (fria) que emitem quando constituídos por caixilharia sem corte térmico. De qualquer modo, mesmo sem interesse económico e com economias de energia global inferiores a 1%, já existia em marcha um plano para a substituição faseada deste elemento da envolvente nas zonas dos quartos do hotel, mas visando essencialmente o respetivo conforto (isolamento) acústico.

— Envolvente opaca: paredes exteriores

No domínio da reabilitação térmica da envolvente opaca, por uma questão de demonstração do desempenho desta medida (singular) no comportamento térmico do imóvel, optou-se pela intervenção nos elementos verticais exteriores através de isolamento térmico a aplicar pelo exterior. A proposta consiste na aplicação exterior, de forma contínua, de material isolante, constituído por placas de poliestireno expandido (EPS) com 20 kg/m³ (massa volúmica

aparente, ρ) e coeficiente de condutibilidade térmica (λ) de 0,04 W/(m.°C), fixado ao pano exterior da parede de fachada e finalizado pela armadura de proteção em fibra de vidro, sobre as placas de isolamento, sobre a qual é aplicado um revestimento plástico delgado como acabamento final. As espessuras consideradas para o sistema de isolamento térmico da fachada pelo exterior foram 40 mm e 60 mm, respetivamente, para as medidas de otimização designadas por EEM5 e EEM6. É de notar que o reforço do isolamento térmico pelo exterior, desde que não seja inviabilizado por condicionamentos arquitetónicos, constitui em geral a solução preferível face às vantagens que apresenta relativamente à solução oposta (isolamento pelo interior). Assim, como vantagens principais podem destacar-se o melhor partido da inércia térmica interior do elemento de construção e a ausência de descontinuidade na camada isolante, que garante a eliminação das zonas de ponte térmica plana e a respetiva redução das trocas de calor por condução através da envolvente vertical exterior. Em termos de cálculo, a redução da transferência de calor por transmissão através das paredes exteriores ($h_{tr,ext,v}$), proporcionada pelas medidas de melhoria em causa, é de 63% para EEM5 e 71% para a EEM6, face a um cenário inicial de 3941,96 W/°C. No entanto, e à semelhança do verificado nas oportunidades de melhoria EEM1 a EEM4 anteriormente comentadas, a redução das necessidades energéticas pela intervenção da envolvente opaca não tem impacto na redução efetiva dos consumos de energia para aquecimento e/ou arrefecimento ambiente.

Entretanto, na figura 119a pode visualizar-se a influência das variantes/tipos de medidas singulares analisadas face ao cenário base, através dos indicadores de desempenho associados às utilizações de arrefecimento e aquecimento ambiente. Em complemento, e para melhor visualização do impacto energético proporcionado por cada variante naqueles usos, na figura 119b é possível observar a reduzida influência de cada uma delas, expressa em percentagem, relativamente à situação inicial.



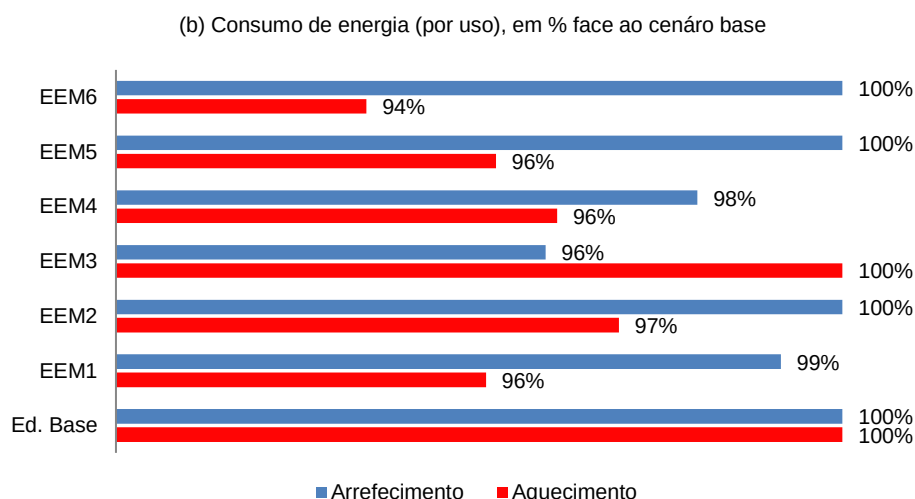


Figura 119 – EEM1 – EEM6: (a) indicadores de desempenho (arrefecimento e aquecimento) e (b) consumo de energia do hotel (arrefecimento e aquecimento), expressos em percentagem, face ao cenário base

Contudo, é oportuno referir que a reduzida ou total ausência de benefícios energéticos e económicos revelados pela intervenção na envolvente (opaca e não opaca) através daquelas oportunidades de melhoria eram previsíveis, na medida em que é um edifício dominado pelos ganhos internos, com menor exposição da envolvente térmica às condições exteriores e, portanto, com reduzida influência (da envolvente) no consumo global do hotel. Por outro lado, como se trata de um edifício de grandes dimensões, existe menor relação entre a área da envolvente (através da qual se processam as trocas de calor) e volume interior, logo reduzida importância da resistência térmica da envolvente no comportamento energético do edifício.

Cabe assinalar que a tipologia em questão – Unidade Hoteleira de 4 estrelas, essencialmente dedicada à prestação de serviços de suporte à realização de negócios diversos (áreas funcionais adequadas a este tipo de serviços) e à promoção do bem-estar (espaços complementares para relaxamento e tranquilidade, etc.), obriga a cuidados especiais na conservação da boa qualidade térmica da envolvente, para garantir os padrões de conforto (térmico, visual e acústico) exigidos pelos clientes. Salienta-se, ainda, que a recompensa passa pela capacidade do hotel aumentar o número de hóspedes (facilmente gerada pelas oportunidades anteriormente referidas) devido à manutenção do seu *living*, ou seja, ao seu estilo singular e à sua envolvência (interior) acolhedora que provoca uma “contaminação” positiva nos clientes. Este co-benefício aliado ao acolhimento e à competência (dimensão sócio organizacional) será certamente traduzido no aumento do valor de mercado da unidade hoteleira, pelo lado do aumento da receita líquida.

— Grelhas de admissão de ar autorreguláveis a 20 Pa (caudal nominal de 45 m³/h) a aplicar nas janelas dos quartos

Nos quartos, os ocupantes desenvolvem atividade do tipo sono, sendo apenas necessário um caudal mínimo de ar novo (por pessoa) de 16 m³/h (RECS, 2013b). Nas unidades de alojamento não existe exigência de caudal de ar novo para diluir a carga poluente do edifício.

Assim sendo, recomenda-se a alteração do sistema de ventilação (mecânica) dos quartos, que é garantido por unidades de tratamento de ar novo dedicadas e destinadas à insuflação de ar novo (termicamente tratado e filtrado) no retorno das unidades terminais (ventiloconvetores)

deste espaços, por um sistema de ventilação com admissão natural de ar – admissão natural no lado oposto do compartimento em relação ao ponto de extração –, através de aberturas autorreguláveis³⁵ para um diferencial de pressão de 20 Pa (45 m³/h) e com isolamento acústico, a instalar em cada quarto (a aplicar nas janelas).

Recorde-se que esta medida é concordante com o plano de ação do grupo de gestão do hotel, no que diz respeito à alteração da envolvente envidraçada. O benefício da redução da permeabilidade ao ar a introduzir pela alteração dos vãos envidraçados, assegurado pela caixilharia para evitar infiltrações não-controladas, é uma excelente oportunidade para garantir as condições adequadas de ventilação de modo natural. Esta estratégia, sem o recurso a equipamentos mecânicos para satisfazer as exigências de salubridade e caudais de ar novo mínimos, é uma solução adequada do ponto de vista da eficiência energética, pois assegura a renovação do ar de forma controlada e reduz substancialmente as necessidades de ventilação e climatização que são necessárias para a remoção da carga térmica do ar novo a insuflar pelas UTANs, estando intrinsecamente relacionada com o setor de ação – redução das cargas internas, através do reajuste carga de ar novo (com garantia de caudais de ar novo).

Contudo, deve ser assegurada a extração em contínuo de um caudal (unitário) de 45 m³/h, de ar viciado, nas instalações sanitárias dos quartos – mantendo as mesmas unidades de ventilação de extração afetas aos quartos, mas com a rede de condutas devidamente calibrada, de modo a garantir que os caudais de ar a extrair sejam os desejados em cada espaço. Em complemento, proceder à aplicação de grelhas de passagem de ar nas portas das instalações sanitárias, com seções efetivas compatíveis com os caudais de ar em circulação, para garantir uma eficiente movimentação do ar dos quartos para as instalações sanitárias. Neste caso, o caudal mínimo de ar novo é ditado pela necessidade de extração de ar da instalação sanitária, pois o caudal mínimo de ar novo necessário à diluição dos poluentes devidos aos ocupantes é de 40 m³/h (considerando-se uma eficácia de ventilação de 0,8).

Deste modo, foram consideradas 139 grelhas de admissão de ar a 20 Pa e com caudal nominal de 45 m³/h (6255 m³/h) a aplicar nas janelas, que a compatibilidade (em termos de caudal) das unidades de extração dedicadas aos quartos e a sua rede de extração de ar viciado específica, aliadas às (novas) comunicações de ar convenientemente dimensionadas (grelhas de passagem nas portas) entre o quarto e o compartimento de serviço (instalação sanitária), que permitem assegurar o escoamento dos caudais de ar novo necessários em condições de conforto térmico na generalidade da zona de ocupação e, salvaguardando o conforto acústico. Atendendo à boa vedação das portas dos quartos face às zonas dos corredores, considerou-se a circulação de ar entre estes dois espaços residual.

Pela preconização desta solução (EEM7), consegue-se uma otimização de 36% associada ao tratamento carga de ar térmica do ar novo nas UTANs e uma redução de 8% afeta ao consumo das secções de ventilação daquelas unidades, face ao cenário base real simulado (19,58 kWh/m²). Em termos globais, representa uma economia de energia expectável de 4% (70 MWh/ano) quando comparada com o cenário base, o que se traduz em cerca de 4 176 €/ano (custos específicos resultantes da auditoria, tabela 20). De salientar ainda, o interesse

³⁵ A versão autorregulável funciona sobre o princípio de variação da secção de passagem do ar em função da variação de pressão. As aberturas de admissão de ar autorreguláveis dos sistemas de ventilação mecânica são caracterizadas pelo seu caudal nominal (expresso em m³/h) para uma diferença de pressão de referência que se designa por módulo da abertura (M), nas quais o caudal de ar admitido se mantém aproximadamente constante para diferenças de pressão superiores à pressão de referência (usualmente 20 Pa).

económico na preconização desta solução pela sua redução da fatura, o seu baixo custo de aquisição, manutenção e facilidade de montagem.

Na figura 120 denota-se a evolução dos resultados das medidas singulares analisadas (EEM1 a EEM7) face ao cenário base simulado, através dos indicadores de desempenho dos consumos regulados, bem como a redução do indicador de eficiência energética (consumo regulado base – 218,92 kWh_{EP}/m².ano). Conforme anteriormente referido, o destaque centra-se exclusivamente na solução EEM7. É oportuno referir que o consumo específico de energia primária traduzido pelo IEE_R é o indicado pela equação 6.19, sem sistemas de captação de energia proveniente de fontes renováveis.

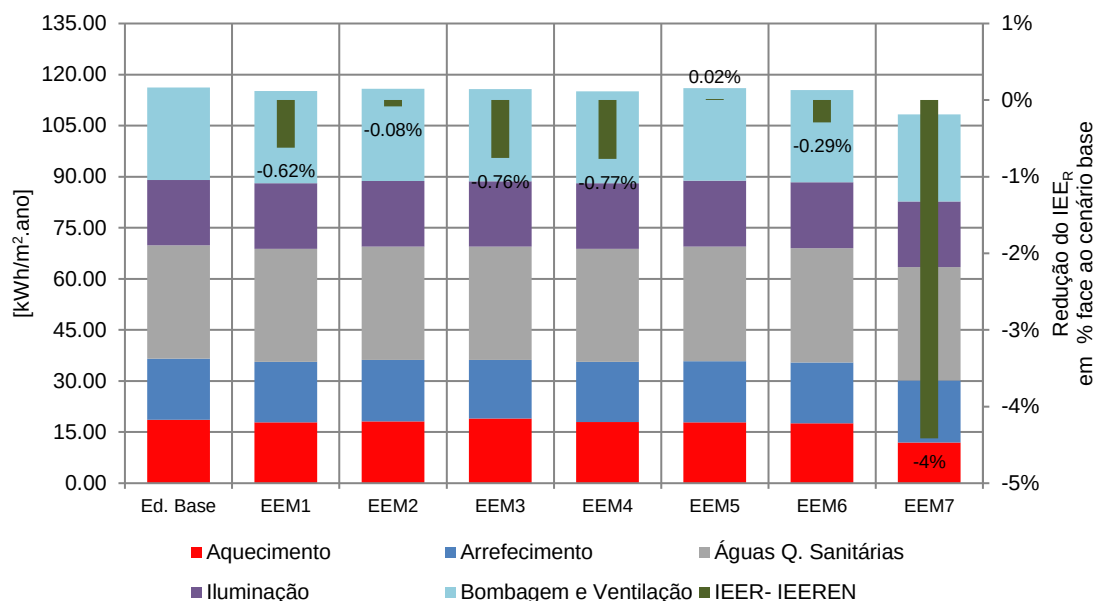


Figura 120 – Indicadores de desempenho (por uso) e IEE_R (regulado): EEM1 – EEM7

6.9.2 Eficiência dos sistemas de energia

— Adequação do *set-point* de temperatura interior dos sistemas de climatização

O hotel deve apresentar condições de conforto adaptadas aos diferentes espaços ocupados por clientes, visitantes e funcionários. Para um controlo adequado das condições ambientais interiores, é necessário que os termostatos estejam situados em locais representativos da zona de ocupação e afastados de paredes exteriores. Deste modo, promover o acesso local ao comando de controlo das condições de climatização nas unidades de alojamento (quartos), *lobby* e restaurante, com a possibilidade de ligar/desligar e controlo do *set-point* de temperatura, é uma forma prática e fácil de aumentar o desempenho energético, sem custos de operação/aquisição, promovendo a gestão do conforto térmico e permitindo satisfazer as condições de ambiente interior exigidas pelos clientes, através do uso eficiente e inteligente da energia.

De forma a otimizar os consumos de energia, tendo em conta as temperaturas de conforto recomendadas nas normas Europeias (EN 15251, 2007; ISO, 2005) e os elevados níveis de satisfação a manter pela unidade hoteleira, considera-se importante que a equipa de *housekeeping* assegure que os termostatos são regulados para temperaturas (T_{cf}) não inferiores a 25°C no verão e não superiores a 20°C no inverno, que as cortinas e dispositivos de proteção solar estão fechados nos períodos de arrefecimento e que são deixadas abertas nos quartos expostos no quadrante sul na estação de aquecimento. Deste modo, para avaliar o

efeito da temperatura interior na energia utilizada no hotel, considerou-se para o período de aquecimento a regulação do *set-point* para temperaturas interiores compreendidas entre 20°C e 21°C, e no caso da estação de arrefecimento para temperaturas entre 25°C e 26°C.

Os resultados demonstram que, no clima em causa, a diminuição de 1°C da temperatura do ar interior na estação de aquecimento, representa uma redução de 15% na utilização de energia dedicada ao aquecimento. Por outro lado, um aumento de 1°C na temperatura do ar interior durante a estação de arrefecimento representa uma redução de 10% na utilização da energia daquele uso (solução designada por EEM8 na figura 121). O benefício é ainda mais relevante se o ajuste das temperaturas interiores for de 20°C no inverno e de 26°C no período de verão, com economias de energia na ordem de 26% e 19%, respetivamente (solução designada por EEM9 na figura 121). Assim, torna-se fundamental a utilização de *set-points* adequados e moderados, com a possibilidade do seu reajuste para valores mais altos na estação de arrefecimento e para valores mais baixos na estação de aquecimento. Finalmente, a solução EEM8 – inverno, 21°C e verão, 25°C em vez de 22°C e 24°C – e a solução EEM9 – inverno, 20°C e verão, 26°C em vez de 22°C e 24°C –, representam, respetivamente, economias no consumo global de 2,3% (42,0 MWh) e 4,2% (78,44 MWh), fundamentalmente ao nível dos grupos de geração de energia térmica, e traduzem uma redução na fatura energética de 3 150 €/ano e 5 975 €/ano.

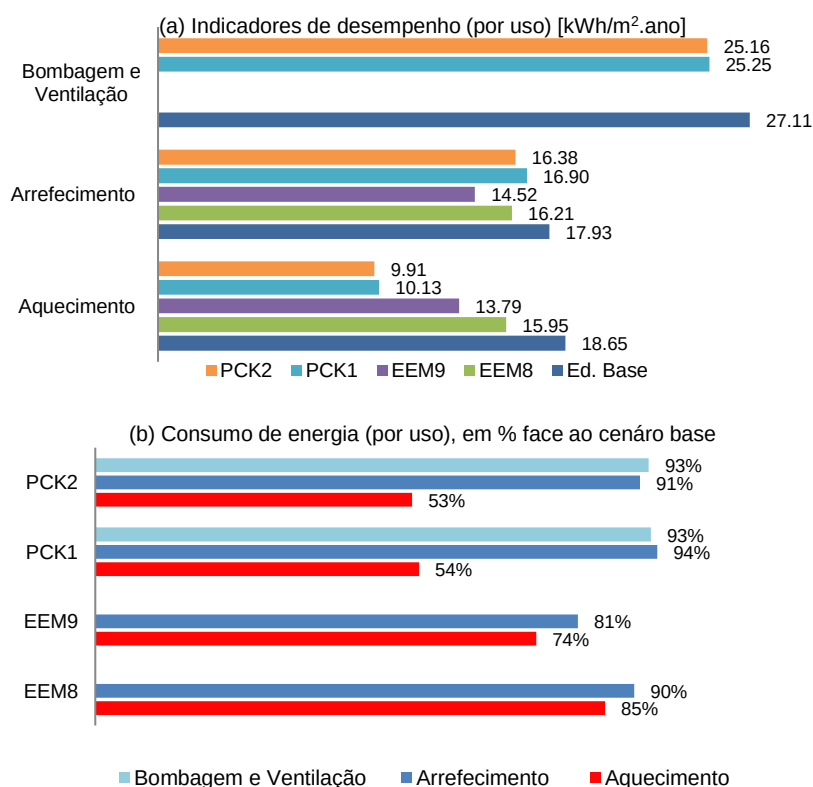


Figura 121 – EEM8 – PCK2: (a) indicadores de desempenho relevantes e (b) consumo de energia do hotel (relevante), expressos em percentagem, face ao cenário base

Deve ter-se entretanto em consideração nesta unidade hoteleira, em paralelo com a regulação adequada dos *set-points* de temperatura (T_{cf}) visando reduzir o desperdício de energia para climatização, a garantia do não funcionamento dos sistemas de climatização quando os quartos não se encontram ocupados, sendo relevante para esse efeito, potenciar a utilização das chaves eletrónicas destes locais, associando a utilização do sistema de corte de energia do cartão-chave (existente), para desligar as unidades terminais dos quartos não ocupados e inibir

assim o acesso do fluido térmico (ar e água) aos espaços climatizados, bem como operacionalizar – em pleno – o sistema de gestão técnica centralizada existente. Cabe ainda assinalar ao nível de determinados procedimentos para conservação da energia, que as janelas devem ser dotadas de sensores que desligam a climatização quando estas se encontram abertas.

Tendo por base o setor de ação relativo à eficiência dos sistemas energéticos – através do ajuste adequado dos *set-points* de temperatura interior (T_{cf}) para 20°C e 25°C, respetivamente nas estações de aquecimento (inverno) e de arrefecimento (verão) – e acrescentando a solução EEM7 – constituída pela admissão natural de ar através de grelhas autorreguláveis a 20 Pa e extração mecânica nas instalações sanitárias dos quartos (caudal nominal de 45 m³/h) –, constitui-se a combinação simultânea de soluções – designada por PCK1 (figura 121). Entretanto, essa variante/pacote de medidas foi combinada com a solução EEM4 – vãos envidraçados com revestimento de baixa emissividade e de controlo solar, nomeadamente, vãos simples de caixilharia em PVC, de classe 4 no que se refere à permeabilidade ao ar, com vidro duplo, fator solar ($g_{l,v}$) de 0,35 e coeficiente de transmissão térmica do vão (U_w) de 1,50 W/(m².°C) – formando a solução PCK2 (figura 121).

Estas duas variantes expressam-se favoravelmente em termos de desempenho energético, face às suas origens. Todavia, o custo-benefício traduzido no período de retorno do investimento (vd. subcapítulo 6.10) apenas predomina na primeira (PCK1), alavancada, em parte, pelo baixo custo de aquisição e facilidade de montagem da intervenção EEM7 e a ausência de custo da regulação adequada dos *set-points* de temperatura interior. Por sua vez, o reduzido “salto” energético relativamente à variante PCK1 e a ausência de interesse económico da variante PCK2, provocada pela intervenção através dos vãos envidraçados – medida que deve constar no plano de gestão de recursos de melhoria contínua do desempenho e surgir em ações de beneficiação –, incrementa conforto nas suas três dimensões (térmico, visual e acústico), que será traduzido no aumento do valor de mercado da unidade hoteleira, pelo lado da receita líquida (aumento do número de hóspedes) e na melhoria da competitividade do hotel, e grupo de exploração daquela unidade no mercado turístico, imprimindo maior qualidade de serviço e sem com isso afetar a rentabilidade.

Em termos globais, PCK1 e PCK2 representam economias no consumo de 5,5% (101,50 MWh) e 5,9% (109,10 MWh), respetivamente, que se traduzem num benefício económico de 6 623 €/ano e 7 312 €/ano.

— Dispositivos eficientes para o consumo de água nos Quartos

Pela perspetiva do gás natural, foi anteriormente destacado o elevado consumo em AQS (águas quentes sanitárias), afeto ao serviço de quartos, representando a maior fatia naquela forma de energia (43%, figura 109) e cerca de 16% do consumo total do hotel obtido pela modelação dinâmica (vd. Tabela 23).

O consumo total de água num hotel varia consideravelmente e é totalmente dependente da variação da sua taxa de ocupação. Deste modo, conforme anteriormente se referiu no subcapítulo 6.7.1., para o hotel foi considerado como valor diário de referência de consumo – 120 l/pax de água quente a uma temperatura de utilização de 45°C.

A utilização de dispositivos eficientes para o aproveitamento de água, nomeadamente torneiras e chuveiros de reduzido caudal e autoclismos de dupla descarga, permite reduzir significativamente o consumo de água e da energia necessária para o seu aquecimento nas unidades de alojamento (equação 6.10). Estima-se que o consumo de água num quarto pode

corresponder (em média) a um banho de 6 minutos, 4 descargas de autoclismo e à utilização da torneira do lavatório durante 3 minutos (Styles et al., 2015). Ora, para esse perfil de consumo, num quarto otimizado esse consumo pode ser de 72 l/(dia.PAX) – caudal de chuveiro de 7 l/min, torneira de lavatório de 4 l/min, descarga autoclismo de 4,5 l – , com 47% do global afeto ao consumo de água quente (34 l/(dia.PAX)).

Em termos de uso de AQS, a eficiência alcançada com esta solução unitária – EEM10 – é consideravelmente expressiva, representando uma redução de 62% face à utilização base, obrigando praticamente a sua implementação imediata. Por sua vez, o predomínio daquela utilização na estrutura de consumos energéticos, explica e destaca a redução global de 10% (183 MWh/ano), o que se traduz em 9 336 €/ano. Relativamente ao consumo de água quente para fins sanitários (nas instalações sanitárias dos quartos) poderá rondar uma economia de 111 m³ refletindo-se por 672 €/ano (considerando 6,077 €/m³, tabela 20). Ou seja, a acentuada redução global da fatura poderá ser na ordem de 10 000 €/ano. Importa ainda de destacar, o seu baixo custo de aquisição e sua facilidade de aplicação, que espelha a elevada rentabilidade económica desta intervenção.

Por seu turno, seguindo a estrutura utilizada na sequência de implantação de um conjunto simultâneo de medidas, interessou potenciar o seu efeito sinérgico com soluções de reduzido capital de investimento, combinando-a, por um lado, com a variante PCK1 (referente à adequação dos *set-points* de temperatura interior de 20°C e 25°C e à introdução de dispositivos de admissão de ar autorreguláveis a 20 Pa nos quartos) formando a variante designada por PCK3, por outro lado, acrescentar-lhe apenas a regulação adequada da temperatura interior (20°C e 25°C) e caracterizando-se pela variante PCK4.

Justifica-se, entretanto, uma chamada de atenção, antes da apresentação das outras variantes de otimização energética, para o facto de a partir deste pacote de medidas – nomeadamente, PCK3 e PCK4 – existir uma alternância deliberada na associação da solução EEM7 – constituída pelas aberturas de ar autorreguláveis a 20 Pa e extração mecânica nas instalações sanitárias dos quartos –, na estruturação das restantes combinações de medidas de diferentes tipos em simultâneo. Esta abordagem, de alternar a associação daquela otimização nas próximas variantes, surge como forma de avaliar o seu efeito na determinação dos níveis nZEB (IEE_{nZEB}) do parque hoteleiro existente, em particular no setor de 4 e 5 estrelas, em contexto de reabilitação – beneficiação ou recuperação –, mais especificamente, através do cálculo do custo-ótimo das diferentes soluções de reabilitação.

A metodologia de custo-ótimo baseia-se na relação entre o desempenho energético em termos de energia primária e o custo global da intervenção (i.e., na fase de exploração e incluindo os custos iniciais de investimento, custos de exploração e custos de manutenção). Utilizando este método, a rentabilidade das intervenções, ou seja, combinações adequadas de medidas de economia de energia, é determinada pela comparação com o cenário base do hotel, que basicamente considera somente operações de conservação e manutenção, sem conferir melhorias de desempenho energético-ambiental.

Na figura 122 evidencia-se a evolução dos resultados singulares e combinados das medidas de economia de energia analisadas (EEM1 a PCK4) face ao cenário base simulado, através dos indicadores de desempenho dos consumos regulados, bem como a redução do indicador de eficiência energética. Depreende-se pelos resultados, que o destaque se inicia pela intervenção EEM10 (eficiência no uso de AQS) e afirma-se nas otimizações seguintes – PCK3 e PCK4. Em termos globais, PCK3 e PCK4 representam economias no consumo de 15% (286,16

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente: avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

MWh) e 13% (246,68 MWh), respetivamente, que se traduzem num benefício económico na ordem de 16 000 €/ano e 13 680 €/ano (valores constantes).

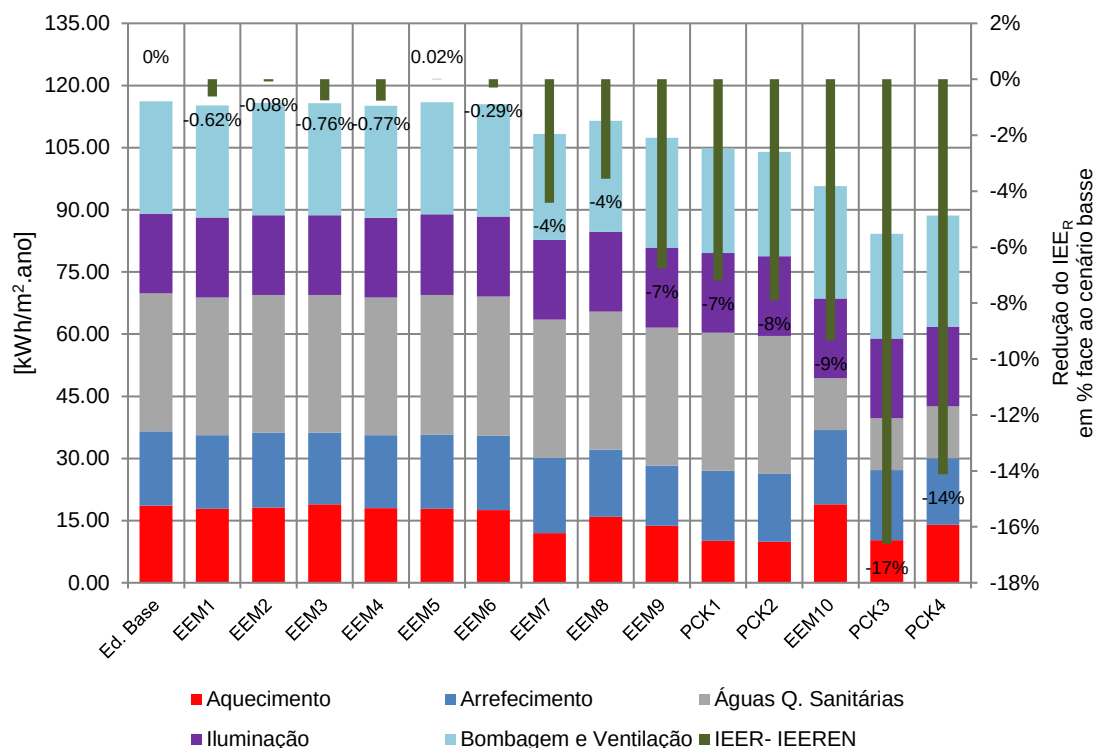


Figura 122 – Indicadores de desempenho (por uso) e IEE_R (regulado): EEM1 – PCK4

Em concordância com a figura 122, apresenta-se de seguida na figura 123, o mapeamento das medidas de economia de energia singulares e combinadas realizadas anteriormente, para maior consolidação na compreensão dos indicadores de desempenho e respetiva redução do índice de eficiência energética.

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente: avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

ref.	Medidas de Otimização de Energia
	- Faro -
Base	Solução Base: Na impossibilidade de se identificar direta ou indiretamente o tipo e a constituição dos elementos opacos da envolvente, retirou-se o valor de U (por defeito) constante no documento "Coeficientes de Transmissão Térmica de elementos opacos da envolvente dos edifícios"; Utilizou-se os valores convencionais de U indicados no ITE 50 para os vãos envidraçados, com fator solar de composições típicas de vidros, simples ou duplos, compreendendo vidros planos incolores, coloridos e refletantes, com ou sem dispositivos de proteção solar, de acordo com as tabelas das portarias do REH ; Sistema de tratamento ambiente, constituído por duas caldeiras a GN (rendimento 90% a 100% da carga) e dois Chillers (EER - 2,66);
EEM1	Vãos envidraçados c/propriedades de baixa emissividade (Low-E) e de controlo solar: Vãos simples de caixilharia em PVC, com vidro duplo (low E-ES 6 mm, lâmina 12 mm (ar), incolor 6 mm), fator solar - 0,422 e coeficiente de transmissão térmica do vão (U_w) - 1,59 (W/m ² .°C).
EEM2	Vãos envidraçados eficientes c/propriedades de controlo solar. Vãos simples de caixilharia em PVC, com vidro duplo (colorido na massa 6 mm, lâmina 12 mm (ar), incolor 6 mm), fator solar - 0,497 e coeficiente de transmissão térmica do vão (U_w) - 2,33 (W/m ² .°C).
EEM3	Vãos envidraçados eficientes c/propriedades de controlo solar. Vãos simples de caixilharia em PVC, com vidro duplo (colorido na massa 6 mm, lâmina 12 mm (ar), incolor 6 mm), fator solar - 0,35 e coeficiente de transmissão térmica do vão (U_w) - 2,35 (W/m ² .°C).
EEM4	Vãos envidraçados c/propriedades de baixa emissividade (Low-E) e de controlo solar: Vãos simples de caixilharia em PVC, com vidro duplo (low E-ES 6 mm, lâmina 12 mm (ar), incolor 6 mm), fator solar - 0,35 e coeficiente de transmissão térmica do vão (U_w) - 1,50 (W/m ² .°C).
EEM5	Intervenção na envolvente opaca vertical exterior através de isolamento térmico pelo exterior; A proposta consiste na aplicação exterior, de forma contínua, de EPS com 20 kg/m ³ e uma espessura de 40 mm.
EEM6	Intervenção na envolvente opaca vertical exterior através de isolamento térmico pelo exterior; A proposta consiste na aplicação exterior, de forma contínua, de EPS com 20 kg/m ³ e uma espessura de 60 mm.
EEM7	Grelhas de admissão de ar autorreguláveis a 20 Pa (caudal nominal de 45 m ³ /h) a aplicar nos quartos e extração mecânica de ar nas instalações sanitárias
EEM8	Adequação do set-point de temperatura do sistema de climatização para 21°C - 25°C em vez de 22°C - 24°C
EEM9	Adequação do set-point de temperatura do sistema de climatização para 20°C - 26°C em vez de 22°C - 24°C
PCK1	EEM7 + Adequação do set-point de temperatura do sistema de climatização para 20°C - 25°C em vez de 22°C - 24°C
PCK2	EMM4 + PCK1
EEM10	Dispositivos eficientes para o consumo de água nos Quartos
PCK3	PCK1 + EEM10
PCK4	EEM10 + Adequação do set-point de temperatura do sistema de climatização para 20°C - 25°C em vez de 22°C - 24°C

Figura 123 – Mapa das medidas de economia de energia singulares e combinadas: EEM1 – PCK4

6.9.3 Combinação de medidas para eficiência energética e integração de sistemas renováveis

— Otimização dos consumos associados ao sistema de iluminação

A conceção das instalações de iluminação de hotéis é normalmente efetuada com base em critérios essencialmente estéticos, sendo frequentemente descurados os aspetos energéticos subjacentes. Obviamente, as características próprias deste tipo de instalações requer uma observância de soluções que permitam obter níveis estéticos elevados, proporcionando aos ocupantes ambientes agradáveis e confortáveis. No entanto, estes aspetos podem ser conjugados com soluções energeticamente eficientes, através da utilização de equipamentos de nova geração tecnológica existentes no mercado. Nesta linha, para a promoção da eficiência do sistema de iluminação de uma instalação existente, pode intervir-se em níveis distintos, nomeadamente: (1) substituição de lâmpadas; (2) introdução de sistemas de controlo simples; (3) substituição de luminárias; (4) redimensionar o projeto de iluminação com luminárias e controlos adequados; e ainda, (5) gestão de iluminação e interação com outros sistemas técnicos – visão holística da gestão otimizada e integrada dos sistemas técnicos e o caminho necessário para nZEB (figura 63).

Entretanto, foi possível observar durante a auditoria técnica uma “política” contínua de substituição dos sistemas de iluminação existentes, por sistemas de iluminação artificial mais eficientes (do tipo LED) nas zonas de clientes. Mas não basta reduzir a iluminação só à componente energética; para tal, deve ser assegurada a manutenção dos níveis de iluminação, a qualidade de luz gerada, níveis de uniformidade e controlo do encandeamento. Neste seguimento, analisou-se se a estratégia de ação da reestruturação da iluminação não privilegiava unicamente a economia em detrimento da eficiência energética – tipicamente são negligenciadas as necessidades dos utilizadores, níveis de iluminação, caracterização física e regimes de utilização dos espaços, presença/ausência de controlos e até padrões de qualidade e segurança –, resultando como consequência espaços deficientemente iluminados no quadro da qualidade e quantidade da iluminação. De forma geral, denotou-se ao nível da execução desta intervenção rigor em relação às especificidades desta especialidade (acima referidas) e conhecimento técnico e atualizado das diferentes soluções/tecnologias disponíveis no mercado. Contudo, o foco estava maioritariamente centrado na beneficiação desta utilização de energia nos espaços dedicados aos clientes.

Tendo como base as premissas anteriormente indicadas: (1) princípios fundamentais a considerar nos sistemas de iluminação para garantir a qualidade ambiental no interior do hotel; e (2) qualidade do plano de execução da melhoria da eficiência da iluminação, em curso, optou-se por dar continuidade ao plano de ação do grupo de gestão do hotel, promovendo a substituição das lâmpadas fluorescentes tubulares (LFT) existentes – nas versões LFT T8 18W, LFT T8 36W e LFT T8 58W – e essencialmente afetadas às zonas de serviços, pela instalação de lâmpadas T8 LED lineares equivalentes – nas versões LED T8 10W, LED T8 18W e LED T8 23W, respetivamente. Inicialmente o edifício apresentava uma densidade de iluminação de $5,2 \text{ W/m}^2$, e com a introdução desta solução – medida aplicada sobre as variantes PCK3 e PCK4, constituindo os conjuntos de medidas PCK5 e PCK6, respetivamente –, reduziu-se para uma densidade $3,6 \text{ W/m}^2$, o que representa em termos de potência total instalada uma economia de 31% face ao valor base. Ora a otimização dos consumos associados à iluminação levou a uma redução anual de 25% ($14,56 \text{ kWh/m}^2$, vd. Figura 125) deste setor e a uma economia de energia global entre 18% (330 MWh) e 16% (290 MWh), que se reflete num impacto, considerando valores constantes, entre 20 774 €/ano e 18 358 €/ano – nomeadamente, para as variantes PCK5 e PCK6.

Entretanto, é relevante mencionar, ou melhor recordar, que toda energia consumida em iluminação se converte em calor tornando-se numa carga sobre o sistema de AVAC, pelo que a sua implementação provoca indiretamente uma redução no consumo deste setor. Pela razão exposta, as melhorias de eficiência do sistema de AVAC devem ser analisadas considerando que primeiro são implementadas as otimizações associadas às cargas internas e, neste caso concreto, dedicadas à iluminação.

— Otimização do sistema de tratamento e distribuição da rede do ar

A estrutura dos usos de energia final determinada durante a auditoria, e complementada pela simulação dinâmica, mostra que o sistema de ventilação do hotel utiliza aproximadamente 43% da eletricidade total consumida pelo sistema de AVAC e 15% da globalidade das utilizações daquela forma de energia. Assim sendo, recomenda-se a substituição progressiva dos ventiladores existentes – nas unidades de ventilação e unidades de tratamento de ar/ar novo – por ventiladores acionados por motores de alto rendimento e baixo ruído, de transmissão direta (rotor do ventilador montado diretamente no veio do motor elétrico), com variação de velocidade controlada através de motores comutados eletronicamente, que têm o

variador de velocidade integrado – permitindo a independência permanente do caudal de ar em relação à variação e a perda de carga do sistema de filtragem (caso das UTAs/UTANs) –, e com consumos específicos reduzidos, inferiores a $750 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{s})$, segundo a norma EN 13779 (classe SFP2). Esta medida foi combinada simultaneamente com as variantes PCK5 e PCK6, constituindo os conjuntos de medidas PCK7 e PCK8, respetivamente.

Entretanto, é relevante recordar as estratégias de ação que compreendem cada uma das variantes PCK7 e PCK8. Assim o pacote – PCK7 – é constituído por: (1) dispositivos de admissão de ar autorreguláveis a 20 Pa e extração mecânica nas instalações sanitárias dos quartos; (2) ajuste adequado dos *set-points* de temperatura interior para 20°C e 25°C, respetivamente, nas estações de aquecimento (inverno) e de arrefecimento (verão); (3) utilização de dispositivos eficientes para o consumo de água nos quartos; (4) continuação da implementação do plano da ação, através da substituição das lâmpadas fluorescentes tubulares existentes por instalação de lâmpadas LED lineares equivalentes; (5) seleção de ventiladores energeticamente eficientes com variação de velocidade (para regular e controlar o caudal) e com consumos específicos reduzidos (classe SFP2, segundo a norma EN 13779). Quanto à outra variante – PCK8 –, a estrutura é semelhante, sem a aplicação dos dispositivos de admissão natural de ar com grelhas autorreguláveis nas unidades de alojamento (quartos). Ou seja, o tratamento ambiente continua a ser efetuado com recurso aos ventiloconvetores a dois tubos, instalados no interior do teto falso, que promovem o aquecimento e arrefecimento ambiente destes espaços. Por sua vez, o ar novo para estas zonas é proveniente das UTANs, compostas apenas por módulo de insuflação, insuflando ar previamente tratado e filtrado no interior dos espaços, através daqueles ventiloconvetores (VCs).

Os resultados demonstram uma economia de energia expectável na utilização da ventilação variando entre os 21% (PCK7) e 15% (PCK8) face ao consumo base daquele uso ($19,58 \text{ kWh}/\text{m}^2$) (figura 125). Por outro lado, o benefício energético anual global sofre uma variação positiva entre 19% (354 MWh) e 17% (314 MWh), representando uma redução da fatura energética, a valores constantes, de 23 219 €/ano e 21 020 €/ano, respetivamente, nas variantes PCK7 e PCK8.

Nesta conformidade, interessou refinar as variantes anteriores, pelo reajuste do sistema de ventilação do hotel – com a garantia dos caudais de ar novo a fornecer às zonas ocupadas, função da ocupação/tipo atividade, ou em função dos poluentes gerados no interior do edifício, segundo a legislação nacional (RECS, 2013b) (vd. Tabela F1 do Anexo F), tendo em consideração a hierarquização das pressões interiores dos diferentes espaços – bem como a introdução de novas unidades ventilação e unidades de tratamento de ar/ar novo. Assim, procurou-se simular – através da variante PCK9 – a combinação em simultâneo das seguintes estratégias de eficiência energética no sistema AVAC e, em particular, na utilização da ventilação complementando a variante PCK7, nomeadamente:

- Na estação de aquecimento, utilização de recuperação de energia, pela introdução de recuperadores de calor ar/ar nas UTAs/UTANs, do tipo permutador de placas de fluxos cruzados, permitindo realizar a recuperação de calor sensível entre o ar de exaustão e de ar novo a insuflar nos diferentes espaços, com eficiência térmica mínima de 73% (para condições de caudais iguais). De realçar que o recurso a este tipo permutador foi devido a ausência de necessidade de recuperar humidade. Note-se que os equipamentos de recuperação de energia impõem perdas de pressão nos circuitos de ar, pelo que foi analisado o balanço de energia entre os ganhos e as perdas destes sistemas, na modelação dinâmica;

- Instalação de dispositivos para promover o arrefecimento gratuito nas UTAs dedicadas aos espaços cujo tratamento do ar ambiente é do tipo “tudo ar” – estes sistemas não separam o tratamento da carga térmica do ar novo dos espaços a climatizar, o ar recebe a energia (dos grupos de geração) e transporta-a ao espaço a climatizar –, em modo de arrefecimento, o arrefecimento gratuito dos espaços, passa pela introdução de elevados caudais de ar exterior até ao limite do caudal total de insuflação (garantindo sempre um caudal de ar novo mínimo para satisfazer as exigências da qualidade do ar interior). Esta opção é escolhida quando a temperatura, ou entalpia, do ar exterior for inferior à do ar de retorno, obrigando a atuar nos registos de retorno, admissão de ar exterior e exaustão;
- Reajuste da instalação para o sistema de ventilação funcionar em função das necessidades de utilização dos espaços (*demand controlled ventilation*, DCV) – será otimizado o funcionamento daquele sistema, nos espaços com elevada densidade de ocupação e com alta variação de carga (salas de reuniões/conferências e restaurantes); foi observado durante a auditoria e validado pelo grupo de gestão do hotel, que a ocupação média destes locais é inferior a 50% da ocupação máxima. Deste modo, as necessidades de ar novo serão controladas e adaptadas continuamente em função do principal indicador da qualidade do ar interior, nomeadamente a presença de CO₂. O caudal de ar novo irá variar em função da concentração de CO₂ medida pelos sensores de CO₂ instalados na conduta de retorno nos espaços interiores indicados (gama de medida de 0 a 2000 ppm). Na parametrização deste indicador na simulação energética, fixou-se a concentração exterior de CO₂ a 390 ppm e a concentração máxima no interior de 1250 ppm (RECS, 2013b).

Em contrapartida, à semelhança do realizado na variante PCK8, a estrutura do conjunto PCK10 compreende a mesma composição da PCK9, acima referida, com a exceção da aplicação dos dispositivos de admissão natural de ar com grelhas autorreguláveis nos quartos. Neste caso as UTANs (sem módulo de recuperação de calor) insuflam o ar novo necessário nos quartos – 40 m³/h em cada unidade de alojamento – e as unidades terminais – ventiloconvectores – removem a carga térmica desses espaços. Além disso, como o tratamento do ar novo é definido para as condições psicrométricas próximas das condições interiores, não introduz carga térmica sensível ou latente nos espaços a climatizar. Esta solução inviabiliza o aproveitamento do arrefecimento gratuito associado ao ar novo. Permite, no entanto, a independência entre a remoção da carga térmica e o fornecimento do ar novo necessário. Por outro lado, como o ar novo é tratado para condições próximas das interiores, poderia ser insuflado diretamente nos quartos, sendo, no entanto, comum admiti-lo no retorno das unidades terminais (VCs) dos quartos (solução inicialmente existente e mantida). Adicionalmente, o ar de exaustão das instalações sanitárias é enviado para o exterior por uma rede própria de condutas interligada às válvulas de extração – localizadas por cima de cada ponto sanitário e assegurando a extração em contínuo de um caudal unitário de 45 m³/h –, através de unidades independentes de ventilação de extração. O ar novo ou de renovação chegará a estes locais através das grelhas de porta (passagem), devidamente dimensionadas para o caudal a movimentar. Salienta-se, ainda, que para uma boa garantia da qualidade do ar todos os quartos estão colocados em sobrepressão, relativamente às instalações sanitárias, mas em depressão relativamente às circulações adjacentes.

De modo genérico, as unidades de tratamento de ar/ar novo são constituídas por: (1) estrutura em perfil de alumínio tratado (50 mm); painéis de dupla chapa com 50 mm de isolamento térmico de poliluretano com densidade de 42 kg/m³; (2) módulo de recuperação de calor ar/ar

do tipo permutador de placas de fluxos cruzados (com *by-pass* à unidade), permitindo a recuperação de calor sensível do ar de exaustão para o ar novo; (3) registos motorizados de ar novo, do recuperador e do *by-pass* do recuperador, e do ar de exaustão; (4) módulo de mistura equipado com registos motorizados, permitindo variar o caudal de ar recirculado a introduzir na UTA para economia de energia – promoção de arrefecimento gratuito –; este módulo não existe na UTAN “tudo ar novo”; (5) módulos filtrantes: as unidades são providas na admissão de filtro plano de classe G4 e filtro de saco M5 e, na insuflação, por filtro de saco de classe F7 e ainda filtro de classe M5 no retorno, selecionados segundo a norma EN13779 e eficiências segundo a norma EN 779. Em cada estágio de filtração encontram-se instalados pressóstatos diferenciais de ar para medição permanente do estado de colmatção dos filtros de ar e avaliação do funcionamento da ventilação; (6) baterias construídas em tubo de cobre expandido em alhetas de alumínio com 4 fiadas no máximo, providas de tabuleiro de recolha e evacuação de condensados com tubo para ligação á drenagem sifonado; (7) módulos de ventilação, constituídos por ventiladores com acoplamento direto, com velocidade controlada através da utilização de motores comutados eletronicamente, que têm o variador de velocidade integrado para garantir um controlo de caudal contínuo e adequado.

Nesta conformidade, os resultados demonstram uma economia de energia expectável na utilização da ventilação, variando entre os 35% (PCK9) e 29% (PCK10) face ao consumo base daquele uso (19,58 kWh/m²). Numa perspetiva mais abrangente, o sistema de tratamento ambiente e ventilação normal sofreu um decréscimo na ordem de 33% relativamente ao seu consumo real de referência (63,69 kWh/m²), conforme se observa na figura 125. Por outro lado, o benefício energético anual total sofre uma variação positiva entre 24% (452 MWh) e 22% (413 MWh), o que representa uma redução da fatura energética, a valores constantes, de 30 326 €/ano e 28 219 €/ano, respetivamente, nas variantes PCK9 e PCK10.

— Otimização da temperatura de distribuição de água fria para arrefecimento ambiente

A eficiência energética dos *chillers* diminui significativamente quando se diminui a temperatura da água refrigerada gerada, pelo que a temperatura de saída de água no evaporador do *chiller* deve ser a mais elevada possível (vd. 5.5.2.5).

A figura 124 mostra os níveis de eficiência dos equipamentos de geração de frio atualmente instalados para tratamento ambiente, em arrefecimento, para diferentes temperaturas de evaporação, em função da temperatura do ar exterior (T_a), retirados dos dados fornecidos em catálogo pelo fabricante. Adicionalmente, denota-se também na mesma figura o ajustamento fiel do modelo de regressão baseado em função bi-quadrática – que descreve como a eficiência do *chiller* (a carga total) varia para diferentes temperaturas da água na saída do evaporador (T_{ida}) e de entrada no condensador (neste caso, ar exterior) –, e os coeficientes da curva de eficiência do modelo de regressão que foram utilizados no modelo de simulação.

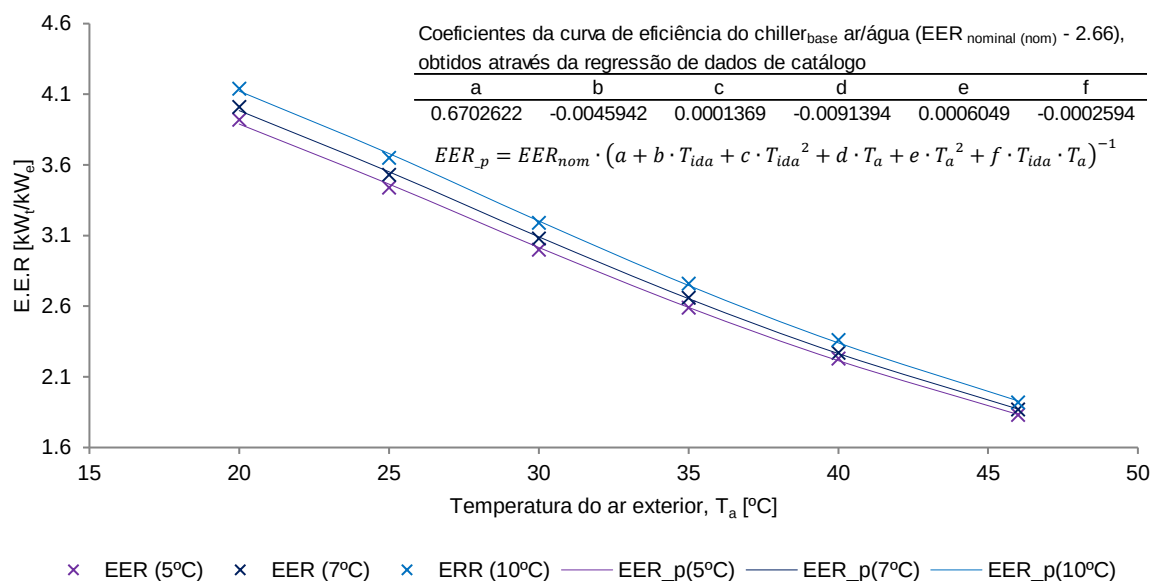


Figura 124 – EER vs. Temperatura exterior: UPAR base

Complementarmente, as temperaturas de distribuição de água arrefecida entre 6°C a 8°C estão condicionadas, essencialmente, pelas necessidades de desumidificação dos espaços com elevada densidade de ocupação (restaurante, salas de conferências, etc.), onde a ocupação e a necessidade permanente de ar novo provocam uma carga latente que é necessário eliminar. Contudo, a maior parte da distribuição de água arrefecida é essencialmente dedicada às unidades de alojamento – unidades terminais do tipo ventiloconvetores –, cuja carga térmica interna a remover é predominantemente sensível. Deste modo, parametrizou-se para o modo de arrefecimento o ajuste da temperatura de água arrefecida para 10°C (de ida) – regime de 10°C/15°C, ida e retorno, respetivamente – no circuito de distribuição de água fria dos *chillers*. De realçar que a distribuição de energia térmica mantém o mesmo princípio de funcionamento, ou seja, distribui, através do circuito secundário, a água aquecida ou arrefecida aos ventiloconvetores e baterias das unidades de tratamento de ar/ar novo (sistema a dois tubos).

Numa primeira fase, interessou potenciar o seu efeito sinérgico (por ordem do interesse económico) com as soluções de reduzido capital de investimento e retorno de capital praticamente imediato, combinando-a simultaneamente com a adequação dos *set-points* de temperatura interior para 20°C e 25°C, respetivamente, nas estações de aquecimento e de arrefecimento, e com a utilização de dispositivos eficientes para o consumo de água nos quartos, formando a variante designada por PCK11. Ora, mantendo o foco apenas no arrefecimento ambiente – um aumento de 1°C na temperatura do ar interior durante o verão e a utilização de temperaturas moderadas ($T_{ida} = 10^\circ\text{C}$) na distribuição de água fria –, corresponde ao decréscimo de 15% (15,24 kWh/m²) na utilização da energia daquele uso, sem qualquer investimento e com retorno imediato.

Entretanto, àquela parametrização – nomeadamente, o correto estabelecimento de *set-points* de operação de sistemas e equipamentos, aliado à promoção da eficiência hídrica nos quartos –, interessou associar as soluções de eficiência energética da iluminação e de elevado esforço financeiro, pelo lado do tratamento e distribuição de ar – constituindo as variantes PCK12 e PCK13 –, para alavancar o efeito do benefício energético, mas perspetivando um impacto bastante positivo, em termos de custo-benefício, traduzido (por exemplo) no período de retorno de investimento. Deste modo, a economia de energia que se irá obter é transversal aos

consumos regulados – essencialmente, aos níveis do sistema de iluminação (25%), aquecimento ($\geq 59\%$) / arrefecimento ambiente ($\geq 22\%$) e preparação de águas quentes sanitárias (62%) e, incluindo, naturalmente, o sistema de ventilação ($\geq 29\%$) (figura 125) –, sendo expectável uma poupança anual global entre 25% (457 MWh) e 23% (419 MWh), o que representa uma redução da fatura energética, a valores constantes, de 30 892 €/ano e 28 775 €/ano, respetivamente, nas variantes PCK12 e PCK13.

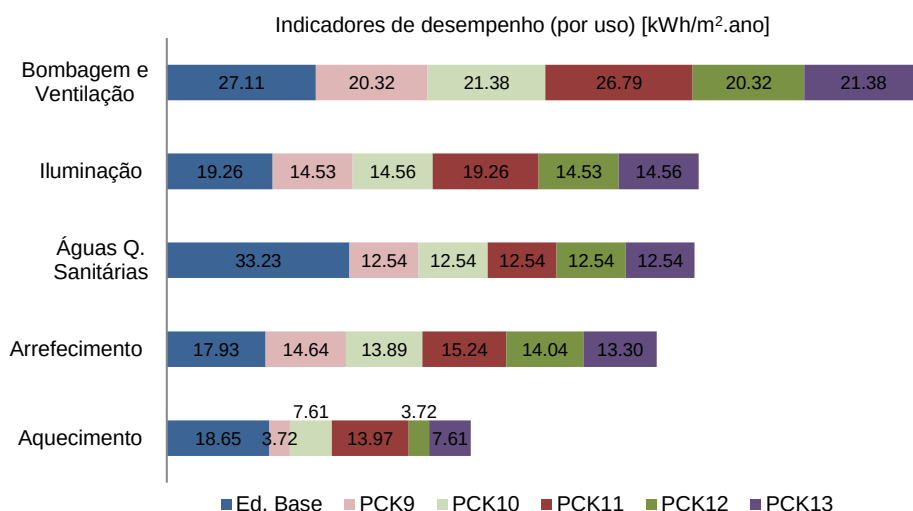


Figura 125 – Indicadores de desempenho regulados: PCK9 – PCK13

Em concordância com a sequência das diferentes variantes anteriormente estudadas entre – PCK5 e PCK13 –, na figura 126 mostra-se o mapeamento das medidas de economia de energia singulares e integradas realizadas, para consolidar a compreensão dos indicadores de desempenho e respetiva redução do índice de eficiência energética.

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente: avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

ref.	Medidas de Otimização de Energia
	- Faro -
Base	Solução Base: Na impossibilidade de se identificar direta ou indiretamente o tipo e a constituição dos elementos opacos da envolvente, retirou-se o valor de U (por defeito) constante no documento "Coeficientes de Transmissão Térmica de elementos opacos da envolvente dos edifícios"; Utilizou-se os valores convencionais de U indicados no ITE 50 para os vãos envidraçados, com fator solar de composições típicas de vidros, simples ou duplos, compreendendo vidros planos incolores, coloridos e refletantes, com ou sem dispositivos de proteção solar, de acordo com as tabelas das portarias do REH ; Sistema de tratamento ambiente, constituído por duas caldeiras a GN (rendimento 90% a 100% da carga) e dois Chillers (EER - 2,66);
EEM7	Grelhas de admissão de ar autorreguláveis a 20 Pa (caudal nominal de 45 m ³ /h) a aplicar nos quartos e extração mecânica de ar nas instalações sanitárias
PCK1	EEM7 + Adequação do set-point de temperatura do sistema de climatização para 20°C - 25°C em vez de 22°C - 24°C
EEM10	Dispositivos eficientes para o consumo de água nos Quartos
PCK3	PCK1 + EEM10
PCK4	EEM10 + Adequação do set-point de temperatura do sistema de climatização para 20°C - 25°C em vez de 22°C - 24°C
PCK5	PCK3 + continuação da implementação do plano de ação do grupo de gestão do hotel - Iluminação eficiente (substituição FT 18W; FT 36W; FT58W)
PCK6	PCK4 + continuação da implementação do plano de ação do grupo de gestão do hotel - Iluminação eficiente (substituição FT 18W; FT 36W; FT58W)
PCK7	PCK5 + Seleção de ventiladores energeticamente eficientes com variação de velocidade e com consumos específicos reduzidos (classe SFP2 ; < 750 W/(m ³ /s), segundo a norma EN 13779)
PCK8	PCK6 + Seleção de ventiladores energeticamente eficientes com variação de velocidade e com consumos específicos reduzidos (classe SFP2 ; < 750 W/(m ³ /s), segundo a norma EN 13779)
PCK9	PCK7 + reformulação das UTAs/UTANS /reajuste do sistema de distribuição do ar (Recuperação de calor tipo permutador de placas; dispositivos de arrefecimento gratuito; ajuste dos níveis de ventilação à necessidade de utilização dos espaços)
PCK10	PCK8 + reformulação das UTAs/UTANS /reajuste do sistema de distribuição do ar (Recuperação de calor tipo permutador de placas; dispositivos de arrefecimento gratuito; ajuste dos níveis de ventilação à necessidade de utilização dos espaços)
PCK11	PCK4 + Ajuste de temperatura de funcionamento do circuito de arrefecimento (Temperatura no evaporador Tida de 10 °C)
PCK12	PCK9 + Ajuste de temperatura de funcionamento do circuito de arrefecimento (Temperatura no evaporador Tida de 10 °C)
PCK13	PCK10 + Ajuste de temperatura de funcionamento do circuito de arrefecimento (Temperatura no evaporador Tida de 10 °C)

Figura 126 – Mapa das medidas de economia de energia singulares e combinadas: EEM7 – PCK13

— Otimização dos sistemas de geração de energia térmica

As variantes PCK12 e PCK13, foram ponto de partida para a análise da otimização dos consumos no domínio dos equipamentos de transformação de energia térmica, impropriamente designados por equipamentos de “produção de água quente ou água fria”. Deste modo, foi avaliado o comportamento energético do hotel, pela parametrização nas simulações dinâmicas realizadas, a seleção de equipamentos mais eficientes a utilizar para obtenção de água a uma temperatura apropriada para efetuarem o arrefecimento e o aquecimento ambiente. Assim, foram avaliados os seguintes equipamentos térmicos, a saber:

(a) para arrefecimento ambiente:

- avaliação da substituição das unidades existentes para geração de frio por dois *chillers* ar-água a dois tubos, para obtenção de água refrigerada, mais eficientes, de classe A, operando com fluido refrigerante R410A, com potência unitária de 268,70 kW em arrefecimento, com eficiência nominal (EER) de 3,44 (condições de temperatura exterior de 35°C e água fria para arrefecimento ambiente entre o regime 7°C/12°C, respetivamente, ida/retorno) e eficiência sazonal (ESEER) de 4,26, designado por modelo A;
- avaliação da substituição das unidades existentes para geração de frio por dois *chillers*, de condensador arrefecido a ar, a dois tubos, para obtenção de água refrigerada, mais eficientes, de classe A, operando com fluido refrigerante R134a, com potência unitária

de 285 kW em arrefecimento, com eficiência nominal EER de 3,5 (condições de temperatura exterior de 35°C e água fria para arrefecimento ambiente entre o regime 7°C/12°C, respetivamente, ida/retorno) e eficiência sazonal (ESEER) de 5,52, designado por modelo B.

Note-se, entretanto, que o aquecimento e/ou arrefecimento a efetuar deve considerar dois aspetos: a quantidade de calor a fornecer ou a retirar, e a temperatura a que essas transferências de calor devem ter lugar. A eficiência na obtenção do fluido térmico a uma temperatura pré-definida depende do tipo de equipamento utilizado. No caso das unidades produtoras de água refrigeradas (UPARs), o vulgo *chiller*, a sua eficiência aumenta com a diminuição da diferença entre a temperatura de condensação e de evaporação. Assim, a necessidade do aumento de eficiência energética, sem prejudicar o conforto térmico, recomendou – pela variante PCK11 –, a utilização de temperaturas mais moderadas nos circuitos de água arrefecida – um regime de temperatura da água refrigerada entre 10°C (ida) e de 15°C (retorno) –, em vez do tradicional regime 7°C-12°C. Ora, tendo por base estes valores de referência para as temperaturas da água na ida/retorno, considerados ao nível da central de “produção de frio”, cada *chiller* ar-água – do modelo A – apresenta uma potência unitária de 294,20 kW e EER de 3,73, para estas condições de funcionamento (temperatura exterior de 35°C). Paralelamente, para as mesmas condições de operação, cada *chiller* ar-água – do modelo B – tem uma potência unitária de 311 kW e eficiência (EER) de 3,62. A figura 127 mostra as curvas de eficiência das UPARs – equipamento base e modelos A e B –, para diferentes temperaturas de evaporação de 7°C e 10°C, em função da temperatura do ar exterior. Ressalta o melhor desempenho do modelo A para estas condições de operação, nomeadamente, $T_{ida} = 10^{\circ}\text{C}$.

Estes novos equipamentos e a parametrização dos *set-points* no sistema de climatização, conjugados com a promoção da eficiência hídrica (nos quartos) e do sistema de iluminação e, ainda, o aumento da eficiência energética no setor do tratamento e distribuição de ar materializam, concretamente: (1) as variantes PCK14 (com dispositivos de admissão autorreguláveis a 20 Pa, nos quartos) e PCK15, pelo equipamento A; e (2) à semelhança do anterior, formam as variantes PCK16 e PCK17, através do equipamento B. É de notar, que este novo pacote de soluções reforçado pelas novas UPARs, está centrado no benefício do arrefecimento ambiente.

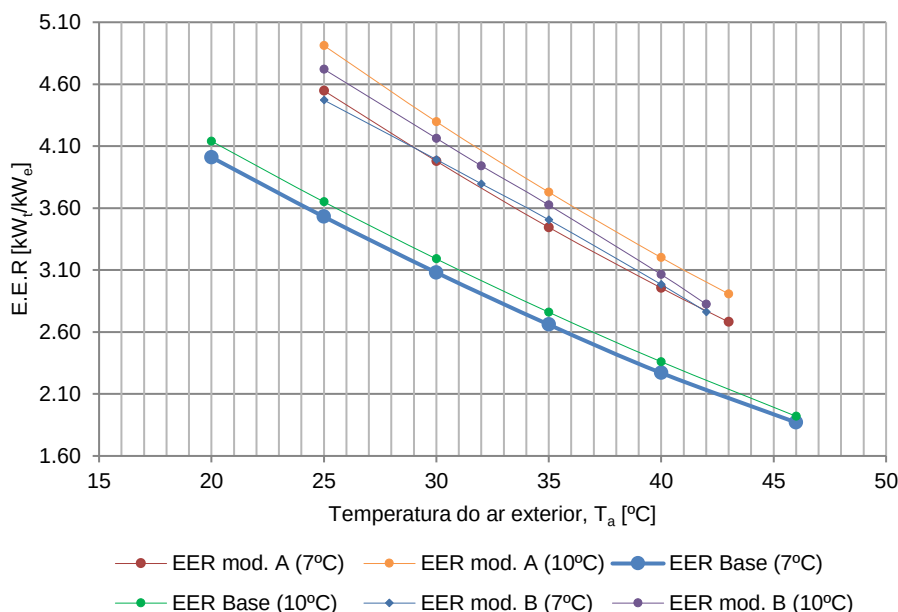


Figura 127 – Níveis de eficiência das UPARs para temperaturas de evaporação de 7°C/10°C

(b) para aquecimento ambiente:

- avaliação da instalação de duas caldeiras de chão, de condensação a gás natural, com uma potência térmica útil (unitária) de 448 kW, com eficiência de 97,6% a 100% da carga. As caldeiras, para além de serem responsáveis pela produção de água quente para aquecimento ambiente, são igualmente responsáveis pela “produção” de água quente sanitária (AQS).

As caldeiras recomendadas utilizam a tecnologia de condensação, isto é, aproveitam a energia libertada pelo vapor de água contido nos gases provenientes da combustão ao passar ao estado líquido, para um aquecimento adicional da água do circuito, através do arrefecimento dos gases até ao ponto de condensação do vapor de água contido nos mesmos, levando à geração de condensados que serão devidamente encaminhados, por uma rede independente de esgoto até a um ponto de recolha próximo. Deste modo, a introdução da caldeira de condensação, nas variantes PCK12 e PCK13, reforça o aumento da eficiência do aquecimento ambiente e da preparação de AQS, e concretiza o novo conjunto de soluções – designadas por variantes PCK18 e PCK19.

Complementarmente, este reforço no aumento do desempenho em modo de aquecimento, conjugado com as novas UPARs – modelos A e B – originam as variantes PCK20 a PCK23, fechando o ciclo de promoção da eficiência energética, pelo lado da procura da energia.

Centrando o tema no arrefecimento, aquecimento ambiente e a preparação de águas quentes sanitárias (AQS), que apenas contabiliza o consumo inerente ao serviço de quartos, a economia de energia que se irá obter oscila entre 44% (PCK16) a 49% (PCK15) para a primeira utilização e varia entre 70% (PCK19) e 75% (PCK18), pela perspetiva do gás natural, quando agrupado o aquecimento ambiente e o AQS. Torna-se evidente que as variantes PCK20 a PCK23 resultam da conjugação das anteriores (figura 128).

Em termos globais, estes resultados representam (anualmente) um decréscimo máximo de 28% (526 MWh) e uma redução monetária de 36 537 €, destacado pela combinação de medidas em simultâneo da variante PCK20, nomeadamente: o correto estabelecimento de *set-points* de operação; a promoção da eficiência hídrica nos quartos; o aumento da eficiência da iluminação; a reformulação da rede de tratamento e distribuição de ar, introduzindo os dispositivos de admissão autorreguláveis a 20 Pa nos quartos; e, finalmente, a introdução da UPAR A e a nova caldeira de condensação. No mesmo alinhamento, a variante PCK23 apresenta um desvio de 6,3% face à anterior, o que se traduz anualmente numa poupança global de 27% (493 MWh) e representa uma redução na fatura energética de 34 414 € face ao edifício base (real simulado). Ora os resultados são concordantes com este pacote de medidas – PCK 23 –, uma vez que a mesma não contempla os dispositivos de admissão autorreguláveis a 20 Pa nos quartos, ou seja, não existe a redução das necessidades de ventilação e climatização, que são necessárias para a remoção da carga térmica do ar novo a insuflar pelas UTANs. Acresce ainda que na utilização de temperaturas mais moderadas nos circuitos de água arrefecida (*set-point* fixo durante todo o funcionamento, $T_{ida} = 10^{\circ}\text{C}$), o *chiller* B possui um menor desempenho face ao Modelo A para essas condições de operação.

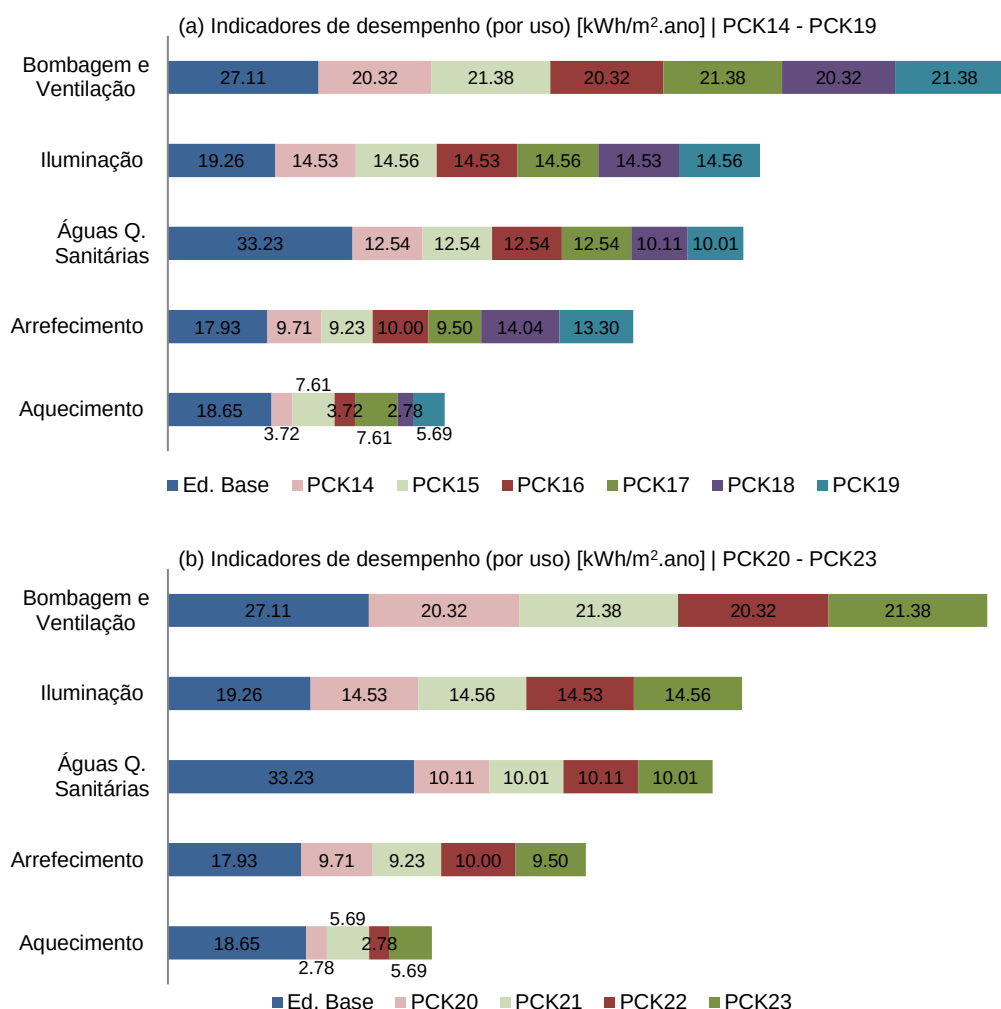


Figura 128 – Indicadores de desempenho regulados: (a) PCK14 – PCK19 e (b) PCK20 – PCK23

Na figura 129 evidencia-se a evolução – bastante favorável – das variantes analisadas – PCK5 a PCK23 – face ao cenário base simulado, através dos seus indicadores de desempenho dos consumos regulados. Salienta-se ainda que a redução do índice de eficiência energética sofre um decréscimo superior a 22% (variante PCK5), variando entre 38% (variantes PCK21 e PCK23) e 40% (variantes PCK20 e PCK22). Em termos de custo-benefício, traduzido pelo período de retorno do investimento – matéria analisada mais à frente –, as variantes que fecham o ciclo de promoção da eficiência energética, pelo lado da procura da energia – nomeadamente o conjunto de medidas de economia de energia entre PCK20 a PCK23 – apresentam períodos inferiores a 50% da vida útil considerada para o hotel (20 anos), obviamente mediante determinadas suposições para custos de investimento e manutenção (consulta de fornecedores), custo de oportunidade (5%), taxa de inflação (2%) e variação do custo da energia (3%).

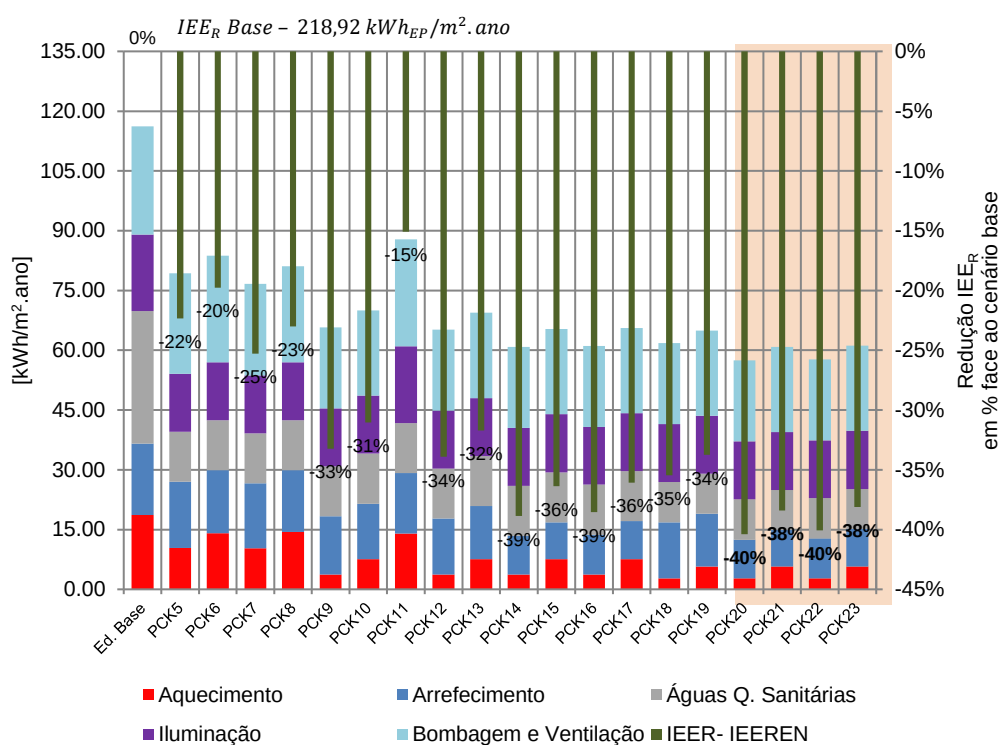


Figura 129 – Indicadores de desempenho (por uso) e IEE_R (regulado): PCK5 – PCK23

Noutra perspetiva, impondo um requisito mínimo para o desempenho energético via consumo de energia final regulada (E_R) de, pelo menos, 35% de melhoria no desempenho face ao valor base, denota-se na figura 130 que a partir da variante PCK9 (redução de 33% do IEE_R), à exceção da solução PCK11, todas as soluções combinadas se enquadram nesta exigência, que pode servir como ponto de partida para incentivar a melhoria do parque hoteleiro existente, em particular do setor de 4 e 5 estrelas, em contexto de reabilitação – beneficiação ou recuperação –, salvo demonstração de inviabilidade económica. Esta abordagem assenta na lógica de uma redução global de consumos energéticos superior a 20%.

Com o objetivo de consolidar a hierarquização e a evolução das soluções estudadas, entre PCK14 a PCK23 (para as restantes vd. figura 126), na figura 131 evidencia-se a matriz com a descrição das medidas de otimização, bem como a sua afetação a cada análise parametrizada – PCKs.

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente:
avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

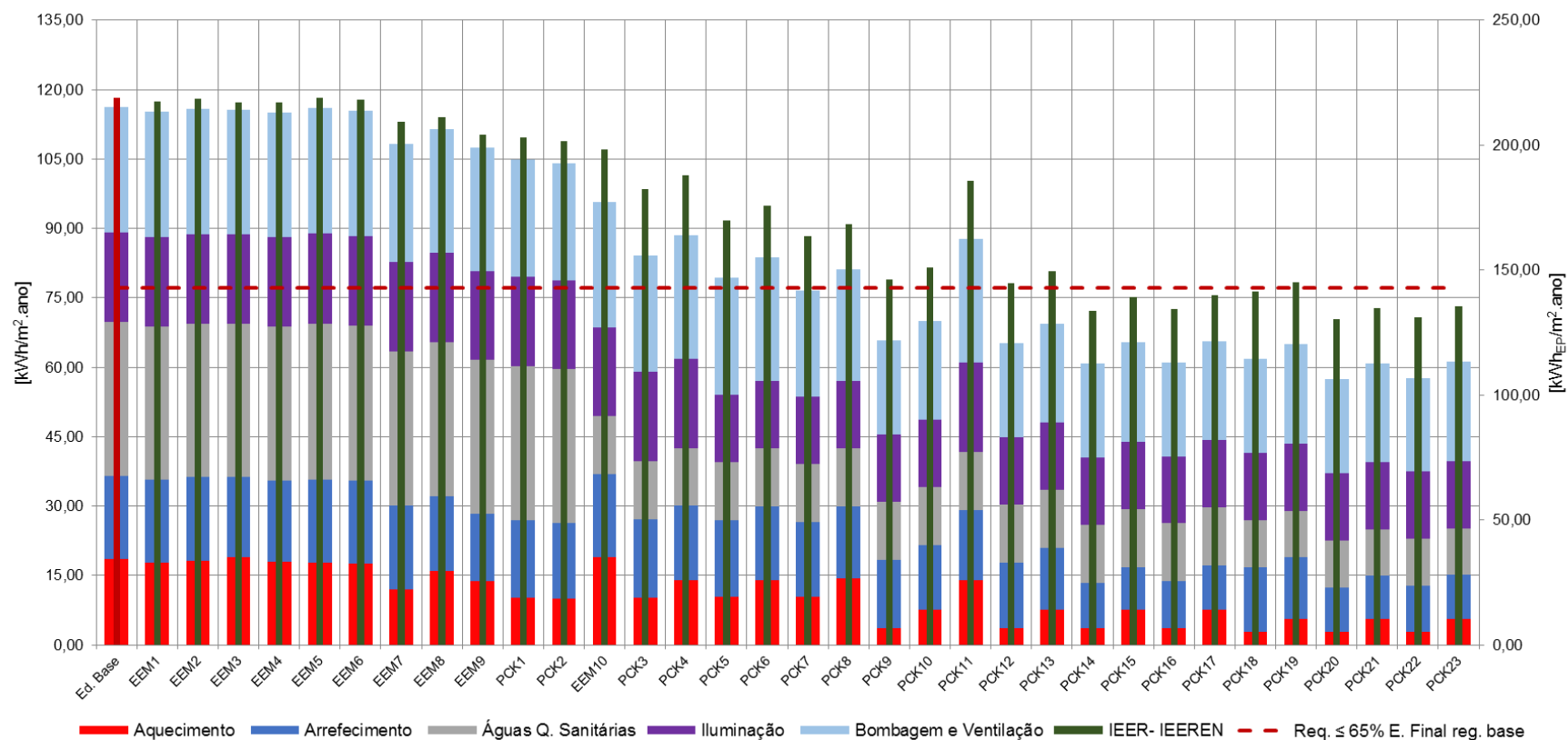


Figura 130 – Indicadores de desempenho (por uso) c/ limite mínimo e IEE_R (regulado): EEM1 – PCK23

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente:
avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

Medidas de otimização		PCK14	PCK15	PCK16	PCK17	PCK18	PCK19	PCK20	PCK21	PCK22	PCK23
Otimização da envolvente do edifício	Substituição dos vãos envidraçados: Caix. - PVC fator solar - 0,422 Uw - 1,59 (W/m ² .°C)										
	Substituição dos vãos envidraçados: Caix. - PVC fator solar - 0,497 Uw - 2,33 (W/m ² .°C)										
	Substituição dos vãos envidraçados: Caix. - PVC fator solar - 0,35 Uw - 2,35 (W/m ² .°C)										
	Substituição dos vãos envidraçados: Caix. - PVC fator solar - 0,35 Uw - 1,50 (W/m ² .°C)										
	Isolamento térmico pelo exterior (40 mm) da envolvente opaca vertical										
	Isolamento térmico pelo exterior (60 mm) da envolvente opaca vertical										
	Dispositivos de admissão de ar autorreguláveis a 20 Pa	x		x		x		x		x	
Redução das cargas Internas	Instalação de LED's (substituição FT 18W; FT 36W; FT58W)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Reajuste do sistema de ventilação c/ garantia dos caudais de ar novo previstos no RECS	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Eficiência dos sistemas de energia	Adequação do set-point de temperatura do sistema de climatização: 21°C - 25°C										
	Adequação do set-point de temperatura do sistema de climatização: 20°C - 26°C										
	Adequação do set-point de temperatura do sistema de climatização: 20°C - 25°C	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Dispositivos eficientes p/a redução do consumo de AQS - Quartos	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Ventiladores eficientes c/ variação de velocidade (classe SFP2 ; < 750 W/(m³/s)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Sistema de recuperação de calor nas UTAs e UTANs p/a aquecimento ambiente	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Dispositivos p/a promoção de free-cooling para arrefecimento ambiente	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Ajuste dos níveis de ventilação à necessidade de utilização dos espaços	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Ajuste de temperatura de funcionamento do circuito de arrefecimento (Temp. evap. 10 °C)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Instalação de chiller mais eficiente p/a arrefecimento ambiente (EER - 3,73 A35°C/W10°C)	x	x					x	x		
	Instalação de chiller mais eficiente p/a arrefecimento ambiente (EER - 3,62 A35°C/W10°C)			x	x					x	x
	Caldeira de condensação (eficiência = 97,6%) p/a aquecimento ambiente e preparação de água quente sanitária (AQS)					x	x	x	x	x	x

Figura 131 – Matriz das medidas de economia de energia parametrizadas entre PCK14 – PCK23

— Integração de sistemas de captação da energia proveniente de fontes renováveis

Neste contexto, após a adoção de estratégias conducentes à redução da procura de energia, é tempo de introduzir a atuação pelo lado da oferta – nomeadamente avaliar a utilização de energias renováveis na estrutura de consumos do hotel, bem como o seu efeito no indicador numérico de energia primária, pela conjugação de estratégias dos dois eixos de atuação: redução do consumo de energia e captação de energia ativa renovável.

(a) Instalação de sistema solar térmico para cobrir as necessidades de consumo de AQS

A prioridade foi dada à integração de renováveis no aquecimento de água sanitária. É sabido que o consumo anual de energia despendida em AQS foi de 306 MWh (determinado na auditoria, vd. Tabela 22), mas com a promoção da utilização de dispositivos eficientes de aproveitamento de água nos quartos – medida singular EEM10 –, esse consumo sofreu uma redução na ordem de 62%, permitindo desta forma avaliar a contribuição de um sistema solar térmico para a preparação de águas quentes sanitárias, cobrindo a maior percentagem possível das necessidades energéticas daquele uso, minimizando os custos da instalação e tendo em consideração o constrangimento da área disponível para a sua implementação (aproximadamente 64 m² de área de captação, renovável térmica), devido a instalação do sistema de AVAC na cobertura do edifício.

O cálculo da contribuição do sistema solar para a preparação de AQS – E_{solar} – e a análise de desempenho do sistema solar foi efetuada no *SolTerm* 5.3 (Solterm, 2017) via simulação energética, isto é, foram simulados os balanços energéticos no sistema em intervalos curtos (5 minutos), durante os quais se considera constante o estado do ambiente e o do sistema.

Assim sendo, avaliou-se a instalação de um sistema solar térmico para cobrir as necessidades de energia associada ao consumo de AQS – considerando a adoção da medida de economia de energia EEM10 –, que será composto por um campo de coletores solares, com duas opções distintas, em termos de características geométricas – área do plano de abertura –, características térmicas – que são descritas pelos coeficientes de perdas térmicas do coletor a_1 e a_2 , linear e quadrático respetivamente, representando a parcela das trocas de calor entre o coletor e a atmosfera –, rendimento ótico – que é o rendimento que o coletor apresenta quando a temperatura ambiente é igual à temperatura do fluido e não existem perdas térmicas – e, finalmente, modificador de ângulo de incidência que traduz a fração de energia solar que é absorvida (pelos tubos de circulação da água e eventuais alhetas) quando a radiação não está a incidir na perpendicular ao plano de abertura do coletor.

A figura 132a permite visualizar as características do coletor padrão, que compreende o sistema solar térmico – designado por ST A referência (ref.) – e que representa, neste trabalho, a contribuição mínima que o sistema solar deve fornecer para satisfazer o consumo solicitado, em função do clima, consumo (carga) e preconização do próprio sistema térmico. Na mesma linha, a figura 132b mostra as características de outro coletor que integra o sistema de captação solar térmico – designado por ST B.

Numa primeira análise, esta solução foi potenciada com as medidas de baixo investimento e retorno praticamente imediato, combinando-a com o correto estabelecimento de *set-points* de operação do sistema AVAC e a promoção da eficiência hídrica (PCK11), formando as variantes – designadas por PCK24 no caso do ST A ref., e PCK25 no caso do ST B.

Ainda neste contexto, importa referir que a carga (Q_a) – o valor acumulado (mensal ou anual) da energia solicitada para consumo de AQS – teve por base o consumo otimizado dos quartos – consumo de água quente de 34 l/(dia.PAX)) –, calculada de acordo a equação 6.10 (vd. 6.7.1). No caso da temperatura de abastecimento, ou seja, a temperatura mensal da água da rede, tem em conta a variação do seu valor mensal em função da localização, que corresponde à temperatura mensal média do solo, estimada para 2 m de profundidade (Solterm, 2017). Na simulação no *Solterm 5.3*, as temperaturas (da rede) consideradas foram as correspondentes ao clima em análise, pelo que o mesmo ficheiro de consumos (do hotel), que em si contém a informação sobre os consumos de água (determinados na auditoria), vai dar origem a um valor diferente de energia solicitada para outros climas. Neste âmbito, por clima entende-se toda a informação relativa ao recurso solar e a temperatura ambiente que permite simular o desempenho dos sistemas solares. Assim, para análise do desempenho dos sistemas solares térmicos nas localizações de Londres e Atenas, foram introduzidos na pasta “Clima” do programa *Solterm 5.3*, os ficheiros climáticos no formato “*.DAT” que serviram de base às simulações dinâmicas do desempenho energético do hotel, realizados com o *DesignBuilder*. No entanto, esses ficheiros apenas contêm a informação necessária à análise energética do desempenho do sistema térmico – nomeadamente, data e hora, temperatura ambiente, e radiação global e difusa na horizontal.

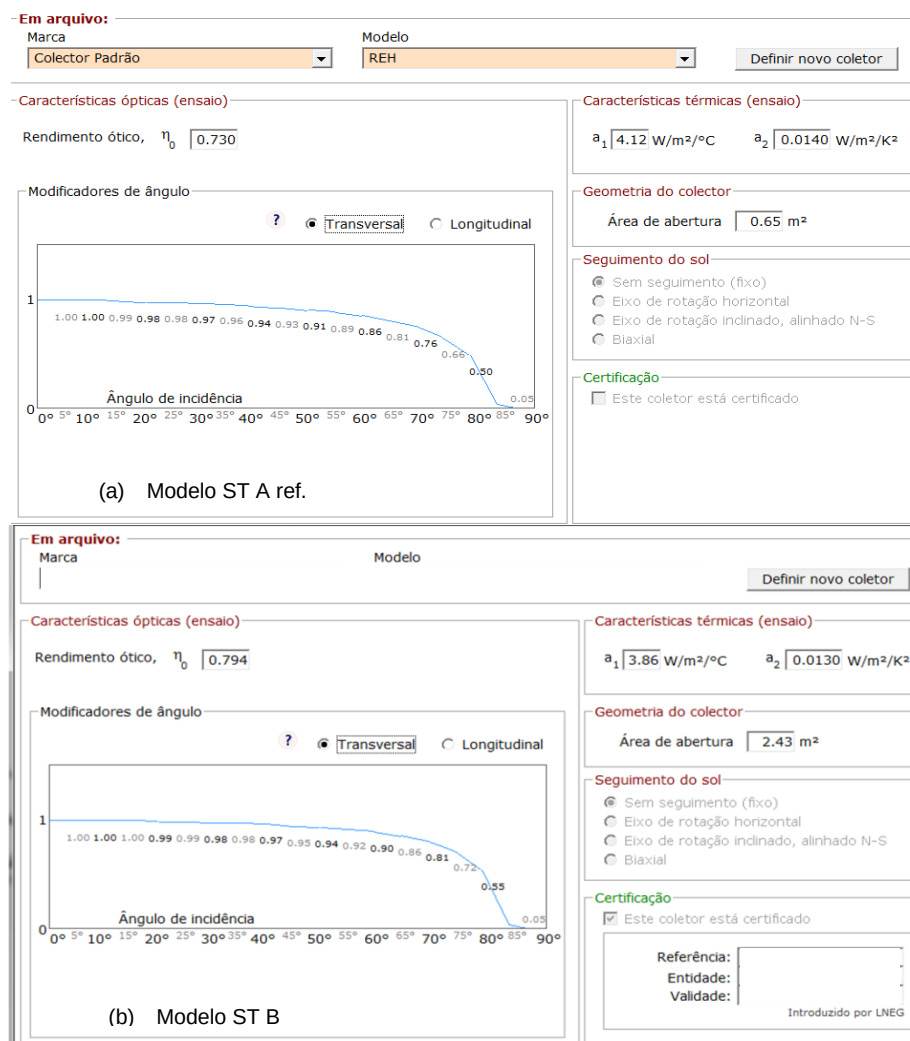


Figura 132 – Caraterísticas dos coletores solares térmicos dos sistemas térmicos (STs) A e B

Em termos genéricos, os coletores serão interligados ao permutador do depósito (suplementar) de acumulação de 5000 litros de capacidade unitária próprio para montagem vertical a instalar

na cobertura, que terá a função de armazenar o calor resultante da conversão térmica da radiação solar. Este depósito será construído em aço inoxidável com duas tampas de visita e possuirá isolamento térmico em espuma de poliuretano com espessura 100 mm (considerando uma condutibilidade térmica (λ) de 0,040 W/m.°C a 20°C). O depósito irá alimentar os depósitos existentes interligados com as caldeiras a gás natural. Este sistema permitirá aproveitar ao máximo a energia de origem solar, aplicando-a sobre a água fria, enquanto a energia convencional de apoio o fará somente sobre a água pré-aquecida pelo solar, respeitando desta forma o princípio de separação de ambas. O sistema de apoio apenas intervirá quando os ganhos solares não forem suficientes para atingir a temperatura pré-estabelecida, fornecendo apenas o diferencial de energia necessário; O controlo do sistema solar será realizado através de um controlador ligado a sondas de temperatura e interligado ao sistema de gestão técnica centralizada do hotel. Por sua vez, a água quente sanitária deverá ser acumulada a 60°C – para prevenção da ampliação da bactéria *Legionella* – e misturada com água da rede à saída de um dos depósitos de acumulação (de apoio), através de sistema termostático modulante para a temperatura de consumo a 45°C.

Em complemento, será essencial garantir a harmonização com a central térmica existente e necessário (na central térmica) refazer parte da tubagem e acessórios hidráulicos, assim como substituir todos os isolamentos de acordo com as espessuras e características referenciadas na regulamentação nacional para a Eficiência Energética em Edifícios. De referir ainda que a tubagem deverá ser isolada termicamente com espuma mínima de 20 mm (tendo em consideração as condições de condutibilidade térmica acima indicadas) e protegida mecanicamente com chapa de alumínio aquando no exterior.

Desta forma, a instalação do sistema solar térmico ST A ref., para aquecimento de água quente sanitária (AQS) – considerando a adoção dos dispositivos eficientes de aproveitamento de água –, com vista à satisfação das necessidades do hotel, será composto por 97 coletores solares, perfazendo uma área total de aproximadamente 63 m², instalados na cobertura plana (do edifício principal), inclinação de 35° e com orientação a sul. Prevê-se que este sistema seja capaz de fornecer 69,4% das necessidades anuais de energia para AQS ($E_{solar} = 59\,941$ kWh/ano). Tendo em consideração o local, a área disponível (26 módulos com aproximadamente 63 m²), assim como a orientação e inclinação (neste caso 45°) dos coletores e, também, para termo de referência, a fração solar (razão entre o E_{solar} e a carga, em valores anuais) calculada para ST A ref., o sistema de captação solar térmico ST B pode contribuir em 73,4% para o consumo solicitado ($E_{solar} = 63\,441$ kWh/ano). Trata-se de energia final útil, i.e., efetivamente entregue (figuras 133 e 134). Como critério de dimensionamento do sistema solar térmico, utilizou-se a determinação da relação “volume de armazenamento/área de captação”, de 60 a 90 l/m², uma vez que o desfaseamento entre o momento de captação e o consumo não são superiores a 24 horas, como acontece no caso de AQS em edifícios.

Neste caso, o setor de ação não se centrou na utilização de equipamentos de maior eficiência, que conduzem a menores consumos de energia, através da otimização na afetação de recursos disponíveis, mantendo a quantidade do valor energético. O setor de ação centrou-se na prioridade da utilização do sistema solar térmico para suprir as necessidades do AQS face à energia auxiliar. De salientar ainda que a economia de energia global é idêntica à variante PCK11; neste caso, o interesse económico é que tem o seu destaque.

Pela perspetiva da estrutura de exploração do hotel, é economicamente vantajoso e ambientalmente correto o recurso aos coletores solares térmicos para satisfação das necessidades anuais de aquecimento de água quente sanitária, ou seja: por um lado,

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente: avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

económico, pois o custo deixa de ser associado à carga AQS (PCK11) e passa a estar associado unicamente ao apoio (o interesse económico é batente apelativo, vd. 6.10 e Anexo H) e, por outro lado, ambiental, pois a redução das emissões de CO₂ face ao valor base é da ordem de 13%. Acresce ainda o impacto na redução do índice de eficiência energética nZEB – diferença entre o consumo regulado e sistemas de captação de energia renovável –, apenas com o controlo de *set-points* e a integração do sistema ativo de captação solar, a redução foi de 19% (177,79 kWh_{EP}/m² e 177,35 kWh_{EP}/m², respetivamente, variantes PCK24 e PCK25).

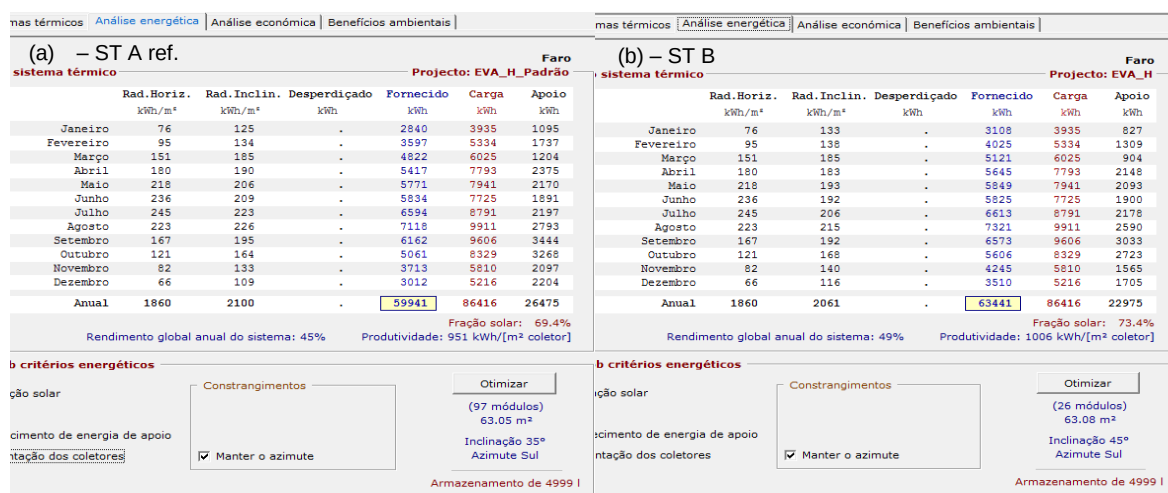


Figura 133 – Balanço energético mensal e anual do sistema solar térmico: (a) ST A ref. e (b) ST B

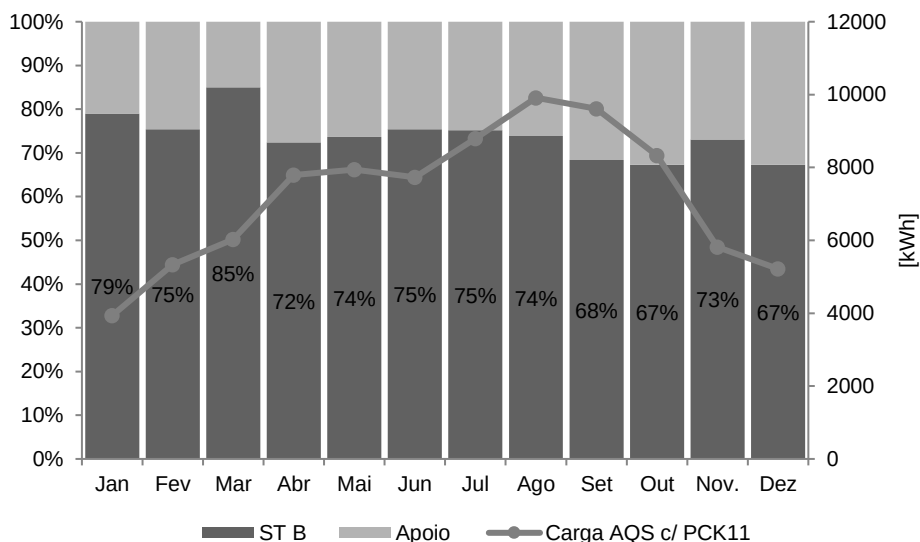


Figura 134 – Exemplo do balanço energético mensal e anual do sistema solar térmico ST B

Deve existir a preocupação de publicitar este desempenho ambiental, por exemplo, na forma de indicadores reais – comparação contínua com o termo de referência (valor base) –, que aliado a medidas de sensibilização dos funcionários e de consciencialização dos hóspedes, têm a capacidade de acrescentar e gerar valorização económica, se todos os interessados forem capazes de trabalhar conjuntamente de forma transparente e partilhando mais-valias.

Nesta conformidade, ressaltam as seguintes recomendações, sem incremento de qualquer custo na estrutura, que acrescentam desempenho ao imóvel, em termos ambientais, económicos e sociais, quando aliadas à promoção da utilização de renováveis, a saber:

- Ações de formação e sensibilização dos funcionários para a correta utilização de recursos (energia e água) com a atribuição de responsabilidades aos diversos intervenientes. Note-se que os funcionários são parte importante de uma organização eficiente em termos de energia e água, pois possuem informações claras e factuais que podem ajudar a melhorar a implementação de um plano – de otimização dos recursos – e à sua compreensão. É, portanto, necessário informá-los corretamente sobre as iniciativas, devendo os mais qualificados atuar como embaixadores do hotel/hotéis do grupo;
- Promover a mobilização dos hóspedes na ação para eficiência energética/utilização de renováveis. Ou seja, dispor de informação destinada aos clientes sobre o uso eficiente de recursos e das tecnologias disponíveis no hotel. Por outro lado, convidá-los a comunicar quaisquer desperdícios de energia e perdas de água; Adoção de políticas de reutilização nas unidades de alojamentos, em particular na valorização do uso eficiente de água.

Refira-se, por último, que a utilização do solar térmico nas suas duas opções: ST A ref. e ST B, serão combinadas com a instalação de um sistema fotovoltaico para autoconsumo, também ele em duas versões diferentes, através das variantes principais.

(b) Instalação de sistema solar fotovoltaico para autoconsumo

O potencial de produção energética via fotovoltaico (PV, do inglês *Photovoltaics*) nas cidades é imenso, o que pode marcar a independência dos cidadãos face à rede elétrica, dependendo das condições económicas ou políticas fiscais. O investimento é naturalmente o maior obstáculo. No entanto, a queda dos preços dos painéis e de outros componentes eletrónicos têm aliviado os encargos, especialmente se o investimento for feito no seio de cooperativas solares ou através de *crowdfunding*.

Neste contexto, analisou-se o impacto do aumento da utilização de energias renováveis na estrutura de consumos do hotel, em particular no indicador de eficiência energética, através da instalação de unidade de produção para autoconsumo (UPAC), de entre duas opções, que diferem basicamente na capacidade de produção de fornecimento de energia. É importante notar que o desempenho energético do edifício/hotel pode ser influenciado pela presença do sistema PV, que ao absorver a radiação solar pode evitar ou potenciar ganhos térmicos e servir de camada protetora contra intempéries; A análise paramétrica foi combinada em simultâneo com a integração do solar térmico para fins sanitários (AQS), pelas variantes PCK20 a PCK23 (figura 131).

A produção de energia elétrica com recurso a painéis fotovoltaicos (PV) pressupõe a instalação de um sistema constituído por um conjunto de painéis fotovoltaicos, e por um ou mais inversores que têm como missão converter a corrente contínua (na saída dos painéis) para corrente alternada (na saída do inversor). Esta corrente será diretamente injetada na rede de consumo do hotel. Desta forma, pretende-se avaliar a instalação de um sistema solar fotovoltaico para autoconsumo com ligação à rede elétrica de serviço público. Esta instalação fotovoltaica não prevê a utilização de elementos de acumulação; durante o período noturno será sempre a RESP (Rede Elétrica de Serviço Público) a fornecer a totalidade de energia à unidade hoteleira. Assim, a energia consumida pelo hotel será um misto de energia produzida

localmente e energia comprada à rede elétrica, com prioridade de utilização da energia produzida localmente.

Contudo, a indisponibilidade de espaço na cobertura do edifício do hotel, devido à existência da rede de tratamento e distribuição do ar, central de distribuição de água refrigerada, unidades de produção de água refrigerada (UPARs), e à recente avaliação da instalação do solar térmico – que foi a prioridade na promoção da utilização de renováveis –, entrou em conflito com o potencial sistema de produção energética via fotovoltaico. Deste modo, foi necessário olhar para o edifício vizinho (com área livre e orientação favorável) onde poderiam ser colocados painéis PV, sem entrar em conflito com outros usos, e recorrer à negociação da utilização da sua cobertura, mediante contrapartida. Neste caso particular, a contrapartida considerada passou pela disponibilização de uma fração da energia produzida – 20%, a rever periodicamente (i.e., anualmente) –, em vez do tradicional aluguer de espaço disponível.

Nesta perspetiva, avaliou-se a instalação de um sistema solar fotovoltaico na cobertura do edifício vizinho adjacente, que será composto por um campo de módulos, compreendendo uma das seguintes opções: um sistema fotovoltaico – designado PV A – com módulos de silício policristalino, potência de pico de 305 Wp e eficiência nominal do painel de 15,7%; ou a outra opção, um sistema fotovoltaico – referenciado PV B – com módulos de silício monocristalino, potência de pico de 300 Wp e eficiência nominal do painel de 18,4%;

Quanto às características elétricas e térmicas dos módulos, os parâmetros realmente indispensáveis para o cálculo da energia fornecida pelo sistema PV são: tecnologia de conversão (material e estrutura), tensão no ponto de máxima potência (V_{mpp}), corrente no ponto de máxima potência (I_{mpp}), temperatura nominal de operação (NOCT) e a variação da potência máxima com a temperatura (δP_{max}). Acresce ainda a tensão de circuito aberto (V_{oc}), corrente de curto-circuito (I_{sc}) e a sensibilidade à temperatura: da tensão (δV_{oc}) e da corrente (δI_{sc}), conforme se visualiza na figura 135.

Marca e modelo	PV A 305 Wp		Marca e modelo	PV B 300 Wp	
Dimensões	Comprimento: 1,956 m Largura: 0,992 m		Dimensões	Comprimento: 1,640 m Largura: 0,992 m	
Tecnologia	Material: Si Estrutura: policristalino		Tecnologia	Material: Si Estrutura: cristalino	
Parâmetros técnicos	Nº de células: 72 V_{oc}: 45,5 V δV_{oc}: -0,33% /K -150 mV/K I_{sc}: 8,81 A δI_{sc}: 0,040% /K 3,52 mA/K V_{mpp}: 36,9 V δP_{max}: -0,42% /K -1,28 W/K I_{mpp}: 8,28 A NOCT: 45,0 °C degradação máxima: 0,0% /ano		Parâmetros técnicos	Nº de células: 60 V_{oc}: 43,4 V δV_{oc}: -0,20% /K -88 mV/K I_{sc}: 8,95 A δI_{sc}: 0,040% /K 3,58 mA/K V_{mpp}: 36,5 V δP_{max}: -0,26% /K -0,78 W/K I_{mpp}: 8,21 A NOCT: 48,0 °C degradação máxima: 0,0% /ano	

Figura 135 – Principais características dos módulos fotovoltaicos utilizados

A simulação da produção de energia elétrica foi efetuada com o recurso ao programa de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos, *PVsys* 6.71 (*Photovoltaic Systems*) (PVSYST, 2016), com os dados climáticos do *SolTerm*, no caso da cidade de Faro. Para as cidades europeias de Londres e Atenas utilizou-se a própria base de dados do programa, que é concordante com os ficheiros anteriormente introduzidos na pasta “Clima” do *Solterm*. Genericamente, a produção descentralizada para autoconsumo pode materializar-se através das seguintes opções, a saber:

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente: avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

- PV A: o sistema a implementar consiste na produção de energia elétrica por conversão solar fotovoltaica, através de 198 módulos fotovoltaicos de 305 Wp – potência instalada 60 kWp –, quatro inversores de 15 kW, analisadores de rede e sistema de comando e controlo (autómato programável) em permanente comunicação com os inversores. Apresenta uma área de 384 m² em cobertura plana acoplada a estrutura fixa com um ângulo de inclinação de 30° a sudoeste. A simulação da produção de energia elétrica determinada é de 102 MWh/ano;
- PVA B: o sistema solar de origem fotovoltaico tem uma potência instalada de 68 kWp, sendo composto por 228 módulos fotovoltaicos de 300 Wp, quatro inversores de 17 kW, analisadores de rede e sistema de comando e controlo em permanente comunicação com os inversores. Apresenta uma área de 371 m² em cobertura plana acoplada a estrutura fixa, proporcionando um ângulo de inclinação de 30°, tendo em conta a inclinação da cobertura existente, e azimuth 45°. A simulação da produção de energia elétrica calculada para autoconsumo é de 118,5 MWh/ano.

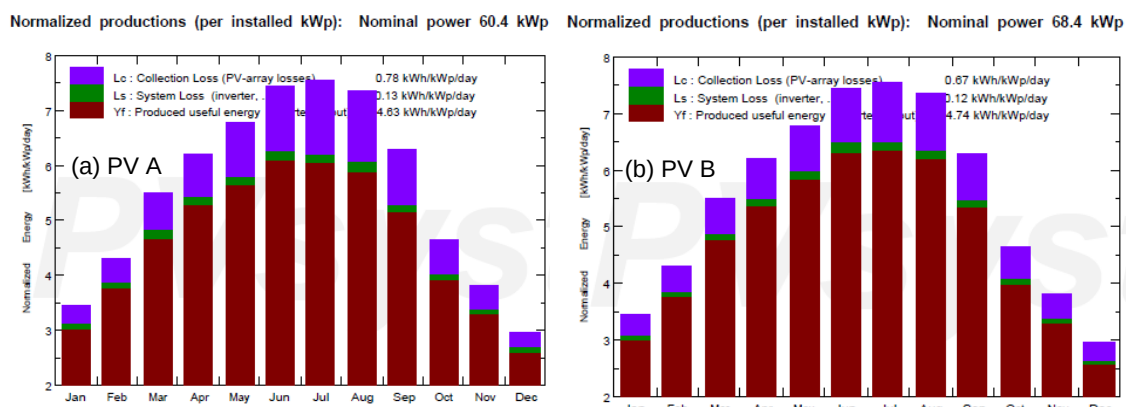


Figura 136 – Resultados da simulação dos sistemas fotovoltaicos: (a) PV A e (b) PV B

Cabe assinalar que a organização da introdução de medidas pelo lado da oferta de energia – energia térmica e elétrica – foi estruturada conforme a figura 137; Exemplificando, PCK26 = PCK20 + ST A + PVA.

Sistemas locais de produção de energia		PCK20	PCK21	PCK22	PCK23
Solar Térmico (ST) p/a cobrir as necessidades de energia associada ao consumo de AQS. ST A ref. Esolar = 59 941 kWh	ST A+PV A	PCK26	PCK30	PCK34	PCK38
Solar Térmico (ST) p/a cobrir as necessidades de energia associada ao consumo de AQS. ST B - Esolar = 63 441 kWh/ano	ST A+PV B	PCK27	PCK31	PCK35	PCK39
Sistema de energia solar fotovoltaica p/a autoconsumo (60 kW) Eficiência PV A = 15,73% 1690 kWh/kWp/ano	ST B+PV A	PCK28	PCK32	PCK36	PCK40
Sistema de energia solar fotovoltaica p/a autoconsumo (68 kW) Eficiência PV B = 18,45% 1732 kWh/kWp/ano	ST B+PV B	PCK29	PCK33	PCK37	PCK41
IEE_{REN}/IEE_R		26%	25%	24%	23%
					22%

Figura 137 – Matriz das parametrizações dos sistemas de energia renovável entre PCK26 – PCK41 e penetração de renovável (em percentagem) nos consumos regulados do hotel

A integração de sistemas de captação solar via térmica e elétrica, quando combinados simultaneamente, permitem uma penetração média de 24% de renovável nos consumos regulados do hotel (rácio entre o consumo renovável (IEE_{REN}) e o consumo total regulado (IEE_R), expresso em energia primária), oscilando entre um máximo de 26% (variantes PCK29 e PCK37) e um mínimo de 22% (variantes PCK30, PCK32, PCK34, PCK38 e PCK40). Por outro lado, quando o foco é simplesmente o solar térmico, a penetração é substancialmente menor (4%). No entanto, essa quantificação não é necessariamente negativa. Devido à indisponibilidade de espaço na cobertura do hotel, deu-se prioridade à instalação de coletores solares térmicos para garantir as necessidades de AQS – a área efetiva disponível de 64 m² favorece o aproveitamento pelo lado da térmica, em detrimento do sistema do sistema solar fotovoltaico no próprio edifício.

Estes resultados correspondem a níveis nZEB (IEE_{nZEB}) entre 97 kWh_{EP}/m².ano (com redução de 56% pela variante PCK29) e 106 kWh_{EP}/m².ano (com redução de 52% da variante PCK38), podendo considerar-se estes indicadores como termo de referência – valores base – para o setor hoteleiro existente de 4 e 5 estrelas, em processo de reabilitação, e quando existe disponibilidade para integrar ou alocar sistemas de energia renovável locais, independentemente do tipo de sistema para o seu aproveitamento (instalação de coletores solares térmicos, sistemas solares fotovoltaicos, caldeiras a biomassa, etc.). Acrescentar, ainda, que caso a disponibilidade da energia produzida (localmente) pelo sistema solar fotovoltaico fosse de 100% dedicada ao consumo no hotel, os níveis nZEB (IEE_{nZEB}) passariam a variar entre 90 kWh_{EP}/m².ano (com redução de 59% pela variante PCK29) e 100 kWh_{EP}/m².ano (com redução de 54% da variante PCK38), com um valor médio na ordem de 38 kWh_{EP}/m².ano e uma penetração média para sistemas de captação solar de 28%.

Todavia, caso os constrangimentos técnicos – devidamente comprovados – ou a ausência de desempenho económico – caracterizada, por exemplo, pelo período de recuperação do capital investido –, prevaleçam e não permitam a implementação de sistemas para utilização de energias renováveis locais – no setor hoteleiro existente –, a opção de potenciar o eixo da eficiência energética deve impor um requisito mínimo de, por exemplo, uma redução de pelo menos 35% relativamente ao consumo anual de energia final regulada base (E_R) – $E_R \leq 65\% E_{R,base}$ –, salvo demonstração de inviabilidade económica.

Neste caso concreto, essa imposição permitiu um benefício energético global de aproximadamente 25%, traduzido por uma redução da fatura superior a 30 000 € anuais (com interesse económico inferior a 5 anos), através da combinação em simultâneo de estratégias de eficiência energética, como a parametrização adequada de *set-points* de operação de sistemas e equipamentos, a promoção da eficiência hídrica, a otimização do sistema de iluminação, e a otimização do sistema de tratamento e distribuição da rede do ar.

Outra abordagem possível e concordante com a imposição anterior, conducente ao aumento da eficiência energética dos edifícios de serviços existentes na sua transição para nZEB, pode ter por base a definição do requisito mínimo associado ao indicador de eficiência energética regulado (IEE_R), por exemplo, uma redução de pelo menos 30% face ao cenário base (real) regulado – $IEE_R \leq 70\% IEE_{R,base}$ –, encontrando-se totalmente alinhado com o requisito afeto à utilização final, independentemente do impedimento da penetração e/ou produção de energia via fontes de origem renovável.

Em termos globais, as variantes PCK26 a PC41 representam um benefício económico médio de 30,5% (48 000 €/ano) (valores constantes). É de notar que são metas ambiciosas para a eficiência energética, mas também com realismo, suportadas na auditoria técnica e na

estratégia progressiva de combinações (adequadas) de medidas de economia de energia, que sustentam, por um lado, o aumento do desempenho energético e económico, com efeito positivo em termos de custo-benefício, traduzido no período de retorno do investimento e, por outro lado, estimulam também o desempenho ambiental, técnico e funcional, estando alinhadas com os desafios estabelecidos para a redução de emissões (45%-55% face a 2005), de incorporação de renováveis (47%) e de eficiência energética (aumento de 35%) para 2030.

Realça-se ainda que este último conceito – valor máximo do indicador de eficiência energética regulado –, é atualmente utilizado a nível nacional, na definição do edifício não residencial nZEB do parque a edificar – nomeadamente, $IEE_R \leq 75\% IEE_{R,ref.}$ – aliado à classificação energética mínima de classe A. Recorde-se que a designação “referência” (ref.) corresponde a um edifício, caso esse fosse dotado de soluções de referência para alguns elementos da envolvente térmica e para alguns sistemas técnicos, mantendo inalteradas as suas demais características.

Na figura 138 denota-se a trajetória do consumo de energia final regulada, o seu requisito recomendado ($E_R \leq 65\% E_{R,base}$), assim como, a evolução dos índices de eficiência energética – nomeadamente, IEE_{nZEB} , IEE_R e IEE_{REN} – e, ainda, a recomendação limite – $IEE_R \leq 70\% IEE_{R,base}$ – que teve a sua origem no primeiro requisito.

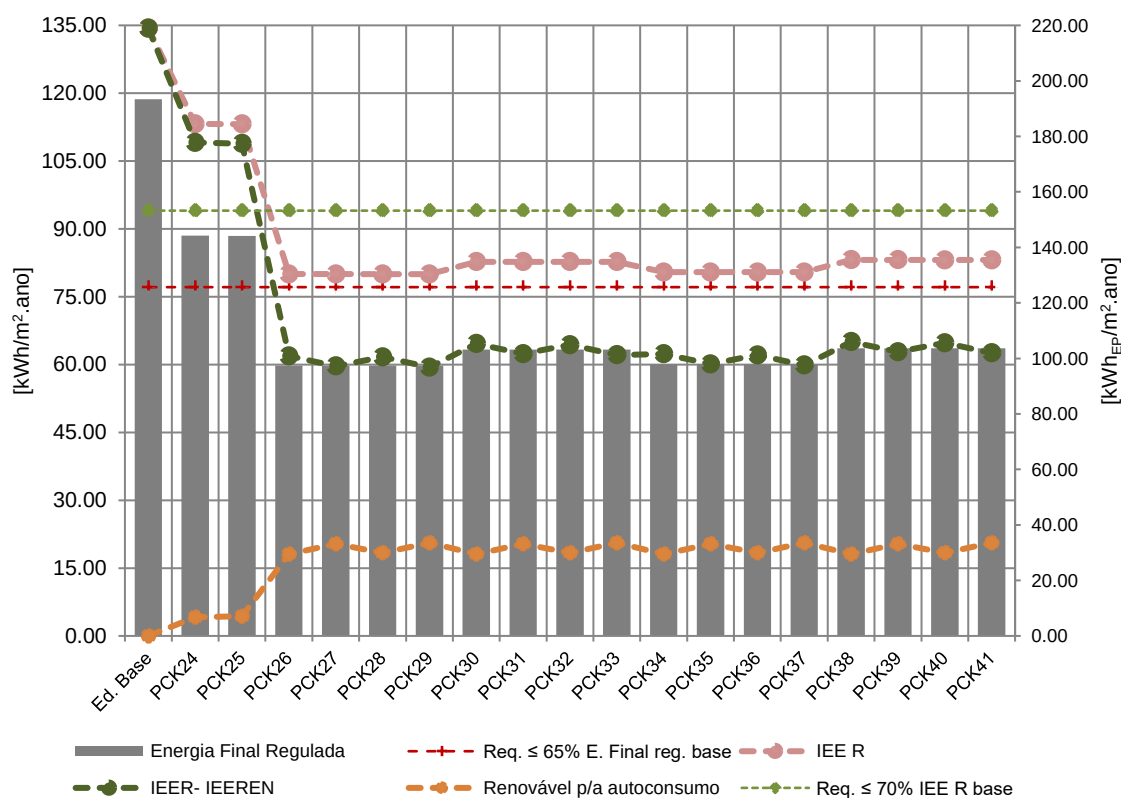


Figura 138 – Indicadores de desempenho (de energia final e primária) e requisitos recomendados

6.9.4 Balanço de energia primária: método oferta de energia (G) – procura de energia (L)

A evolução construtiva e a proveniência das estratégias implementadas são facilmente compreendidas pelo balanço de energia primária – método oferta de energia (G) vs. procura de energia (L) –, através da análise da figura 139. Esta permite identificar três patamares progressivos de redução de energia primária, em termos de consumos regulados face ao seu cenário base real simulado. O primeiro contempla uma redução inferior a 10%, pelas variantes

isoladas e, também, integradas entre EEM1 a EEM10 (vd. figura 123, mapa das medidas de singulares e combinadas), com atuação inicial pelo lado da otimização da envolvente – em particular, o destaque das grelhas de admissão de ar autorreguláveis a 20 Pa – e a adequação do *set-point* de temperatura interior do sistema de climatização. O patamar termina com a introdução da otimização (medida isolada) de dispositivos eficientes para o consumo de água nos quartos. O segundo patamar é caracterizado por uma redução entre 10 a 30%, pela combinação simultânea das estratégias anteriores, com o reforço na eficiência dos sistemas energéticos e a redução das cargas internas – nomeadamente, o aumento da eficiência da iluminação, reajuste do sistema de ventilação e a introdução de ventiladores acionados por motores de alto rendimento e baixo ruído –, iniciando-se com a variante PCK3 até ao conjunto de soluções PCK7. Deve destacar-se também um patamar intermédio com redução superior a 20%, que evolui após a escolha dos motores de alta eficiência pelo lado do setor da ventilação. O terceiro patamar, que pode ser considerado como o nível para requisito mínimo de desempenho energético – com uma redução de 30% relativamente ao edifício base – e que se inicia pela variante PCK9 ($IEE_R \leq 153 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2.\text{ano}$, o valor mínimo a considerar de aumento de eficiência), através do reforço das variantes anteriores – especificamente, na otimização do tratamento e distribuição do ar (utilização de recuperação de energia, promoção do arrefecimento gratuito e o ajuste dos níveis de ventilação à intensidade de utilização), seguindo-se o ajuste adequado de *set-points* de operação na rede de distribuição de água refrigerada – e evolui adequadamente até à seleção de novos equipamentos de geração de energia térmica energeticamente eficientes – UPARs (ajustados para operação otimizada) e caldeiras de condensação – variantes PCK20 a PCK23. O desempenho energético obtido com as estratégias conducentes à redução da procura de energia – aumento da eficiência – correspondeu a índices de energia primária associados ao consumo regulado (IEE_R) a variar entre $130 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2.\text{ano}$ a $135 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2.\text{ano}$, e com diferenças percentuais na ordem de 3%, na alternância da associação da solução EEM7 (grelhas autorreguláveis a 20 Pa e extração mecânica nas instalações sanitárias dos quartos) na construção das variantes – sendo este o intervalo considerado adequado à iniciação da avaliação da utilização de renováveis para suprir as necessidades de energia do hotel.

Importa ainda recordar que o patamar mínimo de desempenho energético do parque edificado existente, em particular o hoteleiro de 4 e 5 estrelas, em contexto de reabilitação (beneficiação ou recuperação) deve garantir um requisito de pelo menos 30% de melhoria face ao seu valor base – obtido em processo de auditoria detalhada –, salvo demonstração de constrangimentos técnicos e económicos, devidamente comprovados.

Entretanto, ainda na mesma linha de princípio, têm-se as estratégias de ação pelo lado da oferta da energia para autoconsumo, via sistemas de captação solar, que permitem alcançar o compromisso de níveis nZEB entre $97 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2.\text{ano}$ e $106 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2.\text{ano}$, com uma penetração de renovável entre 26% ($IEE_{REN} = 33,5 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2.\text{ano}$) a 22% ($IEE_{REN} = 29,5 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2.\text{ano}$), para uma garantia de disponibilidade de 80%, no caso do sistema PV afeto ao consumo elétrico regulado do hotel. Adicionalmente, este intervalo nZEB será avaliado, e certamente validado, pelo cálculo do custo-ótimo das soluções de reabilitação (isoladas e integradas em pacotes de medidas). Na figura 139, além da visualização do balanço de energia primária – produzida/consumida –, identifica-se a redução percentual obtida de cada medida isolada ou integrada, através de uma escala de cores. De notar que as medidas a “negrito” na escala de cores, variantes entre PCK24 e PCK41, são as parametrizações que conjugam as estratégias conducentes à redução da procura e à captação de energia solar ativa.

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente:
avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

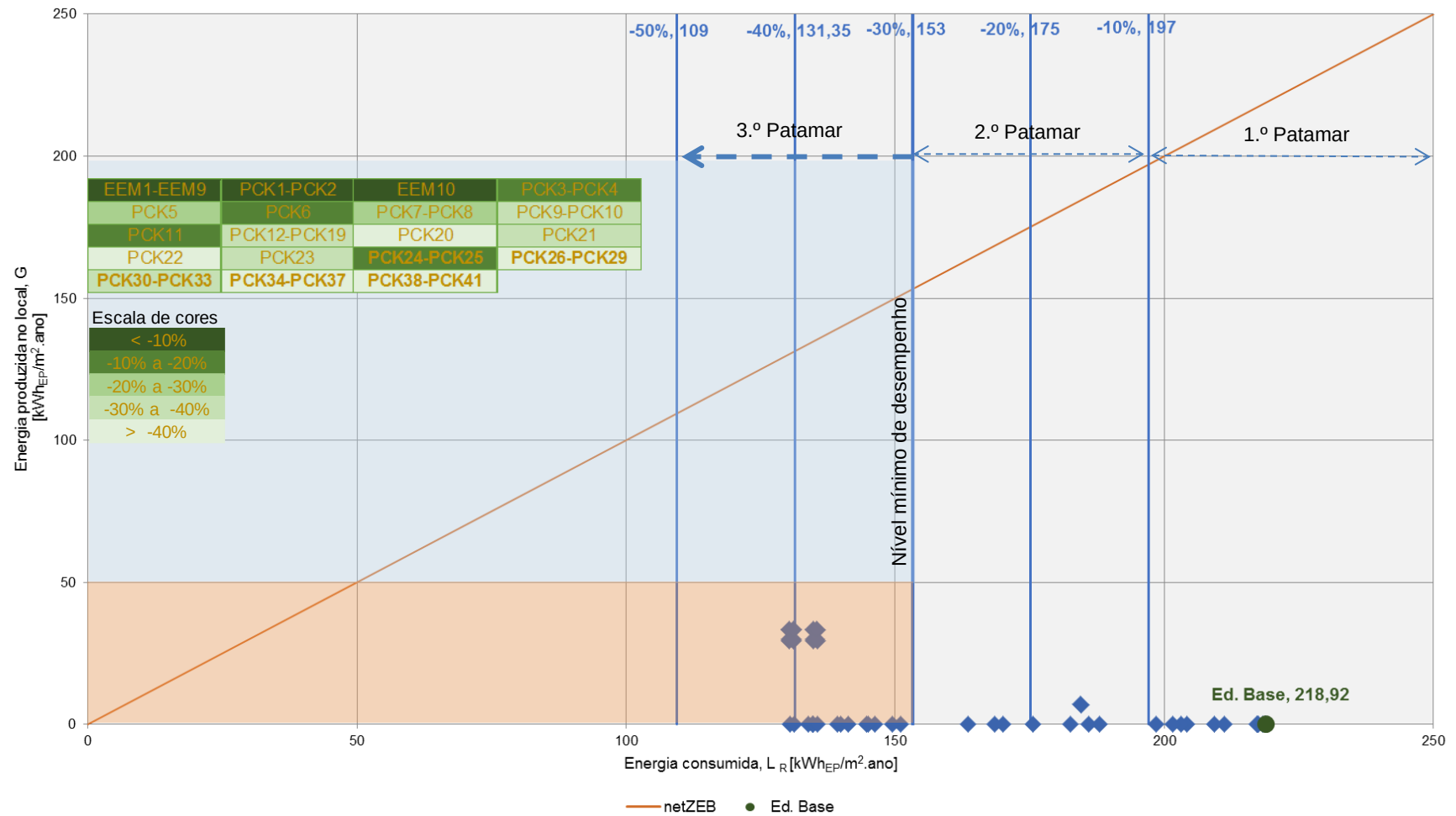


Figura 139 – Balanço de energia primária: método G-L

6.9.5 Avaliação da influência climática no desempenho energético

No contexto da avaliação da influência climática no desempenho energético do hotel, procurou-se analisar as soluções que têm maior impacto – na construção dos níveis passíveis de serem considerados nZEB – em duas zonas climáticas da UE, nomeadamente Londres (zona climática 4) e Atenas (zona climática 1) (vd. Figura 67, zonas climáticas da UE, bem como tabela 27 abaixo). O estudo teve início com o conjunto de medidas que compreendem a solução PCK10, ou seja, pela otimização dos parâmetros do sistema AVAC, dispositivos eficientes para redução do consumo de águas quentes sanitárias (AQS), iluminação eficiente e reformulação do sistema de ventilação. Adicionalmente, testaram-se as medidas integradas associadas à utilização do solar térmico no aquecimento de AQS – variantes PCK24 e PCK25 –, assim como a origem daquelas, a variante PCK11, essencialmente para analisar o interesse económico, e não numa perspetiva de contributo para a criação de indicadores nZEB. Salienta-se, ainda, que o estudo se focou nas parametrizações sem associação dos dispositivos autorreguláveis a 20 Pa nos quartos (i.e., a solução PCK9 é idêntica à variante PCK10, mas não contempla a admissão de ventilação natural nos quartos).

Numa primeira análise, e em termos globais, é notório o predomínio característico do consumo associado ao AVAC nos três climas, representando um peso a oscilar, entre 49% em Londres e 39% em Atenas, contrastando com o peso (menos expressivo) de 31% em Faro, portanto sensível à variabilidade do clima, tendo por base os resultados das simulações dinâmicas, conforme se denota pela figura 140.

De destacar, como expectável, a elevada utilização do aquecimento ambiente em Londres (38% do consumo global), devida à severidade do clima, que também é mais expressiva na Grécia (18% do consumo global), quando comparado com o edifício base na sua zona real (9% do consumo global em Faro). O peso do arrefecimento ambiente é similar nas zonas do clima mediterrânico (9%) e sem relevo na zona de clima temperado oceânico (2%). Estes resultados são concordantes com os dados climáticos obtidos para as três zonas (vd. Tabela 27). Por outro lado, as utilizações finais que compreendem o AQS, a iluminação, a ventilação e a bombagem, são caracterizadas por uma evolução relativamente constante entre os três climas estudados. Destes resultados ressalta ainda, em termos de vetores energéticos, o aumento percentual do consumo de gás natural dedicado ao aquecimento ambiente.

Tabela 27 – Dados climáticos gerais das três localizações simuladas

Localização	Temperatura mínima [°C]	Temperatura máxima [°C]	Graus-dia (GD) de arrefecimento base 18,5 [°C.dias]	Graus-dia (GD) de aquecimento base 18,5 [°C.dias]	Média diária da radiação global horizontal [kWh/m ² .dia]
Faro	4,5	34,9	787	899	5,09
Londres	-5,9	31,3	101	3118	2,77
Atenas	2	37,2	1036	1254	4,57

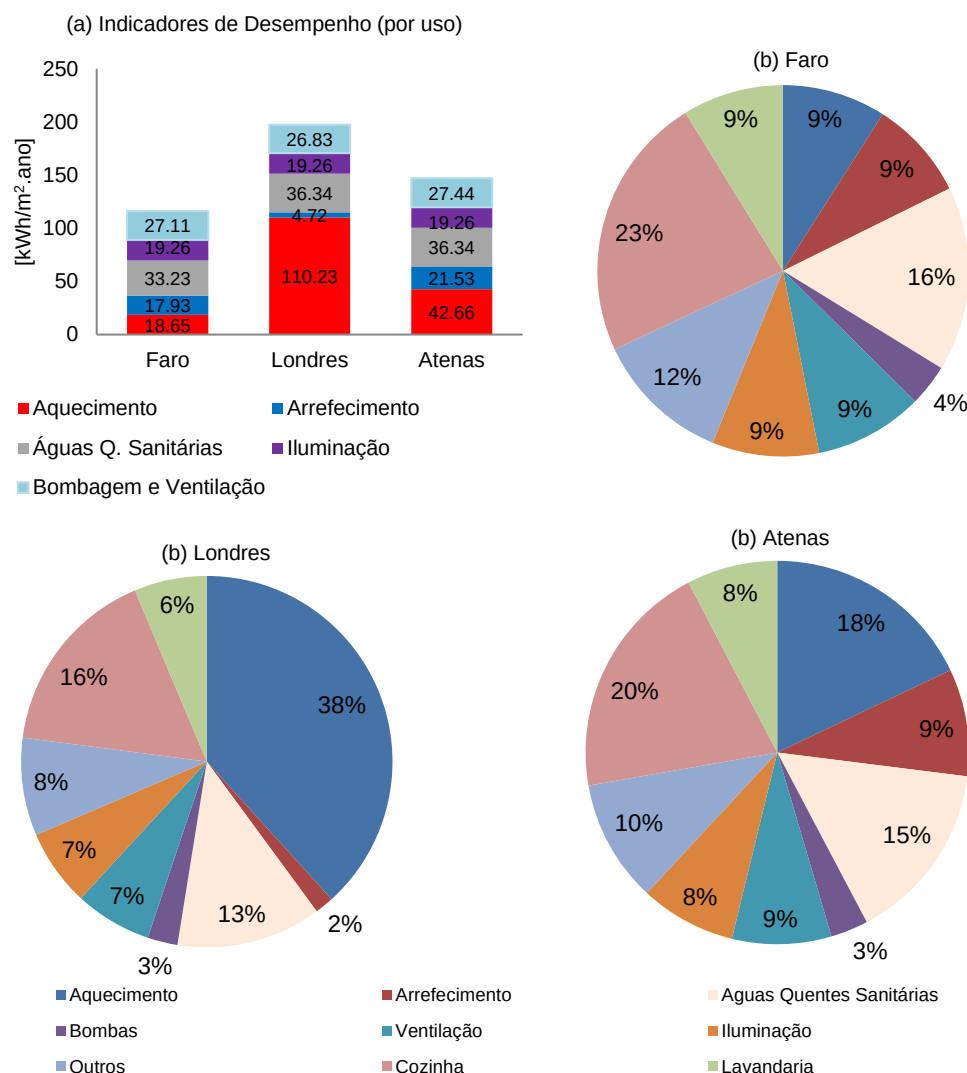


Figura 140 – Consumo anual de energia final nos três climas: (a) principais usos e (b) estrutura global das utilizações, expressa em percentagem

Pela perspetiva das medidas de reabilitação que tiveram maior impacto, os resultados obtidos das modelações efetuadas permitem identificar as variantes PCK21 e PCK23, em Londres e em Atenas, com reduções – em termos de IEE_R – entre 43% e 41%, respetivamente. Os limites de consumo regulado para energia final ($E_R \leq 65\% E_{R,base}$) e energia primária ($IEE_R \leq 70\%$) foram integralmente superados, à exceção das variantes “teste” anteriormente referidas (PCK11, PCK24 e PCK25), que também não tinham esse objetivo.

No entanto, é de notar que a solução central que serviu de alavanca em Londres, após a estabilidade da redução (de consumos) obtida pela progressão entre as variantes PCK10 a PCK13, foi garantida pela caldeira de condensação, especificamente a variante PCK19. Deste modo, o desempenho energético obtido com as estratégias conducentes à redução da procura de energia correspondeu a índices de energia primária de consumo regulado (IEE_R) compreendidos entre 161 kWh_{EP}/m².ano a 164 kWh_{EP}/m².ano (considerando a solução PCK19). Pelo lado da oferta de energia, a integração de sistemas de captação solar (térmico e elétrico com garantia de 80% disponibilizada para consumo no hotel), quando combinados simultaneamente, introduziram uma penetração média de 11% de renovável nos consumos

regulados do hotel, que correspondem a níveis nZEB (IEE_{nZEB}) entre 142 kWh_{EP}/m².ano (variante PCK33, $IEE_{REN} = 18,6$ kWh_{EP}/m².ano) e 144 kWh_{EP}/m².ano (variante PCK38, $IEE_{REN} = 16,7$ kWh_{EP}/m².ano) – redução média na ordem de 49% para IEE_{nZEB} –, sendo estes os valores indicativos a considerar como termo de referência para o setor hoteleiro existente de 4 e 5 estrelas (em processo de reabilitação) e quando existe disponibilidade para integrar ou alocar sistemas de energia renovável locais, independentemente do tipo de sistema para o seu aproveitamento.

Por sua vez, os indicadores de desempenho energético (regulado), expressos em energia primária, quando o hotel se localiza em Atenas, centraram-se entre 150 kWh_{EP}/m².ano e 158 kWh_{EP}/m².ano. Neste caso específico, a evolução do desempenho energético apresenta um comportamento similar à zona climática do edifício real (situação previsível, clima mediterrânico). Contudo, o aumento do consumo da climatização em 15%, devido ao aquecimento e ao ligeiro aumento do arrefecimento ambiente relativamente a Faro, promoveram uma exposição ainda mais favorável dos equipamentos térmicos energeticamente eficientes – após a variante PCK13 – que tem características semelhantes à variante PCK10, mas com o ajuste da temperatura no circuito de arrefecimento, $T_{ida} = 10^{\circ}\text{C}$.

Finalmente, o contributo dos sistemas para aproveitamento de fontes de energia renováveis, nomeadamente as versões do solar térmico – ST A e ST B – e do sistema fotovoltaico – PV A e PV B –, introduzidos nas variantes PCK21 e PCK23 (vd. Figura 137, matriz das parametrizações dos sistemas de energia renovável), garantiram uma penetração média de 19%, conseguindo a obtenção de indicadores – IEE_{nZEB} – entre 119 kWh_{EP}/m².ano (variante PCK33, $IEE_{REN} = 30,9$ kWh_{EP}/m².ano) e 124 kWh_{EP}/m².ano (Variante PCK38, $IEE_{REN} = 27,2$ kWh_{EP}/m².ano) – redução média na ordem de 53% para IEE_{nZEB} .

Relativamente à zona climática de Atenas, cabe ainda assinalar que, caso a disponibilidade da energia produzida pelo sistema solar fotovoltaico fosse de 100% dedicada ao consumo no hotel, os níveis nZEB (IEE_{nZEB}) passariam a variar entre 113 kWh_{EP}/m².ano (com redução de 56% pela variante PCK33) e 118 kWh_{EP}/m².ano (com redução de 54% da variante PCK38), com um valor médio de IEE_{REN} na ordem de 35 kWh_{EP}/m².ano e uma penetração média para sistemas de captação solar de 23%.

Deve ter-se entretanto em atenção que estes requisitos de desempenho mínimo, nomeadamente o $E_R \leq 65\% E_{R,base}$ e $IEE_R \leq 70\% IEE_{R,base}$, assim como os níveis base para IEE_{nZEB} , têm que ser validados sob o ponto de vista do nível ótimo de rentabilidade económica.

Na figura 141 visualiza-se a evolução dos consumos específicos de energia final e primária das medidas combinadas, a penetração de renovável (expressa em energia primária) introduzida no consumo regulável e os limites de consumo final regulado – especificamente, $E_{R,Londres} \leq 130$ kWh/m².ano e $E_{R,Atenas} \leq 97$ kWh/m².ano.

Em complemento, na figura 142 visualiza-se o exemplo da matriz das soluções parametrizadas entre PCK30 a PCK41 para a zona climática de Londres. De notar que a matriz da zona climática de Atenas é semelhante, mas com o contributo da utilização de energia renovável superior, ou seja, para o solar térmico – ST A: $E_{solar} = 52\,069$ kWh/ano e ST B: $E_{solar} = 54\,992$ kWh/ano – e para sistema solar fotovoltaico – com uma produtividade anual específica de PV A: 1583 kWh/kWp e PV B = 1621 kWh/kWp. As restantes variantes podem ser visualizadas nas figuras 126 e 131. No Anexo G sintetizam-se os resultados dos cálculos efetuados para as três zonas climáticas.

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente:
avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

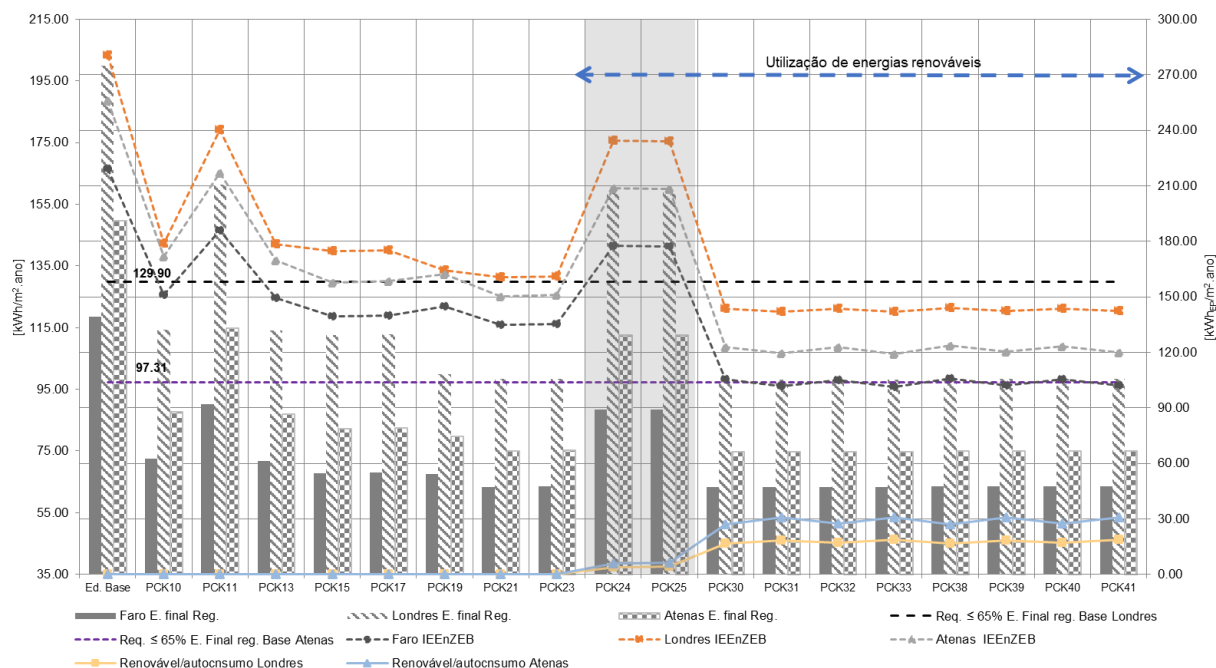


Figura 141 – Indicadores de desempenho (de energia final e primária) e requisitos recomendados, em termos de energia final, para Londres e Atenas

Medidas de otimização		Ed. Base	PCK30	PCK31	PCK32	PCK33	PCK38	PCK39	PCK40	PCK41
Redução das cargas Internas	Instalação de LED's (substituição FT 18W; FT 36W; FT58W)		x	x	x	x	x	x	x	x
	Reajuste do sistema de ventilação c/ garantia dos caudais de ar novo previstos no RECS		x	x	x	x	x	x	x	x
Eficiência dos sistemas de energia	Adequação do set-point de temperatura do sistema de climatização: 21°C - 25°C									
	Adequação do set-point de temperatura do sistema de climatização: 20°C - 26°C									
	Adequação do set-point de temperatura do sistema de climatização: 20°C - 25°C		x	x	x	x	x	x	x	x
	Dispositivos eficientes p/a redução do consumo de AQS - Quartos		x	x	x	x	x	x	x	x
	Ventiladores eficientes c/ variação de velocidade (classe SFP2 ; < 750 W/(m³/s)		x	x	x	x	x	x	x	x
	Sistema de recuperação de calor nas UTAs e UTANs p/a aquecimento ambiente		x	x	x	x	x	x	x	x
	Dispositivos p/a promoção de free-cooling para arrefecimento ambiente		x	x	x	x	x	x	x	x
	Ajuste dos níveis de ventilação à necessidade de utilização dos espaços		x	x	x	x	x	x	x	x
	Ajuste de temperatura de funcionamento do circuito de arrefecimento (Temp. evap. 10 °C)		x	x	x	x	x	x	x	x
	Instalação de chiller mais eficiente p/a arrefecimento ambiente (EER - 3,73 A35°C/W10°C)		x	x	x	x				
	Instalação de chiller mais eficiente p/a arrefecimento ambiente (EER - 3,62 A35°C/W10°C)						x	x	x	x
	Caldeira de condensação (eficiência = 97,6%) p/a aquecimento ambiente e preparação de água quente sanitária (AQS)		x	x	x	x	x	x	x	x
Sistemas locais de produção de energia	Solar Térmico (ST) para cobrir as necessidades de energia associada ao consumo de AQS. ST A ref. Esolar = 33 849 kWh/ano		x	x			x	x		
	Solar Térmico para cobrir as necessidades de energia associada ao consumo de AQS. ST B - Esolar = 36 239 kWh/ano				x	x			x	x
	Sistema de energia solar fotovoltaica para autoconsumo (60 kW) Eficiência PV A = 15,73% 960 kWh/kWp/ano		x		x		x		x	
	Sistema de energia solar fotovoltaica para autoconsumo (68 kW) Eficiência PV B = 18,45% 950 kWh/kWp/ano			x		x		x		x

Figura 142 – Exemplo da matriz das medidas de economia de energia parametrizadas entre PCK30 – PCK41 (Londres)

Paralelamente, na figura 143 identifica-se a progressão e a origem das medidas integradas pelo método G-L – oferta de energia/procura de energia –, assim como o requisito mínimo para o indicador de desempenho energético – nomeadamente, $IEE_{R,Londres} \leq 196 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$ e $IEE_{R,Atenas} \leq 179 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$ –, a considerar em contexto de reabilitação do parque hoteleiro existente de 4 e 5 estrelas. Além disso, permite aferir a redução de energia primária conseguida por cada solução parametrizada, através da graduação de cores.

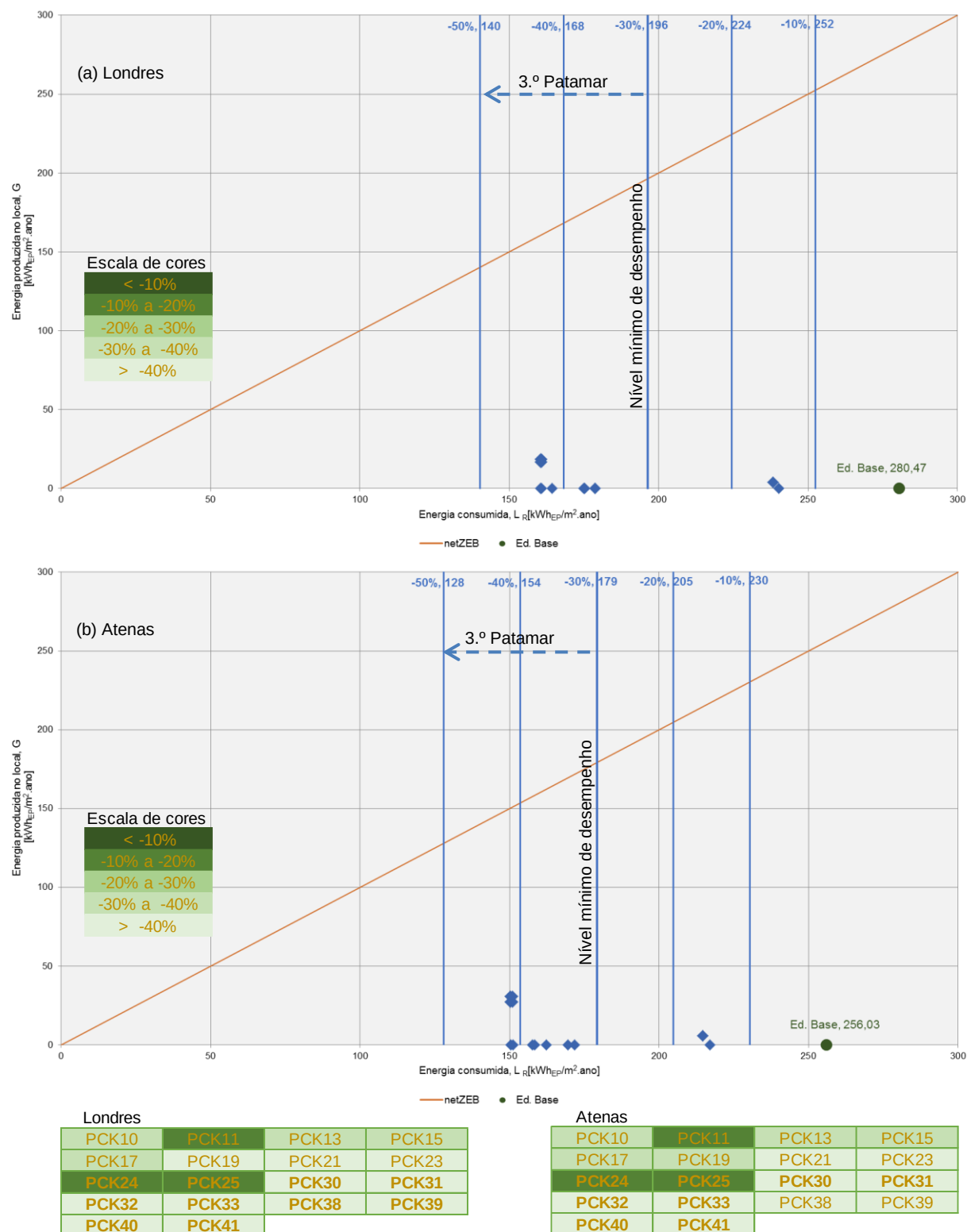


Figura 143 – Balanço de energia primária, método G-L: (a) Londres e (b) Atenas

6.10 Análise económica

O objetivo da avaliação económica de diferentes cenários de oportunidades de melhoria é de apoiar os decisores na escolha entre diferentes alternativas, optando pelas mais rentáveis do ponto de vista custo-benefício. Dado que os investimentos em causa são realizados numa perspetiva de longo prazo, a avaliação económica deve considerar os custos e benefícios durante todo o ciclo de vida do edifício. Assim, deve ser contabilizado o efeito temporal do dinheiro, convertendo todos os custos ao seu valor atual. Portanto, o presente subcapítulo é referente à avaliação do desempenho económico e subsequente seleção das medidas isoladas e integradas, anteriormente detalhadas e analisadas energeticamente, que serviram de suporte à definição dos requisitos mínimos associados ao consumo de energia, assim como à quantificação dos indicadores numéricos nZEB dos hotéis existentes de 4 e 5 estrelas, em contexto de reabilitação.

A metodologia centrou-se no critério do nível ótimo de rentabilidade, que é definido como o nível de desempenho energético que leva ao mais baixo custo ao longo do ciclo de vida económico estimado para a fase operação, sendo o custo global determinado tendo em conta os custos iniciais de investimento, os custos de manutenção e os custos de exploração. Na sua essência, a metodologia assenta na avaliação das diferentes soluções preconizadas no hotel com base no consumo de energia primária e nos seus custos globais, de cada uma das soluções, integrando os custos de investimento e os custos de exploração (energéticos e de manutenção) do hotel ao longo do seu período de vida, que no presente estudo se considera de 20 anos (período de tempo estimado até uma nova remodelação).

Na utilização deste método – traduzido pela relação entre o desempenho energético em termos de energia primária e o custo global de intervenção –, a rentabilidade da intervenção no hotel é determinada pela comparação com o chamado “cenário de base”, que basicamente considera somente operações de manutenção e conservação no hotel, sem melhorias de desempenho energético. As soluções (singulares ou combinadas) com o menor valor para o somatório de todos os custos apontarão os níveis ótimos de rentabilidade. Deste modo, o custo do ciclo de vida associada a uma determinada solução (singular ou combinada) – que corresponde ao custo global no estágio de operação, a valores atuais, para um respetivo período de análise –, pode ser calculado através das seguintes equações:

$$LCC = \frac{IC + a(n_a, i_{re}) \cdot EC + a(n_a, i_{rmi}) \cdot MC}{A_p} \quad (6.20)$$

sendo,

$$a(n_a, i_{re}) = \frac{1 - (1 + i_{re})^{-n_a}}{i_{re}} \quad (6.21); \quad a(n_a, i_{rmi}) = \frac{1 - (1 + i_{rmi})^{-n_a}}{i_{rmi}} \quad (6.22)$$

onde,

$$i_{re} = \frac{1 + i_r}{1 + e} - 1 \quad (6.23); \quad i_{rmi} = \frac{1 + i_r}{1 + i} - 1 \quad (6.24)$$

em que:

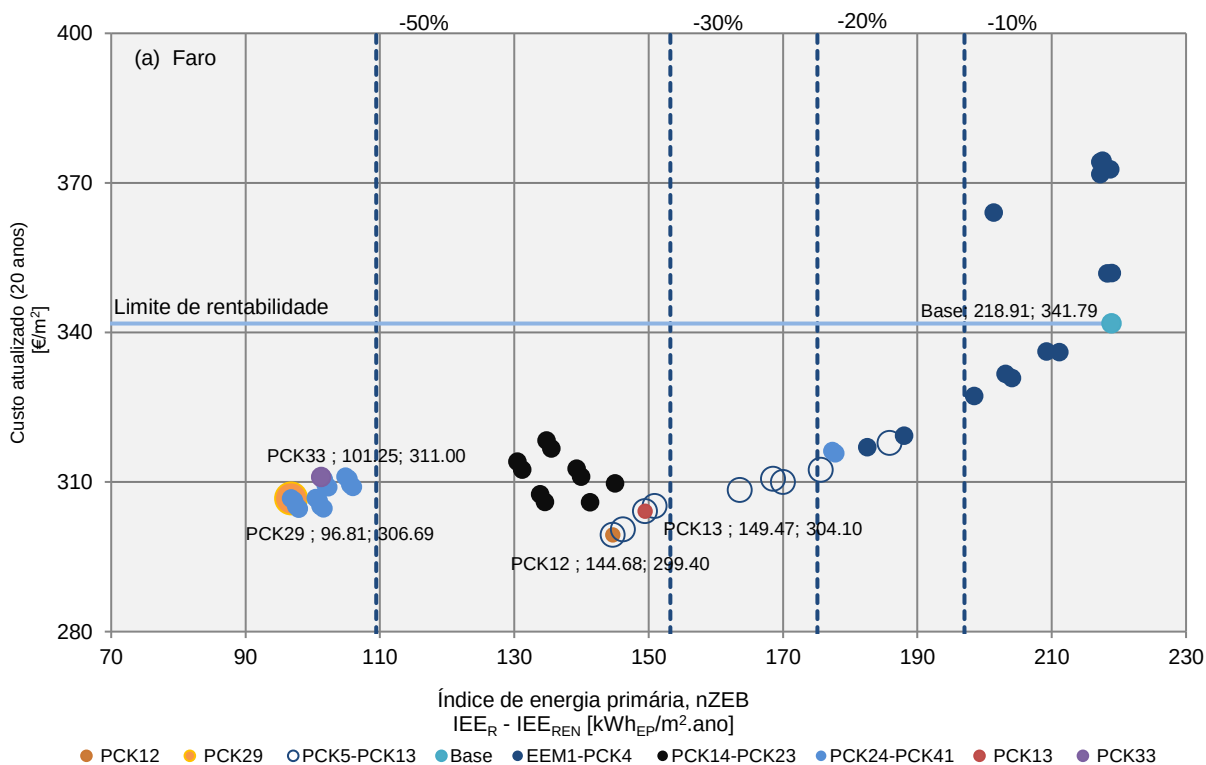
LCC	Custo do ciclo de vida do edifício para um período de análise (n_a) de 20 anos, [EUR/ m^2]
IC	Custo de investimento inicial para a medida ou conjunto de medidas, [EUR]
$a(n_a, i_{re})$	Fator de atualização a utilizar no custo energético (EC), com termos constantes unitários, cujo período (n_a) é igual ao da taxa i_{re}
$a(n_a, i_{rmi})$	Fator de atualização a utilizar no custo de manutenção (MC), com termos constantes unitários, cujo período (n_a) é igual ao da taxa i_{rmi}
EC	Custo energético anual no ano de início e necessário para garantir as condições de conforto na fase de exploração, [EUR]
MC	Custo de manutenção determinado para o ano de início e necessário para garantir as condições de conforto na fase de exploração, [EUR]
i_{re}	Custo de oportunidade do capital incluindo o efeito da variação do custo da energia
i_{rmi}	Custo de oportunidade do capital incluindo o efeito da variação do custo da manutenção
n_a	Número de anos a partir do período inicial em análise, [anos]
A_p	Área total de pavimento, [m^2]
i_r	Custo de oportunidade do capital (taxa de juro real)
e	Taxa para a variação do custo da energia
i_i	Taxa de inflação: utilizada para a variação do custo da manutenção

Para o cálculo do custo global associado a cada um dos cenários – soluções de otimização – foi necessário determinar os custos de investimento, os custos de manutenção e os custos associados aos consumos energéticos (por vetor energético) existentes no hotel. Neste contexto, a determinação dos custos de investimento foi realizada através da consulta de diversos fornecedores, de modo a obter uma base consistente e credível. Os custos de manutenção das diferentes soluções foram calculados como sendo uma percentagem sobre o investimento necessário para a implementação de cada medida, seguindo as recomendações indicadas na EN 15459 (EN 15459, 2007) (vd. Tabela 28). A par disso, a determinação deste custo de manutenção no cenário base incidiu sobre o custo energético operacional, via o valor percentual de 20%. Relativamente aos valores de referência para as tarifas das fontes energéticas, foram considerados os custos determinados no período da auditoria ao hotel, que tiveram como suporte as faturas da energia, conforme referido nos subcapítulos anteriores.

No que respeita aos dados de natureza financeira, foi assumida uma taxa média de inflação de 2% ao ano e um custo anual de oportunidade do capital de 5%. Neste caso concreto, considerou-se que os investimentos eram integralmente financiados por capital próprio e, consequentemente, só se considerou o risco operacional, não considerando o risco financeiro. No plano energético, tendo em consideração a volatilidade deste mercado foi adotado o valor médio anual de 3% para a taxa da variação do custo da energia. De realçar que foi desprezado o imposto de valor acrescentado (IVA) sobre a compra dos equipamentos/serviços em causa, pois essas parcelas são descontáveis nos valores de IVA cobrados pela empresa na prestação de serviços hoteleiros.

Tabela 28 – Custos de manutenção em percentagem do investimento

Custos de manutenção [%]	
Componentes do edifício	[%]
Reforço no isolamento da envolvente opaca vertical	0%
Beneficiação dos vãos envidraçados	0%
Sistema de ventilação natural: dispositivos de admissão de ar autorreguláveis a 20 Pa	2%
Sistemas técnicos do edifício	[%]
Dispositivos eficientes para redução do consumo de água	1%
Sistemas de iluminação eficientes	1%
Sistema de ventilação mecânica e unidades de condicionamento de ar	3%
Unidades de geração de calor (<i>Chiller</i> e caldeira)	2%
Sistemas de captação de energias renováveis: solar térmico e fotovoltaico	1%



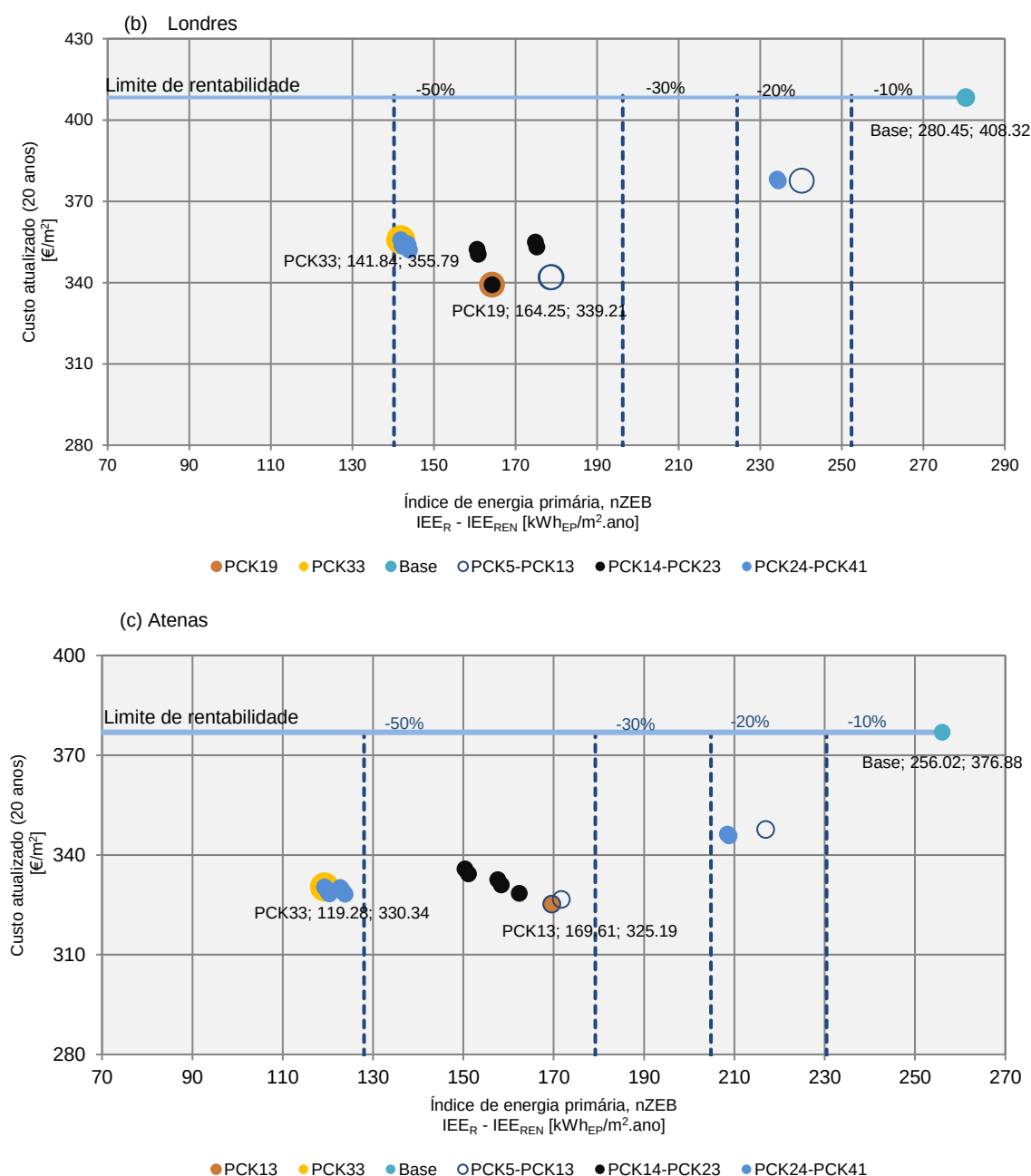


Figura 144 – Análise de rentabilidade das soluções estudadas (custo de oportunidade (i_r) 5% | taxa de inflação (i_i) 2% | variação do custo da energia (e) 3%): (a) Faro, (b) Londres e (c) Atenas

Constata-se pela figura 144 que cada análise paramétrica corresponde a um ponto na resultante do consumo de energia primária e do seu custo global atualizado. O nível ótimo de rentabilidade corresponde às soluções dentro dos níveis de rentabilidade positiva. Este último conceito compreende qualquer medida ou conjunto de medidas cujo custo de implementação seja inferior aos benefícios a obter durante o período de vida dessa medida, quando comparada com o cenário base. A medida ou conjunto de medidas em que os benefícios não compensam o custo de implementação (acima da linha azul horizontal da figura 144) são consideradas não rentáveis, enquanto as que minimizam esse custo global indicam os níveis

ótimos de rentabilidade. Em complemento, diferencia-se a influência das soluções preconizadas, que serviram de base à construção da curva de rentabilidade, como sejam: (1) medidas isoladas e integradas entre EEM1 a PCK4, através das grelhas de admissão de ar autorreguláveis, ajuste da temperatura interior do sistema de climatização e promoção da eficiência hídrica; (2) variantes combinadas entre PCK5 e PCK13, reforço das anteriores, pelo aumento da eficiência da iluminação, reformulação global do sistema de ventilação e parametrização eficiente do *set-point* de operação no circuito de arrefecimento; (3) variantes entre PCK14 a PCK23, com a seleção de equipamentos térmicos energeticamente eficientes; e (5) variantes entre PCK24 e PCK41, conjugação das estratégias anteriores pela adição da produção de energia para autoconsumo – via sistemas de captação solar –, que permitem alcançar um compromisso nZEB. Deve ainda acentuar-se que a partir da introdução deste eixo de ação, a redução do índice de energia primária face ao cenário base deixa de ser idêntica à redução do indicador de eficiência energética regulado (IEE_R), uma vez que considera a introdução da energia proveniente de fontes renováveis (IEE_{nZEB}), sendo esta particularidade evidenciada na figura 144.

Assim sendo, é visível pela figura 144a que a solução de nível de rentabilidade ótima, em Faro, corresponde à variante PCK12 – estratégias preconizadas para as variantes PCK5 a PCK13 – com um IEE_R de 145 kW_{EP}/m².ano (incluindo a introdução de dispositivos de admissão autorreguláveis) e redução de 34% em termos de energia primária face ao cenário base, refletindo um custo específico escalonado no tempo (LCC) de 300 €/m². Por outro lado, se a opção não incidir na aplicação desses dispositivos, a solução ótima é, naturalmente, a sua homóloga – nomeadamente a medida combinada PCK13 (IEE_R de 149 kW_{EP}/m².ano, redução de 32% face ao base e LCC 304 €/m²), tal como se denota na figura 144c para o clima de Atenas, de comportamento semelhante ao clima da região de Faro. No caso de Atenas, o índice de energia primária (IEE_R) apresenta um valor de 170 kW_{EP}/m².ano (redução de 34% face à solução inicial) e um custo específico atualizado para 20 anos (LCC20) de 325 €/m².

Na perspetiva do clima de Londres, a solução ótima é concordante com a severidade do clima, expressando-se pela variante PCK19, ou seja, progredindo para a introdução da caldeira eficiente na medida integrada PCK13, desconsiderando a seleção de novos equipamentos para garantir o arrefecimento, devido à insignificância desse consumo. O seu consumo específico (IEE_R) é de 164 kW_{EP}/m².ano (redução de 41% face à solução inicial), valor que representa um custo específico atualizado (LCC20) de 339 €/m² (figura 144b).

De facto, a aplicação desta metodologia permitiu identificar a solução nível ótimo de rentabilidade do hotel nas três regiões climáticas, assim como a rentabilidade de cada variante estudada, identificando as combinações de medidas – de eficiência energética e oferta de energia – que, para além de garantirem os objetivos energéticos e, claro, ambientais, o conseguiram com o melhor compromisso entre o custo de investimento e o custo ao longo do ciclo vida do hotel. Paralelamente, as soluções de custo-ótimo estão alinhadas com a definição anteriormente introduzida, relativa ao requisito mínimo para o indicador de eficiência energética regulado (IEE_R), especificamente uma redução de pelo menos 30% face ao cenário base (real) regulado – $IEE_R \leq 70\% IEE_{R,base}$ –, validando essa imposição e sendo mais ambiciosa.

Pela perspetiva dos indicadores nZEB, as melhores soluções são conseguidas pelas versões do solar térmico – ST B – e do sistema fotovoltaico – PV B –, introduzidos nas variantes PCK20 a PCK23 (vd. Figura 137, matriz das parametrizações dos sistemas de energia renovável), que garantiram em Faro a obtenção de indicadores – IEE_{nZEB} – 97 kWh_{EP}/m².ano e 101

kWh_{EP}/m².ano, pelas variantes PCK29 (redução nZEB de 56%) e PCK33 (redução nZEB de 54%), valores que correspondem a custos específicos atualizados na ordem (LCC20) de 307 €/m² e 311€/m², respetivamente. No que diz respeito às restantes zonas climáticas, a melhor solução é exatamente a mesma, ou seja, a variante PCK33 (idêntica à PCK29 sem admissão ventilação natural nos quartos), apresentando em Londres um índice nZEB de 142 kWh_{EP}/m².ano (redução nZEB de 49%) e LCC20 de 356 €/m², e em Atenas um IEE_{nZEB} de 119 kWh_{EP}/m².ano (redução nZEB de 53%) e um custo específico (LCC20) de 330 €/m². Acrescente-se, ainda, que a variação percentual entre o LCC20 para o melhor IEE_{nZEB} obtido e o LCC20 mínimo é bastante reduzida entre os três climas (4,9% em Londres, 1,6% em Atenas e 2,4% em Faro).

Entretanto, é relevante mencionar que as soluções que anteriormente já cumpriam os requisitos mínimos regulados de energia final ($E_R \leq 65\% E_{R,base}$) e energia primária ($IEE_R \leq 70\% IEE_{R,base}$), nomeadamente a partir dos pacotes de intervenções PCK9 e PCK10, apenas diferem daquelas soluções ótimas pela ausência do ajuste de temperatura na distribuição de água refrigerada. Neste caso concreto, esta estratégia de controlo não incrementa custo às soluções de custo-ótimo, mas aumenta o seu desempenho energético, influenciando positivamente essas soluções (situação para os cenários de clima mediterrânico).

Por outro lado, é também importante abordar dois dos três critérios clássicos quantitativos e mais frequentemente utilizados na avaliação de investimentos, nomeadamente o Valor Atual Líquido (VAL), o Período de Recuperação do Capital (PRC) e a Taxa Interna de Rentabilidade (TIR), que permitem à semelhança do cálculo do custo-ótimo, avaliar quais as soluções estudadas mais rentáveis. Mantendo o foco nas duas primeiras, o critério VAL corresponde ao valor do excedente gerado pelos investimentos realizados (IC), expresso no momento atual (momento zero), relativamente ao valor do dispêndio inicial e à remuneração mínima reclamada pelos investidores/decisores, ou, por outras palavras, compara o valor atual dos fluxos financeiros gerados pelas medidas isoladas e/ou integradas com o investimento realizado. Neste caso, existe uma série de fluxos financeiros periódicos constantes que são positivos e correspondem ao benefício (ΔEC) resultante da aplicação das soluções singulares ou integradas (redução da futura gerada), e fluxos negativos correspondentes ao sobrecusto associado à realização dos procedimentos de manutenção (ΔMC) introduzidos pelas soluções. Diz-se que o investimento de uma determinada solução é rentável quando o seu VAL é positivo. Note-se a importância da taxa de atualização a considerar. Tipicamente, à medida que ela aumenta o VAL diminui (e vice-versa). Ou seja, quanto mais elevada for a taxa de atualização mais exigente será a análise económica do pacote de medidas.

Relativamente ao Período de Recuperação do Capital (PRC), tal como o nome indica, representa o prazo durante o qual os investimentos são recuperados, isto é, o número de períodos necessários para igualar o VAL a zero. De acordo com este critério, é de aceitar um investimento quando o período de retorno é inferior ao número de períodos de vida útil previstos para o mesmo; O PRC e o VAL estão intimamente relacionados. Quando o VAL é positivo, o PRC é inferior ao período de vida útil previsto para a intervenção. Por outro lado, quando o VAL é negativo, o PRC não permite a recuperação total do investimento.

Porém, como critério adicional de viabilidade económica, utilizou-se um PRC atualizado igual ou inferior a 75% da vida útil definida para o edifício ($PRC \leq 75\% n_a$). Ou seja, o período de análise (n_a) foi estipulado em 20 anos, o que significa que são válidas para implementação as medidas/variantes que se enquadram dentro do intervalo de 15 anos.

Assim, para o VAL o cálculo pode ser efetuado através da seguinte equação:

$$VAL = \Delta EC \cdot a(n_a, i_{re}) - \Delta MC \cdot a(n_a, i_{rmi}) - IC \quad (6.25)$$

No caso do PRC, será o prazo, “ x_{PRC} ”, tal que:

$$\Delta EC \cdot a(n_a, i_{re}) - a(n_a, i_{rmi}) \cdot \Delta MC = IC \quad (6.26)$$

Nesta conformidade, na figura 145 denota-se que a maior parte das soluções analisadas, à exceção das resultantes da intervenção na envolvente térmica – reforço do isolamento das paredes exteriores e beneficiação dos vãos envidraçados (figura 147) –, inserem-se no critério mais exigente de período de recuperação inferior a 15 anos ($PRC \leq 75\% n_a$). Observam-se três patamares distintos para a recuperação do capital investido, de acordo com as estratégias de ação e em função da sua localização climática, a saber:

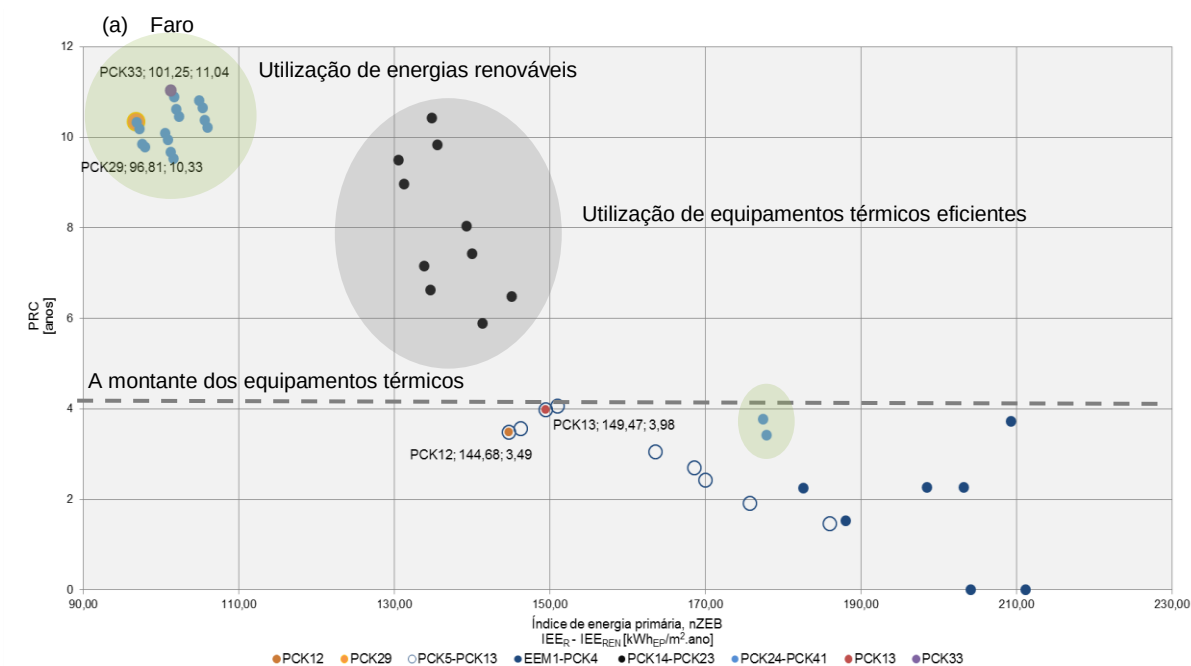
- Primeiro patamar, recuperação de capital inferior a quatro anos nas três regiões climáticas, garantido através da otimização dos parâmetros de funcionamento do sistema de AVAC (*set-points*), elevada eficiência hídrica, iluminação eficiente e reformulação global do sistema de ventilação;
- Segundo patamar, que representa uma recuperação de capital que pode ser superior a 10 anos, no caso de Faro (solução PCK21) e entre 6 a 8 anos nas restantes regiões climáticas de Londres e Atenas, respetivamente; este patamar é caracterizado pela introdução dos *chillers* mais eficientes para arrefecimento ambiente e caldeiras de condensação para aquecimento (ambiente e AQS); neste caso concreto, o benefício económico resultante da aplicação daquelas medidas reflete a influência da severidade do clima, ou seja, a maior redução da fatura é justificada, por um lado, devido ao maior consumo de aquecimento ambiente em Londres e Atenas (face à zona base) e, por outro lado, devido ao maior consumo de arrefecimento ambiente em Atenas relativamente a Faro;
- Terceiro patamar, centrado num período de retorno do investimento entre 8 a 10 anos, respetivamente, em Londres e Atenas; em Faro, a recuperação do capital investido pode chegar aos 12 anos; este patamar corresponde à introdução dos sistemas solar térmico e fotovoltaico nas medidas de eficiência energética anteriores, e compreende as soluções que podem ser aplicadas no hotel, em contexto de reabilitação (beneficiação ou recuperação), que determinam a “realidade” obtida – para os cenários construídos –, na forma de indicadores nZEB (IEE_{nZEB}) nas zonas climáticas estudadas; note-se, entretanto, o elevado interesse económico – inferior a quatro anos – que a instalação do sistema solar térmico apresenta, quando combinado com as medidas de reduzido investimento, nomeadamente a otimização dos *set-points* de operação do sistema AVAC e elevada eficiência hídrica, variante PCK24, no caso do ST A e variante PCK25, no caso do ST B.

Finalmente, refira-se que as soluções ótimas de rentabilidade identificadas – nomeadamente intervenções congêneres PCK12 e PCK13, respetivamente, em Faro e Atenas, e variante PCK19 em Londres – correspondem a períodos de retorno inferior a 4 anos, nos três climas em análise, validando os requisitos mínimos estabelecidos para o consumo regulado (energia final e primária), via desempenho económico, traduzido pelo critério do período de

recuperação do capital (PRC). Por outro lado, as variantes com melhores índices específicos (IEE_{nZEB}), apresentam um retorno de capital que varia entre 8 a 9 anos – PCK33, respetivamente em Londres e Atenas –, ficando a zona de Faro com um período de recuperação de 10 anos (variante PCK29).

Salienta-se, ainda, que a aplicação do critério VAL na avaliação das soluções de reabilitação energética nos três climas, permitiu quantificar a forte relação existente entre a variação do clima e a rentabilidade das estratégias construídas. Ora, comparando os fluxos financeiros gerados resultantes da aplicação das medidas combinadas com o capital investido, observa-se que a maior rentabilidade é obtida em Londres, seguida de Atenas e por fim Faro. Este facto é explicado pela maior receita gerada – redução da fatura energética –, mantendo a mesma despesa de investimento e a mesma despesa corrente de exploração (custos de manutenção escalonados no tempo).

No Anexo H apresentam-se todos os cálculos que serviram de base à elaboração deste subcapítulo.



Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente:
avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

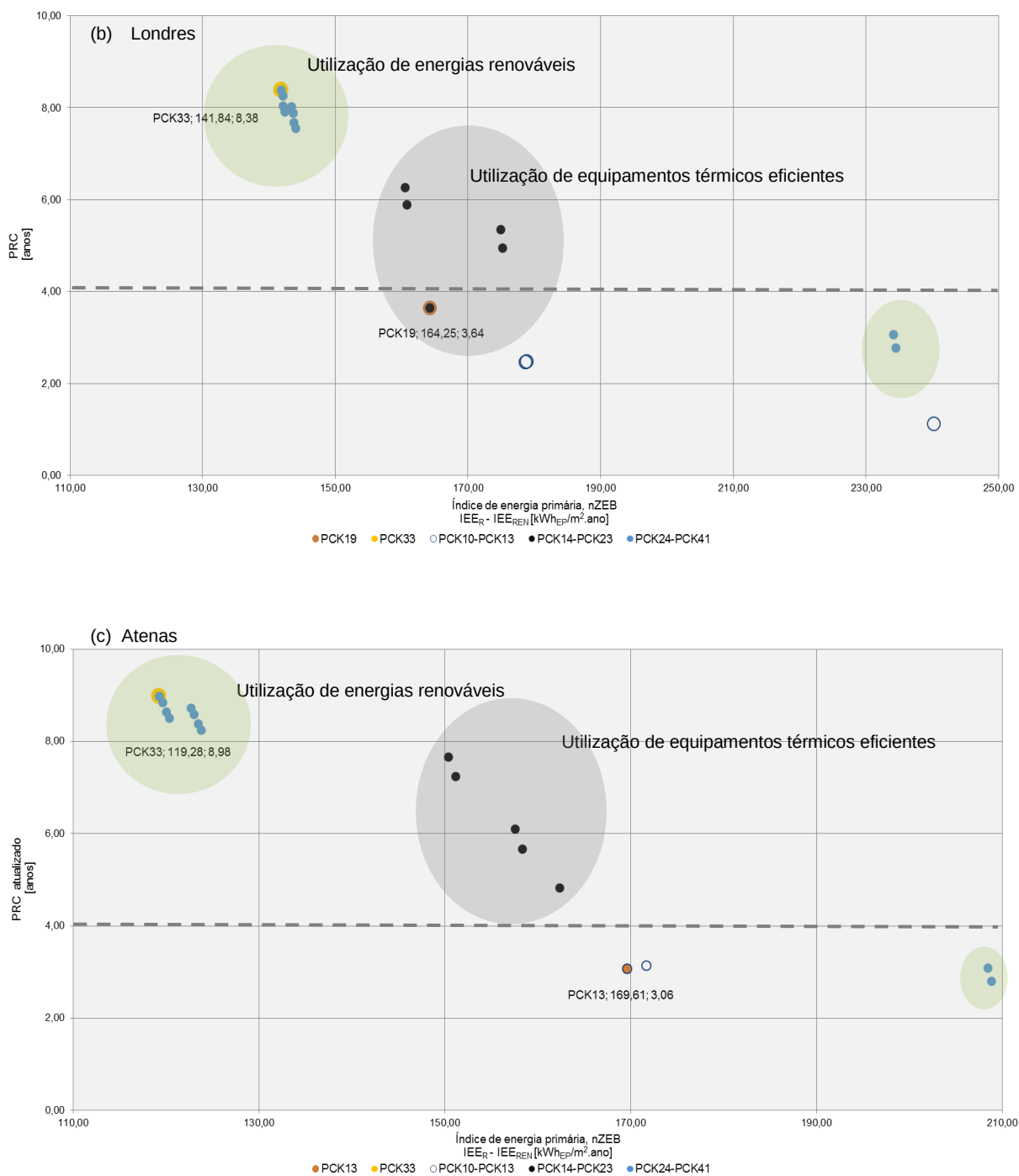


Figura 145 – Período de recuperação do capital das soluções estudadas (custo de oportunidade (i_r) 5% | taxa de inflação (i_i) 2% | variação do custo da energia (e) 3%): (a) Faro, (b) Londres e (c) Atenas

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente: avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

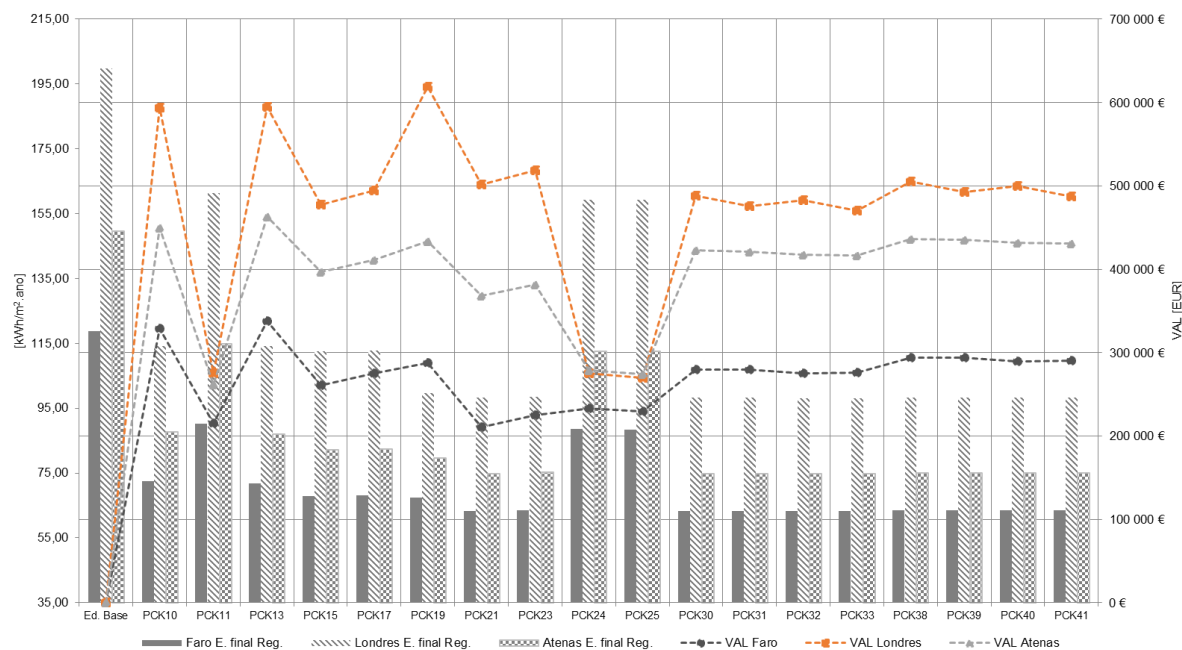


Figura 146 – Consumo regulado de energia final vs. avaliação económica pelo método – VAL (custo de oportunidade (i_r) 5% | taxa de inflação (i_i) 2% | variação do custo da energia (e) 3%)

ref. Faro	Indicador de Eficiência Energética nZEB $IEE_R - IEE_{REN}$ [kWh _{EP} /m ²]	Redução face ao base Red. IEE_{nZEB} [%]	LCC20 [€/m ²] Custo global anual [€] $i_r = 5\% \mid e = 3\% \mid i_i = 2,00\%$		Económica [kWh/ano] [Euros] [%]			Investimento [€]	V. A. L. $i_r = 5\% \mid e = 3\% \mid i_i = 2\%$	Período de Retorno atualizado (PRC) [anos]
Base	218,91	0,00%	157 473 €	341,79 €						
EEM1	217,55	-0,62%	156 898 €	374,39 €	9 170	576 €	0,4%	301 340 €	--	sem viabilidade económica
EEM2	218,73	-0,08%	157 366 €	372,66 €	3 334	107 €	0,1%	278 160 €	--	sem viabilidade económica
EEM3	217,25	-0,76%	156 870 €	371,75 €	4 322	603 €	0,4%	278 160 €	--	sem viabilidade económica
EEM4	217,23	-0,77%	156 787 €	374,19 €	9 446	687 €	0,4%	301 340 €	--	sem viabilidade económica
EEM5	218,94	0,02%	157 691 €	351,86 €	0	0 €	0%	86 580 €	--	--
EEM6	218,27	-0,29%	157 307 €	351,80 €	5 168	166 €	0,1%	92 352 €	--	sem viabilidade económica
PCK2	201,38	-8,01%	150 161 €	364,04 €	109 104	7 312 €	4,6%	315 240 €	--	sem viabilidade económica

Figura 147 – Medidas singulares e combinadas sem interesse económico (Faro)

Os resultados obtidos com a aplicação desta metodologia permitem tecer as seguintes considerações:

- A combinação de medidas de diferentes tipos em simultâneo, com especial enfoque nas estratégias de ação associadas à redução da carga interna, eficiência dos sistemas de energia e sistemas de captação de energia renovável, permitem uma melhoria global do desempenho energético (consumo regulado e não regulado), através das soluções ótimas, entre 25% (Faro e Atenas) e 35% (Londres);
- As soluções de rentabilidade ótima identificadas nos três climas estão totalmente alinhadas com as imposições definidas para os consumos regulados (energia final e primária), caracterizando-se com períodos de recuperação do capital inferior a 4 anos, nos três climas em análise;

- As variantes de custo-ótimo correspondem às medidas combinadas a montante dos sistemas produtores de energia térmica nas zonas climáticas de Faro e Atenas, sendo constituídas pelo controlo adequado dos sistemas e equipamentos, elevada eficiência hídrica, iluminação eficiente e a reformulação global do sistema de tratamento e distribuição do ar (garantia efetiva dos caudais de ar novo, ventiladores eficientes com variação de velocidade, recuperação de calor, dispositivos para arrefecimento gratuito e otimização dos níveis de ventilação à intensidade de utilização) – variantes PCK9 a PCK13. De salientar ainda a utilização dos dispositivos autorreguláveis nas estratégias anteriores, que garante a melhor solução em Faro, através da variante PCK12. No entanto, a sua congénere – variante PCK13 – é naturalmente válida e representa a melhor solução em Atenas. Por sua vez, em Londres a solução ótima associa às anteriores a caldeira de condensação, através da variante PCK19;
- Os níveis nZEB, preconizados com as combinações adequadas de medidas de economia de energia entre as variantes PCK26 a PCK41 e caracterizados pelos seus índices específicos (IEE_{nZEB}), podem ser alcançados dentro dos limites de rentabilidade estabelecidos, traduzidos no período de retorno de capital igual ou inferior a 75% da vida útil definida para o edifício, neste caso de 15 anos. De ressaltar, em coerência com os resultados acima indicados, que estes indicadores em particular no caso Português são compatíveis com o panorama atual do parque hoteleiro existente de 4 e 5 estrelas, aquando de um processo de reabilitação;
- Denota-se que quanto maior for o consumo de energia e, consequentemente maior a redução da fatura, resultado da aplicação das medidas de reabilitação, mais interessantes são as rentabilidades económicas obtidas – situação explicitada pelo critério VAL;
- Pode concluir-se, pelo caso de estudo exaustivamente analisado no decorrer deste trabalho, que é exequível intervir no hotel, de forma energeticamente inteligente e claramente realista, respondendo ao desafio das necessidades quase nulas de energia, sob a perspetiva das principais utilizações finais de energia, sendo tudo isto possível com rentabilidades de investimento atrativas para o grupo de exploração/gestão hoteleira.

6.10.1 Análises de sensibilidade

A incerteza ligada à ocorrência, ou não, de determinados acontecimentos no futuro representa um fator de risco para o decisor. Avaliar o risco consiste em estimar, qualitativamente e quantitativamente, as consequências de não serem verificadas as hipóteses de partida. Ou seja, o risco decorre da incerteza que se baseia na probabilidade de os valores que vierem a ocorrer serem diferentes dos valores estimados. Assim, a análise de sensibilidade permite determinar o impacto no valor de um critério de avaliação (neste caso, traduzidos pelo custo-ótimo, PRC e VAL) das soluções de reabilitação energética decorrentes de uma ou mais alterações a variáveis do cenário de reabilitação inicial. Neste contexto, avaliou-se a robustez dos resultados inicialmente obtidos, considerando dois cenários alternativos para a evolução do preço da energia.

No primeiro, o cenário A – Figuras 148, 149 e 150 –, assumiu-se uma deflação do custo da energia – a taxa do custo da energia foi reduzida para um valor moderado e inferior à inflação, nomeadamente para 1% ao ano – e avaliou-se o seu impacto nos critérios de avaliação de todas as variantes estudadas. Constata-se, pelo desenho das curvas de rentabilidade, que existe a diminuição natural do custo específico escalonado no tempo (Faro, $LCC_{20} = 260 \text{ €/m}^2$;

Londres, $LCC20 = 296 \text{ €/m}^2$; Atenas, $LCC20 = 282 \text{ €/m}^2$). Todavia, as soluções ótimas não sofrem qualquer alteração em relação ao seu ponto de partida – cenário B: o mais provável e realista –, com variação anual do custo da energia em 3%. De notar, em consonância com a redução do $LCC20$, a desfavorável subida do período de recuperação do capital nas três regiões climáticas, sendo este critério mais desfavorável aquando a introdução do eixo da oferta da energia na progressão das variantes estudadas (utilização de renováveis). Contudo, o período de retorno de capital mantém-se inferior a 75% da vida útil definida para o edifício (15 anos) nas três zonas climáticas, validando o interesse pelo investimento nos dois eixos de atuação: eficiência energética e utilização de renováveis.

Numa perspetiva redutora, este efeito da variação do preço da energia poderia pressupor que se a evolução do seu preço sofrer um abrandamento, por exemplo, inferior à taxa de inflação, o interesse da alteração progressiva do parque edificado existente para a sua compatibilização com um modelo nZEB reabilitado, em particular o parque hoteleiro existente de 4 e 5 estrelas, seria economicamente menos aliciente para o decisor. Explicando melhor, a reabilitação (térmica e energética) será viável em termos económicos (economicamente) por se considerar que é, na sua totalidade, financiada por capitais próprios, não incorporando por isso os aspetos relacionados com o seu financiamento. Ora essa contração no custo energético poderia obrigar o grupo de exploração (hoteleira) a abdicar dos investimentos na reabilitação e seguir o curso natural de ação financeira ótima, apostando em investimentos alternativos de maior rentabilidade. Claro está que a melhoria do desempenho energético (parque edificado existente) pode ser incentivada e subsidiada a nível nacional e europeu, como é expectável, para acomodar e abrir caminho à reabilitação nZEB. Um exemplo deste efeito – de ação para eficiência energética – é o IFRRU 2020, um instrumento financeiro para a reabilitação e revitalização urbana (IFRRU), que funciona como motor para revitalização dos centros urbanos e com foco na promoção de soluções de eficiência energética, concedendo empréstimos com condições exclusivas (mas não a fundo perdido), através de diversas fontes de financiamento (fundos públicos e privados), em todo o território nacional. Contudo, na prática, mesmo com a redução do preço da energia, os benefícios energético-ambientais e económicos, numa perspetiva do ciclo de vida do edifício, aumentam significativamente quando comparados com o desempenho atual (cenário base), gerando inegavelmente uma valorização patrimonial superior, conforme referido ao longo deste trabalho. Além disso, a aposta na eficiência energética reduz a exposição à volatilidade do preço da energia.

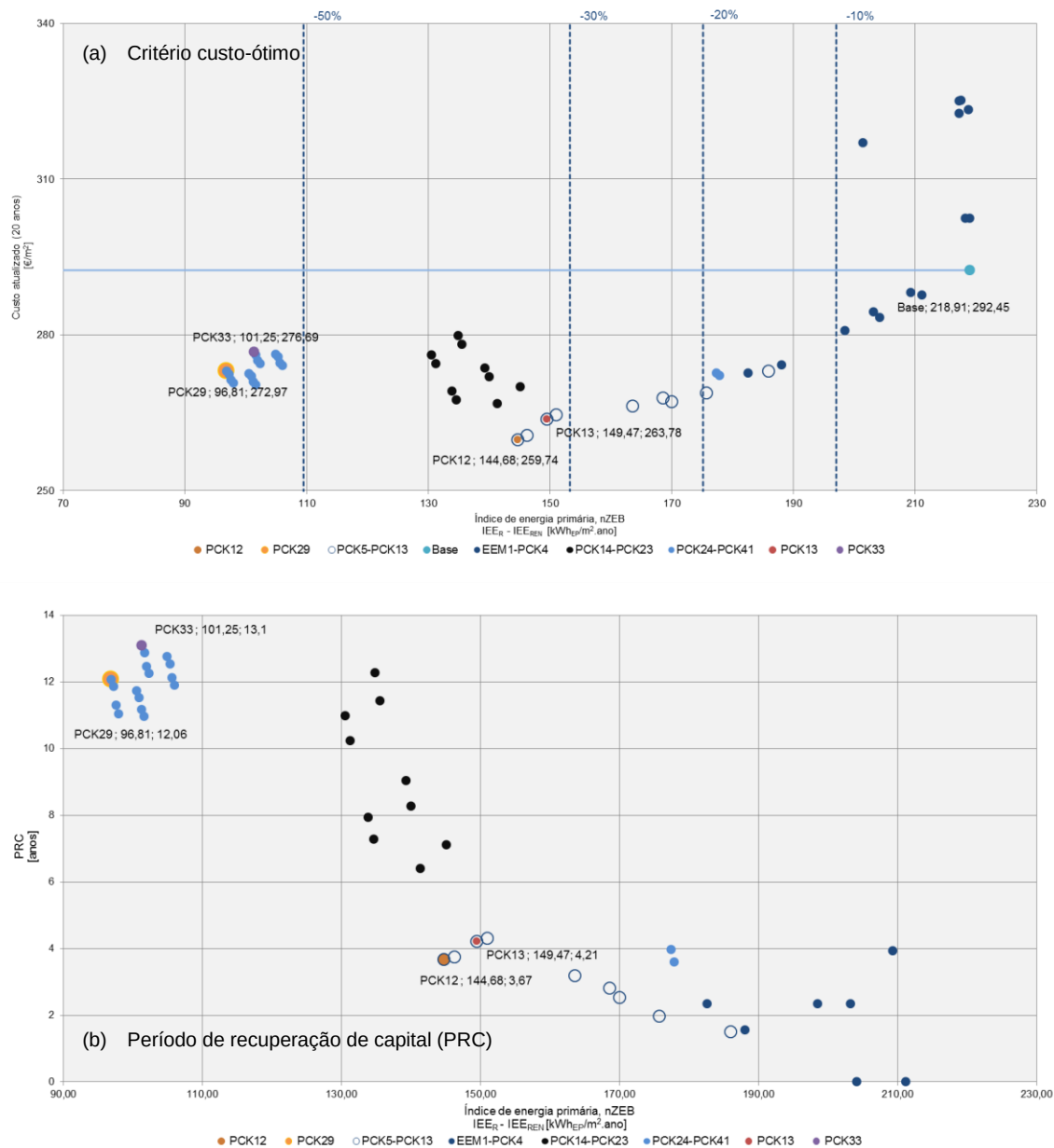


Figura 148 – Análise de sensibilidade da variação do custo energia ($e = 1\%$) em Faro: (a) critério do nível ótimo de rentabilidade e (b) período de recuperação do capital

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente:
avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

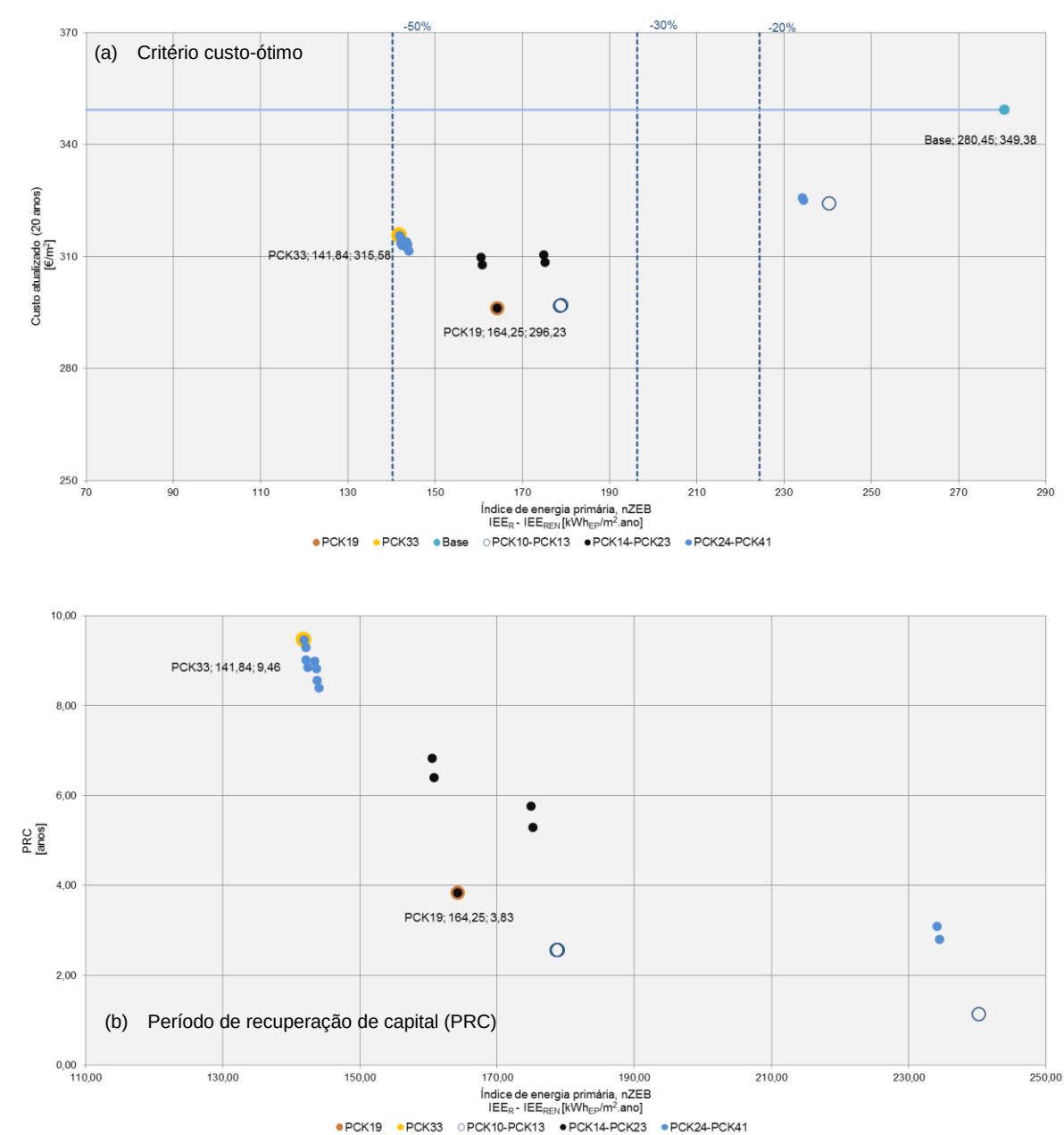


Figura 149 – Análise de sensibilidade da variação do custo energia ($e = 1\%$) em Londres: (a) critério do nível ótimo de rentabilidade e (b) período de recuperação do capital

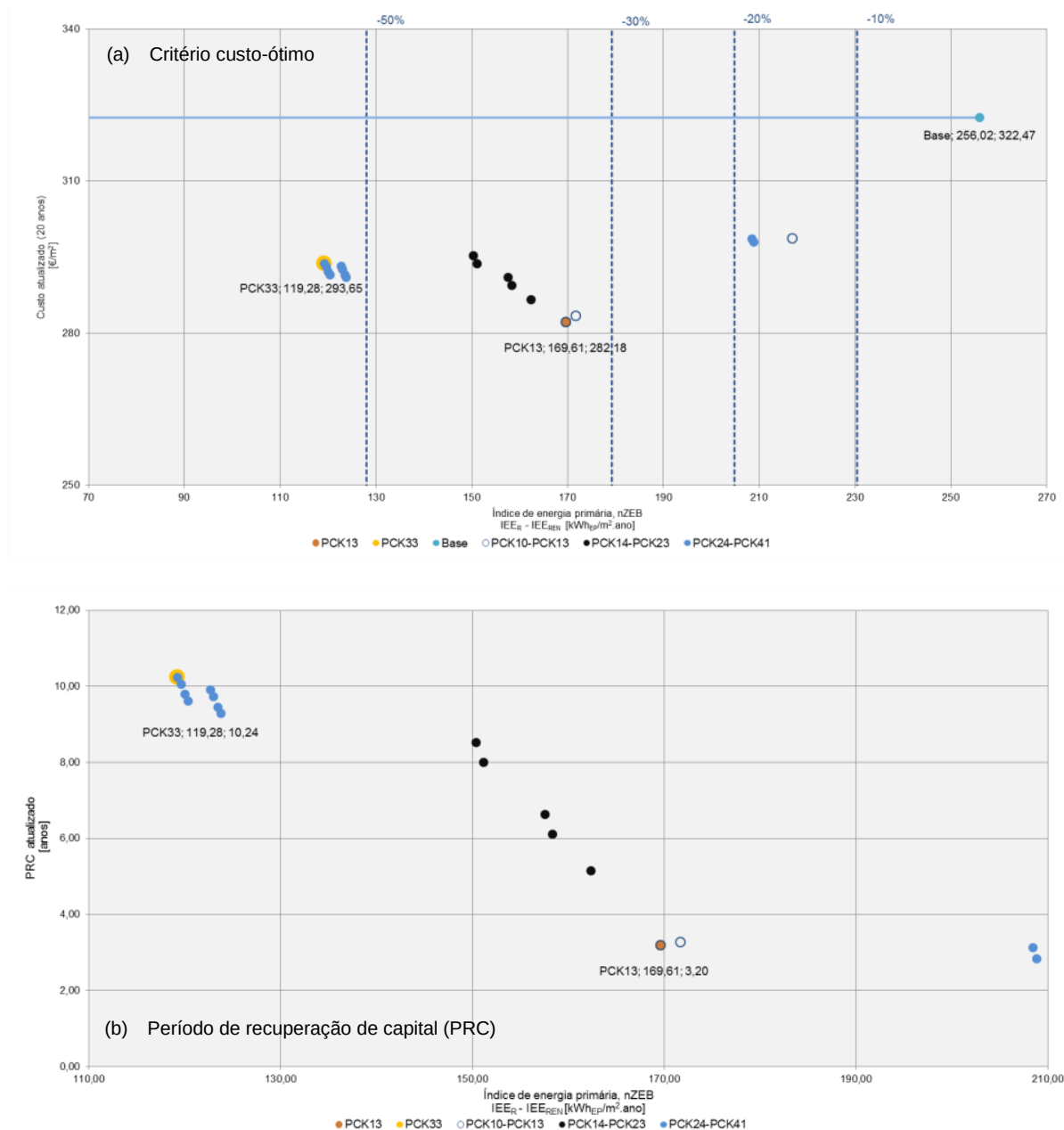


Figura 150 – Análise de sensibilidade da variação do custo energia ($e = 1\%$) em Atenas: (a) critério do nível ótimo de rentabilidade e (b) período de recuperação do capital

No segundo caso, o cenário C – Figuras 151, 152 e 153 –, assumiu-se uma evolução contínua dos preços da energia considerando um crescimento anual deste custo de 6%. Os resultados demonstram o natural aumento do custo global do cenário base e das medidas (isoladas e integradas) estudadas. Todavia, esta alteração permite obter rentabilidades mais robustas, traduzidas pelos critérios do retorno do capital (períodos de recuperação mais rápidos) e do valor atual líquido (geração de maiores fluxos financeiros).

A par disso, o impacto desta alteração na curva do custo global, expresso no seu valor atual, é transversal aos três climas estudados, em particular na zona mediterrânica, e concordante com o que se deixa acima, pois contribui positivamente para reabilitação contínua do parque existente e na sua acomodação para um modelo nZEB reabilitado, podendo incrementar ritmo à renovação do edificado hoteleiro – o custo-ótimo sofre um desvio positivo, aproximando-se dos indicadores nZEB determinados –, a variação percentual do custo específico, entre o

melhor indicador nZEB obtido e custo ótimo, oscila entre 2,6%, em Londres, e valores inferiores a 0,5% nos climas do sul da Europa.

Nesta conformidade, no caso de Faro a variante ótima é a solução PCK12 (associada aos equipamentos térmicos energeticamente eficientes, PCK22) integrada com a penetração dos sistemas de captação solar, via energia solar térmica (STA) e fotovoltaica (PVB) – variante PCK35 –, que corresponde ao custo específico mínimo (LCC20) de 373 €/m² (redução nZEB de 55% e IEE_{nZEB} de 98 kWh_{EP}/m².ano). Na mesma linha de princípio, os resultados em Atenas demonstram um comportamento semelhante, mas com um LCC20 mínimo de 403 €/m² (IEE_{nZEB} de 120 kWh_{EP}/m².ano e redução nZEB de 53% face ao atual), através variante PCK13 (associada aos equipamentos térmicos mais eficientes, PCK23) e aqueles sistemas de energia proveniente de fontes renováveis – variante PCK39. Recorde-se que ambas as soluções são válidas – PCK12 e PCK13 –, mas naturalmente o recurso aos dispositivos de admissão de ar autorreguláveis nos quartos (articulados com a extração mecânica dos sanitários e dispositivos de passagem de ar entre estes compartimentos), reflete um desempenho superior devido à ausência do tratamento térmico da carga associado ao ar novo. É de notar que as medidas de reabilitação que obtiveram os melhores índices específicos nZEB, nomeadamente a variante PCK29 (Faro, IEE_{nZEB} = 97 kWh_{EP}/m².ano) e a sua congénere PCK33 (Atenas, IEE_{nZEB} = 119 kWh_{EP}/m².ano), apresentam as mesmas ordens de grandezas em termos de custo específico (Faro, LCC20 = 375 €/m²; Atenas, LCC20 = 405 €/m²). Por sua vez, no que respeita ao efeito desta alteração no comportamento da curva de rentabilidade em Londres, a solução ótima continua a manter-se na intervenção PCK19 – resultado da conjugação da PCK13 com a caldeira de condensação para aquecimento ambiente e AQS –, com um custo mínimo de 426 €/m² (redução nZEB de 41% com IEE_{nZEB} de 164 kWh_{EP}/m².ano), mas aproximando-se do custo atualizado da melhor solução nZEB, com a conjugação da utilização do solar térmico para fins sanitários (ST B) e o sistema PV B para autoconsumo de 68 kW, auxiliando os usos elétricos (PCK33, LCC20 = 437 €/m² e IEE_{nZEB} = 142 kWh_{EP}/m².ano, com redução nZEB de 49%) (vd. Tabela 29).

A utilização de sistemas de captação de energias renováveis e o paradigma de procurar que os edifícios em reabilitação tendam para um balanço energético (quase) nulo, adaptados à especificidade do clima local, é complexo e merece um acordo de princípio entre todas as partes interessadas (proprietários, promotores, arquitetos, engenheiros e consultores). A valorização destes edifícios aumenta significativamente se todos os interessados forem capazes de trabalhar em conjunto de forma transparente e partilhando mais-valias. Mas deve-se ser prudente, quantificando de forma inteligente o custo de pré-investimento (procura de ideias), investimento (aquisição e reconstrução), exploração (incluindo manutenção e conservação), a durabilidade e os benefícios energético-ambientais e económicos conseguidos ao longo do ciclo de vida. Pela perspetiva da disponibilização de capital, existem mecanismos que reduzem a barreira do custo inicial, vinculando o reembolso total ou parcial dos investimentos em eficiência energética à fatura da energia. Como critério de elegibilidade, o valor das poupanças geradas pelas medidas de eficiência energética terá de ser superior ao valor do reembolso a pagar na fatura. Ora este é também um motor para auxiliar a reabilitação na sua evolução progressiva para a compatibilização nZEB.

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente: avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

Tabela 29 – Soluções de custo-ótimo e indicadores de eficiência energética (IEE_{nZEB}) mínimos:
(a) Faro, (b) Londres e (c) Atenas

	Cenário A	Cenário B (atual)	Cenário C
Custo de oportunidade (i_r)	5%		
Taxa de inflação anual (i_i)	2%		
Taxa da variação anual do custo da energia (e)	1%	3%	6%
(a) Nível ótimo de rentabilidade - Faro	PCK12		PCK35
IEE_{nZEB} [kWh _{EP} /m ² .ano]	144,68		97,93
Redução = $(IEE_{PCK} - IEE_{base}) / IEE_{base}$	-34%		-55%
$LCC_{20_{Min}}$ [EUR/m ²]	259,74	299,40	373,22
Investimento Inicial [EUR]	96 945 €		381 899 €
(a) Faro - $IEE_{nZEB min}$	PCK29		
$IEE_{nZEB min}$ [kWh _{EP} /m ² .ano]	96,81		
Redução = $(IEE_{PCK} - IEE_{base}) / IEE_{base}$	-56%		
LCC_{20} [EUR/m ²]	272,97	306,69	374,98
$\Delta\% = (LCC_{20} - LCC_{20_{min}}) / LCC_{20}$	5,09%	2,44%	0,47%
Investimento Inicial [EUR]	402 533 €		
(b) Nível ótimo de rentabilidade - Londres	PCK19		
IEE_{nZEB} [kWh _{EP} /m ² .ano]	164,25		
Redução = $(IEE_{PCK} - IEE_{base}) / IEE_{base}$	-41%		
$LCC_{20_{Min}}$ [EUR/m ²]	296,23	339,21	426,24
Investimento Inicial [EUR]	164 985 €		
(b) Londres - $IEE_{nZEB min}$	PCK33		
$IEE_{nZEB min}$ [kWh _{EP} /m ² .ano]	141,84		
Redução = $(IEE_{PCK} - IEE_{base}) / IEE_{base}$	-49%		
LCC_{20} [EUR/m ²]	315,58	355,79	437,22
$\Delta\% = (LCC_{20} - LCC_{20_{min}}) / LCC_{20}$	6,53%	4,89%	2,58%
Investimento Inicial [EUR]	406 133 €		
(c) Nível ótimo de rentabilidade - Atenas	PCK13		PCK39
IEE_{nZEB} [kWh _{EP} /m ² .ano]	169,61		120,39
Redução = $(IEE_{PCK} - IEE_{base}) / IEE_{base}$	-34%		-53%
$LCC_{20_{Min}}$ [EUR/m ²]	282,18	325,19	402,87
Investimento Inicial [EUR]	100 545 €		385 499 €
(c) Atenas - $IEE_{nZEB min}$	PCK33		
$IEE_{nZEB min}$ [kWh _{EP} /m ² .ano]	119,28		
Redução = $(IEE_{PCK} - IEE_{base}) / IEE_{base}$	-53%		
LCC_{20} [EUR/m ²]	293,65	330,34	404,66
$\Delta\% = (LCC_{20} - LCC_{20_{min}}) / LCC_{20}$	4,06%	1,59%	0,44%
Investimento Inicial [EUR]	406 133 €		

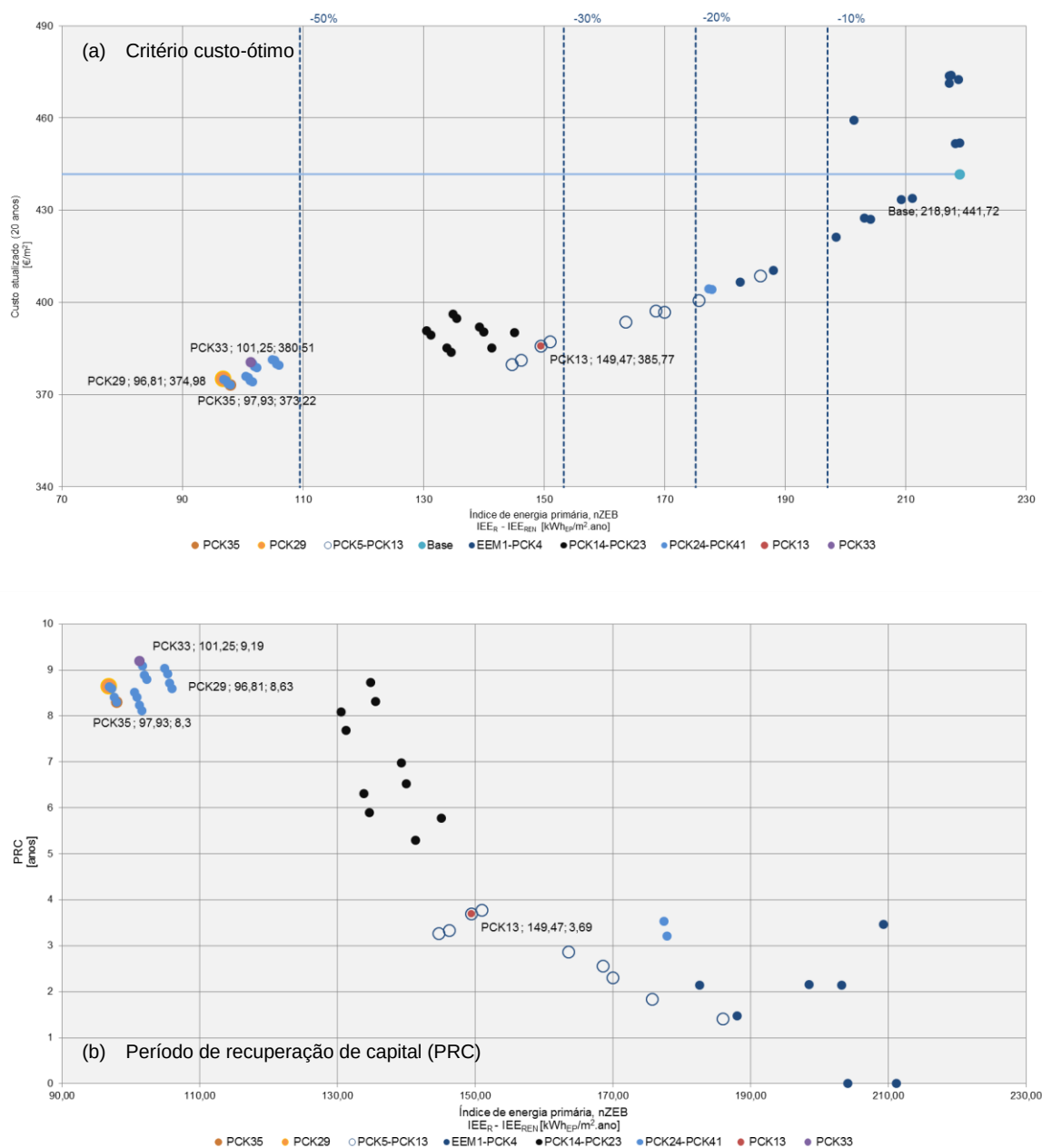


Figura 151 – Análise de sensibilidade da variação do custo energia ($e = 6\%$) em Faro: (a) critério do nível ótimo de rentabilidade e (b) período de recuperação do capital

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente:
avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

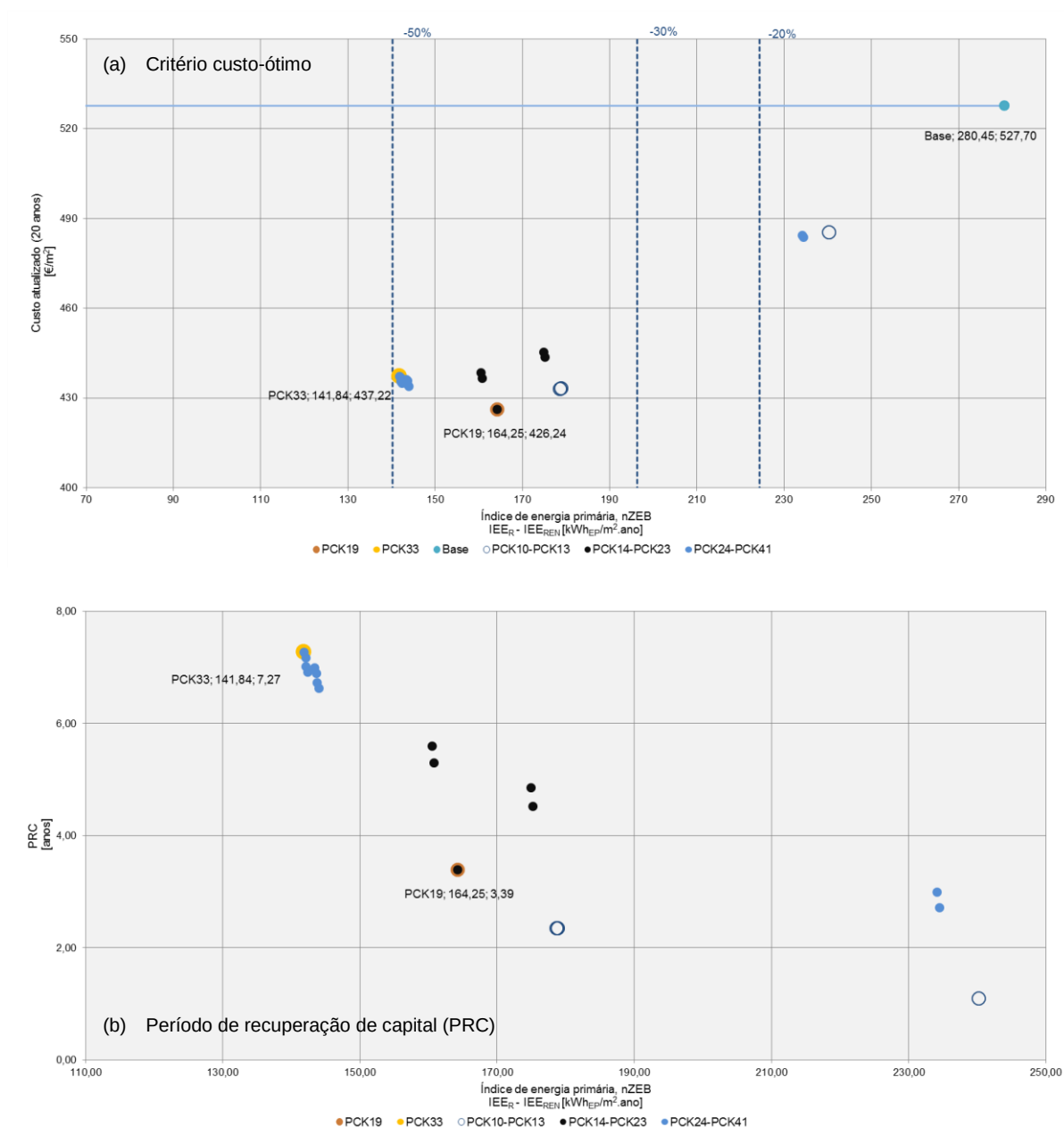


Figura 152 – Análise de sensibilidade da variação do custo energia ($e = 6\%$) em Londres: (a) critério do nível ótimo de rentabilidade e (b) período de recuperação do capital

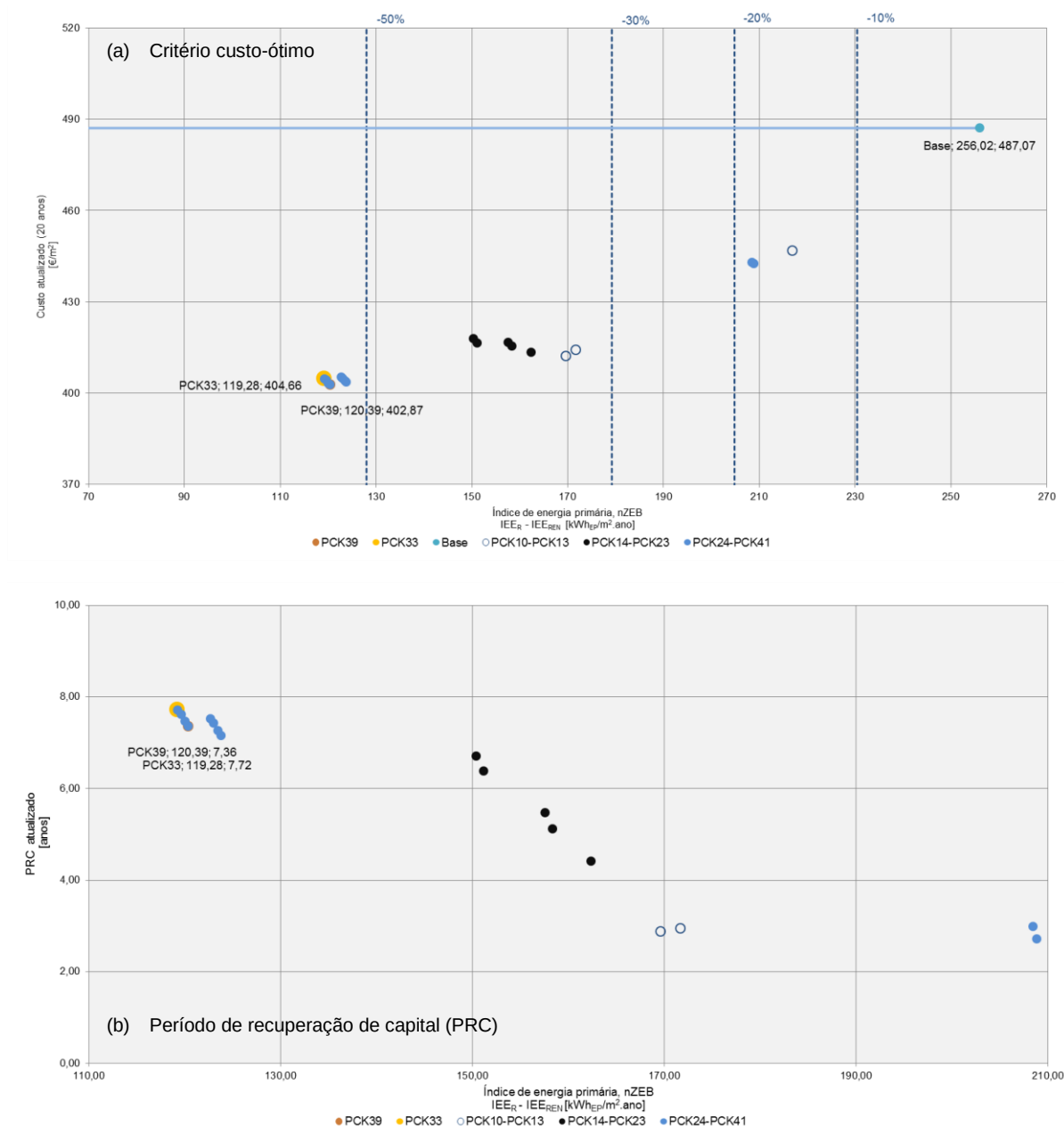


Figura 153 – Análise de sensibilidade da variação do custo energia ($e = 6\%$) em Atenas: (a) critério do nível ótimo de rentabilidade e (b) período de recuperação do capital

Entretanto, avaliou-se a sensibilidade das intervenções à variação do custo do investimento (IC), por majoração deste em 50%, neste caso, a análise centrou-se unicamente na zona climática base (Faro) e pelo critério do custo-ótimo. Os resultados demonstram que a variante PCK12 (ou a intervenção PCK13, na sua vertente sem aberturas autorreguláveis) é a solução que leva ao mais baixo custo ao longo do ciclo económico estimado nos três cenários considerados para variação do custo da energia – Cenários A, B e C –, mantendo as outras variáveis constantes, nomeadamente a taxa de inflação ($i_i = 2\%$) e o custo de oportunidade ($i_r = 5\%$). Ou seja, mesmo com o exagerado aumento do investimento, é economicamente vantajoso investir na eficiência energética, em particular a montante dos sistemas de AVAC, reforçando e validando a necessidade de garantir um requisito mínimo, via energia final e/ou primária, para preparar caminho no parque hoteleiro existente, em processo reabilitação, para níveis compatíveis com um cenário nZEB reabilitado.

Porém, cabe assinalar que no cenário A ($e = 1\%$) deixa de existir interesse económico aquando da conjugação dos *chillers* de elevada eficiência (ajustados para uma temperatura de evaporação de 10°C) com as caldeiras de condensação – intervenções (singulares ou combinadas) em que os benefícios não compensam o custo de implementação (acima da linha azul horizontal da figura 154) são consideradas não rentáveis.

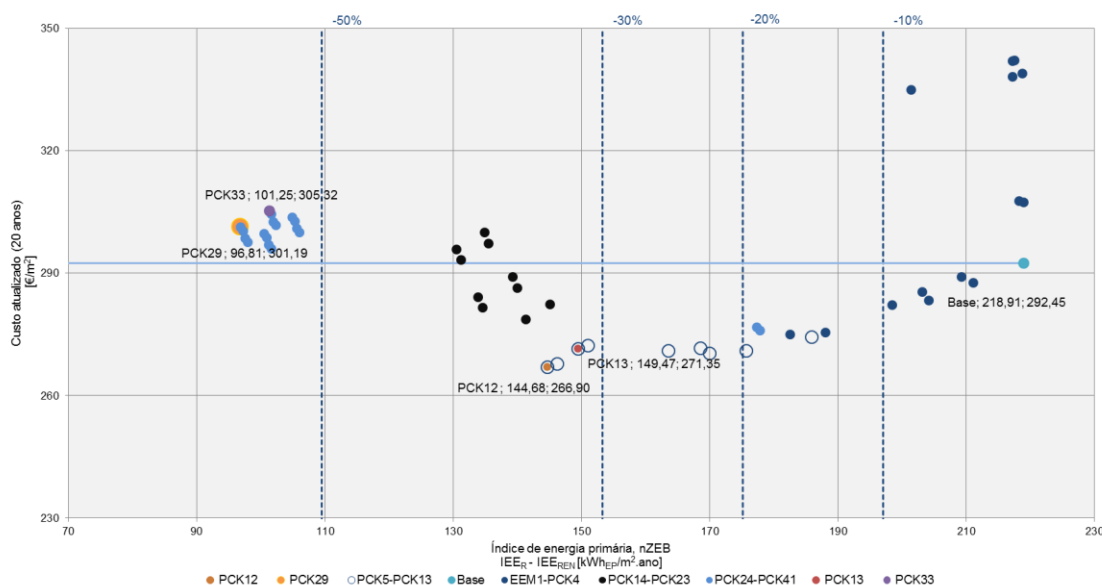
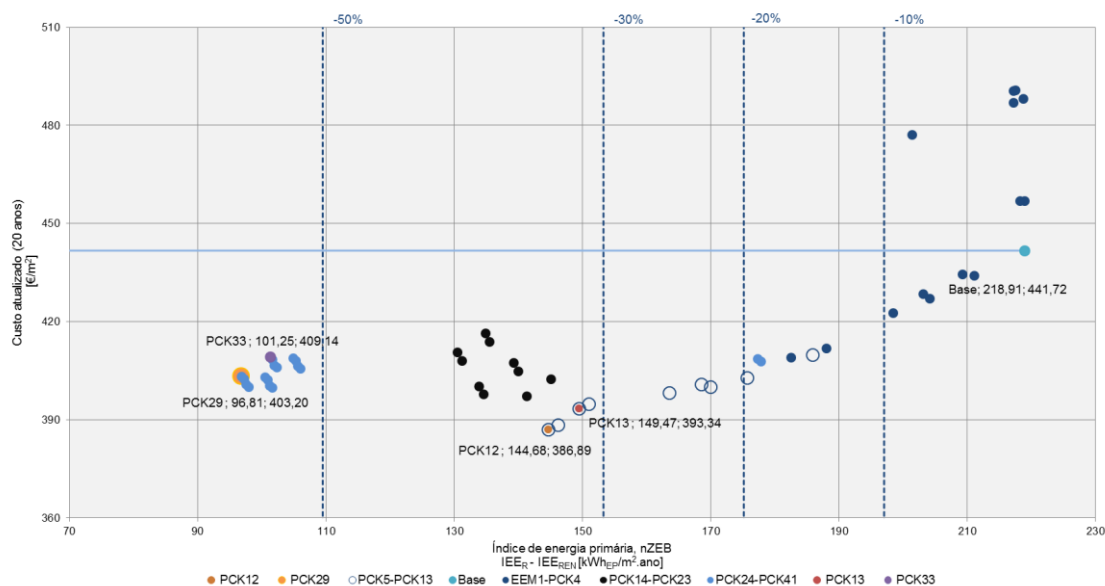
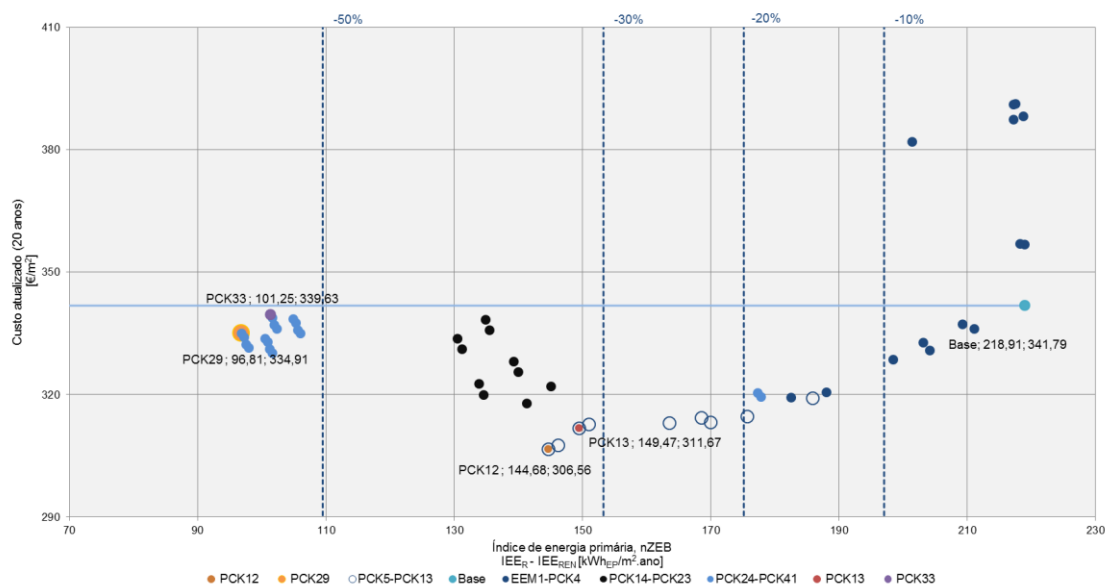


Figura 154 – Agravamento do custo do investimento (IC) em 50% no cenário A – Faro (custo de oportunidade (i_r) 5% | taxa de inflação (i_i) 2% | variação do custo da energia (e) 1%)

Em contrapartida, a introdução isolada destes equipamentos térmicos para satisfazer ou o arrefecimento ambiente ou o aquecimento (ambiente e AQS), a partir das combinações PCK12 ou PCK13, apresentam benefício económico, além do energético.

Por outro lado, as curvas de rentabilidade dos cenários realista (Cenário B: (e) = 3%) e otimista (cenário C: (e) = 6%), mostram que todas as variantes estudadas, à exceção da intervenção na envolvente opaca e envidraçada – Figura 147 – garantem o interesse económico, para além de garantirem o benefício energético-ambiental – medidas cujo custo de implementação é inferior aos benefícios a obter durante o período de vida dessa medida (singular ou combinada), quando comparada com um cenário base (figuras 155 e 156).



7 Conclusão

7.1 Considerações finais

Fatores como o aumento populacional nas zonas urbanas, envelhecimento do parque edificado, exigências do mercado e políticas da Comissão Europeia, contribuem para a necessidade da transformação do modelo de construção. Todas as cidades têm um grande problema com a reabilitação urbana. Uma percentagem considerável do parque edificado Europeu tem mais de 50 anos, e muitos edifícios atualmente em utilização têm centenas de anos de idade. Mais de 40% do setor residencial foi construído antes de 1960, quando a regulamentação relativa ao desempenho térmico e energético dos edifícios não existia ou era bastante limitada. Por sua vez, o setor não residencial segue o mesmo princípio, com a maioria dos edifícios construída antes de 1975 (BPIE, 2011; Tabula, 2010).

O conceito de edifícios nZEB (*nearly zero energy building*) foi inicialmente dirigido aos edifícios novos construídos a partir de 2021, mas cedo se percebeu a necessidade de reforçar este tipo de intervenção também aos edifícios existentes, o que foi feito de forma consolidada na recente reformulação da diretiva em 2018. Todavia, como não existem edifícios de energia zero (a não ser aqueles sem utilização), o correto passa pela designação em termos de balanço de energia entre a oferta e a procura numa base temporal (normalmente anual). Balanço de energia entre a aquilo que os edifícios necessitam para suprir as suas necessidades de conforto e qualidade do ar interior e o que os sistemas energéticos, incluindo energias renováveis, podem fornecer ao edifício. É esta relação que pode fazer com que o edifício seja de balanço nulo (quando a energia produzida é igual às suas necessidades energéticas – net ZEB), ou de balanço quase nulo quando aquilo que produz é “ligeiramente” inferior às suas necessidades, ou até que produza mais do que as necessidades do edifício e aí será um edifício de balanço positivo, ou seja, entrega à rede o seu excesso. Portanto, um edifício de balanço de energia nulo está assim intrinsecamente interligado à infraestrutura energética.

Quanto à reabilitação, desde que a EPBD e as suas posteriores reformulações entraram em vigor, os Estados-Membros mostraram um interesse crescente em intervenções nos edifícios existentes capazes de resultarem em poupanças energéticas significativas. De facto, a melhoria do desempenho energético do parque edificado existente, em especial dos edifícios de serviços, onde se inserem os hotéis de 4 e 5 estrelas, é crucial no quadro da ação europeia para mitigar as emissões de carbono neste setor e torná-lo mais eficiente. A redução do consumo de energia via eficiência energética e a utilização de energia proveniente de fontes renováveis no setor dos edifícios constituem medidas fundamentais, principalmente porque estes apresentam um potencial significativo de economia de energia em condições que se consideram economicamente rentáveis.

Nesta concordância, os hotéis são edifícios com elevado consumo de energia e de água per capita, nomeadamente os hotéis de 4 e 5 estrelas devido aos elevados padrões de conforto

requeridos, onde os sistemas técnicos assumem um papel fundamental, mas também têm um grande impacto nos consumos globais, na qualidade do ambiente interior e na manutenção requerida nestes edifícios, representando grande potencial de redução de consumos (energia e água) e contribuindo para o aumento da valorização imobiliária destes edifícios, devido à redução dos custos de operação e consequente aumento das receitas líquidas, ao longo da vida útil do imóvel, e ao aumento das condições de conforto proporcionadas aos seus ocupantes, pelo que o retorno do investimento facilmente ocorrerá, sob várias formas.

Este foi o ponto de partida para esta Tese. Perante esta realidade procurou desenvolver-se um trabalho que permitisse atingir dois objetivos centrais, nomeadamente:

- Caraterizar exaustivamente o desempenho energético-ambiental de uma unidade hoteleira em operação, representativa do segmento de 4 e 5 estrelas, e consumidora intensiva de energia e água;
- Quantificar os requisitos mínimos para eficiência energética, tendo em consideração os aspetos técnicos, funcionais e económicos. O hotel deve ser dotado de uma componente eficiente compatível com os requisitos mínimos impostos ($E_R \leq 65\% E_{R,base}$ e $IEE_R \leq 70\% IEE_{R,base}$), e preferencialmente alinhado com o critério do nível ótimo de rentabilidade, que é traduzido pela melhor relação entre o desempenho energético e o custo global de intervenção – ou seja, a rentabilidade da intervenção no hotel é determinada pela comparação do cenário de base, que considera somente operações de manutenção e conservação no hotel, sem melhorias de desempenho energético. De seguida, proceder à determinação dos indicadores de desempenho energético – através das soluções integradas –, que permitam quantificar progressivamente os níveis nZEB alcançados em contexto de reabilitação (em condições reais de utilização), mas com a inerente adequação às exigências e especificidades da reabilitação – realismo –, tendo em consideração o desempenho técnico e económico das variantes estudadas.

7.2 Síntese das conclusões obtidas

Neste trabalho desenvolveram-se soluções – devidamente estruturadas – de eficiência energética e de sistemas de captação das energias renováveis (solar térmica e solar fotovoltaica) em unidade hoteleira de 4 estrelas, localizada em Faro, cujos resultados – com o inerente ajustamento às especificidades do edifício – permitiram determinar indicadores de eficiência energética (IEE_{nZEB}) – validados pelos estritos critérios de avaliação económica definidos –, passíveis de serem acomodados na definição nacional nZEB e integralmente alinhados com o quadro Europeu relativamente a esta matéria (indicadores de desempenho por tipologia). Estes índices específicos resultaram da caraterização detalhada do desempenho energético-ambiental, via auditoria energética e respetiva simulação energética devidamente calibrada, em função dos consumos reais e tendo em conta os elementos que respeitam as condições reais de funcionamento do hotel.

Acrescente-se ainda que se aqueles indicadores obtiveram retorno económico, os requisitos mínimos para potenciar o eixo da eficiência energética, via imposição de uma redução de, pelo menos, 35% ou 30% relativamente ao consumo anual de energia final ou primária regulada, respetivamente (consumos associados às funções de climatização, ventilação/bombagem afeta a estes sistemas, aquecimento de águas sanitárias, iluminação e elevadores), e que assentam na lógica de uma redução global de consumos energéticos superior a 20%, evidenciam a possibilidade de intervenção com elevada rentabilidade,

utilizando tecnologia corrente e disponível no mercado e com reduções muito significativas em termos de energia e água (requisitos mínimos concordantes com as soluções de custo-ótimo).

No que toca à unidade hoteleira, trata-se de um edifício que iniciou o seu ciclo de utilização nos finais dos anos 60, tendo sofrido a primeira grande intervenção no final da década de 90. De forma geral, apresenta uma área total de pavimento de 9 986 m² (quartos e circulação dos quartos correspondem a 41% da área total), distribuída por 8 pisos (incluindo cobertura), todos acima do solo, e contém fachadas orientadas a nascente, poente, nordeste, sudeste, sudoeste e noroeste.

O modelo de simulação permitiu a desagregação da estrutura de consumos para o cenário base em condições reais de utilização. Em termos globais, relativamente às utilizações finais, o grupo do AVAC (que agrupa o aquecimento, o arrefecimento, a ventilação e a bombagem) e o consumo inerente ao AQS representam, no seu conjunto, cerca de 47% da energia utilizada no hotel (31% para o AVAC, 16% para a preparação de água quente sanitária). Note-se que esta utilização conjunta é muito dependente da sazonalidade típica de um estabelecimento hoteleiro no Algarve, da categoria do hotel, da preferência dos hóspedes e esta diretamente relacionada com a elevada taxa de ocupação entre maio a outubro, que é superior a 80%. Por outro lado, a utilização de energia para satisfazer os consumos regulados, ou seja, as utilizações com comportamento padronizado entre o setor hoteleiro e que permitem a satisfação das funções de conforto e bem-estar das diferentes áreas funcionais de serviço e clientes do hotel, representam no seu conjunto 57% do consumo global do hotel. Ora, torna-se evidente que a prioridade de ação na otimização do desempenho energético deve centrar-se neste consumo combinado. Porém, não se pode desconsiderar os 32% da energia final afeta à utilização de energia não regulada das zonas de serviço: cozinha e lavandaria.

Na perspetiva da avaliação da influência climática no comportamento energético do hotel, é notório o domínio do consumo associado ao AVAC nos três climas considerados, representando um peso a oscilar entre, 49% em Londres e 39% em Atenas, contrastando com o peso menos expressivo em Faro, tendo por base os resultados das simulações dinâmicas. De notar, como expectável, a elevada utilização do aquecimento ambiente em Londres (38% do consumo global), devido à severidade do clima, que também é mais expressiva na Grécia (18% do consumo global), quando comparado com o edifício base na sua zona real (9% do consumo global em Faro). O peso do arrefecimento ambiente é similar nas zonas do clima mediterrânico (9%) e sem relevo em Londres (2%). Por seu turno, as restantes utilizações finais são caracterizadas por uma evolução relativamente constante entre os três climas. Os resultados demonstraram que as condições climáticas têm um papel fundamental na definição de edifícios de balanço energético quase nulo, já que condicionam as necessidades de aquecimento e arrefecimento, mas também o potencial de produção de energia renovável.

A integração de estratégias pelo eixo da eficiência energética, tornou evidente que as soluções através da intervenção na envolvente térmica – reforço do isolamento das paredes exteriores e beneficiação dos vãos envidraçados – não traduzem benefícios quantificáveis em termos energéticos e económicos, mas promovem os co-benefícios associados aos padrões de conforto (térmico, visual e acústico), que uma unidade de 4 estrelas deve obrigatoriamente garantir – aquando do processo de beneficiação e/ou reabilitação profunda –, devido às exigências de qualidade e diversidade de serviços que disponibilizam. Além disso, como se trata de um edifício de grandes dimensões, existe menor relação entre a área da envolvente (através da qual se processam as trocas de calor) e o volume interior, logo menor importância

da resistência térmica da envolvente no comportamento energético do edifício. Por outro lado, a intervenção EEM7, que compreende a introdução de dispositivos de admissão autorreguláveis (a 20 Pa) a aplicar nas janelas dos quartos, associadas à extração em contínuo (de ar viciado) nas instalações sanitárias e aos dispositivos de passagem de ar entre estes compartimentos, indicam interesse económico atrativo, resultado do aumento da eficiência energética conseguido. Mais especificamente, assegura a renovação do ar de forma controlada e reduz substancialmente as necessidades de ventilação e climatização para a remoção da carga térmica do ar novo a insuflar pelas UTANs, estando intrinsecamente relacionada com o setor de ação – redução das cargas internas, através do reajuste da carga de ar novo. Ainda na linha das soluções isoladas, o melhor desempenho (energético e económico) centra-se na instalação de dispositivos eficientes para o consumo de água dos quartos. O elevado consumo deste recurso, aliado à grande solicitação de água quente para fins sanitários – o uso de AQS afeto ao serviço de quartos representa a maior fatia do gás natural (43%) e cerca de 16% do consumo total do hotel –, reduz-se significativamente com esta aplicação. É ainda importante salientar a regulação adequada dos *set-points* de temperatura interior, que a ausência de custo e o interesse energético garantido obrigam à sua implementação imediata.

Pela metodologia do balanço global entre a energia produzida localmente (G) e consumida (L) – balanço G-L –, foi possível observar que a alavanca fundamental na redução das necessidades de energia, foi garantida pela combinação simultânea das estratégias anteriores com benefícios energéticos/económicos quantificáveis – através das aberturas de ar autorreguláveis (opção alternada), ajuste da temperatura interior do sistema de climatização e promoção da eficiência hídrica –, integradas com o reforço da eficiência dos sistemas energéticos e a redução das cargas internas – nomeadamente, o aumento da eficiência da iluminação, reajuste do sistema de ventilação e a introdução de ventiladores acionados por motores de alto rendimento –, iniciando-se com a variante PCK3 até ao conjunto de soluções PCK7. Complementarmente, o aumento da otimização do tratamento e distribuição do ar – promovido pela utilização de recuperação de energia, promoção do arrefecimento gratuito e o ajuste dos níveis de ventilação à intensidade de utilização –, determinaram os requisitos mínimos de desempenho energético em termos de energia final ($E_R \leq 65\% E_{R,base}$) e primária ($IEE_R \leq 70\% IEE_{R,base}$) face ao cenário base – com uma redução de 35% e 30%, respetivamente – e que se inicia pela variante PCK9. Posteriormente, a conjugação adequada dos *set-points* de operação na rede de distribuição de água refrigerada, definem as intervenções PCK12 (opção com de aberturas autorreguláveis) e PCK13, e foram o ponto de partida para a seleção (combinada simultaneamente) de novos equipamentos térmicos energeticamente eficientes – unidades de produção de água refrigerada (ajustados para operação otimizada) e caldeiras de condensação –, variantes PCK20 a PCK23. Finalmente, o contributo dos sistemas para aproveitamento de fontes de energia renováveis, nomeadamente as versões do solar térmico – ST A e ST B – e do sistema fotovoltaico – PV A e PV B –, introduzidos nas variantes PCK20 a PCK23, permitiram quantificar indicadores nZEB no hotel, tendo em consideração as suas particularidades e os constrangimentos de ordem técnica existentes.

Relativamente ao edifício na sua zona real (Faro: região climática, I1-V3), o contributo dos sistemas de captação de energia solar – aquele que diz respeito à relação entre IEE_{REN} / IEE_R – corresponde a penetrações entre 26% a 22% (tendo em consideração as particularidades do hotel) e está muito acima do referencial indicado por Frago (2015), que refere valores entre 2,5% a 3,4% (edificado novo). Ora a flexibilização do autoconsumo de energia renovável, em particular do fotovoltaico, permite o desdobramento da produção, ou seja, o autoconsumo

deixa de ser limitado a um ponto de consumo por instalação, podendo a produção de energia elétrica dos painéis que lhe estão associados ser repartida por um aglomerado de consumidores. A atual revisão da legislação nacional relativa ao autoconsumo promove este tipo de configuração, eliminando constrangimentos legais injustificados e criando as condições para o estabelecimento de novas soluções, baseadas em sistemas de captação de energia renovável ativa.

Este tipo de configuração – autoconsumo coletivo – contribui para o aumento da penetração de renováveis nos edifícios e é o caminho certo para a promoção da produção descentralizada e para a transição energética (eletrificação “verde”). Permite, por exemplo, que um conjunto de consumidores se organize e, em comum acordo, instale painéis fotovoltaicos em edifícios com uma melhor exposição solar, para produzir energia elétrica para a comunidade.

Pela perspetiva dos indicadores nZEB obtidos para as condições reais de operação (entre 97 a 106 kWh_{EP}/m².ano), os resultados demonstraram sintonia com os indicadores de utilização de energia primária do projeto neZEH (*nearly Zero Energy Hotels*) (93 - 175 kWh_{EP}/m².ano). Contudo, o maior esforço deve estar focado no eixo da eficiência energética (redução da procura), quer pela maior facilidade de implementação, garantindo o aumento do desempenho energético/económico e níveis mínimos aceitáveis para acomodar a introdução das renováveis, quer pela dificuldade da incorporação destes sistemas de energias renováveis no edificado hoteleiro existente, que poderá não ser viável, principalmente devido aos aspetos de ordem técnica e de flexibilidade regulamentar (que dependem das políticas nacionais).

Note-se que no caso das zonas climáticas de Londres e Atenas a análise se focou nas parametrizações sem associação dos dispositivos autorreguláveis, através do conjunto de medidas que compreendem a solução PCK10 (i.e., a solução PCK9 é idêntica à variante PCK10, mas não contempla a admissão de ventilação natural nos quartos). De realçar, que as condições reais de utilização de energia atendem às condições climáticas, rendimentos, custos energéticos e hábitos culturais. Neste trabalho foi apenas avaliada a influência climática no desempenho energético do hotel.

No âmbito da viabilidade económica, a metodologia de custo-ótimo permitiu identificar não só as soluções ótimas de rentabilidade nas três regiões climáticas, mas também a rentabilidade de cada intervenção (isolada ou integrada) estudada, identificando as combinações de medidas – de eficiência energética e oferta de energia – que, para além de garantirem os objetivos energéticos e, claro, ambientais, o conseguiram com o melhor compromisso entre o custo de investimento e o custo ao longo do ciclo vida do hotel. Além disso, possibilitou a validação dos requisitos de desempenho mínimo, nomeadamente o $E_R \leq 65\% E_{R,base}$ e $IEE_R \leq 70\% IEE_{R,base}$, bem como os valores indicativos – termos de referência – IEE_{nZEB} , para o setor hoteleiro existente de 4 e 5 estrelas (em processo de reabilitação), quando existe disponibilidade para integrar ou alocar sistemas de energia renovável locais e/ou de vizinhança, independentemente do tipo de sistema para o seu aproveitamento.

Nesta conformidade, em termos de desempenho energético e rentabilidade económica, importa destacar as três situações, a saber:

- (a) Resultados obtidos para o desempenho energético e económico em Faro (situação real)
 - O desempenho energético obtido com as estratégias conducentes ao aumento da eficiência, correspondeu a índices de energia primária associados ao consumo regulado (IEE_R) a variar entre 130 kWh_{EP}/m².ano a 136 kWh_{EP}/m².ano, sendo este o

intervalo considerado adequado à iniciação da avaliação da utilização de renováveis para suprir as necessidades de energia do hotel;

- Desempenho mínimo de energia (final e primária) regulada, se tal for exequível do ponto de vista técnico, funcional e economicamente viável: $E_{R,Faro} \leq 77 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ e $IEE_{R,Faro} \leq 153 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2\cdot\text{ano}$, respetivamente;
- A solução de custo-ótimo corresponde à variante PCK12 com um IEE_R de $145 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2\cdot\text{ano}$ (opção com dispositivos de admissão autorreguláveis) e redução de 34% em termos de energia primária face ao cenário base, refletindo um custo específico escalonado no tempo a 20 anos (LCC20) de 300 €/m^2 . Por sua vez, se a opção não incidir na aplicação desses dispositivos, a solução ótima é a sua homóloga – nomeadamente, a medida combinada PCK13 (IEE_R de $149 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2\cdot\text{ano}$, redução de 32% face ao base e LCC20 de 304 €/m^2);
- As estratégias de ação pelo lado da oferta da energia para autoconsumo, via sistemas de captação solar, permitem acomodar um compromisso nZEB entre $97 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2\cdot\text{ano}$ e $106 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2\cdot\text{ano}$, com uma penetração de renovável entre 26% ($IEE_{REN} = 33,5 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2\cdot\text{ano}$) a 22% ($IEE_{REN} = 29,5 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2\cdot\text{ano}$), para uma garantia de disponibilidade de 80%, no caso do sistema PV afeto ao consumo elétrico regulado do hotel;
- Os melhores indicadores específicos nZEB, são conseguidos pelas versões do solar térmico – ST B – e do sistema fotovoltaico – PV B –, introduzidos nas variantes PCK20 a PCK23, que garantiram a obtenção de indicadores – IEE_{nZEB} – de $97 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2\cdot\text{ano}$ e $101 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2\cdot\text{ano}$, pelas variantes PCK29 (redução nZEB de 56%) e PCK33 (redução nZEB de 54%), valores que correspondem os custos específicos atualizados na ordem (LCC20) de 307 €/m^2 e 311 €/m^2 , respetivamente.

(b) Resultados obtidos para o desempenho energético e económico em Londres

- A solução que serviu de estímulo em Londres, após a estabilidade da redução (de consumos) obtida pela progressão entre as variantes PCK10 a PCK13, foi garantida pela caldeira de condensação, especificamente a variante PCK19. O desempenho energético obtido com as estratégias conducentes à redução da procura de energia, correspondeu a índices de energia primária de consumo regulado (IEE_R) compreendidos entre $161 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2\cdot\text{ano}$ a $164 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2\cdot\text{ano}$ (considerando a solução PCK19);
- Requisitos de consumo de energia final e primária regulada: $E_{R,Londres} \leq 130 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{ano}$ e $IEE_{R,Londres} \leq 196 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2\cdot\text{ano}$, respetivamente;
- A solução ótima é concordante com a severidade do clima, expressando-se pela variante PCK19, ou seja, progredindo para a introdução da caldeira eficiente na medida integrada PCK13, desconsiderando a seleção de novos equipamentos para garantir o arrefecimento, devido à insignificância desse consumo. O seu consumo específico (IEE_R) é de $164 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2\cdot\text{ano}$ (redução de 41% face à solução inicial), valor que representa um custo específico atualizado (LCC20) de 339 €/m^2 ;
- Pelo lado da oferta de energia, a integração de sistemas de captação solar (térmico e elétrico), quando combinados simultaneamente, introduziram uma penetração média de 11% de renovável nos consumos regulados do hotel, que correspondem a níveis nZEB (IEE_{nZEB}) entre $142 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2\cdot\text{ano}$ ($IEE_{REN} = 18,6 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2\cdot\text{ano}$) e $144 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2\cdot\text{ano}$ ($IEE_{REN} = 16,7 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2\cdot\text{ano}$) – redução média na ordem de 49% para IEE_{nZEB} .

- Pela perspetiva do IEE_{nZEB} , a melhor solução é obtida pela variante PCK33 (idêntica à PCK29 sem admissão da ventilação natural), apresentando um índice nZEB de 142 kWh_{EP}/m².ano (redução nZEB de 49%) e LCC20 de 356 €/m².
- (c) Resultados obtidos para o desempenho energético e económico em Atenas
- Os indicadores de desempenho energético (regulado) indicam valores entre 150 kWh_{EP}/m².ano e 158 kWh_{EP}/m².ano. Neste caso específico, a evolução do desempenho energético apresenta um comportamento similar à zona climática do edifício real (situação previsível, clima mediterrânico). Contudo, o aumento do consumo da climatização em 15%, devido ao aquecimento e ao ligeiro aumento do arrefecimento ambiente relativamente a Faro, promoveram uma exposição ainda mais favorável dos equipamentos térmicos energeticamente eficientes – após a variante PCK13 – que tem características semelhantes à variante PCK10, mas com o ajuste da temperatura no circuito de arrefecimento, $T_{ida} = 10^{\circ}C$;
 - Limites de consumo de energia final e primária regulada: $E_{R,Atenas} \leq 97$ kWh/m².ano e $IEE_{R,Atenas} \leq 179$ kWh_{EP}/m².ano, respetivamente;
 - A solução de nível de rentabilidade ótima corresponde a variante PCK13, com um índice de energia primária (IEE_R) de 170 kWh_{EP}/m².ano (redução de 34% face à solução inicial) e LCC20 de 325 €/m²;
 - O contributo dos sistemas para aproveitamento de fontes de energia renováveis, introduzidos nas variantes PCK21 e PCK23, garantiram uma penetração média de 19%, conseguindo a obtenção de indicadores – IEE_{nZEB} – entre 119 kWh_{EP}/m².ano ($IEE_{REN} = 30,9$ kWh_{EP}/m².ano) e 124 kWh_{EP}/m².ano ($IEE_{REN} = 27,2$ kWh_{EP}/m².ano) – redução média na ordem de 53% para IEE_{nZEB} ;
 - O melhor indicador IEE_{nZEB} é 119 kWh_{EP}/m².ano (variante PCK33, redução nZEB de 53%) com um custo específico (LCC20) de 330 €/m².

Tabela 30 – Principais indicadores de desempenho energético e económico

	Base		Min.	Solução Ótima		Níveis nZEB	
	IEE_R [kWh _{EP} /m ² .a]	LCC20 [€/m ²]	IEE_R [kWh _{EP} /m ² .a]	IEE_R [kWh _{EP} /m ² .a]	LCC20 [€/m ²]	IEE_{nZEB} [kWh _{EP} /m ² .a]	LCC20 [€/m ²]
Faro	219	342	153	145 - 149	300 - 304	97 - 106	305 - 311
Londres	280	408	196	164	339	142 - 144	≅ 355
Atenas	256	377	179	170	325	119 - 124	≅ 330

(custo de oportunidade (i_r) 5% | taxa de inflação (i_i) 2% | variação do custo da energia (e) 3%)

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente: avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

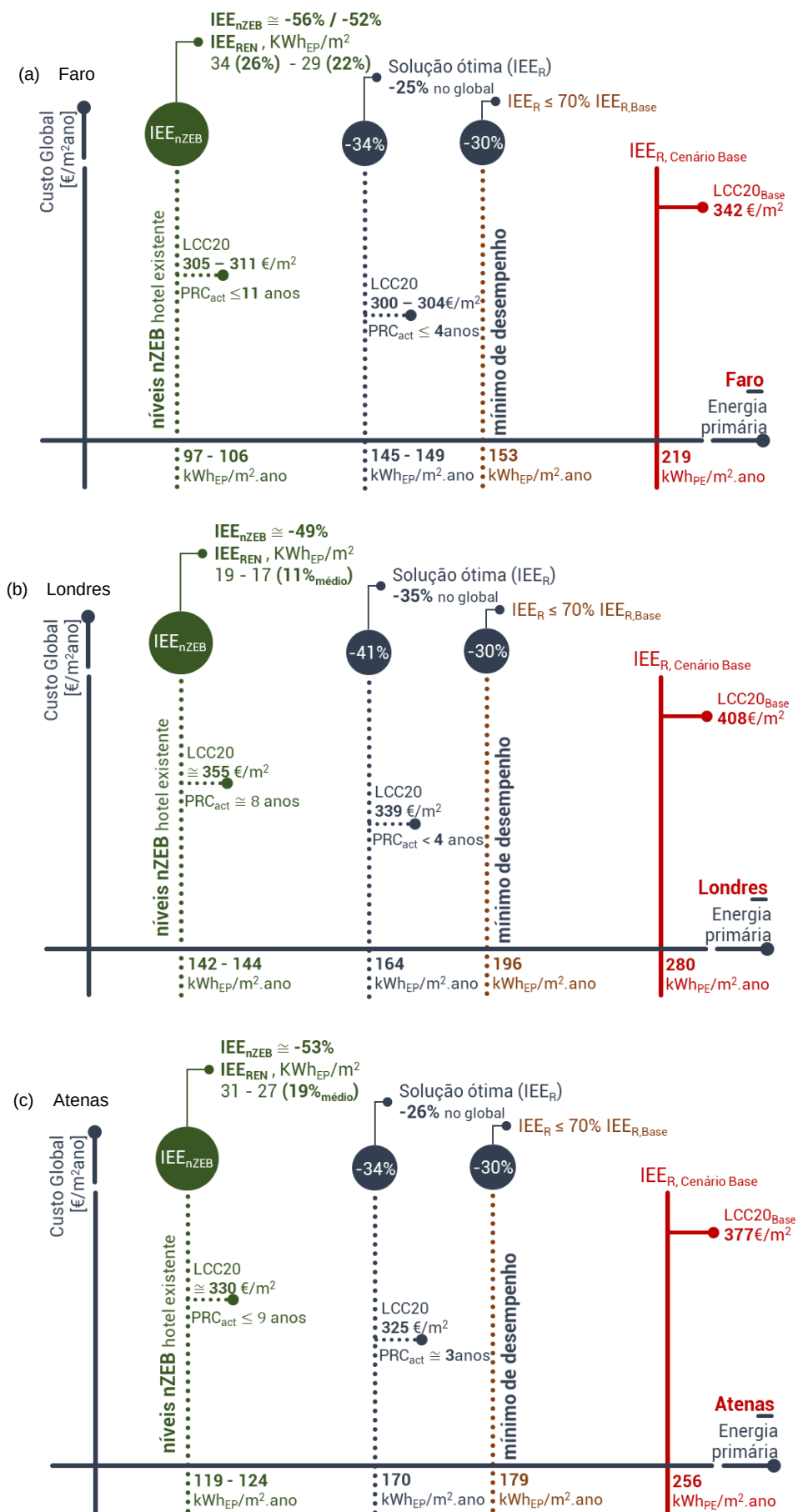


Figura 157 – Evolução dos principais indicadores de desempenho energético e económico: (a) Faro, (b) Londres e (c) Atenas

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente: avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

(a) Descrição das principais medidas de otimização	PCK9	PCK10	PCK12	PCK13	PCK19	PCK29	PCK33
Dispositivos de admissão de ar autorreguláveis a 20 Pa	x		x			x	
Instalação de LED's (substituição FT 18W; FT 36W; FT58W)	x	x	x	x	x	x	x
Reajuste do sistema de ventilação c/ garantia dos caudais de ar novo previstos no RECS	x	x	x	x	x	x	x
Adequação do set-point de temperatura do sistema de climatização: 21°C - 25°C							
Adequação do set-point de temperatura do sistema de climatização: 20°C - 26°C							
Adequação do set-point de temperatura do sistema de climatização: 20°C - 25°C	x	x	x	x	x	x	x
Dispositivos eficientes p/a redução do consumo de AQS - Quartos	x	x	x	x	x	x	x
Ventiladores eficientes c/ variação de velocidade (classe SFP2 ; < 750 W/(m³/s)	x	x	x	x	x	x	x
Sistema de recuperação de calor nas UTAs e UTANs p/a aquecimento ambiente	x	x	x	x	x	x	x
Dispositivos p/a promoção de free-cooling para arrefecimento ambiente	x	x	x	x	x	x	x
Ajuste dos níveis de ventilação à necessidade de utilização dos espaços	x	x	x	x	x	x	x
Ajuste de temperatura de funcionamento do circuito de arrefecimento (Temp. evap. 10 °C)			x	x	x	x	x
Instalação de chiller mais eficiente p/a arrefecimento ambiente (EER - 3,73 A35°C/W10°C)						x	x
Instalação de chiller mais eficiente p/a arrefecimento ambiente (EER - 3,62 A35°C/W10°C)							
Caldeira de condensação (eficiência = 97,6%) p/a aquecimento ambiente e preparação de água quente sanitária (AQS)					x	x	x
Solar Térmico (ST) p/a cobrir as necessidades de energia associada ao consumo de AQS. ST A ref.							
Solar Térmico (ST) p/a cobrir as necessidades de energia associada ao consumo de AQS. ST B						x	x
Sistema de energia solar fotovoltaica p/a autoconsumo (60 kW) Eficiência PV A = 15,73%							
Sistema de energia solar fotovoltaica p/a autoconsumo (68 kW) Eficiência PV B = 18,45%						x	x

(b) Pacote das soluções de otimização integradas dos principais indicadores de desempenho	Faro	Londres	Atenas
Patamar mínimo de desempenho ($IEE_R \leq 70\% IEE_{R,base}$)	PCK9	PCK10	PCK10
Solução ótima (IEE_R)	PCK12	PCK13	PCK19
Melhor desempenho nZEB (IEE_{nZEB})	PCK29	PCK33	PCK33

Figura 158 – (a) Caracterização das principais medidas de otimização e (b) pacote das medidas integradas dos principais indicadores de desempenho

As principais conclusões decorrentes da análise dos resultados apresentados nas secções anteriores são:

- A combinação de medidas de diferentes tipos em simultâneo, com especial enfoque nas estratégias de ação: redução da carga interna, eficiência dos sistemas de energia e sistemas de captação de energia renovável, permitem uma melhoria global do desempenho energético (consumo regulado e não regulado), através das soluções ótimas, entre 25% (Faro e Atenas) e 35% (Londres);
- As soluções de rentabilidade ótima identificadas nos três climas estão totalmente alinhadas com as imposições definidas para os consumos regulados (energia final e primária), caracterizando-se com períodos de recuperação do capital inferior a 4 anos, nos três climas em análise;
- As soluções de custo-ótimo – aquelas que dizem respeito às soluções que atingem a melhor relação custo/desempenho energético – correspondem às medidas combinadas a montante dos sistemas de conversão de energia térmica nas zonas climáticas de Faro e Atenas, sendo constituídas pelo controlo adequado dos sistemas e equipamentos,

elevada eficiência hídrica, sistemas de iluminação eficiente e a reformulação integral do sistema de tratamento e distribuição do ar de insuflação (garantia efetiva dos caudais de ar novo, ventiladores eficientes com variação de velocidade, recuperação de calor, dispositivos para arrefecimento gratuito e otimização dos níveis de ventilação à intensidade de utilização) – progressão entre as variantes PCK9 a PCK13. A utilização dos dispositivos autorreguláveis nas estratégias anteriores garante a melhor solução em Faro, através da variante PCK12. No entanto, a sua congénere – variante PCK13 – é naturalmente válida e representa a melhor solução em Atenas. Por sua vez, em Londres a solução ótima associa às anteriores a caldeira de condensação, através da variante PCK19;

- Os níveis nZEB, determinados com as combinações adequadas de medidas de economia de energia, entre as variantes PCK26 a PCK41 e caracterizados pelos seus índices específicos (IEE_{nZEB}), podem ser alcançados dentro dos limites de rentabilidade estabelecidos, traduzidos no período de retorno de capital igual ou inferior a 75% da vida útil definida para o edifício, neste caso de 15 anos. De salientar que estes indicadores, em particular no caso Português, são compatíveis com o panorama atual do parque hoteleiro existente de 4 e 5 estrelas, aquando de um processo de reabilitação e podem ser acomodados na definição nacional – níveis nZEB em condições reais de operação para a tipologia em questão. Porém, a dimensão da amostra deve ser bem mais alargada para reforçar a consistência dos níveis nZEB determinados;
- Observa-se que quanto maior for o consumo de energia e, consequentemente maior a redução da fatura, resultado da aplicação das medidas, mais interessantes são as rentabilidades económicas obtidas – situação explicitada pelo critério VAL;
- Os resultados demonstram que ao longo do tempo de vida do imóvel, a maior parte dos investimentos em eficiência energética/utilização de renováveis apresentam retorno na forma de custos de ciclo de vida mais baixos;
- Na perspetiva das análises de sensibilidade realizadas, observou-se que mesmo com a deflação do custo da energia (valor moderado e inferior à inflação), as soluções ótimas não sofrem alteração em relação ao seu ponto de partida. Contudo, existe a desfavorável subida do período de recuperação do capital (PRC) nas três regiões climáticas, sendo este critério mais desfavorável aquando da introdução dos sistemas de captação solar. Mas mantendo-se integralmente dentro do critério adicional $PRC \leq 75\% n_a$ (15 anos) nas três zonas climáticas, validando o interesse pelo investimento nos dois eixos de atuação: eficiência energética (maior prioridade) e utilização de renováveis.
- Por outro lado, se o preço de energia aumentar significativamente ao longo do período de funcionamento do hotel, obtêm-se rentabilidades mais robustas – economicamente interessantes –, com os custos das intervenções nZEB a aproximarem-se do nível ótimo de rentabilidade – as variantes ótimas, no caso de Faro e Atenas, são as soluções PCK12 ou PCK13 (associadas aos equipamentos térmicos mais eficientes, PCK22, ou PCK23), respetivamente, integradas com a penetração dos sistemas de captação solar, via energia solar térmica (STA) e fotovoltaica (PVB). Em Londres, a solução de custo-ótimo não se altera, reforçando a influência das condições climáticas, em particular do potencial de produção de energia renovável, na transformação e adaptação progressiva do parque existente para os níveis nZEB (em contexto de reabilitação, compatíveis com as definições nacionais);

- A análise do custo de ciclo de vida revela que o aumento do desempenho energético do hotel, expõe uma menor vulnerabilidade à volatilidade dos preços da energia durante o seu ciclo de vida;
- Os resultados revelam que o setor dos edifícios consumidores intensivos de recursos (energia e água) – com especial destaque nos hotéis da categoria de 4 e 5 estrelas –, deve ser assessorado de modo a ir além da abordagem tradicional, focando-se numa abordagem de análise global. As decisões têm que basear-se em dados reais do desempenho e na compreensão dos impactos das opções tecnológicas e de abastecimento energético no ciclo de vida dos edifícios;
- Pode concluir-se, pelo caso de estudo exaustivamente analisado no decorrer deste trabalho, que é exequível intervir no hotel, de forma energeticamente inteligente e claramente realista, respondendo ao desafio das necessidades quase nulas de energia, sob a perspetiva das principais utilizações finais de energia, sendo tudo isto possível com rentabilidades de investimento bastante atrativas para o grupo de gestão hoteleira. Além dos benefícios quantificáveis em termos económicos e de recursos (energia e água), existem a redução do impacto ambiental e da dependência das redes de energia, o aumento do nível das condições de conforto (térmico, qualidade do ar interior e lumínico) e bem-estar dos hóspedes (potenciando ainda o aumento das dormidas), assim como a satisfação e a produtividade dos funcionários. Simultaneamente, incrementam resultados (geram valor), aumentando a vantagem competitiva da organização, ao mesmo tempo que contribuem para o cumprimento das metas de responsabilidade social e corporativa.

7.3 Desenvolvimentos futuros

A contribuição dos resultados obtidos neste trabalho poderá ser o ponto de partida para o vasto campo de investigação do domínio do desempenho energético-ambiental associado à reabilitação de edifícios consumidores intensivos de energia, em particular os empreendimentos turísticos de 4 e 5 estrelas, mas também os centros comerciais, hospitais e centros empresariais (grandes edifícios de escritórios). Por essa razão, destacam-se aspetos que se consideram ser da maior relevância na avaliação do desempenho real dos edifícios existentes, em especial o grande edificado de serviços, aquando de processo de reabilitação, com vista à implantação e execução de plano de reabilitação a médio e longo prazo, passível de ser enquadrado no conceito nZEB nacional:

- Em relação ao edificado construído consumidor intensivo de energia e água, é possível afirmar que existe certamente um enorme potencial de redução de consumos. No imediato, a concretização desse potencial passa pela realização de auditorias integradas que devem ser feitas com critério e seguindo uma matriz de procedimentos comum, permitindo traçar o cenário base por tipologia – desempenho real (medido);
- De seguida, as intervenções de reabilitação cuidadosamente estruturadas para implementação a curto/médio prazo – com realismo –, deverão ter suporte em metas de desempenho exigentes, mas tendo como base inicial (de trabalhado) o critério de rentabilidade ótimo, por exemplo, seguindo a metodologia desenvolvida neste trabalho. Os resultados irão contribuir para a construção de uma base de dados credível e robusta de requisitos mínimos (por tipologia) para uma eficiente utilização de recursos (energéticos e hídricos), de condições de desempenho pretendidas (conforto térmico, renovação de ar, iluminação, entre outros), além de permitir determinar indicadores de desempenho progressivos e compatibilizados com o

patamar nZEB (para aquelas tipologias existentes), mas com a inerente adequação às exigências e especificidades da reabilitação;

- Entretanto, a obrigação da monitorização contínua das condições de utilização de recursos e conforto na sua dimensão global – após a reabilitação – irá permitir a obtenção dos indicadores de desempenho continuamente atualizados, permitindo comparar com as metas inicialmente estabelecidas, corrigir e ajustar se necessário;
- Paralelamente, expandir a aplicação do método aos consumos globais dos edifícios – usos regulados (R) e não regulados (NR) –, tendo em vista a sua acomodação na definição do conceito nZEB a médio prazo. Note-se que o aumento da eficiência energética dos consumos regulados expõe as fragilidades dos usos não regulados.

Outra abordagem desafiante e numa perspetiva de sustentabilidade, integralmente concordante com o compromisso estabelecido de atingir a neutralidade carbónica até 2050, será avaliar a viabilidade da transição do conceito nZEB para o conceito de edifícios de balanço nulo ou, segundo a terminologia inglesa, *net zero buildings* (NZB) – longo prazo –, ou seja, um balanço nulo em termos da utilização de recursos – energia, água e materiais – com fronteira em torno do edifício ou em torno de um grupo de edifícios, considerando todos os estágios de vida do edifício, nomeadamente: fase de produção de materiais e construção, fase de operação (consumos operacionais de energia e água) e fim de vida. Esta nova definição deverá basear-se na análise de custos de ciclo de vida (construção, operação, manutenção e desativação), usando como critério de validação o custo-ótimo – por exemplo, a melhor relação entre o custo global/emissões de CO₂ globais.

8 Referências e Bibliografia

- ADENE (2009). NT-SCE-02 - Metodologia para auditorias periódicas de QAI em edifícios de serviços existentes no âmbito do RSECE. Nota Técnica da Agência para a Energia (ADENE), 2009.
- ADENE (2013). Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos Opacos da Envolvente dos Edifícios. Valores por defeito para aplicação do previsto no Despacho n.º 15793-E/2013 relativo às “Regras de simplificação a utilizar nos edifícios sujeitos a grandes intervenções, bem como existentes”.
- ADENE (2015). Impacto da reabilitação energética nas necessidades de energia dos edifícios. Revista Edifícios e Energia, março/abril 2015.
- Aelenei, D., Aelenei, L., Gonçalves, H. (2013). Edifícios de balanço energético nulo; Uma síntese das características principais. Revista Climatização, Março/Abril 2013.
- Aelenei, L., et al. (2010). The Road Towards “Zero Energy” in Buildings: Lessons learned from SolarXXI building in Portugal, Conferência Eurosun, Graz, Austria.
- Aelenei, L., et al. (2011). Passive cooling approaches in Net-Zero Energy Solar Buildings: Lessons learned from demonstration buildings, Conferência CISBAT2011, Lausanne.
- Aelenei, L., et al. (2012). Design Issues for Net Zero-Energy Buildings, Conferência ZEMCH2012, Glasgow.
- Almeida, M. (2010). Apontamentos da Unidade Curricular Patologia e Reabilitação Não Estrutural. Mestrado em Construção e Reabilitação Sustentáveis. Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil, Guimarães.
- Almeida, M., Loureiro, D., Poças, A., David, L. (2015). Método para integração da adaptação às Alterações Climáticas no Sector do Turismo. Estado da arte: Água em empreendimentos hoteleiros.
- Almeida, M.C., Cardoso, M.A. (2010). Gestão patrimonial de infraestruturas de águas residuais e pluviais - Uma abordagem centrada na reabilitação. Guia Técnico n.17. Lisboa.
- APA (2010). Qualidade do Ar em Espaços Interiores - Guia Técnico. Editado pela Agência Portuguesa do Ambiente.
- APA (2015). Metodologia de avaliação da qualidade do ar no interior de edifícios de comércio e serviços no âmbito da Portaria 353-A/2013, de 4 de dezembro.
- Ascenso, R. & Ramos, E. (2008). Integração de Sistemas - Um novo Mercado. Revista Climatização, Setembro/Outubro.
- ASHRAE (2002). ASHRAE Guideline 14: Measurement of Energy and Demand Savings, ASHRAE Inc, Atlanta, GA, 2002.

- ASHRAE (2004). ANSI/ASHRAE Standard 55-2004, Thermal environmental conditions for human occupancy.
- ASHRAE (2007). ASHRAE Standard 90.1-2007, Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings.
- ASHRAE (2013). ANSI/ASHRAE Standard 90.1-2013, Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings.
- Atanasiu, B., et al. (2011). Principles for nearly Zero-Energy Buildings, paving the way for effective implementation of policy requirements”, Buildings Performance Institute Europe (BPIE).
- Balantia-Creara (2013). Raw data from more than 50 energy audits in hotels all over Spain in the period of 2010-2013.
- Belleri, A. & Napolitano, A. (2012). IEA - International Energy Agency Solar Heating and Cooling Task 40/ ECBCS Annex 52. Net ZEB evaluation tool – User guide
- Besant, R.W., et al. (1979). The Saskatchewan conservation house: some pre-liminary performance results, Energy and Buildings.
- Bliss, R.W. (1955). Design and performance of the nation’s only fully solar-heated house. Air conditioning, Heating and Ventilating 52: 92.
- Bohdanowicz, P., Martinac, I. (2006). Determinants and benchmarking of resource consumption in hotels-Case study of Hilton International and Scandic in Europe. Energy and Buildings, 39(1), 82–95. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.05.005>
- BPIE (2011). Europe’s buidings under the miscroscope. Buildings Performance Institute Europe (BPIE). Disponível em: http://www.bpie.eu/country_review.html
- BPIE (2011a). Principle for nearly zero energy buildings, Paving the way for effective implementation of policy requirements.
- BPIE (2012). Implementing nearly zero-energy buildings (nZEB) in Bulgaria - Towards a Definition and Roadmap.
- BPIE (2015). Nearly Zero Energy Buildings definitions across Europe, Factsheet. Buildings Performance Institute Europe, Brussels.
- Brelih. N. (Ed.) (2013). Design of Energy Efficient Ventilation and Air-Conditioning Systems. REHVA Manual No.17.
- Buso, T., Kurnitski, J., Corgnati, S.P., Derjanecz, A., Litiu, A. (2014). Nearly Zero Energy hotels, REHVA Journal, January 2014
- Butti, K., et al. (1980). 2500 Years of Solar Architecture and Technology, Van Nostrand Reinhold Company.
- Carrilho da Graça, G., Augusto, A., Lerer, M. (2012). Solar powered net zero energy houses for southern Europe: Feasibility study, Solar Energy, 86 (1), 634-646.
- CEN/TR 15615 (2008). Explanation of the general relationship between various European Standards and the Energy Performance of Buildings Directive (EPBD). Umbrella document.
- Chan, W. (2012). Energy benchmarking in support of low carbon hotels: Developments, challenges, and approaches in China. International Journal of Hospitality Management, 31(4), 1130–1142. <http://doi.org/10.1016/j.ijhm.2012.02.001>

- CIBSE TM55 (2014). Design for future climate : case studies. Londres: CIBSE.
- CIRIA (2006). Water key performance indicators and benchmarks for offices and hotels. London, 2006.
- Colmenar-Santos, A., Vale-Vale, J., Borge-Diez, D., Requena-Pérez, R. (2014). Solar thermal systems for high rise buildings with high consumption demand: Case study for a 5 star hotel in Sao Paulo, Brazil. Energy and Buildings, 69, 481–489. <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.036>
- COM (2011) 885/2. Energy Roadmap 2050. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/>
- COM (2014) 520 Final. Eficiência energética e a sua contribuição para a segurança energética e o quadro político para o clima e a energia para 2030. Disponível em: <http://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2014/PT/1-2014-520-PT-F1-1.Pdf>
- Corino, O., Buso, T., Kurnitski, J (2015). A future nearly Zero Energy Hotel in Italy, REHVA Journal, December 2015.
- Cunha, F. (2015). Estudo de estratégias e tecnologias de climatização para atingir Edifícios nZEB. Porto, FEUP, Tese de Mestrado.
- D’Agostino, D. (2015). Assessment of the progress towards the establishment of definitions of Nearly Zero Energy Buildings (nZEBs) in European Member States. Journal of Building Engineering, 1, 46-57
- Dalton, G. J., Lockington, D. A., Baldock, T. E. (2008). A survey of tourist attitudes to renewable energy supply in Australian hotel accommodation. Renewable Energy, 33(10), 2174–2185. <http://doi.org/10.1016/j.renene.2007.12.016>
- Decreto-Lei n.º 118/2013. Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços.
- Deng, S., Wang, R.Z., Dai, Y.J. (2014). How to evaluate performance of Net Zero Energy Building - a literature research, Energy 71, 1–16.
- Derjanecz, A. (2015). What is a nearly zero energy hotel? neZEH workshop in CLIMAMED 2015, Juan-les-Pins, France, September 2015.
- DesignBuilder (2016). DesignBuilder Simulation, DesignBuilder Software Ltd., U.K.
- Despacho 15793-D (2013). Fatores de conversão entre energia útil e energia primária a utilizar na determinação das necessidades nominais anuais de energia primária.
- Despacho 15793-E (2013). Regras de simplificação a utilizar nos edifícios sujeitos a grandes intervenções, bem como existentes.
- Despacho 15793-F (2013). Parâmetros para zonamento climático e respetivos dados.
- Despacho 15793-K (2013). Parâmetros térmicos.
- Despacho 17313 (2008). Fatores de conversão para tonelada equivalente petróleo (tep) de teores em energia de combustíveis selecionados para utilização final.
- DGEG (2014). Direção Geral de Energia e Geologia. Estratégia Nacional para a Renovação de Edifícios, agosto 2014.

DGEG (2015). Direção Geral de Energia e Geologia. Principais Indicadores Energéticos, fevereiro 2015. Disponível em: <http://www.dgeg.pt/>

DGEG (2017). Direção Geral de Energia e Geologia. Principais Indicadores Energéticos, janeiro 2017. Disponível em: <http://www.dgeg.pt/>

Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the council of 25 October 2012 on energy efficiency.

EC. (2017). Transição energética na Europa no bom caminho. Comissão Europeia - Comunicado de imprensa, Bruxelas, 1 de fevereiro de 2017.

ECB Annex (2014). IEA - International Energy Agency Solar Heating and Cooling Task 40/ ECBCS Annex 52. Towards Net Zero Energy Solar Buildings (NZEBs). Solution Sets and Net Zero Energy Buildings A review of 30 Net ZEBs case studies worldwide. Report of Subtask C.

Ecofys (2014). Overview of Member States information on NZEBs. Working version of the progress report - final report.

EN 12464-1 (2002). Light and lighting. Lighting of work places - Part 1: Indoor work places. European Committee for Standardization (CEN).

EN 13779 (2007). Ventilation for non-residential buildings – Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems. European Committee for standardization (CEN).

EN 15251 (2007). Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics.

EN 15459 (2007). Energy performance of buildings - Economic evaluation procedure for energy systems in buildings. European Committee for Standardization (CEN).

EN 15603 (2008). Energy performance of buildings. Overall energy use and definition of energy ratings.

Entranze (2008a). Share of dwellings built before 1980 in total stock. Disponível em: <http://www.entranze.enerdata.eu/#/share-of-dwellings-built-before-1980-in-total-stock.html>

Entranze (2008b). Total unit consumption per m2 in residential (at normal climate). Disponível em: <http://www.entranze.enerdata.eu/#/total-unit-consumption-per-m2-in-residential-at-normal-climate.html>

Entranze (2008c). Total unit consumption per m2 in non-residential (at normal climate). Disponível em: <http://www.entranze.enerdata.eu/#/total-unit-consumption-per-m2-in-non-residential-at-normal-climate.html>

Entranze (2008d). Unit consumption by m2 for heating and air cooling in non-residential sector (KWh/m2). Disponível em: <http://www.entranze-scenario.enerdata.eu/site/>

EPBD (2002). Energy Performance of Buildings Directive. Diretiva Comunitária 2002/91/CE.

EPBD recast (2010). Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast). Official Journal of the European Union.

EPBD Revised (2018). Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency (Text with EEA relevance).

Esbensen, T.V. & Korsgaard, V. (1977). Dimensioning of the Solar Heating System in the Zero Energy House in Denmark.

ETP (2010). Energy Technologies Perspectives, 2010. Scenarios & Strategies to 2050. International Energy Agency.

Eurostat (2015). Tourism-Database. Retrieved February 23, 2017, from <http://ec.europa.eu/eurostat/web/tourism/data/database>

Eurostat (2017a). Energy dependence - %. Retrieved April 30, 2017, from <http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&plugin=1&language=en&pcode=tsdcc310>

Eurostat (2017b). Energy intensity of the economy. Retrieved May 3, 2017, from <http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/table.do?tab=table&init=1&plugin=1&language=en&pcode=tsdec360>

Fanger, P. (1972). Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering. McGraw-Hill.

Fernandes, F. (2013). Curso de Auditorias Energéticas em Edifícios de Serviços, Agência para a Energia (ADENE), novembro 2013.

Ferreira, J. & Freitas, B. (2011). A Utilização Racional e Eficiente da Energia em grandes Edifícios (Um método de gestão). I – Sector da Hotelaria. Conferência Nacional sobre Sustentabilidade no Sector do Turismo 28-30, outubro, Évora.

Fragoso, R. (2015). O caminho para nZEB na Legislação Portuguesa. Wokshop RePublic_ZEB. Lisboa, LNEG, 2015.

Fragoso, R. (2017). Desempenho energético dos edifícios. Necessidades de energia e potencial relação com o conforto. Ponto de encontro - Eficiência Energética e Comportamento Passivo dos Edifícios, Lisboa, E-NOVA, 2017.

Gao, Y. & Mattila, A. S. (2014). Improving consumer satisfaction in green hotels: The roles of perceived warmth, perceived competence, and CSR motive. *Int. J. Hosp. Manag.*, vol. 42, pp. 20–31.

Gauna, J. (2011). Hacia los edificios sin hipoteca energética: Passivhaus – la casa passiva. Guia del estándar Passivhaus, capítulo 1. Fundación de la Energia de la Comunidad de Madrid, Madrid.

Geerts, W. (2014). Environmental certification schemes: Hotel managers' views and perceptions, *Int. J. Hosp. Manag.*, vol. 39, pp. 87–96.

Gonçalves, C. (2015). Eficiência Energética nos edifícios e adaptação às Alterações Climáticas. AdaPTAC:T Método para integração da adaptação às Alterações Climáticas no Setor do Turismo. Lisboa, LNEG, 2015.

Gonçalves, H. & Graça, J. (2004). Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal. DGGE, Lisboa.

Gonçalves, H. & Oliveira Panão, M.J.N (2013). Pensar a Certificação Energética para Edifícios de Energia Zero. *Revista da Ordem dos Engenheiros*, julho/agosto 2013.

- Gonçalves, H., et al. (2011). SOLAR XXI: A Portuguese Office Building towards Net Zero-Energy Building, REHVA Jornal, March 2011.
- Gössling, S. (2015). New performance indicators for water management in tourism. *Tourism Management*, 46, 233–244. <http://doi.org/10.1016/j.tourman.2014.06.018>
- Gössling, S., Peeters, P., Hall, C. M., Ceron, J. P., Dubois, G., Lehmann, L. V., Scott, D. (2012). Tourism and water use: Supply, demand, and security. An international review. *Tourism Management*, 33(1), 1–15. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tourman.2014.06.018>
- Hermelink, A., Schimschar, S., Boermans, T., Pagliano, L., Zangheri, P., Armani, R., Voss, K., Musall, E. (2013). Towards nearly zero-energy buildings - Definition of common principles under the EPBD.
- Hernandez, P., Kenny, P. (2010). From net energy to zero energy buildings: defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB) *Energy and Buildings*, (42): 815–821.
- HES (2011). Analysis on energy use by European hotels: online survey and desk research. Hotel Energy Solutions.
- IDAE (2001). Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). Guías Técnicas de Eficiencia Energética en Iluminación - Madrid: IDAE, 2001.
- IEC (2014). Rotating electrical machines – Part 30-1: Efficiency classes of line operated AC motors (IE Code). International Electrotechnical Commission (IEC).
- IEPBD (2013). Implementing the Energy Performance of Buildings Directive – Featuring Country Reports 20.12, ADENE.
- INE (2016). Estatísticas do Turismo - 2015. INE, Lisboa.
- INE (2017). Produto interno bruto a preços de mercado (dados encadeados em volume; anual). Retrieved May 3, 2017 from https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=cn_quadros&boui=220636512
- ISO (2005). Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. International Standard Organization (ISO).
- ISO 13789 (2007). Thermal performance of buildings – Transmission and ventilation heat transfer coefficients – Calculation method. International Standard Organization (ISO).
- ISO 16000-1 (2004). Indoor air - Part 1: General aspects of sampling strategy. International Organization for Standardization (ISO).
- ISO 50001 (2011). Energy management systems – Requirements with guidance for use.
- ITE 50 (2006). Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios. Versão actualizada 2006. Informação Técnica Edifícios – ITE 50.
- ITE 54 (2010). Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos Opacos da Envolvente dos Edifícios. Soluções construtivas de edifícios antigos. Soluções construtivas das Regiões Autónomas. Informação Técnica Edifícios – ITE 54.
- ITP (2014). Environmental Management for hotels. THE INDUSTRY GUIDE TO SUSTAINABLE OPERATION. International Tourism Partnership.
- Kilkis, S. (2007). A New Metric for Net-zero Carbon Buildings, in: Energy Sustainability Conference, Long Beach, California.

- Kissock, J. K., Haberl, J. S., & Claridge, D. E. (2002). Development of a Toolkit for Calculating Linear, Change-point Linear and Multiple-Linear Inverse Building Energy Analysis Models. Final Report, ASHRAE 1050-RP. Atlanta: ASHRAE.
- Koch, A., Girard, S. (2011). Urban neighbourhoods - an intermediate scale for the assessment of energy performance of buildings. Proceedings of the ECEEE 2011 Summer Study, France, 1377-1385.
- Kurnitski, J. (Ed.) (2013). REHVA nZEB Technical Definition and System Boundaries for Nearly Zero Energy Buildings. REHVA Report No.4.
- Kurnitski, J., et al. (2014). nZEB definitions in Europe. REHVA J. March 2014.
- KWE Statistics (2010). Key World Energy Statistics, 2014. International Energy Agency.
- Laia, C. & Sousa, J. (1999). A Conservação de Energia em Hotéis, setembro de 1999.
- Lazzarin, R. & Nalini, L. (2004). Air Humidification – Technical, health and energy aspects. Carel, Chapter 4, pp. 38-39.
- Lisboa, C. (2013a). Como conseguir Net-Zero-Energy em edifícios de escritórios. CIAR2013, Colômbia Cartagena.
- Lisboa, C. (2013b). Curso de Auditorias Energéticas em Edifícios de Serviços, Agência para a Energia (ADENE), novembro 2013.
- LNEC (2010). Aspectos subjectivos do Conforto Visual: Percepções e Expectativas. Lisboa: LNEC, Relatório 219/2010 - ES/LNEC
- Lu, S., Wei, S., Zhang, K., Kong, X., Wu, W. (2013). Investigation and analysis on the energy consumption of starred hotel buildings in Hainan Province, the tropical region of China. Energy Conversion and Management, 75, 570–580. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2013.07.008>
- Marszal, A.J., Bourrelle, J.S., Musall, E., Heiselberg, P., Gustavsen, A., Voss, K. (2010). Net Zero Energy Buildings – Calculation Methodologies versus National Building Codes, in: EuroSun Conference, Graz, Austria.
- Marszal, A.J., Heiselberg, P., Bourrelle, J.S., Musall, E., Voss, K., Sartori, I., et al. (2011). Zero energy building - a review of definitions and calculation methodologies. Energy and Buildings, 43: 971-979.
- Matriz Energética do Porto, fevereiro de 2008. Agência de Energia do Porto.
- Musall, E., et al. (2010). Net Zero energy solar buildings: an overview and analysis on worldwide building projects, EuroSun Conference, Graz, Austria.
- Nearly Zero Energy Hotels (2013a). List and classification of the appropriate technologies and solutions available for SME hotels, neZEH project publications, 2013.
- Nearly Zero Energy Hotels (2013b). List of hotels categories reflecting climate regions and customer requirements, neZEH project publications, 2013.
- Nearly Zero Energy Hotels (2016). Nearly Zero Energy Hotels in Europe - Flagship projects and tools for hoteliers - Final Report, neZEH project publications, 2016.
- Passive-On (2007). A norma Passivhaus em climas quentes da Europa: diretrizes de projeto para casas confortáveis de baixo consumo energético. Passive-On Project, Milão

- Pinto, A. (2014). Estudo sobre cálculo dos níveis ótimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético dos edifícios e componentes de edifícios. Contribuição para o estudo dos edifícios de escritórios: Construção Nova. Lisboa: LNEC, Relatório 473/2014 - DED/NAICI.
- Pinto, A. (2015). Método para integração da adaptação às Alterações Climáticas no Sector do Turismo. Estado da arte: aspetos gerais e identificação de indicadores. Acedido em 21 de março de 2016, in <http://adapt-act.lnec.pt/http://eee.uci.edu/98f/50990/readings.htm>.
- Pinto, A., Machado, P., Matias, L., Saraiva, R., Silva Santos, A. (2016c). Thermal Comfort in hotels: relation between customers' opinions and empirical data gathered in 2015 summer. Interdisciplinarity in Social and Human Sciences International Congress. 5th - 6th May 2016, University of Algarve, Faro, Portugal.
- Pinto, A., Silva Afonso, A., Silva Santos, A., Pimentel-Rodrigues, C., Rodrigues, F. (2016b). Nexus água e energia em empreendimentos hoteleiros. Metodologia e resultados da aplicação em hotéis de 4 e 5 estrelas.
- Pinto, A., Silva Santos, A., Machado, P., & Espírito Santo, F. (2016a). AdaPT Caracterização dos hotéis do projecto AdaPT AC:T. Lisboa.
- PVSYST (2016). PVsyst Software, PVsyst SA
- RECS (2013a). Regulamento de desempenho energético dos edifícios de comércio e serviços (RECS) - Requisitos de conceção para edifícios novos e intervenções. Lisboa: INCM. Portaria n.º 349D-2013 e posteriores alterações.
- RECS (2013b). Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) - Requisitos de Ventilação e Qualidade do Ar Interior. Lisboa: INCM. Portaria n.º 353-A/2013.
- Regulamento Delegado (UE) N.º 244 (2012). Orientações que acompanham o Regulamento Delegado (UE) n.º 244/2012 da Comissão, de 16 de janeiro de 2012, que complementa a Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho relativa ao desempenho energético dos edifícios estabelecendo o quadro para uma metodologia comparativa para o cálculo dos níveis ótimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético dos edifícios e das componentes de edifícios.
- REH (2013). Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) – Requisitos de conceção para edifícios novos e intervenções. Lisboa: INCM. Portaria n.º 349-B/2013 e posteriores alterações.
- Rosselló-Nadal, J. (2014). How to evaluate the effects of climate change on tourism. *Tourism Management*, 42, 334–340. <http://doi.org/10.1016/j.tourman.2013.11.006>
- RSECE (2006). Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios. Decreto-Lei n.º 79/2006.
- Santos, A.J. (2001). Desenvolvimento de uma Metodologia de Caracterização das Condições de Iluminação Natural nos Edifícios Baseada na Avaliação “in situ”. Lisboa, LNEC/FCUL, Tese de Mestrado.
- Santos, A.J. (2007). A Iluminação nos Edifícios. Uma abordagem no contexto da Sustentabilidade e Eficiência Energética. Lisboa, LNEC, 2007.

- Sartori, I., Napolitano, A., Voss, K. (2012). Net zero energy buildings: A consistent definition Framework, Energy and Buildings.
- Silva Santos, A. (2016). Caracterização genérica dos hotéis do projeto AdaPT. Lisboa, LNEC, 2016.
- Solterm (2017). Solterm Software e Manual Solterm versão 5.3.
- Sonderegger, R. C. (1998). A Baseline Model for Utility Bill Analysis Using Both Weather and Non-Weather Related Variables. ASHRAE Summer Meeting. Toronto.
- Sousa, A. (2014). Projeto e Dimensionamento de Sistemas Geotérmicos Superficiais. 2.º Seminário da Plataforma Portuguesa de Geotermia Superficial, Auditório do LNEG, Alfragide, Lisboa.
- SouthZEB (2016a). Conforto Térmico – Módulo 4. Desenvolvido pela Universidade do Minho com a colaboração da Universidade de Patras e da Universidade Tecnológica do Chipre.
- SouthZEB (2016b). Reabilitação de Edifícios no Contexto nZEB – Módulo 8. Desenvolvido pela Universidade do Minho com a colaboração da Universidade de Patras e da Universidade Tecnológica do Chipre.
- Steinmüller, B. (2008). Reducing Energy by a Factor of 10. Promoting Energy Efficient Sustainable Housing in the Western World. Centrum für Nachhaltigkeitsmanagement, Lüneburg.
- Styles, D., Schönberger, H., Galvez-Martos, J. (2013). Best Environmental Management Practice in the Tourism Sector Learning from frontrunners.
- Styles, D., Schönberger, H., Galvez-Martos, J. (2015). Water management in the European hospitality sector: Best practice, performance benchmarks and improvement potential. Tourism Management 46 (2015) 187-202. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tourman.2014.07.005>
- Tabula (2010). Use of Building Typologies for Energy Performance Assessment of National Building Stocks. Existent Experiences in European Countries and Common Approach.
- Taylor, S., Peacock, A., Banfill, P., Shao, L. (2010). Reduction of greenhouse gas emissions from UK hotels in 2030. Building and Environment, 45(6), 1389–1400. <http://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.12.001>
- Torcellini, P., et al. (2006). Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition, National Renewable Energy Laboratory and Department of Energy, (US).
- Tournaki, S., Frangou, M., Tsoutsos, T., Morell, R., Guerrero, I., Urosevic, Z., & Derjanecz, A. (2016). Towards Nearly Zero Energy Hotels Technical Analysis and Recommendations, (1643), 323–331.
- Tournaki, S., Frangou, M., Tsoutsos, T., Guerrero Hernandez, I., Derjanecz, A., Kurnitski, J., Litiu A., Buso, T. (2014). Nearly Zero Energy Hotels – From European Policy to Real Life Examples: the neZEH Pilot Hotels. Proceedings of the 3rd International Conference "Energy in Buildings 2014" (Athens, Greece, 15 November 2014). ISSN: 2241-9748
- TP (2013). Desempenho Ambiental do Alojamento em Portugal, Boas Práticas nos Estabelecimentos Hoteleiros, Aldeamentos e Apartamentos Turísticos. Turismo de Portugal.
- TP (2015). Perspetivar 2020 – Turismo e Eficiência na utilização dos recursos, Turismo de Portugal, Covilhã.

- UNEP & UNWTO (2012). *Tourism in the Green Economy – Background Report*, UNWTO, Madrid.
- UNEP (2009). *Building and climate change. Summary for decision-makers*. UNEP SBCI (United Nations Environment Programme, Sustainable Buildings & Climate Initiative).
- UNWTO (2016). *UNWTO Tourism highlights, 2016 edition*. Madrid: United Nations, World Tourism Organization.
- US DOE (2008). *Building Technologies Program, Planned Program Activities for 2008-2012*, Department Of Energy, US.
- Vasconcelos de Paiva, J.A. (2003). *Medidas de reabilitação energética em edifícios*, LNEC.
- Virta, M. (Ed) 2012. *HVAC in Sustainable Office Buildings - A bridge between Owners and Engineers*. REHVA Manual No.16.
- Wang, J.C. (2012). A study on the energy performance of hotel buildings in Taiwan. *Energy and Buildings*, 49, 268–275.
- WARGOCKI, P. (2009). Ventilation, thermal comfort, health and productivity. In: Mumovic, D. & Santamouris, M., ed. 2009. *A Handbook of Sustainable Building Design & Engineering – an integrated approach to energy, health and operational performance*. London: Earthscan. Ch. 14.
- Weizsäcker, E., et al. (2009). *Fator five. The Natural Edge Project*, Gateshead.
- WTTC (2016). *Travel & Tourism - Economic Impact 2016 Europe*. World Travel & Tourism
- Yan, C., Wang, S., Xiao, F., Gao, D. (2015). A multi-level energy performance diagnosis method for energy information poor buildings. *Energy*, 83, 189–203. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2015.02.014>
- Yokoo, N. (2009). *Transition of Technology and Belief for Green Buildings in Japan*, International Conference on Sustainable Integrated Design Process for Building and Construction, Hong Kong.
- Zografakis, N., Gillas, K., Pollaki, A., Profylienou, M., Bounialetou, F. & Tsagarakis, K. P. (2011). Assessment of practices and technologies of energy saving and renewable energy sources in hotels in Crete. *Renew. Energy*, vol. 36, no. 5, pp. 1323–1328.

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente:
avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

ANEXO A: Registo fotográfico realizado na auditoria ao hotel



Foto 1: Fachada do edifício



Foto 2: Cobertura exterior do edifício

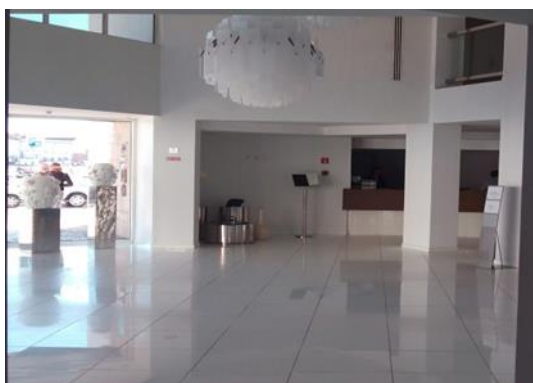


Foto 3: Zona do átrio e receção no piso 0



Foto 4: Vão env. – Vão fixo e porta envidraçada com cx. metálica + vidro duplo

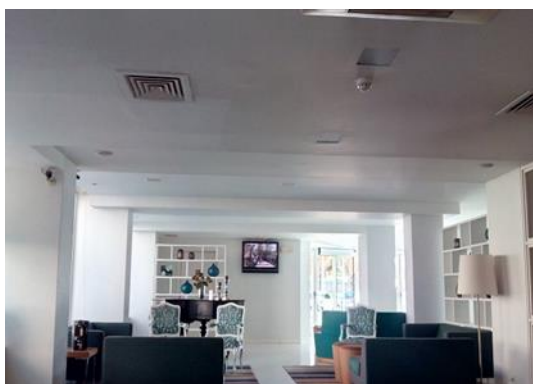


Foto 5: Zona de bar no piso 0

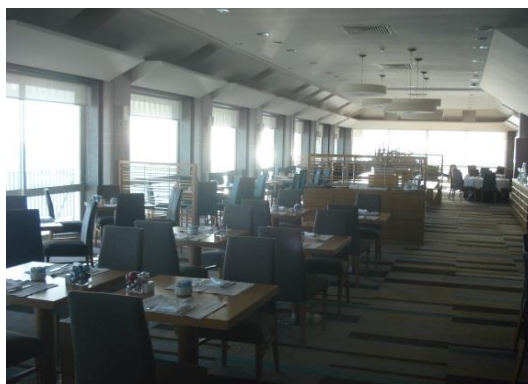


Foto 6: Restaurante do piso 5

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente:
avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro



Foto 7: Quarto tipo



Foto 8: Espaço de escritório no piso intermédio

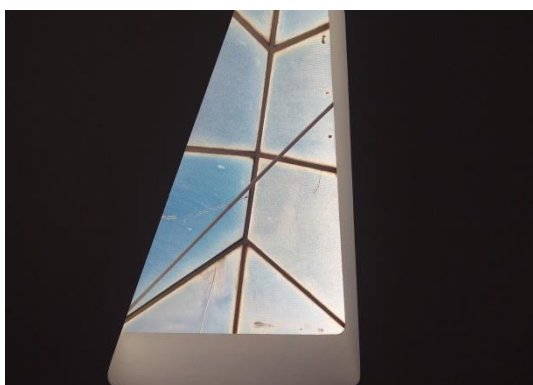


Foto 9: Vãos env. horizontal – claraboia



Foto 10: Vão env. giratório – cx. metálica + vidro duplo incolor sem proteção solar



Foto 11: Cozinha (piso 5)



Foto 12: Lavandaria (piso 2)



Foto 13: Verificação da espessura da envolvente opaca exterior (Pext1)



Foto 14: Iluminação fluorescente compacta não integrada

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente:
avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro



Foto 15: Iluminação – fluorescente tubular

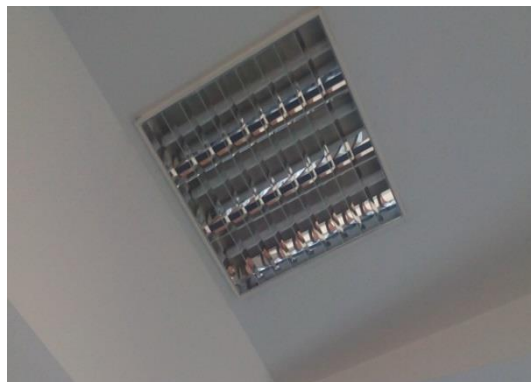


Foto 16: Armaduras quadradas encastradas –
iluminação fluorescente tubular



Foto 17: Iluminação exterior na fachada



Foto 18: *Chillers* (duas unidades) instalados na
cobertura



Foto 19: Caldeiras e queimadores



Foto 20: Vista do posicionamento de UTAN's e
respetivos ventiladores de extração



Foto 21: Subestação de distribuição da energia térmica



Foto 22: Ventilador de extração (prumada de
instalações sanitárias)

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente:
avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro



Foto 23: Sistema de difusão – Difusor de insuflação de 4 vias



Foto 24: Unidade interior - ventiloinvencor do tipo cassette



Foto 25: Aparelho de medida de CO₂, humidade e temperatura

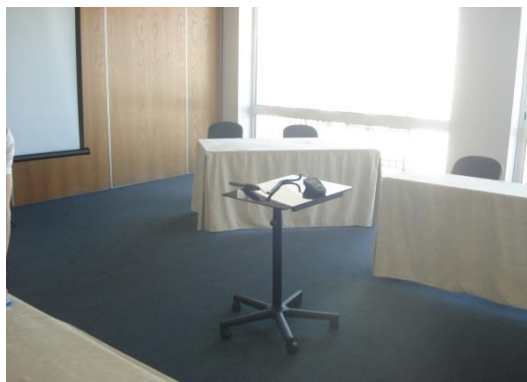


Foto 26: Medição de CO₂, humidade e temperatura (sala polivalente)



Foto 27: Medição de CO₂, humidade e temperatura (restaurante)

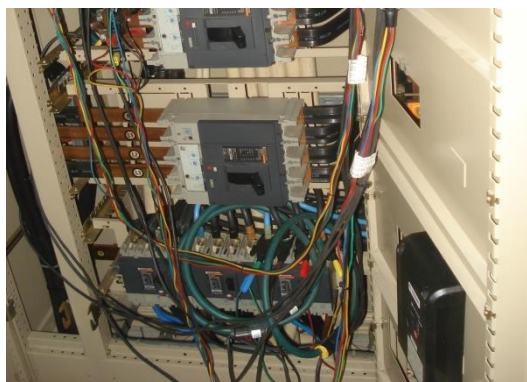


Foto 28: Medição do Quadro Geral



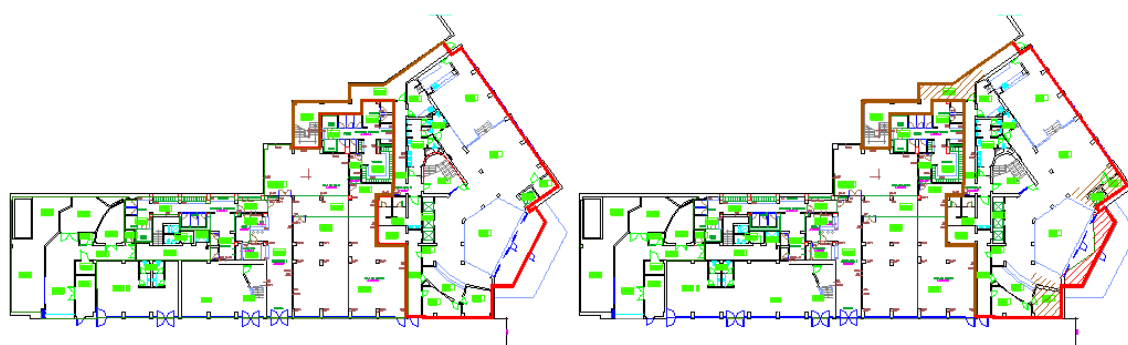
Foto 29: Medição do Quadro Geral



Foto 30: Medição de outros quadros elétricos parciais

Anexo B: Caracterização da envolvente

B.1. Plantas ilustrativas do edifício com a delimitação da envolvente



(a) Planta do piso 0

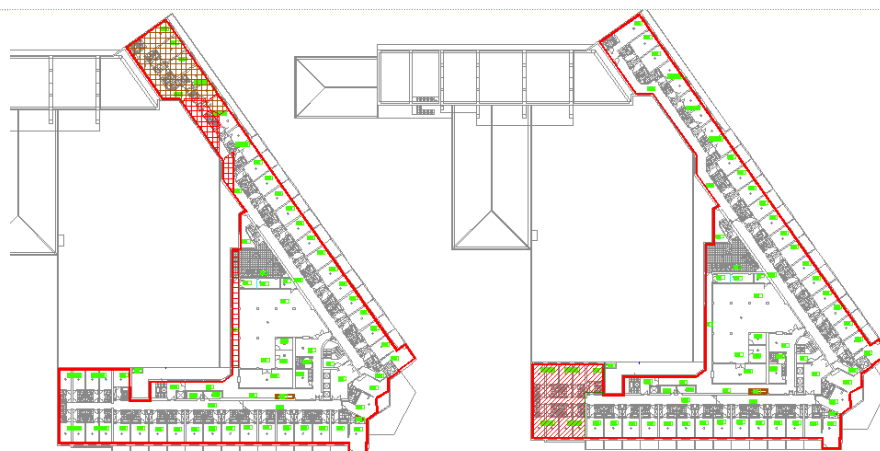


(b) Planta do piso intermédio

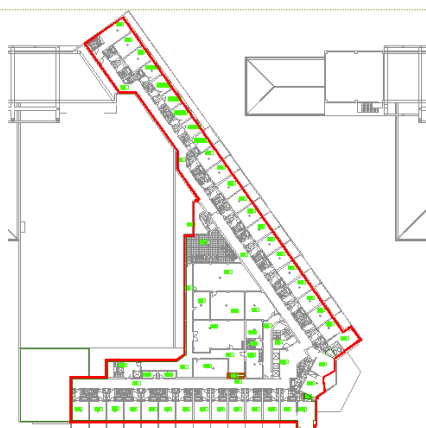
Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente:
avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro



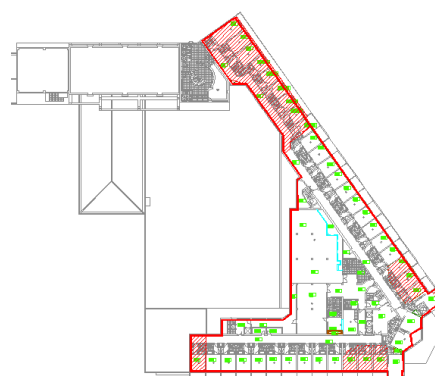
(c) Planta do 1.º piso



(d) Planta do 2.º piso



(e) Planta do 3.º piso



(f) Planta do 4.º piso

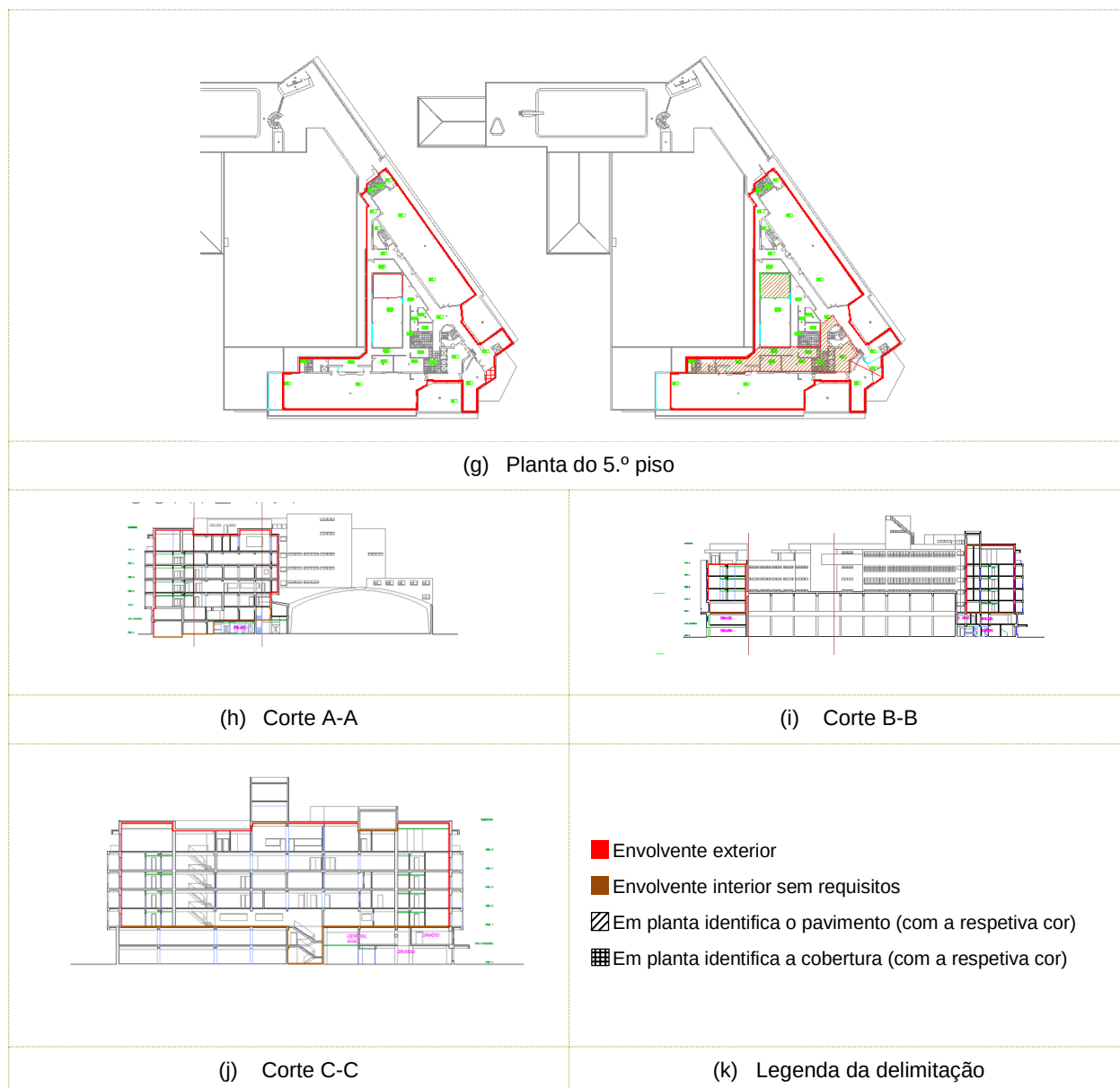


Figura B 1 – Plantas ilustrativas do edifício com a indicação dos diferentes tipos de envolvente

B.2. Caracterização dos elementos que compõem a envolvente do hotel

Tabela B 1 – Qualidade térmica da envolvente

Designação da solução construtiva	Fontes utilizadas	Coefficiente de transmissão térmica (U) [W/m ² .°C]
Paredes / Coberturas / Pavimentos / Vãos envidraçados		
Pext1 - Parede exterior, na qual se desconhece a solução construtiva, considerou-se uma parede de alvenaria (35 cm ou superior) rebocada em ambas as faces e sem isolamento térmico. Utilizou-se os valores por defeito, de acordo com o previsto no documento "Coeficientes de Transmissão Térmica de elementos opacos da envolvente dos edifícios", para parede de alvenaria (posterior a 1960).	ITE 54	0,96
Pext2 - Parede exterior, na qual se desconhece a solução construtiva, considerou-se uma parede de alvenaria com aproximadamente 30 cm de espessura, rebocada em ambas as faces e sem isolamento térmico. Utilizou-se os valores por defeito, de acordo com o previsto no documento "Coeficientes de Transmissão Térmica de elementos opacos da envolvente dos edifícios", para parede de alvenaria (posterior a 1960).	ITE 54	1,1
Pext3 - Parede exterior, na qual se desconhece a solução construtiva, considerou-se uma parede de alvenaria (18 a 20 cm), rebocada em ambas as faces e sem isolamento térmico. Utilizou-se os valores por defeito, de acordo com o previsto no documento "Coeficientes de Transmissão Térmica de elementos opacos da envolvente dos edifícios", para parede de alvenaria (posterior a 1960).	ITE 54	1,7
Pext4 - Parede exterior, na qual se desconhece a solução construtiva, considerou-se uma parede de alvenaria (23 a 29 cm) rebocada em ambas as faces e sem isolamento térmico. Utilizou-se os valores por defeito, de acordo com o previsto no documento "Coeficientes de Transmissão Térmica de elementos opacos da envolvente dos edifícios", para parede de alvenaria (posterior a 1960).	ITE 54	1,3
Pint1 - Parede de separação de espaço não aquecido, desconhecendo-se a solução construtiva, considerou-se uma parede de alvenaria (18 a 20 cm) rebocada em ambas as faces e sem isolamento térmico. Utilizou-se os valores por defeito, de acordo com o previsto no documento "Coeficientes de Transmissão Térmica de elementos opacos da envolvente dos edifícios", para parede de alvenaria (posterior a 1960) com a devida correção das resistências térmicas superficiais.	ITE 54	1,47
Pint2 - Parede de separação de espaço não aquecido, na qual se desconhece a solução construtiva, considerou-se uma parede de alvenaria com aproximadamente 20 cm de espessura rebocada em ambas as faces e sem isolamento térmico. Utilizou-se os valores por defeito, de acordo com o previsto no documento "Coeficientes de Transmissão Térmica de elementos opacos da envolvente dos edifícios", para parede de alvenaria (Posterior a 1960) com a devida correção das resistências térmicas superficiais.	ITE 54	1,47
Pint3 - Parede de separação de espaço não aquecido, na qual se desconhece a solução construtiva, considerou-se uma parede de alvenaria com aproximadamente 30 cm de espessura rebocada em ambas as faces e sem isolamento térmico. Utilizou-se os valores por defeito, de acordo com o previsto no documento "Coeficientes de Transmissão Térmica de elementos opacos da envolvente dos edifícios", para parede de alvenaria (posterior a 1960) com a devida correção das resistências térmicas superficiais.	ITE 54	1
Pint4 - Parede de separação de espaço não aquecido, na qual se desconhece a solução construtiva considerou-se uma parede de alvenaria (35 cm ou superior), rebocada em ambas as faces e sem isolamento térmico. Utilizou-se os valores por defeito, de acordo com o previsto no documento "Coeficientes de Transmissão Térmica de elementos opacos da envolvente dos edifícios", para parede de alvenaria (posterior a 1960) com a devida correção das resistências térmicas superficiais.	ITE 54	0,88

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente: avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

CobExt - Cobertura exterior plana em laje maciça de betão armado, na qual não foi possível aferir a existência de isolamento térmico. Revestida pelo interior por reboco tradicional e exteriormente por lajetas. Utilizou-se os valores por defeito, de acordo com o previsto no documento "Coeficientes de Transmissão Térmica de elementos opacos da envolvente dos edifícios", para cobertura pesada horizontal.	ITE 54 / SCE	2,6
CobInt. - Cobertura interior (em contacto com espaços complementares/zonas técnicas) em laje maciça de betão armado, na qual não foi possível aferir a existência de isolamento térmico. Utilizou-se os valores por defeito, de acordo com o previsto no documento "Coeficientes de Transmissão Térmica de elementos opacos da envolvente dos edifícios", para cobertura pesada horizontal com a devida correção das resistências térmicas superficiais.	ITE 54 / SCE	2,25
Pavext - Pavimento exterior em laje maciça de betão armado, na qual não foi possível aferir a existência de isolamento térmico. Utilizou-se os valores por defeito, de acordo com o previsto no documento "Coeficientes de Transmissão Térmica de elementos opacos da envolvente dos edifícios", para pavimento pesado.	ITE 54 / SCE	3,10
Pavint - Pavimento interior (em contacto com espaços complementares/zonas técnicas) em laje maciça de betão armado, na qual não foi possível aferir a existência de isolamento térmico. Utilizou-se os valores por defeito, de acordo com o previsto no documento "Coeficientes de Transmissão Térmica de elementos opacos da envolvente dos edifícios", para pavimento pesado com a devida correção das resistências térmicas superficiais.	ITE 54 / SCE	2,21
Pavterreo - A laje de pavimento em contacto com o solo encontra-se revestida com pavimento cerâmico, não foi possível apurar a sua espessura. Considerou-se Pavimento em contacto com o solo com resistência térmica do pavimento (R_f) inferior a $0,75 [(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$ - Profundidade enterrada média ao longo do perímetro de 0 m.	Despacho 15793-E/2013	1
Caraterização dos diferentes tipos de vãos envidraçados		
VT1 - S_D_Cr_C_Int_Op: Vãos envidraçados simples, constituídos por caixilharia de alumínio sem corte térmico, sistema de abertura "de correr", sem quadrícula, com vidro duplo incolor (6 mm, lâmina de 6 mm (ar), 4 mm), fator solar ($g_{l,v}$) de 0,78, com dispositivo de proteção solar pelo interior, do tipo cortinas transparente de cor clara, seguida de cortinas opacas de cor clara, fator solar do vão com proteção totalmente ativada (g_T) = 0,20.	ITE 50 / Tabelas 12 e 13 do Despacho 15793-K/2013	3,90
VT2 - D_D_Cr_C_Int_Op: Vãos envidraçados duplos, constituídos por caixilhariás de alumínio sem corte térmico, sistema de abertura "de correr", sem quadrícula, em que as janelas exteriores e interiores dispõem de vidro duplo incolor, com fator solar ($g_{l,v}$) de 0,61, com dispositivo de proteção solar pelo interior, do tipo cortinas transparente de cor clara, seguida de cortinas opacas de cor clara, fator solar do vão com proteção totalmente ativada (g_T) = 0,16.	ITE 50 / Tabelas 12 e 13 do Despacho 15793-K/2013	2,20
VT3 - S_S_Gr_SP: Vão envidraçado simples, constituído por caixilharia de alumínio sem corte térmico, sistema de abertura "giratoria", com vidro simples colorido na massa (6 mm), fator solar ($g_{l,v}$) de 0,60 e sem qualquer dispositivo de proteção solar.	ITE 50 / Tabelas 12 e 13 do Despacho 15793-K/2013	6,2
VT4 - S_D_F_SP: Vãos envidraçados simples, constituídos por caixilharia de alumínio sem corte térmico, sistema de abertura "fixo", sem quadrícula, com vidro duplo refletante colorido na massa (4 mm), lâmina de 6 mm (ar) e vidro incolor (6 mm), fator solar ($g_{l,v}$) de 0,40 e sem qualquer dispositivo de proteção solar.	ITE 50 / Tabelas 12 e 13 do Despacho 15793-K/2013	3,9
VT5 - S_S_F_SP: Vão envidraçado simples, constituído por caixilharia de alumínio sem corte térmico, sistema de abertura "fixo", com vidro simples incolor (4 mm), fator solar ($g_{l,v}$) de 0,88 e sem qualquer dispositivo de proteção solar.	ITE 50 / Tabelas 12 e 13 do Despacho 15793-K/2013	6,0
VT6 - S_S_Cr_SP: Vão envidraçado simples, constituído por caixilharia de alumínio sem corte térmico, sistema de abertura "de correr", com vidro simples incolor (4 mm), fator solar ($g_{l,v}$) de 0,88 e sem qualquer dispositivo de proteção solar.	ITE 50 / Tabelas 12 e 13 do Despacho 15793-K/2013	6,5

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente: avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

VT7 - S_S_Gr_SP: Vão envidraçado simples, constituído por caixilharia de alumínio sem corte térmico, sistema de abertura “giratória”, com vidro simples incolor (4 mm), fator solar ($g_{L,v}$) de 0,88 e sem qualquer dispositivo de proteção solar.	ITE 50 / Tabelas 12 e 13 do Despacho 15793-K/2013	6,2
VT8/VT22 - S_D_F_C_Int_Op: Vãos envidraçados simples, constituídos por caixilharia de alumínio sem corte térmico, sistema de abertura “fixo”, sem quadrícula, com vidro duplo refletante colorido na massa (4 mm), lâmina de 6 mm (ar) e vidro incolor (6 mm), fator solar ($g_{L,v}$) de 0,40, com dispositivo de proteção solar pelo interior, do tipo estores de lona opaca de cor clara, fator solar do vão com proteção totalmente ativada (g_T) = 0,20.	ITE 50 / Tabelas 12 e 13 do Despacho 15793-K/2013	3,2
VT10/VT15 - S_D_F_SP: Vãos envidraçados simples, constituídos por caixilharia de alumínio sem corte térmico, sistema de abertura “fixo”, sem quadrícula, com vidro duplo incolor (6 mm, lâmina de 6 mm (ar), 4 mm), fator solar ($g_{L,v}$) de 0,78 e sem qualquer dispositivo de proteção solar.	ITE 50 / Tabelas 12 e 13 do Despacho 15793-K/2013	3,90
VT11 - S_D_Gr_SP: Vãos envidraçados simples, constituídos por caixilharia de alumínio sem corte térmico, sistema de abertura “giratória”, sem quadrícula, com vidro duplo incolor (6 mm, lâmina de 6 mm (ar), 4 mm), fator solar ($g_{L,v}$) de 0,78 e sem qualquer dispositivo de proteção solar.	ITE 50 / Tabelas 12 e 13 do Despacho 15793-K/2013	4,3
VT12/VT27 - Hor_S_S_F_SP: Vãos envidraçados horizontais, constituídos por caixilharia de alumínio sem corte térmico, sistema de abertura “fixo”, sem quadrícula, com vidro simples incolor (4 mm), fator solar ($g_{L,v}$) de 0,88 e sem qualquer dispositivo de proteção solar.	ITE 50 / Tabelas 12 e 13 do Despacho 15793-K/2013	7,89
VT14 - S_D_Gr_C_Int_Op: Vãos envidraçados simples, constituídos por caixilharia de alumínio sem corte térmico, sistema de abertura “giratória”, sem quadrícula, com vidro duplo incolor (6 mm, lâmina de 6 mm (ar), 4 mm), fator solar ($g_{L,v}$) de 0,78, com dispositivo de proteção solar pelo interior, do tipo do tipo cortinas transparente de cor clara, seguidas de cortinas opacas de cor clara, fator solar do vão com proteção totalmente ativada (g_T) = 0,20.	ITE 50 / Tabelas 12 e 13 do Despacho 15793-K/2013	3,7
VT16/VT24 - S_D_Cr_SP: Vãos envidraçados simples, constituídos por caixilharia de alumínio sem corte térmico, sistema de abertura “de correr”, sem quadrícula, com vidro duplo incolor (6 mm, lâmina de 6 mm (ar), 4 mm), fator solar ($g_{L,v}$) de 0,78 e sem qualquer dispositivo de proteção solar.	ITE 50 / Tabelas 12 e 13 do Despacho 15793-K/2013	4,5
VT17/VT21 - S_D_Gr_SP: Vãos envidraçados simples, constituídos por caixilharia de alumínio sem corte térmico, sistema de abertura “giratória”, sem quadrícula, com vidro duplo refletante colorido na massa (4 mm), lâmina de 6 mm (ar) e vidro incolor (6 mm), fator solar ($g_{L,v}$) de 0,40 e sem qualquer dispositivo de proteção solar.	ITE 50 / Tabelas 12 e 13 do Despacho 15793-K/2013	4,3
VT18/VT25 - S_D_F_C_Int_Op: Vãos envidraçados simples, constituídos por caixilharia de alumínio sem corte térmico, sistema de abertura “fixo”, sem quadrícula, com vidro duplo incolor ((6 mm, lâmina de 6 mm (ar), 4 mm), fator solar ($g_{L,v}$) de 0,78, com dispositivo de proteção solar pelo interior, do tipo estores de lona opaca de cor clara, fator solar do vão com proteção totalmente ativada (g_T) = 0,38.	ITE 50 / Tabelas 12 e 13 do Despacho 15793-K/2013	3,2
VT19/VT26 - S_D_Cr_C_Int_Op: Vãos envidraçados simples, constituídos por caixilharia de alumínio sem corte térmico, sistema de abertura “de correr”, sem quadrícula, com vidro duplo incolor ((6 mm, lâmina de 6 mm (ar), 4 mm), fator solar ($g_{L,v}$) de 0,78, com dispositivo de proteção solar pelo interior, do tipo estores de lona opaca de cor clara, fator solar do vão com proteção totalmente ativada (g_T) = 0,38.	ITE 50 / Tabelas 12 e 13 do Despacho 15793-K/2013	3,6
VT20 - S_D_Cr_C_Int_Op: Vãos envidraçados simples, constituídos por caixilharia de alumínio sem corte térmico, sistema de abertura “de correr”, sem quadrícula, com vidro duplo refletante colorido na massa (4 mm), lâmina de 6 mm (ar) e vidro incolor (6 mm), fator solar ($g_{L,v}$) de 0,40, com dispositivo de proteção solar pelo interior, do tipo estores de lona opaca de cor clara, fator solar do vão com proteção totalmente ativada (g_T) = 0,20.	ITE 50 / Tabelas 12 e 13 do Despacho 15793-K/2013	3,6
VT23 - S_D_Cr_SP: Vãos envidraçados simples, constituídos por caixilharia de alumínio sem corte térmico, sistema de abertura “de correr”, sem quadrícula, com vidro duplo refletante colorido na massa (4 mm), lâmina de 6 mm (ar) e vidro incolor (6 mm), fator solar ($g_{L,v}$) de 0,40 e sem qualquer dispositivo de proteção solar.	ITE 50 / Tabelas 12 e 13 do Despacho 15793-K/2013	4,5

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente: avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

B.3. Elementos correntes da envolvente

Tabela B 2 – Áreas da envolvente e dos elementos correntes da envolvente

Áreas da Envolvente	
Área pavimento total [m ²]	9 986
Pé direito médio (ponderado) [m]	2,88
Elementos Correntes da Envolvente	
Pavimentos	A [m ²]
exteriores	167
interiores	1 075
Total	1 241
Paredes	A [m ²]
exteriores	2 886
interiores	752
Total	3 638
Coberturas	A [m ²]
em Terraço	1 601
Inclinadas	0
interiores	308
Total	1 909
Envidraçados	A [m ²]
exteriores	1 159
interiores	0
Total	1 159
Elementos em contacto com o Solo	A [m ²]
Paredes	0
Pavimentos	500
Total	500
Áreas Interiores	A [m ²]
Laje horizontal (compartimentação interior)	6863
Paredes (compartimentação interior)	4006

B.4. Determinação da inércia térmica

Tabela B 3 – Quantificação da inércia térmica

Inércia Térmica	

Cálculo da inércia segundo as regras de simplificação aplicáveis à quantificação da inércia térmica interior

Teto falso em todas as divisões ou pavimento de madeira ou esteira leve (cobertura)	não
Revestimento de piso do tipo flutuante ou pavimento de madeira	não
Paredes de compartimentação interior em tabique ou gesso cartonado ou sem paredes de compartimentação	não

Requisitos, a verificar cumulativamente, para inércia térmica forte:

Pavimento e teto de betão armado ou pré-esforçado	sim
Revestimento de teto em estuque ou reboco	não
Revestimento de piso cerâmico, pedra, parquet, alcatifa tipo industrial sem pêlo, com exclusão de soluções de pavimentos flutuantes	sim
Paredes interiores de compartimentação em alvenaria com revestimentos de estuque ou reboco	sim
Paredes exteriores de alvenaria com revestimentos interiores de estuque ou reboco	sim
Paredes da envolvente interior (caixa de escadas, garagem, ...) em alvenaria com revestimentos interiores de estuque ou reboco	sim

Nota: Nenhuma das soluções acima referidas inclui isolamento térmico pelo interior

O edifício ou fração tem inércia **Média**

De acordo com a Tabela 03, do Despacho nº5793-E/2013, de 3 de dezembro, o presente edifício tem Inércia Térmica Média, dado que não se verificam cumulativamente os respetivos requisitos.

Anexo C: Principais características dos equipamentos de Climatização e AQS

C1. Equipamentos primários

Tabela C 1 – Unidades do tipo *Chiller* utilizando ciclo de compressão de vapor

(-) não existente ou não aplicável

Un.	Características	Qt.	P.Term Arref.	P.Term Aquec.	EER	COP	P.mot.	Marca (Modelo)	Rf.	Fonte utilizada para caracterização	Idade	F.E	Localização
			[kW]	[kW]			[kW]				[anos]		
CF1/CF2	Só Frio - <i>Chiller</i> Ar/Água com compressores herméticos do tipo scroll, quatro ventiladores axiais e permutador refrigerante/água de placas. Temp. distribuição: 7/12 °C	2	264	-	2,66	-	127	Carrier 30RB262-B0612	R410A	Características técnicas verificadas no local aquando do levantamento efetuado pela equipa auditora.	3	Ele.	Cobertura

Tabela C 2 – Caldeiras

Un.	Características	Qt.	P. Term nom Aquec.	P. Term Aquec.	Rnd	Marca (Modelo)	Fonte utilizada para caracterização	Idade	F. E	Localização
			[kW]	[kW]	[%]			[anos]		
C1/C2	Caldeira monobloco de chapa de aço para instalações de aquecimento central por água quente até 5 bar e 100°C; Câmara de combustão em sobrepressão e circuito de fumos totalmente refrigerados; Equipada com quadro de regulação e controlo. Temp. distribuição: 90/75 °C	2	515,6	465,1	0,90	Roca / CPA 400	Características técnicas verificadas no local aquando do levantamento efetuado pela equipa auditora.	9	G. N.	Piso 0 / C. Térmica

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente:
avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

Tabela C 3 – Unidades de Climatização do tipo expansão direta (permuta ar-ar)

(-) não existente ou não aplicável

Un.	Qt.	P. Térmica Arref.	P. Térmica Aquec.	EER / COP	SEER / SCOP	Insuflação	P.mot.	Marca (Modelo)	Rf.	Fonte utilizada para caracterização	Idade	Localização	Zonas/Serviço/Ref.
Unidade Exterior (UE) / Interior (UI)		[kW]	[kW]			[m³/h]	[kW]				[anos]		
UE 1/UI 1 Tipo - Cassete	1	10	11,2	2,63 / 2,96	-	1680	3,80/3,78	DAIKIN: U.E. - RYEP100L7W1 U.I. - FHYCP100 B7V1	R407C	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	12	Interior (P. Intermédio)	Bar (Piso 0) - Ref. 0.1
UE 2/UI 2 Tipo - Mural	1	3,3	3,5	1,0 / 0,94	6,05 / 4,06	406/504	3,21/3,71	DAIKIN: U.E. - RXB35C2V1B / U.I. - FTXB35C2V1B	R 410A	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	1	Exterior (Cob.)	C. Maq. Elevadores
UE 3/UI 3 Tipo - Mural	2	3,5	4,0	2,79 / 2,84	6,10 / 3,10	500/400/300	1,40/1,55	Vulcano/Easy Inverter E	R 410A	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	1	Interior (P. Intermédio)	C. Técnica - Servidores (Piso 0) - Ref. 0.2 P.T (Piso 0) - Ref. 0.27

C2. Equipamentos auxiliares

Tabela C 4 – Sistema de bombagem

BF | BQ – Bombas de Frio/Quente (circuito primário); CQ | CF – Circuladores Frio/Quente (circuito secundário); BAQS – Bombas circuito AQS;
Circuladores AQS (circuito secundário); R – Reserva

Un.	Qt.	Caudal de água	Pr. total	P.mot.	Marca/Modelo	Localização	Fonte utilizada para caracterização
		[l/s]	[m.c.a.]	[kW]			
BF1 / BF2 / BF3R	3	10,0	10	2,2	Grundfos / LM-65- 200/202	Cobertura	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos
BQ1 / BQ2 / BQ3R	3	7,8	12	2,2	Grundfos / LM-80- 200/187	Piso 0 / C. Térmica	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos
BAQS1 / BAQS2R	2	4,15	8	0,75	Grundfos / LM-50- 200/198	Piso 0 / C. Térmica	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos
CQ1	1	12,30	10	3,0	Grundfos / LM-80- 200/200	Cob.	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos
CF1	1	0,62	10	0,33	Grundfos / UPS- 32-120	Cob.	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente:
avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

CF2	1	5,89	12	1,2	Grundfos / UPS-65-180	Cob.	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos
CF3	1	5,68	12	1,2	Grundfos / UPS-65-180	Cobertura	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos
CF4	1	6,90	12	1,2	Grundfos / UPS-65-180	Cobertura	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos
CF5	1	3,12	12	0,85	Grundfos / UPS-50-180	Cobertura	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos
CF6	1	1,37	10	0,545	Grundfos / UPS-50-120	Cobertura	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos
CF7	1	1,24	10	0,545	Grundfos / UPS40-120	Cobertura	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos
CAQS1 / CAQS2R	2	1,0	8	0,32	Grundfos / UPS-32-120	Piso 0 / C. Térmica	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos
CAQS3	1	-	-	0,045	Grundfos / ALPHA2-L-25-60 N 180	Piso 0 / C. Térmica	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos

Tabela C 5 – Sistema de ventilação

Ventiladores de Insuflação (VI) e Extração (VE) | (-) não existente ou não aplicável

Un.	Tipo	Características	Insuf. de ar	Pr. est.	Extração de ar	Pr. est.	P. mot.	Localização	Montagem	Zonas/Serviço	Fonte utilizada para caracterização	Ref.
			[m³/h]	[Pa]	[m³/h]	[Pa]	[kW]					
VI-1	Insuflação	Centrífugo/turbina de ação/Transmissão direta	800	-	-	-	0,18	Piso Intermédio	Interior	Piso intermédio (Gab. + Barb. + Cab.)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	1.3/1.4/1.5/1.6
VE-1	Extração	Centrífugo/turbina de ação/Transmissão por correia	-	-	600	-	0,18	Cobertura	Exterior	Restaurante Fundo (Z. Poente - Piso 5)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	6.9
VE-2	Extração	Centrífugo/turbina de ação/Transmissão por correia	-	-	1300	-	0,18	Cobertura	Exterior	Restaurante Entrada (Z. Nascente - Piso 5)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	6.9/6.19
VE-3	Extração	Centrífugo/turbina de ação/Transmissão por correia	-	-	400	-	0,18	Cobertura	Exterior	Refeitório Pessoal (Piso 3)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	4.11

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente:
avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

VE-4	Extração	Centrífugo/turbina de ação/Transmissão por correia	-	-	400	-	0,18	Cobertura	Exterior	Restaurante (Piso 5)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	6.8
VE-5	Extração	Centrífugo/turbina de ação/Transmissão por correia	-	-	600	-	0,18	Cobertura	Exterior	Sala Conferências Afonso I (Piso 5)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	6.7
VE-6	Extração	Centrífugo/turbina de ação/Transmissão por correia	-	-	600	-	0,18	Cobertura	Exterior	Sala Conferências Afonso II (Piso 5)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	6.7
VE-7	Extração	Centrífugo/turbina de ação/Transmissão por correia	-	-	600	-	0,18	Cobertura	Exterior	Sala Conferências Afonso III (Piso 5)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	6.21 / 6.5 / 6.6
VE-8	Extração	Centrífugo/turbina de ação/Transmissão por correia	-	-	6000/3000	-	1,0/ 0,25	Cobertura	Exterior	Pastelaria (Piso 5)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	6.18
VE-9	Extração	Centrífugo/turbina de ação/Transmissão por correia	-	-	1300	-	0,18	Cobertura	Exterior	Sala Ria Formosa (Piso 4)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	5.6
VE-10	Extração	Centrífugo/turbina de ação/Transmissão por correia	-	-	700	-	0,18	Cobertura	Exterior	Sala Flamingo (Piso 4)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	5.8
VE-11	Extração	Axial/turbina de reação/Transmissão direta	-	-	8600	-	1,1	Cobertura	Exterior	Hote/Cozinha (Piso 5)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	6.20
VE-12	Extração	Centrífugo/turbina de ação/Transmissão por correia	-	-	3300	-	0,55	Cobertura	Exterior	Copas (Pisos 1 a 4)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	1.16 (gym) / 1.1 / 2.12 / 2.16 / 3.13 / 4.16 / 5.11
VE-13	Extração	Centrífugo/turbina de ação/Transmissão por correia	-	-	2950	-	0,55	Piso 2	Interior	Piso 2 e Piso 3 (Vestiários/arrecadações e arrumos)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	3.8 / 4.5 / 4.6 / 4.10 / 4.4 / 4.12 / 4.17 / 4.18
VE-14	Extração	Centrífugo/turbina de ação/Transmissão por correia	-	-	2650	-	0,37	Piso Intermédio	Interior	Economato (Piso 1)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	2.3 / 2.4 / 2.6 / 2.9 / 2.10
VE-15	Extração	Centrífugo/turbina de ação/Transmissão por correia	-	-	2000	-	0,25	Piso Intermédio	Interior	Instalações Sanitárias (Piso 0/ Piso Interm.)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	0.10 / 0.11 / 0.13 / 1.7 / 1.8 / 1.9 / 1.11
VE-16												
VE-17	Extração	Centrífugo/turbina de ação/Transmissão por correia	-	-	1300	-	0,18	Piso Intermédio	Interior	Circulações (Piso 0)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	0.7 / 0.9 / 0.12 / 0.14
VE-18	Extração	Centrífugo/turbina de ação/Transmissão por correia	-	-	800	-	0,18	Piso Intermédio	Interior	Piso intermédio (Gab. + Barb. + Cab.)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	1.3 / 1.4 / 1.5 / 1.6
VE-19	Extração	Centrífugo/turbina de ação/Transmissão por correia	-	-	600	-	0,18	Cobertura	Exterior	Instalações Sanitárias (Piso 5)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	6.15 / 6.17

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente:
avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

VE-20	Extração	Centrífugo/turbina de ação/Transmissão por correia	-	-	4000	-	0,55	Cobertura	Exterior	Cozinha (Piso 5)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	6.2
VE-21	Extração	Centrífugo/turbina de ação/Transmissão por correia	-	-	5400/2700	-	1,0/ 0,25	Cobertura	Exterior	Hote/Pastelaria (Piso 5)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	6.18
VE-22												
VE-23												
VE-24	Extração	Centrífugo/turbina de ação/Transmissão por correia	-	-	3000	-	0,37	Cobertura	Exterior	Extração de Rua (Piso Intermedio)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	
VE-25												
VE Rest_hotte	Extração	Axial/turbina de reação/Transmissão direta/Caudal de ar variável	-	-	-	-		Cobertura	Exterior	Restaurante	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	6.9
VI Rest_hotte	Insuflação	Centrífugo/turbina de ação/Transmissão por correia	-	-	-	-	1,1	Cobertura	Exterior	Restaurante	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	6.9
VESQ1	Extração	Centrífugo/turbina de ação/Transmissão por correia	-	-	2500	-	0,37	Cobertura	Exterior	I.S - Quartos (Lado Marina Esq.)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	IS (107-118) + 2.20-2.21 + 2.18-2.19 / IS (207-223) + 3.15-3.16 / IS (307-314) +4.13-4.14 / IS (407-414) +5.15-5.16
VESQ2	Extração	Centrífugo/turbina de ação/Transmissão por correia	-	-	1600	-	0,25	Cobertura	Exterior	I.S - Quartos (Lado Marina Dto.)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	IS (100-106) / IS (200-206) / IS (300-306) / IS (400-406)
VESQ3	Extração	Centrífugo/turbina de ação/Transmissão por correia	-	-	2200	-	0,37	Cobertura	Exterior	I.S - Quartos (Lado Cidade Dto.)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	IS (119-131) / IS (224-233) / IS (315-324) / IS (415-424) + 5.5
VESQ4	Extração	Centrífugo/turbina de ação/Transmissão por correia	-	-	780	-	0,18	Piso 4	Exterior	I.S - Quartos (Lado Cidade Esq.)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	IS (234-245) / IS (325-336) / IS (425-436)

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente: avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

Tabela C 6 – Sistema de ventilação: Unidades de tratamento de ar e unidades de tratamento de ar novo

UTAN – Unidade de tratamento de ar novo | UTA – Unidade de tratamento de ar | UR – Unidade de Recirculação | UTV – Unidade de termoventilação | (-) não existente ou não aplicável

Un.	Eficiência e localização dos filtros	Caudal ar insuflação	Caudal ar retorno	Caudal ar novo	P. mot.	Tipo de Rec. de Calor	Localização	Montagem	Zonas/Serviço	Fonte utilizada para caracterização	Ref.
		[m³/h]	[m³/h]	[m³/h]	[kW]						
UTAN-1	G3 na admissão	5500	-	5500	1,5/0,37	-	Cobertura	Exterior	Pastelaria (Piso 5)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	6.18
UTAN-2	G3 na admissão	2000	-	2000	0,37	-	Cobertura	Exterior	Salas Ria Formosa/Flamingo (Piso 4)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	5.6 / 5.8
UTAN-3	G3 na admissão	1800	-	1800	0,37	-	Piso 4	Exterior	Quartos (Lado Cidade Esq.)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	234-245 / 325-336 / 425-436
UTAN-4	G3 na admissão	2310	-	2310	0,37	-	Piso 3	Exterior	Quartos (Lado Marina Esq.)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	107-118 / 207-223 / 307-314 / 407-414
UTAN-5	G3 na admissão	2670	-	2670	0,55	-	Piso Intermédio	Interior	Quartos (Lado Cidade Dto.)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	119-131 / 224-233 / 315-324 / 415-424
UTAN-6	G3 na admissão	3950	-	3950	0,75	-	Piso Intermédio	Interior	Copas (Pisos 1 a 4)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	2.12 / 2.11 / 2.14 / 2.15 / 2.17 / 3.13 / 3.3 / 4.16 / 4.3 / 5.11 / 5.12
UTAN-7	G3 na admissão	1700	-	1700	0,37	-	Piso Intermédio	Interior	Hall Hotel (Piso 0)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	0.1 / 0.2 / 0.3 / 0.4 / 1.1
UTAN-8	G3 na admissão	2400	-	2400	0,55	-	Piso Intermédio	Interior	Quartos (Lado Marina Dto.)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	100-106+2.1 / 200-206 + 3.1 / 300-306+4.1 / 400-406 + 5.1
UTAN-9	G3 na admissão	800	-	800	0,18	-	Piso Intermédio	Interior	Sala Marina/Sala Fitness (Gym) - 2x400 m³/h (Piso Intermédio)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	1.15 / 1.16
UTAN-10	G3 na admissão	2500	1700	800	0,55	-	Cobertura	Exterior	Corredor (Piso 5)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	6.3
UTAN-11	G3 na admissão	5000	-	5000	1,1	-	Cobertura	Exterior	Cafetaria (Piso 5)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	6.16

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente:
avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

UTA-1	G3 na admissão	5200	4600	600	1,1	-	Cobertura	Exterior	Restaurante Fundo (Z. Poente - Piso 5)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	6.90
UTA-2	G3 na admissão	7500	6500	1000	2,2	-	Cobertura	Exterior	Restaurante Entrada (Z. Nascente - Piso 5)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	6.90
UTA-3	G3 na admissão	2300	1900	400	0,37	-	Cobertura	Exterior	Refeitório Pessoal (Piso 3)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	4.11
UTA-4	G3 na admissão	4000	3600	400	0,75	-	Cobertura	Exterior	Restaurante (Piso 5)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	6.8
UTA-5	G3 na admissão	3000	2400	600	0,55	-	Cobertura	Exterior	Sala Conferências Afonso I (Piso 5)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	6.7
UTA-6	G3 na admissão	3000	2400	600	0,55	-	Cobertura	Exterior	Sala Conferências Afonso II (Piso 5)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	6.7
UTA-7	G3 na admissão	3000	2400	600	0,55	-	Cobertura	Exterior	Sala Conferências Afonso III (Piso 5)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	6.7
UTA-8											
UTA-9											
UTA-10	G3 na admissão	1600	1000	600	0,25	-	Piso Intermédio	Interior	Bar (Piso 0)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	0.7
UTA-TV	G3 na admissão	2400	0	2400	0,55	-	Piso Intermédio	Interior	Sala TV (Piso Intermédio)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	1.19
UTV-1	G3 na insuflação	16000	-	16000	3,6/0,9	-	Cobertura	Exterior	Cozinha (Piso 5)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	6.20
UTV-2	G3 na admissão	2400	-	2400	0,55	-	Piso 2	Interior	Vestiários e Oficinas (Pisos 2 - 3)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	3.8 / 4.5 / 4.6 / 4.9
UTV-3	G3 na admissão	3200	2750	450	0,55	-	Piso 2	Interior	Lavandaria (Piso 2)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	3.4 / 3.12
UTV-4	G3 na admissão	2100	-	2100	0,37	-	Piso Intermédio	Interior	Economato (Piso 1)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	2.4 / 2.6

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente:
avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

UR-1	G3 na admissão	1000	1000	-	0,25	-	Piso Intermédio	Interior	Hall Principal(Recepção, Piso 0)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	0.1
UR-2	G3 na admissão	1000	1000	-	0,25	-	Piso Intermédio	Interior	Hall Principal (Recepção, Piso 0)	Características técnicas verificadas no local e manuais técnicos	0.1

Tabela C 7 – Unidades terminais de climatização

VC – Ventiloconvectores

Un.	Características	Qt.	P. Arref.	P. Aquec.	Caudal ar insuflação	P. mot.	Marca/Modelo	Zona/Serviço/Ref.	Fonte utilizada para caracterização
			[kW]	[kW]	[m³/h]	[W]			
VC-1	VC's - Tipo Conduta (sistema a 2 tubos)/ Filtro G3	5	3,9	1,7	465	100	GEA / TOP GEKO FCU - 5 5.UAW40.3	Quartos alterados (Ref. 115-116 / 215-218 / 219-222) (Pisos 1 e 2)	Características técnicas verificadas no projeto de AVAC (alterações).
VC-2	VC's - Tipo Conduta (sistema 2 tubos a água)/ Filtro G3	18	2,2	0,8	265	100	GEA / TOP GEKO FCU - 2 2.UAW40.3	Quartos alterados Ref. 237-242; 328-333; 430-433 (Pisos 2; 3 e 4)	Características técnicas verificadas no projeto de AVAC (alterações).
VC-3	VC's - Tipo Cassete (sistema 2 tubos a água)/ Filtro G3	7+4	4,15	9,90	637	75	Carrier/42 WKE 008	Salas Ria Formosa (Ref. 5.6) / Flamingo (Ref. 5.8) (Piso 4.º)	Características técnicas verificadas no projeto de AVAC e manuais técnicos da marca.
VC-4	VC's - Tipo Conduta (sistema a 2 tubos)/ Filtro G3	13+5	1,50	1,97	288	40	Carrier/42XF02HF	Quartos / Escritórios (Ref. 2.17; 2.16; 2.15; 2.14) - Piso 1.º	Modelo fornecido pelo departamento de manutenção. Manuais técnicos da marca.
VC-5	VC's - Tipo Conduta (sistema a 2 tubos)/ Filtro G3	52	2,03	2,42	383	56	Carrier/42XF03HF	Quartos	Modelo fornecido pelo departamento de manutenção. Manuais técnicos da marca.
VC-7	VC's - Tipo Conduta (sistema a 2 tubos)/ Filtro G3	8	4,25	5,08	723	106	Carrier/42XF06HF	Suites (Ref. 100 / 200 / 300 / 400)	Modelo fornecido pelo departamento de manutenção. Manuais técnicos da marca.
VC-8	VC's - Tipo Conduta (sistema a 2 tubos)/ Filtro G3	60	2,60	3,8	488	63	Carrier/42XF04HF	Quartos	Modelo fornecido pelo departamento de manutenção. Manuais técnicos da marca.

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente:
avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

VC-9	VC's - Tipo Cassete (sistema 4 tubos a água)/ Filtro G3	2	2,20	6,0	562	70	Carrier/42 WK 004	Serviços de Apoio (Ref. 0.3; 0.2) (Piso 0)	Modelo fornecido pelo departamento de manutenção. Manuais técnicos da marca.
VC-10	VC's - Móvel (sistema 2 tubos a água)/ Filtro G3	7+6	2.2	4 870	480	64	Carrier/AWF03	Zona de Escritórios e S. Reuniões (Ref. 1.3-1.6; 1.15) / Sala de aula (Gym - Ref. 1.16)	Modelo fornecido pelo departamento de manutenção. Manuais técnicos da marca.
VC-11	VC's - Móvel (sistema 2 tubos a água)/ Filtro G3	1+4	4,14	4,36	832	75	Carrier/42NF50HF	Sala Reuniões (Ref. 1.15) / Sala de aula (gym - Ref. 1.16)	Modelo fornecido pelo departamento de manutenção. Manuais técnicos da marca.

C3. Acessórios

Tabela C 8 – Depósitos de acumulação

DA – Depósito de Acumulação para AQS | (-) não existente ou não aplicável

Un.	Qt.	Aplicação	Capacidade	Esp. Isolamento	Marca/Modelo	Fonte utilizada para caracterização	Localização
			[l]	[mm]			
DA	2	Produção de águas quentes sanitárias	5000	-	Faclima	Características técnicas verificadas no local aquando do levantamento efetuado pela equipa auditora.	Piso 0 / C. Térmica

Tabela C 9 – Permutadores de calor

PAQS – Permutador de calor para AQS

Un.	Qt.	Aplicação	Características	Temperatura / Circuitos	Caudais / Circuitos	P. Térmica Aquec.	Fonte utilizada para caracterização	Localização
				[°C]		[kW]		
PAQS1 / PAQS2	2	Produção de águas quentes sanitárias:	Permutador exterior ao depósito, do tipo placas construído em aço INOX AISI 316L	Primário: 90 - 70 °C Secundário: 35 - 55 °C	Primário Secundário: 4,15	300	Características técnicas verificadas na memória descritiva AVAC	Piso 0 / C. Térmica

Anexo D: Condições de conforto térmico e verificação expedita do nível de dióxido de carbono (CO₂)

D.1. Avaliação das condições de conforto

Tabela D 1 – Resultados de Temperatura, Humidade Relativa do Ar e Verificação expedita do nível de Dióxido de Carbono (CO₂)

Local de amostragem/ Pontos de Medição	Pisos	Caraterísticas do local	Temperatura	HR	Índices térmicos ^a EN 15251:2007 (0,8 clo)		Dióxido de carbono (CO ₂)			
			[°C]	[%]	PMV	PPD [%]	Med ^b [ppm]	Nocup.	Nocup. max.	Adj ^c [ppm]
Átrio da entrada (ref. 0.1)	Piso 0	Zona da receção/entrada para clientes	25,2	38,2	0,62	13	596	9	25	895
Zona do Bar (ref. 0.7)	Piso 0	Local destinado ao convívio e lazer dos clientes	24,9	38,2	0,55	11	626	7	7	626
Gabinete (ref 1.4)	Piso Intermédio	Zona de serviços dos funcionários (uso típico de escritórios)	24,8	39	0,53	11	640	2	1	534
Gabinete (ref 1.5)	Piso Intermédio	Zona de serviços dos funcionários (uso típico de escritórios)	24,8	38,2	0,53	11	596	3	8	876
Corredor acesso quartos (ref. 2.1)	Piso 1	Circulação de clientes	25,6	40,3	0,74	16	640	2	2	640
Gabinete (ref. 2.15)	Piso 1	Zona de serviços dos funcionários (uso típico de escritórios)	25,1	39,3	0,61	13	546	2	2	546
Lavandaria	Piso 2	Zona de serviços operacionais	25,1	41,6	1,03	27 ^d	476	4	4	476
Sala Refeições funcionários (ref. 4.11)	Piso 3	Zona de serviços - sala destinada às refeições dos funcionários	25	41,4	0,6	12	695	9	13	814
Cozinha	Piso 5	Zona de serviços - local destinado a preparação de refeições	24,3	40,5	0,87	21 ^d	471	6	13	521
Restaurante (ref. 6.8)	Piso 5	Espaço destinado a refeições e ao convívio dos clientes	25,4	36,8	0,66	14	481	6	13	543

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente:
avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

Restaurante (ref. 6.9)	Piso 5	Espaço destinado a refeições e ao convívio dos clientes	24,8	38,8	0,53	11	484	5	52	1010
Balneários masculinos (ref. 4.6)	Piso 3	Zona de serviço - vestiários dos funcionários	23,9	41,1	0,33	7	494	2	6	626
Sala (Afonso III -1, ref. 6.7)	Piso 5	Local de clientes destinado a conferências/reuniões	24,7	40,2	0,51	11	604	3	10	1015
Quarto 119 (Ventilação - ON)	Piso 1	Local destinado ao repouso dos clientes	25,3	45,5	0,39	8	812	2	2	812
Quarto 119 (Ventilação - OFF)			24,6	46,5	0	6	717	2	2	717
Quarto 130 (Ventilação - OFF)	Piso 1	Local destinado ao repouso dos clientes	24,9	44,4	0,26	6	614	2	2	614
Quarto 205 (Ventilação - ON)	Piso 2	Local destinado ao repouso dos clientes	25,6	44,2	0,47	10	740	2	2	740
Quarto 205 (Ventilação - OFF)			25,1	43,6	0,31	7	584	2	2	584
Quarto 401 (Ventilação - ON)	Piso 4	Local destinado ao repouso dos clientes	25,6	43,4	0,46	9	543	2	2	543
Quarto 401 (Ventilação - OFF)			24,7	47,1	0,22	6	566	2	2	566
Corredor de acesso às salas polivalentes (ref. 5.3)	Piso 4	Circulação de clientes	25	39,6	0,58	12	460	2	2	460
Máximo	--	--	25,6	47,1	1,03	27	812	--	--	1015
Mínimo			23,9	36,8	0,18	6	460	--	--	460
Média			25,0	41,3	--	--	590	--	--	674
Exterior 1	--	--	24,5	36,2	--	--	428	--	--	--
Exterior 2	--	--	25,3	39,6	--	--	418	--	--	--
Valores de referência e concentração max. de referência		--	20 a 26	30 a 70	0,7 < PMV < +0,7 ; PPD < 15%		1250			
Critério de Conformidade			cumpr	cumpr	cumpr		cumpr			
Método analítico		--	Termístor	Filme fino Capacitivo	--		Sensor Infravermelho			

^a Taxa de metabolismo: 1 met - quartos; 1,6 met - cozinha e lavandaria; 1,2 met - restantes espaços. Resistência térmica do vestuário adotou-se 0,8 clo (valor intermédio entre Inverno e Verão).

^b $CO_2 (Med)$ - Média temporal das medições realizadas em cada ponto de amostragem

^c 1º Critério de conformidade: $CO_2 (Adj) = [CO_2 (Med) - CO_2 (Ext)] \cdot N_{ocup.max} / N_{ocup} + CO_2 (Ext)$ (D.1)

^d Percentagem de pessoas insatisfeitas superior à categoria de conforto térmico III (PPD < 15 % ; edifícios existentes; EN 15251:2007)

Anexo E: Metodologia utilizada e medições elétricas efetuadas

E.1. Instalação

A auditoria foi efetuada tendo como interlocutores principais, o Diretor Técnico do Grupo, o Responsável da Manutenção e os restantes Técnicos afetos à manutenção do edifício – hotel, e como interlocutores secundários os funcionários e alguns clientes do hotel, selecionados aleatoriamente.

As visitas ao local para a recolha de todas as informações relevantes para a auditoria energética, na vertente documental, decorreram entre os dias 14 a 16, 24 e 28 de novembro de 2016, 14 de dezembro de 2016 e, finalmente, entre 18 a 19 de janeiro de 2017. Adicionalmente, a campanha de medições teve lugar entre os dias 5 e 10 de abril de 2017, contudo, apenas foram considerados os resultados das medições do período de 6 a 9 de abril. Estes resultados permitiram efetuar a desagregação dos consumos energéticos por utilização final.

O edifício é alimentado pela rede elétrica em Média Tensão (MT) – Energia + Redes, em ciclo semanal com feriados, com uma potência média contratada de 342 kW.

A energia elétrica é recebida no interior do edifício, nomeadamente no posto de transformação. O Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT) está situado no corredor de serviço do piso 0 e alimenta os Quadros Parciais (QP) de cada Piso.

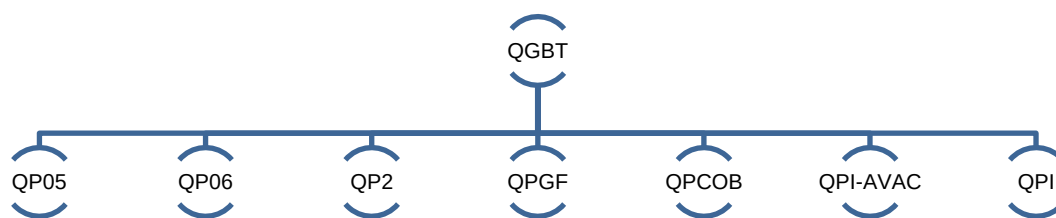


Figura E 1 – Esquema genérico dos quadros elétricos medidos

E.2. Medições elétricas

Foram efetuadas medições dos consumos elétricos do edifício – hotel, com o auxílio de analisadores de energia. Estas medições visam a definição dos perfis diários da instalação e a obtenção do consumo global e dos principais usos elétricos. Para tal, colocaram-se vários analisadores de energia em pontos estratégicos da instalação, durante 96h, de forma a conseguir caraterizar-se o hotel e identificar eventuais alterações no perfil de consumos, especialmente no que diz respeito a dias úteis e fins de semana. Estas medições foram

realizadas em 9 pontos, seguindo uma metodologia que consiste no registo da média das variáveis monitorizadas em intervalos de 1 minuto, durante 4 dias em contínuo.

Segue-se um resumo das medições realizadas, na tabela E1.

Tabela E 1 – Lista de medições elétricas

Medição	Quadro/Designação	Início		Fim	
		Data	Hora	Data	Hora
1	QGBT (do edifício)	06-04-2017	00:00	09-04-2017	23:59
2	QP05	06-04-2017	00:00	09-04-2017	23:59
3	QP06	06-04-2017	00:00	09-04-2017	23:59
4	QP2	06-04-2017	00:00	09-04-2017	23:59
5	QP5	06-04-2017	00:00	09-04-2017	23:59
6	QPGF	06-04-2017	00:00	09-04-2017	23:59
7	QP COB AVAC	06-04-2017	00:00	09-04-2017	23:59
8	QPI AVAC	06-04-2017	00:00	09-04-2017	23:59
9	QPI (Piso intermédio)	06-04-2017	00:00	09-04-2017	23:59

E.3. Caraterização da utilização do hotel em função da análise efetuada – período da auditoria

No âmbito da auditoria energética ao hotel, foi necessário desagregar o seu consumo de modo a serem perceptíveis as parcelas referentes ao aquecimento ambiente, arrefecimento ambiente, iluminação e outros equipamentos. Ao simular o comportamento do edifício num modelo numérico, os resultados destas parcelas terão de se ajustar fielmente com o funcionamento real. Deste modo, interessou medir os quadros elétricos que permitissem obter os consumos de climatização e ventilação, de iluminação e de equipamentos.

A medição efetuada ao quadro geral permitiu definir o diagrama de carga geral médio diário do edifício, expresso em percentagem, referente ao período da auditoria. Por outro lado, através da análise da taxa de ocupação do hotel e da monitorização de 4 dias (incluindo fim de semana), verificou-se que não existe diferenciação significativa entre dias úteis e não úteis, sendo portanto, os perfis de consumos diários representativos tanto para dias úteis como para dias de fim de semana. Na figura E2 identifica-se 4 períodos distintos assinalados com cores diferentes, e por ordem decrescente de intensidade no diagrama de carga diário do edifício. Durante o período de monitorizações, os consumos elétricos atingiram o seu máximo com uma potência absorvida na ordem de 200 kW, ocorrido entre as 8:00 e as 9:00 (ilustrado a vermelho na figura E3), e o correspondente ao período de menor consumo atingiu uma potência absorvida de aproximadamente 50 kW, ocorrido entre as 2:00 e as 3:00 (ilustrado a azul na figura E3). Como seria expectável, o diagrama de carga geral diário é concordante com perfil de consumo total elétrico medido.

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente: avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

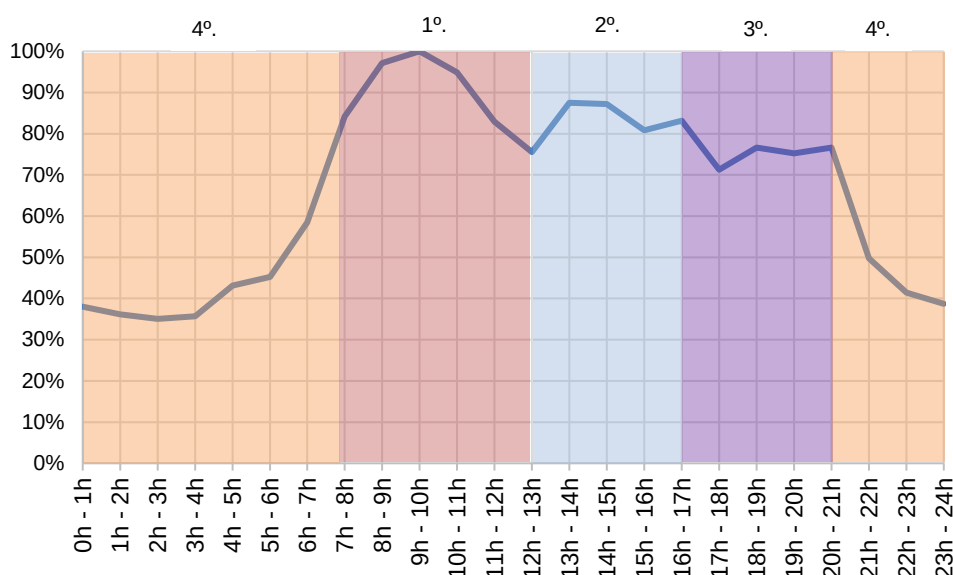


Figura E 2 – Diagrama de carga geral diário (médio) do edifício

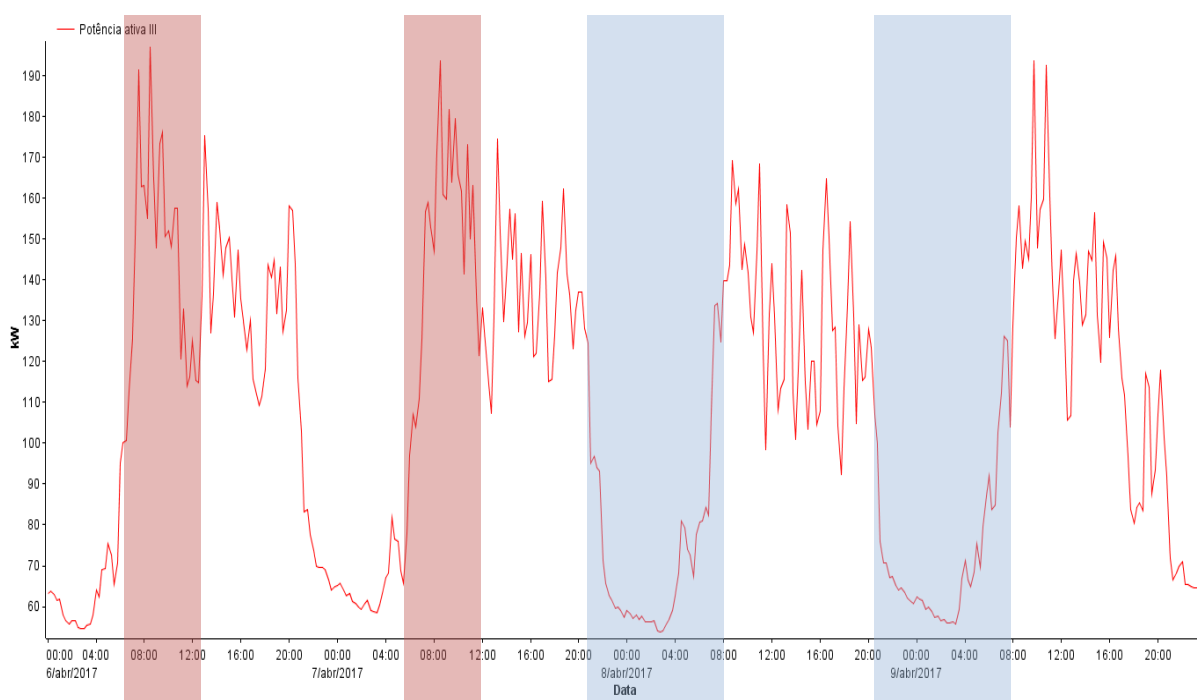


Figura E 3 – Diagrama de potência ativa no período da auditoria do edifício

O perfil de consumo base (de menor utilização) deve-se essencialmente aos equipamentos elétricos, sistema de ventilação, consumo das bombas de circulação de água quente sanitária (AQS) e ao consumo associado à iluminação com funcionamento durante o período noturno, pelo que se denota um perfil de consumos regular durante o período de monitorização. No entanto, é importante mencionar que durante o período da campanha de medições, a “produção” de frio (duas unidades arrefecidas ar, do tipo *Chiller* ar/água), que tem um peso preponderante na componente elétrica e fortemente dependente do clima (época do ano), ainda se encontrava desligada. A campanha de medições ocorreu na primavera, altura de transição entre estações do ano, e sinónimo de arranque da central de geração de frio, que

entrou em funcionamento durante no mês de abril, mas mais tarde e após terminado as medições de campo.

A primeira preocupação na medição de consumos elétricos foi medir o consumo total do edifício e verificar a sua consistência com as faturas de eletricidade. Feito isto, interessou desagregar esse consumo dando especial atenção às seguintes parcelas, nomeadamente: AVAC, iluminação, equipamentos e outros consumos relevantes para a compreensão do funcionamento do edifício e seus sistemas energéticos.

A desagregação de iluminação e equipamentos conseguiu-se através das medições dos quadros parciais de piso do hotel e, em simultâneo, fazendo a medição da potência dos circuitos de iluminação e o cálculo do perfil de consumo de energia (no uso da iluminação), através dessas potências medidas e dos horários de funcionamento. Na determinação do perfil de consumo associado aos equipamentos, efetuou-se a diferença entre o total medido e o consumo de iluminação calculado.

No que respeita à climatização (geração de calor e frio, ventilação e bombagem), os consumos foram determinados a partir das medições efetuadas aos quadros respetivos do hotel, nomeadamente: quadros existentes na central térmica do piso 0, zona técnica da cobertura e piso intermédio.

Com base nos registos dos consumos medidos e na determinação de alguns consumos tendo em atenção a potência instalada e o fator de utilização dos sistemas, efetuou-se a desagregação dos consumos do hotel pelas principais utilizações de eletricidade no período da auditoria.

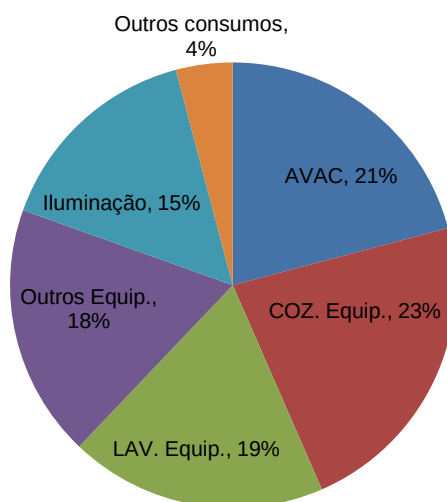


Figura E 4 – Desagregação do consumo de eletricidade no período da auditoria ao hotel

No que diz respeito à lavandaria, interessou avaliar a relação entre a energia elétrica consumida e o tratamento de roupa efetuado por aquele serviço. No período entre 2013 a 2015, e que serviu de base para a definição do ano tipo (referência), o serviço de lavandaria do hotel tratava a roupa do hotel e do ginásio. Por outro lado, de acordo com o levantando efetuado *in loco*, para a lavandaria eram remetidas cerca de 0,55 kg_{ginásio}/PAX e 0,80 kg_{hotel}/PAX de roupa para tratamento (excluindo roupa de cama), que através dos mapas de ocupação tipo, permitiu determinar com rigor a curva característica “típica” de consumo de energia (elétrica) versus roupa tratada.

Como nota, importa referir que para esta área funcional o consumo elétrico médio anual foi determinado diretamente, e após validação da sua consistência, tendo por base os dados fornecidos de consumos elétricos dos anos 2014-2015.

Na figura E5, visualiza-se a curva característica do consumo de energia elétrica da lavandaria em função da roupa lavada, calculada através de regressão linear, onde é possível perceber o elevado grau de associação entre estas duas variáveis – consumo de energia elétrica versus produção (kg) de roupa lavada. A medição da qualidade do ajuste foi realizada através do coeficiente de determinação (R^2), que é de 0,92 ($R^2 \geq 0,75$ (Sonderegger, 1998)), indicando que 92% da variação do consumo é explicado pelo modelo (pelo tratamento de roupa).

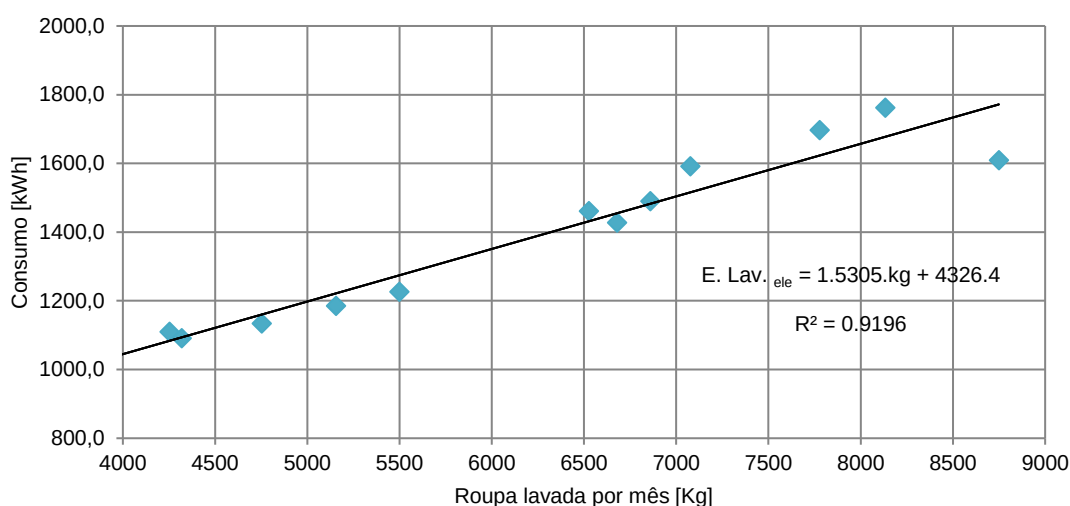


Figura E 5 – Curva característica da lavandaria, consumo de energia elétrica em função da roupa lavada

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente: avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

Anexo F: Simulação dinâmica

F.1. “Outputs” dos consumos de energia obtidos por tipo de utilização: Cenário Base

Report: EndUseEnergyConsumptionElectricityMonthly
For: Meter
Timestamp: 2017-12-10 20:30:03
Custom Monthly Report

	INTERIOR LIGHTS ELECTRICITY [kWh]	EXTERIOR LIGHTS ELECTRICITY [kWh]	INTERIOR EQUIPMENT ELECTRICITY [kWh]	EXTERIOR EQUIPMENT ELECTRICITY [kWh]	FANS ELECTRICITY [Invalid/Undefined]	PUMPS ELECTRICITY [kWh]	HEATING ELECTRICITY [kWh]	COOLING ELECTRICITY [kWh]
January	13457.84	3379.04	31205.14	0.00	0.00	12749.37	3645.60	202.15
February	12138.44	3052.03	32422.43	0.00	0.00	11499.23	3502.80	148.23
March	11777.91	3162.03	38597.49	0.00	0.00	12707.18	3078.10	111.47
April	11434.88	3060.03	45983.44	0.00	0.00	12332.65	4023.00	71.13
May	13838.50	2945.03	49173.07	0.00	0.00	15971.56	7430.70	53.39
June	12688.57	2850.03	51047.47	0.00	0.00	16631.00	7191.00	33.32
July	13162.85	2945.03	58070.33	0.00	0.00	17240.06	7663.20	18.39
August	13140.86	2945.03	60183.63	0.00	0.00	17216.62	7663.20	19.30
September	13976.82	2850.03	59685.77	0.00	0.00	16554.44	7416.00	34.09
October	14471.32	3162.03	52151.74	0.00	0.00	17240.06	7430.70	81.80
November	13976.82	3270.03	38442.88	0.00	0.00	12311.56	3753.00	66.50
December	13435.85	3379.04	33983.09	0.00	0.00	12728.27	3831.60	158.44
Annual Sum or Average	157500.66	36999.40	551949.48	0.00	0.00	175281.98	67428.90	998.20
Minimum of Months	11434.88	2850.03	31205.14	0.00	0.00	11499.23	3502.80	18.39
Maximum of Months	14471.32	3379.04	60183.63	0.00	0.00	17240.06	7663.20	202.15

Report: EndUseEnergyConsumptionNaturalGasMonthly
For: Meter
Timestamp: 2017-12-10 20:30:03
Custom Monthly Report

	INTERIOR EQUIPMENT GAS [kWh]	EXTERIOR EQUIPMENT GAS [Invalid/Undefined]	HEATING GAS [kWh]
January	10917.12	0.00	66709.10
February	9860.63	0.00	54483.32
March	15782.36	0.00	43053.30
April	20555.73	0.00	41472.34
May	31920.71	0.00	27240.33
June	26412.39	0.00	24630.94
July	21240.92	0.00	31164.51
August	23851.54	0.00	30700.13
September	20555.73	0.00	30174.51
October	27292.80	0.00	25624.93
November	15273.25	0.00	31528.76
December	13527.74	0.00	56953.43
Annual Sum or Average	237190.92	0.00	463735.60
Minimum of Months	9860.63	0.00	24630.94
Maximum of Months	31920.71	0.00	66709.10

F.2. Caudais de ar novo contabilizados

Os caudais de insuflação e de extração introduzidos (por espaço individual) na simulação real tiveram como suporte as informações recolhidas durante o levantamento técnico do processo da auditoria (informação técnica dos equipamentos existentes relativos ao sistema de ventilação), auxiliados pelo projeto de climatização existente. A contabilização dos caudais de ar novo insuflado efetivamente em cada espaço – individualizado – foi determinada pelos valores indicados nas unidades de tratamento de ar novo (UTANs) e unidades de tratamento de ar (UTAs). Por sua vez, a quantificação dos caudais de extração seguiu o mesmo procedimento, tendo como base os valores indicados nas unidades extração e respetivas unidades de tratamento de ar (UTAs) (vd. Anexo C).

Na tabela F1, é possível observar os caudais de ar novo (reais) introduzidos no modelo de simulação, por tipo de espaço agrupado, bem como os caudais mínimos determinados com base na regulamentação técnica nacional de eficiência energética em edifícios (RECS, 2013b), para satisfazer os requisitos de qualidade do ar interior. De realçar que nos espaços com ocupação ocasional e por períodos de tempo reduzidos, a renovação do ar pode ser efetuada com ar transferido de outros espaços, por exemplo, corredores, balneários, instalações sanitárias, arrumos, armazéns, copas e similares (espaços a negrito na tabela F1) (RECS, 2013b).

Tabela F 1 – Caudais de ar novo por tipo de espaço agrupado vs. caudais mínimos de ar novo

Tipo de espaço agrupado	Caudais mínimos de ar novo (RECS, 2013b)			Caudal de ar novo real [m³/h]
	Caudal de ar novo mínimo [m³/(h.m²)]	Caudal de ar novo mínimo [m³/(h.oc.)]	Caudal de ar novo mínimo/0,8 [m³/h]	
Receção	24	3	60	900
Gabinete	24	3	1220	2000
Bar	24	3	255	600
Corredor/circulação	-	-	0	3530
Salas de Conferência	20	3	2200	6200
Economato	-	-	0	2100
Copas	-	-	0	1800
Quartos	16	-	5440	8760
Trab. Oficiais	35	3	250	900
Vestiários/Balneários	-	-	0	1400
Refeitório	24	3	390	400
Restaurante	24	3	1950	2000
Cozinha	35	3	680	26500 ^a
Lavandaria	35	5	1330	450

^a Caudal global de insuflação de compensação e tratamento do ar

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente: avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

F.3. Densidades de Iluminação, Equipamentos e Ocupação por zona

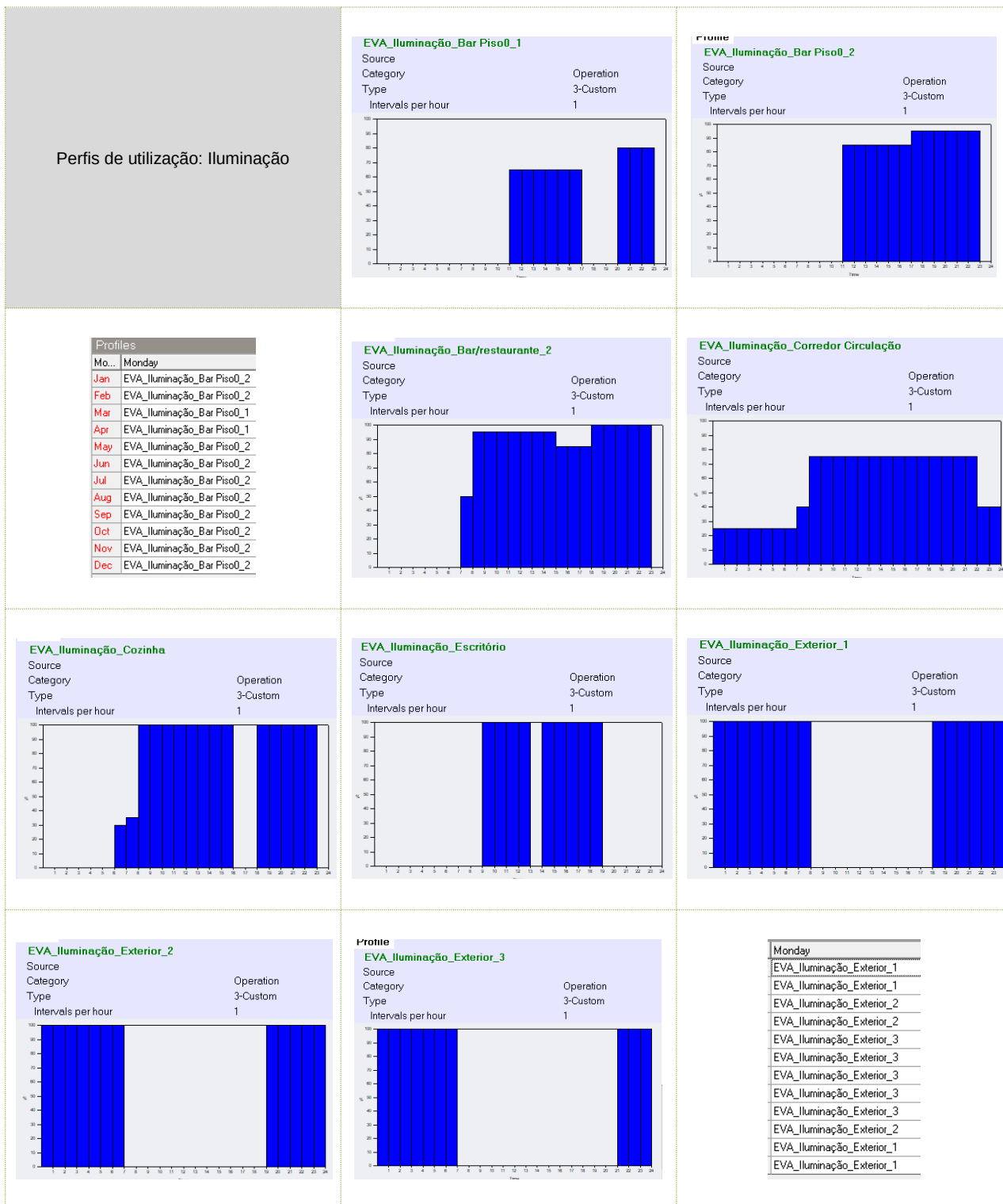
Tabela F 2 – Densidades dos ganhos internos por zonas

Zonas	Área Útil [m²]	Iluminação [W/m²]	Equipamentos [W/m²]	Ocupação [m²/ocup,]
Z, Técnica	727	4,84		-
Sala Reuniões	504	13,36	2,08	9,88
Restaurante	329	6,34	19,68	5,06
Inst, Sanitária	92	4,80	0,00	-
Cozinha	324	7,41	536,36	24,90
Lavandaria	245	4,21	577,02	40,77
Arrumos	296	4,91	0,00	-
Bar	78	7,31	107,29	11,13
Circulação Serv,	339	7,35	0,00	-
Ginásio^a	867	-	-	-
Loja^a	165	-	-	-
Corredor Quartos	902	2,60	0,00	-
Escritórios	328	9,70	41,38	8,21
Receção	257	4,13	7,26	64,36
Informática	12	4,75	198	12,05
Uteis não Climatizadas	443	1,81	0	-
Serviços de apoio	85	5,81	0,00	16,93
Copa	67	7,68	0,00	-
Economato	171	2,74	5,85	-
Quartos Cidade	1630	3,75	43,14	11,64
Quartos Marina	1241	2,72	45,34	11,08
Quartos Marina 118/219-223	107	3,73	37,41	8,93
Q100/200/300/400	191	2,82	55,34	23,90
Circulação	93	1,80	0,00	-
Sala funcionários/Refeitório	61	9,18	215,07	4,71
Corredor P5	212	3,70	0,00	-
IS Serv, P2_P3	112	4,36	0,00	-
IS Serv, P5	29	5,83	0,00	-
Corredor	79	7,68	13,24	-

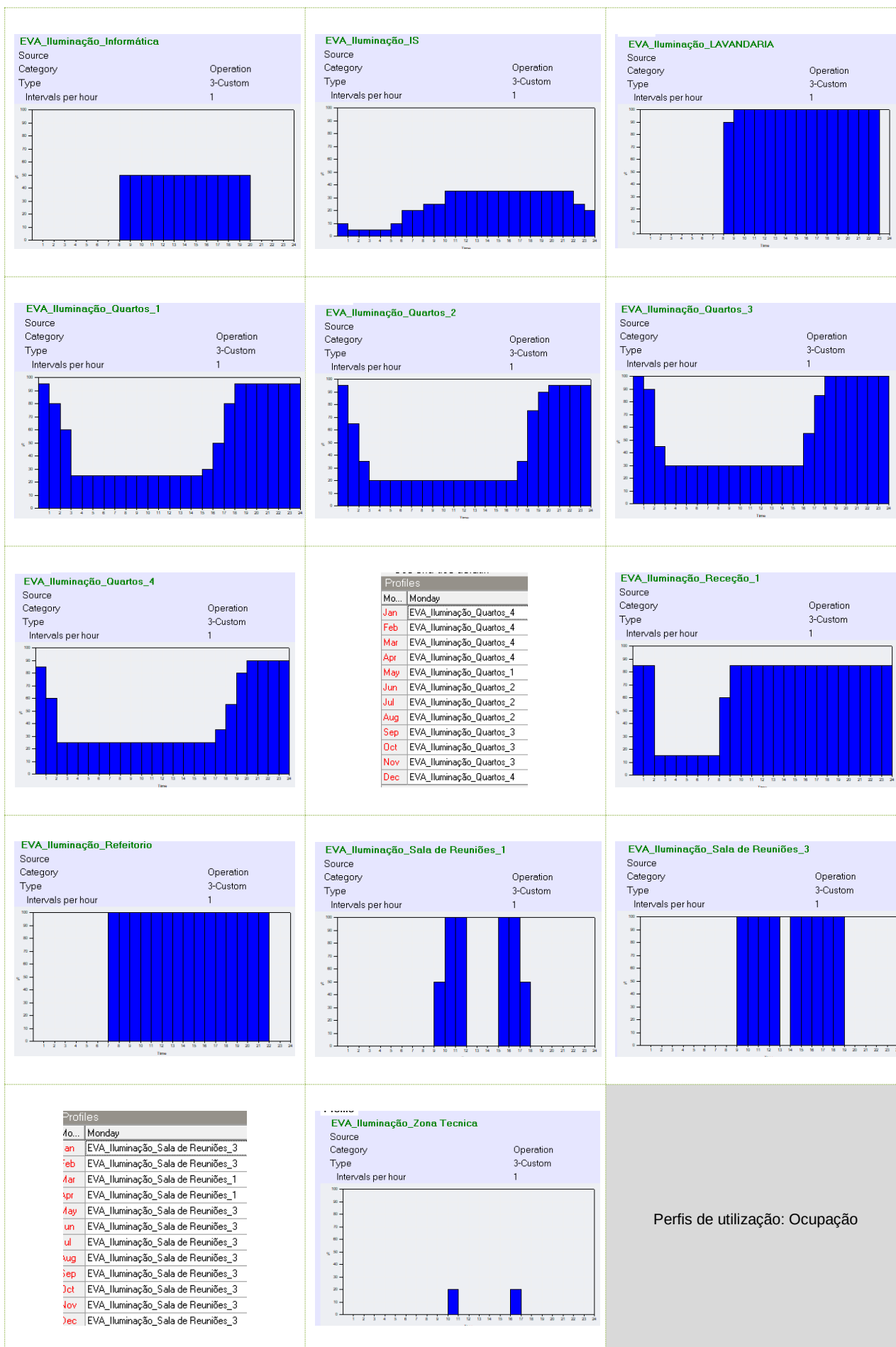
^a As frações Ginásio e Loja não foram consideradas no decurso dos trabalhos da auditoria

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente:
avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

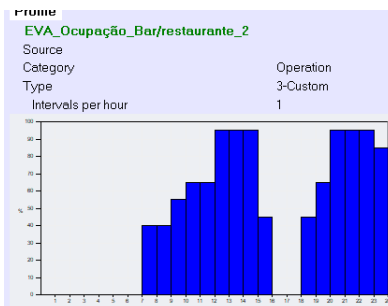
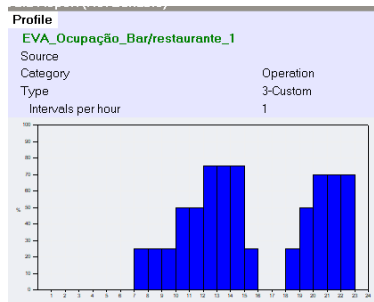
F.4. Perfis de utilização



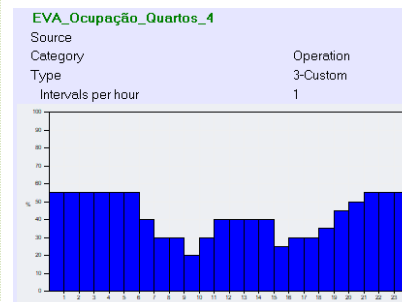
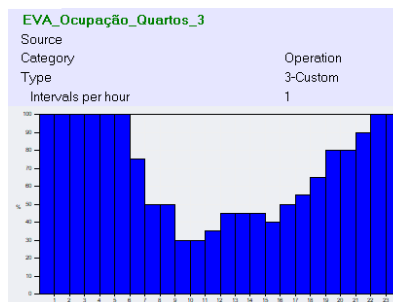
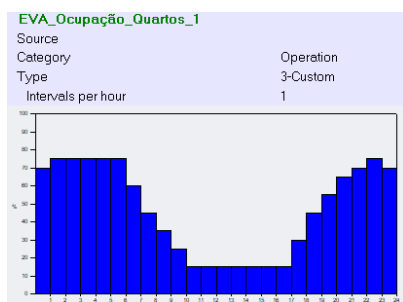
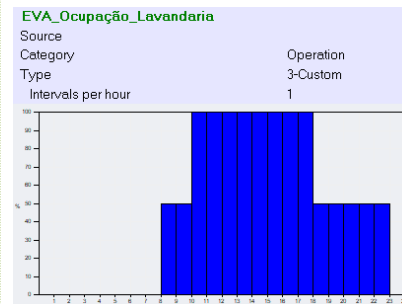
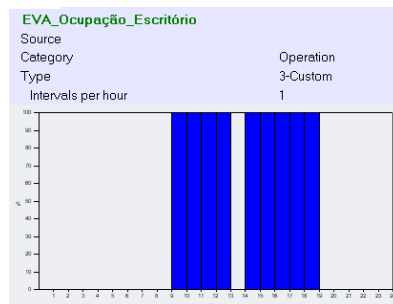
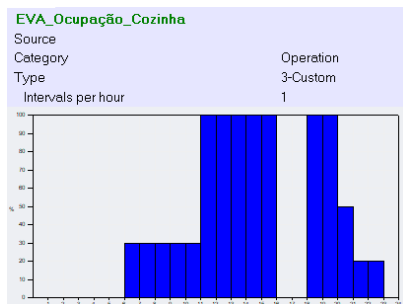
Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente:
avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro



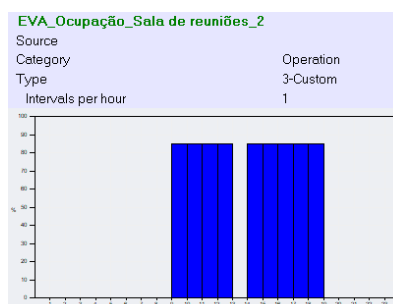
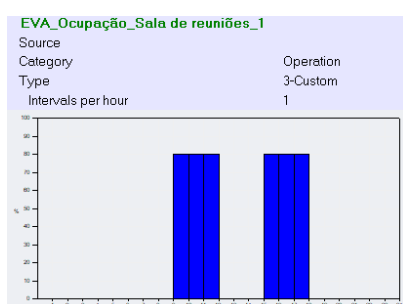
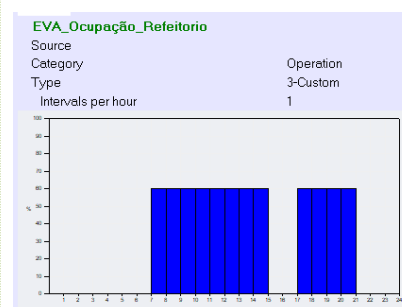
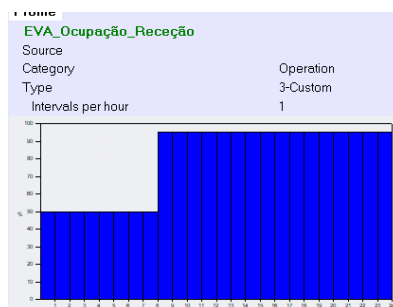
Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente: avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro



Profiles	
Mo...	Monday
Jan	EVA_Ocupação_Bar/restaurante_1
Feb	EVA_Ocupação_Bar/restaurante_1
Mar	EVA_Ocupação_Bar/restaurante_1
4pr	EVA_Ocupação_Bar/restaurante_1
May	EVA_Ocupação_Bar/restaurante_1
Jun	EVA_Ocupação_Bar/restaurante_2
Jul	EVA_Ocupação_Bar/restaurante_2
Aug	EVA_Ocupação_Bar/restaurante_2
Sep	EVA_Ocupação_Bar/restaurante_2
Oct	EVA_Ocupação_Bar/restaurante_1
Nov	EVA_Ocupação_Bar/restaurante_1
Dec	EVA_Ocupação_Bar/restaurante_1



Profiles	
Mo...	Monday
Jan	EVA_Ocupação Quartos_4
Feb	EVA_Ocupação Quartos_4
Mar	EVA_Ocupação Quartos_4
Apr	EVA_Ocupação Quartos_1
May	EVA_Ocupação Quartos_1
Jun	EVA_Ocupação Quartos_3
Jul	EVA_Ocupação Quartos_3
Aug	EVA_Ocupação Quartos_3
Sep	EVA_Ocupação Quartos_3
Oct	EVA_Ocupação Quartos_4
Nov	EVA_Ocupação Quartos_4
Dec	EVA_Ocupação Quartos_4

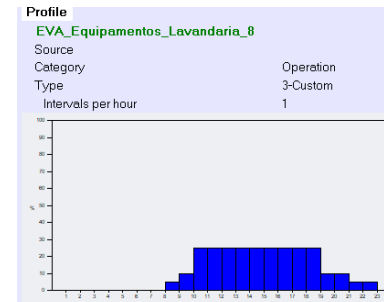
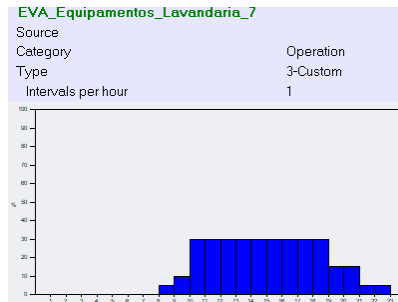
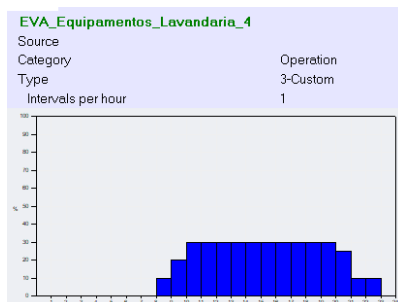
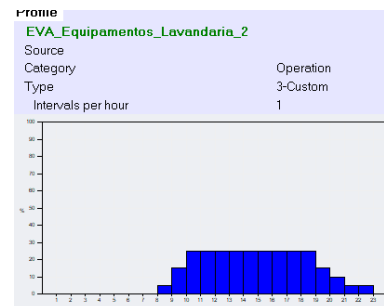
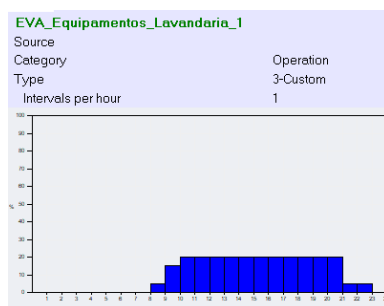
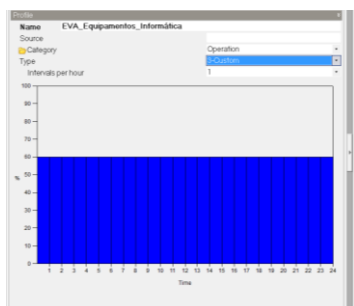


Profiles	
Ac...	Monday
an	EVA_Ocupação_Sala de reuniões_2
eb	EVA_Ocupação_Sala de reuniões_2
lar	EVA_Ocupação_Sala de reuniões_2
lay	EVA_Ocupação_Sala de reuniões_1
lv	EVA_Ocupação_Sala de reuniões_1
un	EVA_Ocupação_Sala de reuniões_2
ul	EVA_Ocupação_Sala de reuniões_2
ug	EVA_Ocupação_Sala de reuniões_2
iep	EVA_Ocupação_Sala de reuniões_2
jct	EVA_Ocupação_Sala de reuniões_2
lov	EVA_Ocupação_Sala de reuniões_2
lec	EVA_Ocupação_Sala de reuniões_2

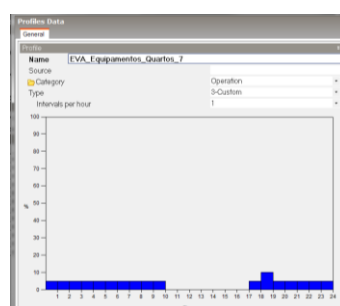
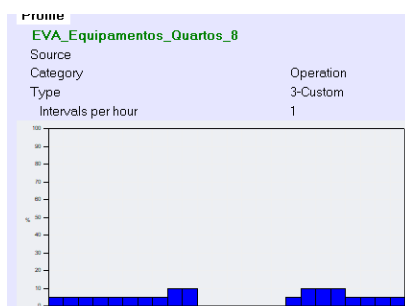
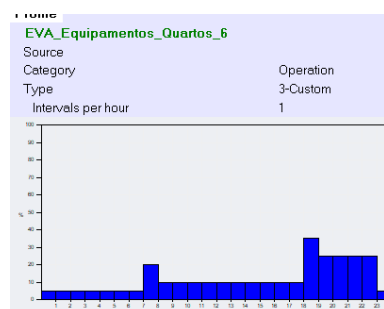
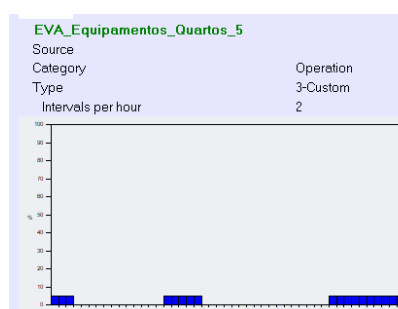
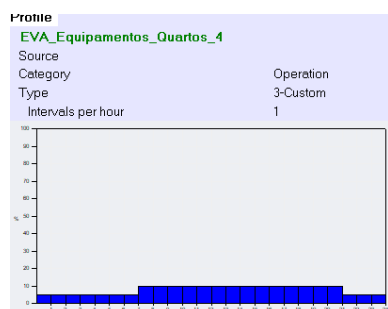
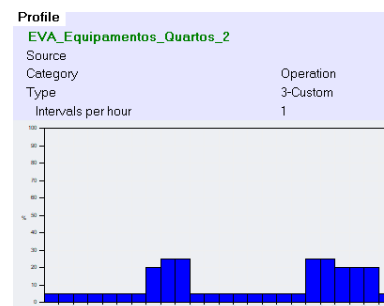
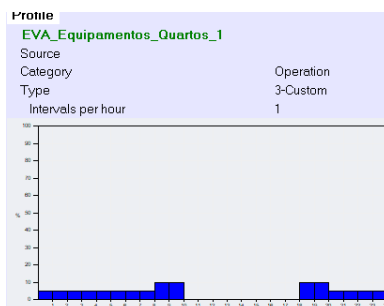
Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente:
avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro



Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente: avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

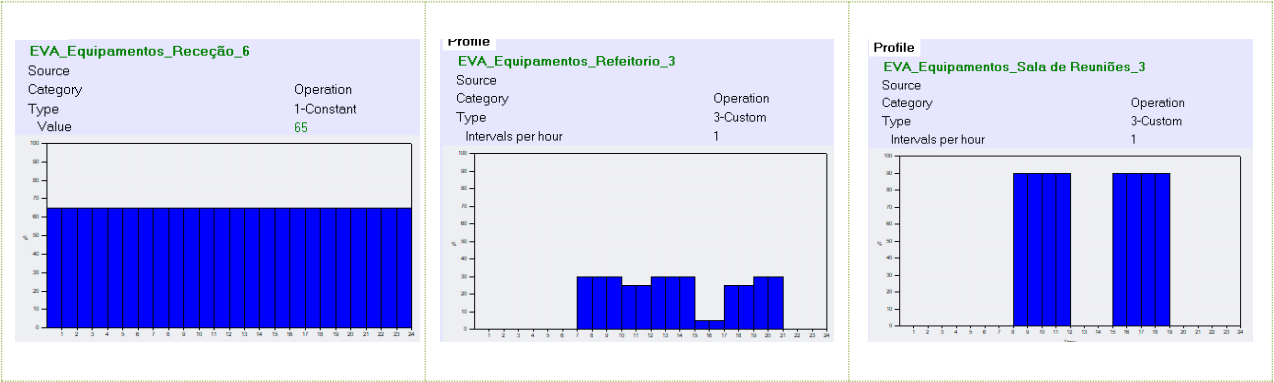


Profiles	
Mo...	Monday
Jan	EVA_Equipamentos_Lavandaria_1
Feb	EVA_Equipamentos_Lavandaria_2
Mar	EVA_Equipamentos_Lavandaria_8
Apr	EVA_Equipamentos_Lavandaria_7
May	EVA_Equipamentos_Lavandaria_7
Jun	EVA_Equipamentos_Lavandaria_7
Jul	EVA_Equipamentos_Lavandaria_4
Aug	EVA_Equipamentos_Lavandaria_4
Sep	EVA_Equipamentos_Lavandaria_4
Oct	EVA_Equipamentos_Lavandaria_4
Nov	EVA_Equipamentos_Lavandaria_2
Dec	EVA_Equipamentos_Lavandaria_2



Profiles	
Mo...	Monday
Jan	EVA_Equipamentos_Quartos_5
Feb	EVA_Equipamentos_Quartos_8
Mar	EVA_Equipamentos_Quartos_8
Apr	EVA_Equipamentos_Quartos_4
May	EVA_Equipamentos_Quartos_4
Jun	EVA_Equipamentos_Quartos_4
Jul	EVA_Equipamentos_Quartos_2
Aug	EVA_Equipamentos_Quartos_6
Sep	EVA_Equipamentos_Quartos_2
Oct	EVA_Equipamentos_Quartos_4
Nov	EVA_Equipamentos_Quartos_1
Dec	EVA_Equipamentos_Quartos_7

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente:
avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro



Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente:
avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

Anexo G: Medidas de reabilitação energética

G.1. Matriz das medidas singulares ou integradas em Faro: EEM1 – PCK41

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente:
avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

Medidas de otimização		Ed. Base	EEM1	EEM2	EEM3	EEM4	EEM5	EEM6	EEM7	EEM8	EEM9	PCK1	PCK2	EEM10
Otimização da envolvente do edifício	Substituição dos vãos envidraçados: Caix. - PVC fator solar - 0,422 Uw - 1,59 (W/m ² .°C)		x											
	Substituição dos vãos envidraçados: Caix. - PVC fator solar - 0,497 Uw - 2,33 (W/m ² .°C)			x										
	Substituição dos vãos envidraçados: Caix. - PVC fator solar - 0,35 Uw - 2,35 (W/m ² .°C)				x									
	Substituição dos vãos envidraçados: Caix. - PVC fator solar - 0,35 Uw - 1,50 (W/m ² .°C)					x							x	
	Isolamento térmico pelo exterior (40 mm) da envolvente opaca vertical						x							
	Isolamento térmico pelo exterior (60 mm) da envolvente opaca vertical							x						
	Dispositivos de admissão de ar autorreguláveis a 20 Pa								x			x	x	
Redução das cargas internas	Instalação de LED's (substituição FT 18W; FT 36W; FT58W)													
	Reajuste do sistema de ventilação c/ garantia dos caudais de ar novo previstos no RECS													
Eficiência dos sistemas de energia	Adequação do set-point de temperatura do sistema de climatização: 21°C - 25°C									x				
	Adequação do set-point de temperatura do sistema de climatização: 20°C - 26°C										x			
	Adequação do set-point de temperatura do sistema de climatização: 20°C - 25°C											x	x	
	Dispositivos eficientes p/a redução do consumo de AQS - Quartos													x
	Ventiladores eficientes c/ variação de velocidade (classe SFP2 ; < 750 W/(m³/s)													
	Sistema de recuperação de calor nas UTAs e UTANs p/a aquecimento ambiente													
	Dispositivos p/a promoção de free-cooling para arrefecimento ambiente													
	Ajuste dos níveis de ventilação à necessidade de utilização dos espaços													
	Ajuste de temperatura de funcionamento do circuito de arrefecimento (Temp. evap. 10 °C)													
	Instalação de chiller mais eficiente p/a arrefecimento ambiente (EER - 3,73 A35°C/W10°C)													
	Instalação de chiller mais eficiente p/a arrefecimento ambiente (EER - 3,62 A35°C/W10°C)													
	Caldeira de condensação (eficiência = 97,6%) p/a aquecimento ambiente e preparação de água quente sanitária (AQS)													
Sistemas locais de produção de energia	Solar Térmico (ST) p/a cobrir as necessidades de energia associada ao consumo de AQS. ST A ref. Esolar = 59 941 kWh													
	Solar Térmico (ST) p/a cobrir as necessidades de energia associada ao consumo de AQS. ST B - Esolar = 63 441 kWh/ano													
	Sistema de energia solar fotovoltaica p/a autoconsumo (60 kW) Eficiência PV A = 15,73% 1690 kWh/kWp/ano													
	Sistema de energia solar fotovoltaica p/a autoconsumo (68 kW) Eficiência PV B = 18,45% 1732 kWh/kWp/ano													

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente:
avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

Medidas de otimização		PCK3	PCK4	PCK5	PCK6	PCK7	PCK8	PCK9	PCK10	PCK11	PCK12	PCK13	PCK14	PCK15
Otimização da envolvente do edifício	Substituição dos vãos envidraçados: Caix. - PVC fator solar - 0,422 Uw - 1,59 (W/m ² .°C)													
	Substituição dos vãos envidraçados: Caix. - PVC fator solar - 0,497 Uw - 2,33 (W/m ² .°C)													
	Substituição dos vãos envidraçados: Caix. - PVC fator solar - 0,35 Uw - 2,35 (W/m ² .°C)													
	Substituição dos vãos envidraçados: Caix. - PVC fator solar - 0,35 Uw - 1,50 (W/m ² .°C)													
	Isolamento térmico pelo exterior (40 mm) da envolvente opaca vertical													
	Isolamento térmico pelo exterior (60 mm) da envolvente opaca vertical													
	Dispositivos de admissão de ar autorreguláveis a 20 Pa	x		x		x		x			x		x	
Redução das cargas internas	Instalação de LED's (substituição FT 18W; FT 36W; FT58W)			x	x	x	x	x	x		x	x	x	x
	Reajuste do sistema de ventilação c/ garantia dos caudais de ar novo previstos no RECS							x	x		x	x	x	x
Eficiência dos sistemas de energia	Adequação do set-point de temperatura do sistema de climatização: 21°C - 25°C													
	Adequação do set-point de temperatura do sistema de climatização: 20°C - 26°C													
	Adequação do set-point de temperatura do sistema de climatização: 20°C - 25°C	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Dispositivos eficientes p/a redução do consumo de AQS - Quartos	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Ventiladores eficientes c/ variação de velocidade (classe SFP2 ; < 750 W/(m ³ /s)					x	x	x	x		x	x	x	x
	Sistema de recuperação de calor nas UTAs e UTANS p/a aquecimento ambiente							x	x		x	x	x	x
	Dispositivos p/a promoção de free-cooling para arrefecimento ambiente							x	x		x	x	x	x
	Ajuste dos níveis de ventilação à necessidade de utilização dos espaços							x	x		x	x	x	x
	Ajuste de temperatura de funcionamento do circuito de arrefecimento (Temp. evap. 10 °C)									x	x	x	x	x
	Instalação de chiller mais eficiente p/a arrefecimento ambiente (EER - 3,73 A35°C/W10°C)												x	x
	Instalação de chiller mais eficiente p/a arrefecimento ambiente (EER - 3,62 A35°C/W10°C)													
	Caldeira de condensação (eficiência = 97,6%) p/a aquecimento ambiente e preparação de água quente sanitária (AQS)													
Sistemas locais de produção de energia	Solar Térmico (ST) p/a cobrir as necessidades de energia associada ao consumo de AQS. ST A ref. Esolar = 59 941 kWh													
	Solar Térmico (ST) p/a cobrir as necessidades de energia associada ao consumo de AQS. ST B - Esolar = 63 441 kWh/ano													
	Sistema de energia solar fotovoltaica p/a autoconsumo (60 kW) Eficiência PV A = 15,73% 1690 kWh/kWp/ano													
	Sistema de energia solar fotovoltaica p/a autoconsumo (68 kW) Eficiência PV B = 18,45% 1732 kWh/kWp/ano													

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente:
avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

Medidas de otimização		PCK16	PCK17	PCK18	PCK19	PCK20	PCK21	PCK22	PCK23	PCK24	PCK25	PCK26	PCK27	PCK28
Otimização da envolvente do edifício	Substituição dos vãos envidraçados: Caix. - PVC fator solar - 0,422 Uw - 1,59 (W/m ² .°C)													
	Substituição dos vãos envidraçados: Caix. - PVC fator solar - 0,497 Uw - 2,33 (W/m ² .°C)													
	Substituição dos vãos envidraçados: Caix. - PVC fator solar - 0,35 Uw - 2,35 (W/m ² .°C)													
	Substituição dos vãos envidraçados: Caix. - PVC fator solar - 0,35 Uw - 1,50 (W/m ² .°C)													
	Isolamento térmico pelo exterior (40 mm) da envolvente opaca vertical													
	Isolamento térmico pelo exterior (60 mm) da envolvente opaca vertical													
	Dispositivos de admissão de ar autorreguláveis a 20 Pa	x		x		x		x				x	x	x
Redução das cargas internas	Instalação de LED's (substituição FT 18W; FT 36W; FT58W)	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x
	Reajuste do sistema de ventilação c/ garantia dos caudais de ar novo previstos no RECS	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x
Eficiência dos sistemas de energia	Adequação do set-point de temperatura do sistema de climatização: 21°C - 25°C													
	Adequação do set-point de temperatura do sistema de climatização: 20°C - 26°C													
	Adequação do set-point de temperatura do sistema de climatização: 20°C - 25°C	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Dispositivos eficientes p/a redução do consumo de AQS - Quartos	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Ventiladores eficientes c/ variação de velocidade (classe SFP2 ; < 750 W/(m³/s)	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x
	Sistema de recuperação de calor nas UTAs e UTANs p/a aquecimento ambiente	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x
	Dispositivos p/a promoção de free-cooling para arrefecimento ambiente	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x
	Ajuste dos níveis de ventilação à necessidade de utilização dos espaços	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x
	Ajuste de temperatura de funcionamento do circuito de arrefecimento (Temp. evap. 10 °C)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Instalação de chiller mais eficiente p/a arrefecimento ambiente (EER - 3,73 A35°C/W10°C)					x	x					x	x	x
	Instalação de chiller mais eficiente p/a arrefecimento ambiente (EER - 3,62 A35°C/W10°C)	x	x					x	x					
	Caldeira de condensação (eficiência = 97,6%) p/a aquecimento ambiente e preparação de água quente sanitária (AQS)			x	x	x	x	x	x			x	x	x
Sistemas locais de produção de energia	Solar Térmico (ST) p/a cobrir as necessidades de energia associada ao consumo de AQS. ST A ref. Esolar = 59 941 kWh									x		x	x	
	Solar Térmico (ST) p/a cobrir as necessidades de energia associada ao consumo de AQS. ST B - Esolar = 63 441 kWh/ano										x			x
	Sistema de energia solar fotovoltaica p/a autoconsumo (60 kW) Eficiência PV A = 15,73% 1690 kWh/kWp/ano											x		x
	Sistema de energia solar fotovoltaica p/a autoconsumo (68 kW) Eficiência PV B = 18,45% 1732 kWh/kWp/ano												x	

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente:
avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

Medidas de otimização		PCK29	PCK30	PCK31	PCK32	PCK33	PCK34	PCK35	PCK36	PCK37	PCK38	PCK39	PCK40	PCK41
Otimização da envolvente do edifício	Substituição dos vãos envidraçados: Caix. - PVC fator solar - 0,422 Uw - 1,59 (W/m².°C)													
	Substituição dos vãos envidraçados: Caix. - PVC fator solar - 0,497 Uw - 2,33 (W/m².°C)													
	Substituição dos vãos envidraçados: Caix. - PVC fator solar - 0,35 Uw - 2,35 (W/m².°C)													
	Substituição dos vãos envidraçados: Caix. - PVC fator solar - 0,35 Uw - 1,50 (W/m².°C)													
	Isolamento térmico pelo exterior (40 mm) da envolvente opaca vertical													
	Isolamento térmico pelo exterior (60 mm) da envolvente opaca vertical													
	Dispositivos de admissão de ar autorreguláveis a 20 Pa	x					x	x	x	x				
Redução das cargas internas	Instalação de LED's (substituição FT 18W; FT 36W; FT58W)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Reajuste do sistema de ventilação c/ garantia dos caudais de ar novo previstos no RECS	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Eficiência dos sistemas de energia	Adequação do set-point de temperatura do sistema de climatização: 21°C - 25°C													
	Adequação do set-point de temperatura do sistema de climatização: 20°C - 26°C													
	Adequação do set-point de temperatura do sistema de climatização: 20°C - 25°C	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Dispositivos eficientes p/a redução do consumo de AQS - Quartos	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Ventiladores eficientes c/ variação de velocidade (classe SFP2 ; < 750 W/(m³/s)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Sistema de recuperação de calor nas UTAs e UTANs p/a aquecimento ambiente	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Dispositivos p/a promoção de free-cooling para arrefecimento ambiente	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Ajuste dos níveis de ventilação à necessidade de utilização dos espaços	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Ajuste de temperatura de funcionamento do circuito de arrefecimento (Temp. evap. 10 °C)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Instalação de chiller mais eficiente p/a arrefecimento ambiente (EER - 3,73 A35°C/W10°C)	x	x	x	x	x								
	Instalação de chiller mais eficiente p/a arrefecimento ambiente (EER - 3,62 A35°C/W10°C)						x	x	x	x	x	x	x	x
	Caldeira de condensação (eficiência = 97,6%) p/a aquecimento ambiente e preparação de água quente sanitária (AQS)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Sistemas locais de produção de energia	Solar Térmico (ST) p/a cobrir as necessidades de energia associada ao consumo de AQS. ST A ref. Esolar = 59 941 kWh		x	x			x	x			x	x		
	Solar Térmico (ST) p/a cobrir as necessidades de energia associada ao consumo de AQS. ST B - Esolar = 63 441 kWh/ano	x			x	x			x	x			x	x
	Sistema de energia solar fotovoltaica p/a autoconsumo (60 kW) Eficiência PV A = 15,73% 1690 kWh/kWp/ano		x		x		x		x		x		x	
	Sistema de energia solar fotovoltaica p/a autoconsumo (68 kW) Eficiência PV B = 18,45% 1732 kWh/kWp/ano	x		x		x		x		x		x		x

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente:
avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

G.2. Matriz das medidas singulares ou integradas em Londres: PCK10 – PCK41

Medidas de otimização		PCK10	PCK11	PCK13	PCK15	PCK17	PCK19	PCK21	PCK23	PCK24	PCK25	PCK30	PCK31	PCK32	PCK33	PCK38	PCK39	PCK40	PCK41
Otimização da envolvente do edifício	Substituição dos vãos envidraçados: Caix. - PVC fator solar - 0,422 Uw - 1,59 (W/m ² .°C)																		
	Substituição dos vãos envidraçados: Caix. - PVC fator solar - 0,497 Uw - 2,33 (W/m ² .°C)																		
	Substituição dos vãos envidraçados: Caix. - PVC fator solar - 0,35 Uw - 2,35 (W/m ² .°C)																		
	Substituição dos vãos envidraçados: Caix. - PVC fator solar - 0,35 Uw - 1,50 (W/m ² .°C)																		
	Isolamento térmico pelo exterior (40 mm) da envolvente opaca vertical																		
	Isolamento térmico pelo exterior (60 mm) da envolvente opaca vertical																		
	Dispositivos de admissão de ar autorreguláveis a 20 Pa																		
Redução das cargas internas	Instalação de LED's (substituição FT 18W; FT 36W; FT58W)	x		x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x
	Reajuste do sistema de ventilação c/ garantia dos caudais de ar novo previstos no RECS	x		x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x
Eficiência dos sistemas de energia	Adequação do set-point de temperatura do sistema de climatização: 21°C - 25°C																		
	Adequação do set-point de temperatura do sistema de climatização: 20°C - 26°C																		
	Adequação do set-point de temperatura do sistema de climatização: 20°C - 25°C	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Dispositivos eficientes p/a redução do consumo de AQS - Quartos	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Ventiladores eficientes c/ variação de velocidade (classe SFP2 ; < 750 W/(m ³ /s)	x		x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x
	Sistema de recuperação de calor nas UTAs e UTANs p/a aquecimento ambiente	x		x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x
	Dispositivos p/a promoção de free-cooling para arrefecimento ambiente	x		x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x
	Ajuste dos níveis de ventilação à necessidade de utilização dos espaços	x		x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x
	Ajuste de temperatura de funcionamento do circuito de arrefecimento (Temp. evap. 10 °C)		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Instalação de chiller mais eficiente p/a arrefecimento ambiente (EER - 3,73 A35°C/W10°C)				x			x				x	x	x	x				
	Instalação de chiller mais eficiente p/a arrefecimento ambiente (EER - 3,62 A35°C/W10°C)					x			x							x	x	x	x
Sistemas locais de produção de energia	Caldeira de condensação (eficiência = 97,6%) p/a aquecimento ambiente e preparação de água quente sanitária (AQS)						x	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x
	Solar Térmico (ST) para cobrir as necessidades de energia associada ao consumo de AQS. ST A ref. Esolar = 33 849 kWh/ano									x		x	x			x	x		
	Solar Térmico para cobrir as necessidades de energia associada ao consumo de AQS. ST B - Esolar = 36 239 kWh/ano										x			x	x			x	x
	Sistema de energia solar fotovoltaica para autoconsumo (60 kW) Eficiência PV A = 15,73% 960 kWh/kWp/ano											x		x		x		x	
	Sistema de energia solar fotovoltaica para autoconsumo (68 kW) Eficiência PV B = 18,45% 950 kWh/kWp/ano												x		x		x		x

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente:
avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

G.3. Matriz das medidas singulares ou integradas em Atenas: PCK10 – PCK41

Medidas de otimização		PCK10	PCK11	PCK13	PCK15	PCK17	PCK19	PCK21	PCK23	PCK24	PCK25	PCK30	PCK31	PCK32	PCK33	PCK38	PCK39	PCK40	PCK41
Otimização da envolvente do edifício	Substituição dos vãos envidraçados: Caix. - PVC fator solar - 0,422 Uw - 1,59 (W/m ² .°C)																		
	Substituição dos vãos envidraçados: Caix. - PVC fator solar - 0,497 Uw - 2,33 (W/m ² .°C)																		
	Substituição dos vãos envidraçados: Caix. - PVC fator solar - 0,35 Uw - 2,35 (W/m ² .°C)																		
	Substituição dos vãos envidraçados: Caix. - PVC fator solar - 0,35 Uw - 1,50 (W/m ² .°C)																		
	Isolamento térmico pelo exterior (40 mm) da envolvente opaca vertical																		
	Isolamento térmico pelo exterior (60 mm) da envolvente opaca vertical																		
	Dispositivos de admissão de ar autorreguláveis a 20 Pa																		
Redução das cargas Internas	Instalação de LED's (substituição FT 18W; FT 36W; FT58W)	x		x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x
	Reajuste do sistema de ventilação c/ garantia dos caudais de ar novo previstos no RECS	x		x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x
Eficiência dos sistemas de energia	Adequação do set-point de temperatura do sistema de climatização: 21°C - 25°C																		
	Adequação do set-point de temperatura do sistema de climatização: 20°C - 26°C																		
	Adequação do set-point de temperatura do sistema de climatização: 20°C - 25°C	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Dispositivos eficientes p/a redução do consumo de AQS - Quartos	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Ventiladores eficientes c/ variação de velocidade (classe SFP2 ; < 750 W/(m³/s)	x		x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x
	Sistema de recuperação de calor nas UTAs e UTANs p/a aquecimento ambiente	x		x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x
	Dispositivos p/a promoção de free-cooling para arrefecimento ambiente	x		x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x
	Ajuste dos níveis de ventilação à necessidade de utilização dos espaços	x		x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x
	Ajuste de temperatura de funcionamento do circuito de arrefecimento (Temp. evap. 10 °C)		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Instalação de chiller mais eficiente p/a arrefecimento ambiente (EER - 3,73 A35°C/W10°C)				x			x				x	x	x	x				
	Instalação de chiller mais eficiente p/a arrefecimento ambiente (EER - 3,62 A35°C/W10°C)					x			x							x	x	x	x
	Caldeira de condensação (eficiência = 97,6%) p/a aquecimento ambiente e preparação de água quente sanitária (AQS)						x	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x
Sistemas locais de produção de energia	Solar Térmico (ST) para cobrir as necessidades de energia associada ao consumo de AQS. ST A ref. Esolar = 52 069 kWh									x		x	x			x	x		
	Solar Térmico para cobrir as necessidades de energia associada ao consumo de AQS. ST B - Esolar = 54 922 kWh										x			x	x			x	x
	Sistema de energia solar fotovoltaica para autoconsumo (60 kW) Eficiência PV A = 15,73% 1583 kWh/kWp/ano											x		x		x		x	
	Sistema de energia solar fotovoltaica para autoconsumo (68 kW) Eficiência PV B = 18,45% 1621 kWh/kWp/ano												x		x		x		x

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente:
avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

G.4. Principais indicadores de desempenho: Faro

Indicadores de Desempenho	Ed. Base	EEM1	EEM2	EEM3	EEM4	EEM5	EEM6	EEM7	EEM8	EEM9	PCK1
Aquecimento [kWh/m ² .ano]	18,65	17,83	18,14	18,95	17,99	17,85	17,55	11,96	15,95	13,79	10,13
Arrefecimento [kWh/m ² .ano]	17,93	17,79	18,09	17,27	17,61	17,95	17,93	18,21	16,21	14,52	16,90
Águas Q. Sanitárias [kWh/m ² .ano]	33,23	33,23	33,23	33,22	33,24	33,68	33,54	33,30	33,27	33,29	33,31
Iluminação [kWh/m ² .ano]	19,26	19,26	19,26	19,26	19,26	19,40	19,35	19,26	19,26	19,26	19,26
Bombagem e Ventilação [kWh/m ² .ano]	27,11	27,04	27,09	26,99	27,02	27,10	27,08	25,61	26,81	26,55	25,25
Outros Consumos [kWh/m ² .ano]	90,60	90,60	90,60	90,60	90,60	90,84	90,74	90,60	90,60	90,60	90,60
Aquecimento [kWh _{EP} /m ² .ano]	18,79	17,95	18,26	19,09	18,11	17,98	17,68	12,10	16,04	13,84	10,18
Arrefecimento [kWh _{EP} /m ² .ano]	44,82	44,48	45,22	43,18	44,02	44,87	44,83	45,53	40,52	36,29	42,24
Águas Quentes Sanitárias [kWh _{EP} /m ² .ano]	33,23	33,23	33,23	33,22	33,24	33,68	33,54	33,30	33,27	33,29	33,31
Iluminação [kWh _{EP} /m ² .ano]	48,14	48,14	48,14	48,14	48,14	48,50	48,36	48,14	48,14	48,14	48,14
Bombagem e Ventilação [kWh _{EP} /m ² .ano]	67,77	67,59	67,72	67,47	67,56	67,75	67,70	64,02	67,02	66,39	63,13
Outros Consumos [kWh _{EP} /m ² .ano]	186,76	186,76	186,76	186,76	186,76	187,37	187,11	186,76	186,76	186,76	186,76
Renovável Térmica [kWh _{EP} /m ² .ano]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Renovável elétrica [kWh _{EP} /m ² .ano]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Renovável p/la autoconsumo [kWh _{EP} /m ² .ano]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
[%]	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Outros _R [kWh _{EP} /m ² .ano]	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16
IEE _R [kWh _{EP} /m ² .ano]	218,92	217,56	218,74	217,26	217,24	218,95	218,28	209,25	211,14	204,12	203,16
IEE _R - IEE _{REN} [kWh _{EP} /m ² .ano]	218,92	217,56	218,74	217,26	217,24	218,95	218,28	209,25	211,14	204,12	203,16
Emissões _{NZEB} de CO ₂ [ton/ano]	309,16	307,00	308,67	307,19	306,66	309,03	307,94	293,27	297,77	287,63	284,49
IEE _{Total} [kWh _{EP} /m ² .ano]	399,51	398,16	399,33	397,86	397,83	400,16	399,24	389,85	391,74	384,72	383,76
Emissões de CO ₂ [ton/ano]	555,78	553,61	555,29	553,80	553,28	556,43	555,02	539,88	544,39	534,24	531,11

Indicadores de Desempenho	PCK2	EEM10	PCK3	PCK4	PCK5	PCK6	PCK7	PCK8	PCK9	PCK10	PCK11
Aquecimento [kWh/m ² .ano]	9,91	18,91	10,27	13,97	10,41	14,07	10,32	14,41	3,72	7,61	13,97
Arrefecimento [kWh/m ² .ano]	16,38	17,92	16,90	16,08	16,60	15,82	16,32	15,50	14,64	13,89	15,24
Águas Q. Sanitárias [kWh/m ² .ano]	33,28	12,54	12,54	12,54	12,54	12,54	12,54	12,54	12,54	12,54	12,54
Iluminação [kWh/m ² .ano]	19,26	19,26	19,26	19,26	14,53	14,56	14,53	14,56	14,53	14,56	19,26
Bombagem e Ventilação [kWh/m ² .ano]	25,16	27,11	25,25	26,79	25,21	26,75	22,96	24,10	20,32	21,38	26,79
Outros Consumos [kWh/m ² .ano]	90,60	90,60	90,60	90,60	90,60	90,60	90,60	90,60	90,60	90,60	90,60
Aquecimento [kWh _{EP} /m ² .ano]	10,18	19,05	10,32	14,02	10,46	14,12	10,37	14,46	3,76	7,66	14,02
Arrefecimento [kWh _{EP} /m ² .ano]	40,95	44,81	42,24	40,19	41,51	39,55	40,80	38,74	36,60	34,73	38,09
Águas Quentes Sanitárias [kWh _{EP} /m ² .ano]	33,28	12,54	12,54	12,54	12,54	12,54	12,54	12,54	12,54	12,54	12,54
Iluminação [kWh _{EP} /m ² .ano]	48,14	48,14	48,14	48,14	36,32	36,40	36,32	36,40	36,32	36,40	48,14
Bombagem e Ventilação [kWh _{EP} /m ² .ano]	62,91	67,76	63,13	66,97	63,02	66,87	57,39	60,25	50,79	53,46	66,97
Outros Consumos [kWh _{EP} /m ² .ano]	186,76	186,76	186,76	186,76	186,76	186,76	186,76	186,76	186,76	186,76	186,76
Renovável Térmica [kWh _{EP} /m ² .ano]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Renovável elétrica [kWh _{EP} /m ² .ano]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Renovável p/la autoconsumo [kWh _{EP} /m ² .ano]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
[%]	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Outros _R [kWh _{EP} /m ² .ano]	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16
IEE _R [kWh _{EP} /m ² .ano]	201,61	198,47	182,54	188,02	170,02	175,65	163,58	168,56	146,18	150,94	185,92
IEE _R - IEE _{REN} [kWh _{EP} /m ² .ano]	201,61	198,47	182,54	188,02	170,02	175,65	163,58	168,56	146,18	150,94	185,92
Emissões _{NZEB} de CO ₂ [ton/ano]	282,08	272,19	247,19	256,18	231,12	240,28	222,78	231,31	196,91	205,07	253,47
IEE _{Total} [kWh _{EP} /m ² .ano]	382,21	379,07	363,14	368,62	350,61	356,24	344,18	349,15	326,78	331,54	366,52
Emissões de CO ₂ [ton/ano]	528,70	518,80	493,81	502,79	477,73	486,89	469,39	477,92	443,53	451,69	500,09

Indicadores de Desempenho	PCK12	PCK13	PCK14	PCK15	PCK16	PCK17	PCK18	PCK19	PCK20	PCK21	PCK22
Aquecimento [kWh/m ² .ano]	3,72	7,61	3,72	7,61	3,72	7,61	2,78	5,69	2,78	5,69	2,78
Arrefecimento [kWh/m ² .ano]	14,04	13,30	9,71	9,23	10,00	9,50	14,04	13,30	9,71	9,23	10,00
Águas Q. Sanitárias [kWh/m ² .ano]	12,54	12,54	12,54	12,54	12,54	12,54	10,11	10,01	10,11	10,01	10,11
Iluminação [kWh/m ² .ano]	14,53	14,56	14,53	14,56	14,53	14,56	14,53	14,56	14,53	14,56	14,53
Bombagem e Ventilação [kWh/m ² .ano]	20,32	21,38	20,32	21,38	20,32	21,38	20,32	21,38	20,32	21,38	20,32
Outros Consumos [kWh/m ² .ano]	90,60	90,60	90,60	90,60	90,60	90,60	90,60	90,60	90,60	90,60	90,60
Aquecimento [kWh _{EP} /m ² .ano]	3,76	7,66	3,76	7,66	3,76	7,66	2,83	5,74	2,83	5,74	2,83
Arrefecimento [kWh _{EP} /m ² .ano]	35,11	33,26	24,27	23,07	25,00	23,74	35,11	33,26	24,27	23,07	25,00
Águas Quentes Sanitárias [kWh _{EP} /m ² .ano]	12,54	12,54	12,54	12,54	12,54	12,54	10,11	10,01	10,11	10,01	10,11
Iluminação [kWh _{EP} /m ² .ano]	36,32	36,40	36,32	36,40	36,32	36,40	36,32	36,40	36,32	36,40	36,32
Bombagem e Ventilação [kWh _{EP} /m ² .ano]	50,79	53,46	50,79	53,46	50,79	53,46	50,79	53,46	50,79	53,46	50,79
Outros Consumos [kWh _{EP} /m ² .ano]	186,76	186,76	186,76	186,76	186,76	186,76	186,76	186,76	186,76	186,76	186,76
Renovável Térmica [kWh _{EP} /m ² .ano]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Renovável elétrica [kWh _{EP} /m ² .ano]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Renovável p/la autoconsumo [kWh _{EP} /m ² .ano]	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
[%]	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Outros _R [kWh _{EP} /m ² .ano]	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16
IEE _R [kWh _{EP} /m ² .ano]	144,69	149,48	133,85	139,28	134,58	139,96	141,32	145,03	130,48	134,83	131,21
IEE _R - IEE _{REN} [kWh _{EP} /m ² .ano]	144,69	149,48	133,85	139,28	134,58	139,96	141,32	145,03	130,48	134,83	131,21
Emissões _{NZEB} de CO ₂ [ton/ano]	194,98	203,18	181,01	190,04	181,95	190,91	188,89	195,13	174,92	181,99	175,85
IEE _{Total} [kWh _{EP} /m ² .ano]	325,28	330,07	314,45	319,88	315,17	320,56	321,91	325,62	311,08	315,43	311,80
Emissões de CO ₂ [ton/ano]	441,60	449,80	427,63	436,65	428,56	437,52	435,50	441,75	421,53	428,60	422,47

Figura G 1 – Indicadores de desempenho em Faro: EEM1 – PCK22

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente:
avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

Indicadores de Desempenho		PCK23	PCK24	PCK25	PCK26	PCK27	PCK28	PCK29	PCK30	PCK31	PCK32	PCK33
Aquecimento [kWh/m².ano]		5,69	13,97	13,97	2,78	2,78	2,78	2,78	5,69	5,69	5,69	5,69
Arrefecimento [kWh/m².ano]		9,50	15,47	15,47	9,71	9,71	9,71	9,71	9,23	9,23	9,23	9,23
Águas Q. Sanitárias [kWh/m².ano]		10,01	10,54	10,49	9,99	9,99	9,98	9,98	9,99	9,99	9,98	9,98
Iluminação [kWh/m².ano]		14,56	19,26	19,26	14,53	14,53	14,53	14,53	14,56	14,56	14,56	14,56
Bombagem e Ventilação [kWh/m².ano]		21,38	26,79	26,79	20,32	20,32	20,32	20,32	21,38	21,38	21,38	21,38
Outros Consumos [kWh/m².ano]		90,60	90,60	90,60	90,60	90,60	90,60	90,60	90,60	90,60	90,60	90,60
Aquecimento [kWh _{EP} /m².ano]		5,74	14,02	14,02	2,83	2,83	2,83	2,83	5,74	5,74	5,74	5,74
Arrefecimento [kWh _{EP} /m².ano]		23,74	38,66	38,66	24,27	24,27	24,27	24,27	23,07	23,07	23,07	23,07
Águas Quentes Sanitárias [kWh _{EP} /m².ano]		10,01	10,54	10,49	9,99	9,99	9,98	9,98	9,99	9,99	9,98	9,98
Iluminação [kWh _{EP} /m².ano]		36,40	48,14	48,14	36,32	36,32	36,32	36,32	36,40	36,40	36,40	36,40
Bombagem e Ventilação [kWh _{EP} /m².ano]		53,46	66,97	66,97	50,79	50,79	50,79	50,79	53,46	53,46	53,46	53,46
Outros Consumos [kWh _{EP} /m².ano]		186,76	186,76	186,76	186,76	186,76	186,76	186,76	186,76	186,76	186,76	186,76
Renovável Térmica [kWh _{EP} /m².ano]		0	6,69	7,09	6,69	6,69	7,09	7,09	6,69	6,69	7,09	7,09
Renovável elétrica [kWh _{EP} /m².ano]		0	0	0	22,8	26,5	22,8	26,5	22,8	26,5	22,8	26,5
Renovável p/a autoconsumo [kWh _{EP} /m².ano]		0,0	6,7	7,1	29,5	33,2	29,9	33,5	29,5	33,2	29,9	33,5
	[%]	0%	4%	4%	23%	25%	23%	26%	22%	25%	22%	25%
Outros _R [kWh _{EP} /m².ano]		6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16
IEE _R [kWh _{EP} /m².ano]		135,51	184,50	184,44	130,37	130,37	130,36	130,36	134,81	134,81	134,80	134,80
IEE _R -IEE _{REN} [kWh _{EP} /m².ano]		135,51	177,80	177,35	100,87	97,21	100,47	96,81	105,31	101,65	104,91	101,25
Emissões _{nZEB} de CO ₂ [ton/ano]		182,86	238,49	237,68	133,21	128,49	132,48	127,76	140,43	135,72	139,71	134,99
IEE _{Total} [kWh _{EP} /m².ano]		316,10	358,40	357,95	281,47	277,81	281,07	277,41	285,91	282,25	285,51	281,85
Emissões de CO ₂ [ton/ano]		429,47	485,11	484,29	379,82	375,10	379,10	374,38	387,05	382,33	386,32	381,61
Indicadores de Desempenho		PCK34	PCK35	PCK36	PCK37	PCK38	PCK39	PCK40	PCK41			
Aquecimento [kWh/m².ano]		2,78	2,78	2,78	2,78	5,69	5,69	5,69	5,69			
Arrefecimento [kWh/m².ano]		10,00	10,00	10,00	10,00	9,50	9,50	9,50	9,50			
Águas Q. Sanitárias [kWh/m².ano]		9,99	9,99	9,98	9,98	9,99	9,99	9,99	9,98			
Iluminação [kWh/m².ano]		14,53	14,53	14,53	14,53	14,56	14,56	14,56	14,56			
Bombagem e Ventilação [kWh/m².ano]		20,32	20,32	20,32	20,32	21,38	21,38	21,38	21,38			
Outros Consumos [kWh/m².ano]		90,60	90,60	90,60	90,60	90,60	90,60	90,60	90,60			
Aquecimento [kWh _{EP} /m².ano]		2,83	2,83	2,83	2,83	5,74	5,74	5,74	5,74			
Arrefecimento [kWh _{EP} /m².ano]		25,00	25,00	25,00	25,00	23,74	23,74	23,74	23,74			
Águas Quentes Sanitárias [kWh _{EP} /m².ano]		9,99	9,99	9,98	9,98	9,99	9,99	9,98	9,98			
Iluminação [kWh _{EP} /m².ano]		36,32	36,32	36,32	36,32	36,40	36,40	36,40	36,40			
Bombagem e Ventilação [kWh _{EP} /m².ano]		50,79	50,79	50,79	50,79	53,46	53,46	53,46	53,46			
Outros Consumos [kWh _{EP} /m².ano]		186,76	186,76	186,76	186,76	186,76	186,76	186,76	186,76			
Renovável Térmica [kWh _{EP} /m².ano]		6,69	6,69	7,09	7,09	6,69	6,69	7,09	7,09			
Renovável elétrica [kWh _{EP} /m².ano]		22,8	26,5	22,8	26,5	22,8	26,5	22,8	26,5			
Renovável p/a autoconsumo [kWh _{EP} /m².ano]		29,5	33,2	29,9	33,5	29,5	33,2	29,9	33,5			
	[%]	22%	25%	23%	26%	22%	24%	22%	25%			
Outros _R [kWh _{EP} /m².ano]		6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16			
IEE _R [kWh _{EP} /m².ano]		131,09	131,09	131,08	131,08	135,48	135,48	135,47	135,47			
IEE _R -IEE _{REN} [kWh _{EP} /m².ano]		101,60	97,94	101,20	97,54	105,99	102,33	105,59	101,93			
Emissões _{nZEB} de CO ₂ [ton/ano]		134,14	129,42	133,42	128,70	141,31	136,59	140,58	135,87			
IEE _{Total} [kWh _{EP} /m².ano]		282,19	278,53	281,79	278,13	286,58	282,93	286,18	282,53			
Emissões de CO ₂ [ton/ano]		380,75	376,04	380,03	375,31	387,92	383,20	387,20	382,48			

Figura G 2 – Indicadores de desempenho em Faro: PCK23 – PCK41

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente:
avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

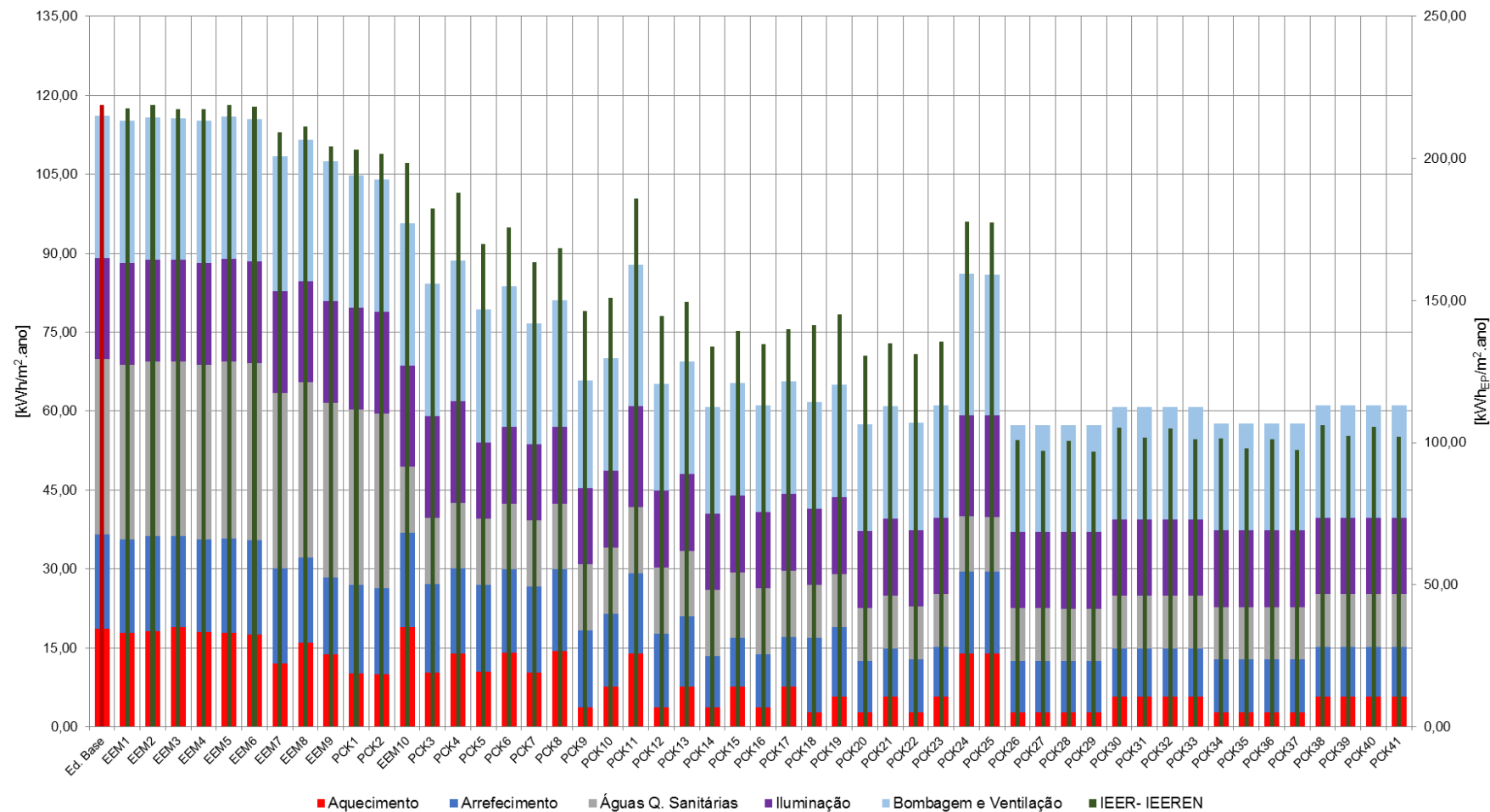


Figura G 3 – Indicadores de desempenho de energia final e primária em Faro: EEM1 – PCK41

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente:
avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

G.5. Principais indicadores de desempenho: Londres

Indicadores de Desempenho		Ed. Base	PCK10	PCK11	PCK13	PCK15	PCK17	PCK19	PCK21	PCK23	PCK24	PCK25
Aquecimento	[kWh/m ² .ano]	110,23	58,89	96,50	58,89	58,89	58,89	46,82	46,82	46,82	96,50	96,50
Arrefecimento	[kWh/m ² .ano]	4,72	4,72	4,03	4,64	3,15	3,27	4,64	3,15	3,27	4,03	4,03
Águas Q. Sanitárias	[kWh/m ² .ano]	36,34	12,54	12,54	12,54	12,54	12,54	10,23	10,23	10,23	10,57	10,53
Iluminação	[kWh/m ² .ano]	19,26	14,56	19,26	14,56	14,56	14,56	14,56	14,56	14,56	19,26	19,26
Bombagem e Ventilação	[kWh/m ² .ano]	26,83	21,06	26,53	21,06	21,06	21,06	21,06	21,06	21,06	26,53	26,53
Outros Consumos	[kWh/m ² .ano]	90,60	90,60	90,60	90,60	90,60	90,60	90,60	90,60	90,60	90,60	90,60
Aquecimento	[kWh _{EP} /m ² .ano]	110,95	59,29	96,98	59,29	59,29	59,29	47,22	47,22	47,22	96,98	96,98
Arrefecimento	[kWh _{EP} /m ² .ano]	11,79	11,80	10,08	11,59	7,87	8,19	11,59	7,87	8,19	10,08	10,08
Águas Quentes Sanitárias	[kWh _{EP} /m ² .ano]	36,34	12,54	12,54	12,54	12,54	12,54	10,23	10,23	10,23	10,57	10,53
Iluminação	[kWh _{EP} /m ² .ano]	48,14	36,40	48,14	36,40	36,40	36,40	36,40	36,40	36,40	48,14	48,14
Bombagem e Ventilação	[kWh _{EP} /m ² .ano]	67,08	52,64	66,34	52,64	52,64	52,64	52,64	52,64	52,64	66,34	66,34
Outros Consumos	[kWh _{EP} /m ² .ano]	186,76	186,76	186,76	186,76	186,76	186,76	186,76	186,76	186,76	186,76	186,76
Renovável Térmica	[kWh _{EP} /m ² .ano]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,78	4,05
Renovável elétrica	[kWh _{EP} /m ² .ano]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Renovável p/a autoconsumo	[kWh _{EP} /m ² .ano]	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,8	4,0
	[%]	0%	-	-	-	-	-	-	-	-	2%	2%
Outros _R	[kWh _{EP} /m ² .ano]	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16
IEE _R	[kWh _{EP} /m ² .ano]	280,47	178,83	240,23	178,63	174,91	175,22	164,25	160,53	160,85	238,27	238,23
IEE _R - IEE _{REN}	[kWh _{EP} /m ² .ano]	280,47	178,83	240,23	178,63	174,91	175,22	164,25	160,53	160,85	234,49	234,18
Emissões _{nZEB} de CO ₂	[ton/ano]	437,50	267,54	366,21	267,28	262,48	262,89	241,28	236,48	236,89	355,81	355,26
IEE _{Total}	[kWh _{EP} /m ² .ano]	461,06	359,43	420,83	359,22	355,51	355,82	344,85	341,13	341,44	415,08	414,78
Emissões de CO ₂	[ton/ano]	684,11	514,16	612,82	513,89	509,10	509,50	487,89	483,10	483,50	602,43	601,87
Indicadores de Desempenho		PCK30	PCK31	PCK32	PCK33	PCK38	PCK39	PCK40	PCK41			
Aquecimento	[kWh/m ² .ano]	46,82	46,82	46,82	46,82	46,82	46,82	46,82	46,82			
Arrefecimento	[kWh/m ² .ano]	3,15	3,15	3,15	3,15	3,27	3,27	3,27	3,27			
Águas Q. Sanitárias	[kWh/m ² .ano]	10,12	10,12	10,11	10,11	10,12	10,12	10,12	10,11			
Iluminação	[kWh/m ² .ano]	14,56	14,56	14,56	14,56	14,56	14,56	14,56	14,56			
Bombagem e Ventilação	[kWh/m ² .ano]	21,06	21,06	21,06	21,06	21,06	21,06	21,06	21,06			
Outros Consumos	[kWh/m ² .ano]	90,60	90,60	90,60	90,60	90,60	90,60	90,60	90,60			
Aquecimento	[kWh _{EP} /m ² .ano]	47,22	47,22	47,22	47,22	47,22	47,22	47,22	47,22			
Arrefecimento	[kWh _{EP} /m ² .ano]	7,87	7,87	7,87	7,87	8,19	8,19	8,19	8,19			
Águas Quentes Sanitárias	[kWh _{EP} /m ² .ano]	10,12	10,12	10,11	10,11	10,12	10,12	10,12	10,11			
Iluminação	[kWh _{EP} /m ² .ano]	36,40	36,40	36,40	36,40	36,40	36,40	36,40	36,40			
Bombagem e Ventilação	[kWh _{EP} /m ² .ano]	52,64	52,64	52,64	52,64	52,64	52,64	52,64	52,64			
Outros Consumos	[kWh _{EP} /m ² .ano]	186,76	186,76	186,76	186,76	186,76	186,76	186,76	186,76			
Renovável Térmica	[kWh _{EP} /m ² .ano]	3,78	3,78	4,05	4,05	3,78	3,78	4,05	4,05			
Renovável elétrica	[kWh _{EP} /m ² .ano]	12,9	14,5	12,9	14,5	12,9	14,5	12,9	14,5			
Renovável p/a autoconsumo	[kWh _{EP} /m ² .ano]	16,7	18,3	17,0	18,6	16,7	18,3	17,0	18,6			
	[%]	10%	11%	11%	12%	10%	11%	11%	12%			
Outros _R	[kWh _{EP} /m ² .ano]	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16			
IEE _R	[kWh _{EP} /m ² .ano]	160,42	160,42	160,41	160,41	160,73	160,73	160,72	160,72			
IEE _R - IEE _{REN}	[kWh _{EP} /m ² .ano]	143,69	142,13	143,42	141,85	144,00	142,44	143,73	142,16			
Emissões _{nZEB} de CO ₂	[ton/ano]	212,74	210,72	212,25	210,23	213,15	211,13	212,65	210,63			
IEE _{Total}	[kWh _{EP} /m ² .ano]	324,29	322,72	324,01	322,45	324,60	323,03	324,33	322,76			
Emissões de CO ₂	[ton/ano]	459,36	457,34	458,86	456,84	459,76	457,74	459,26	457,24			

Figura G 4 – Indicadores de desempenho em Londres: PCK10 – PCK41

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente:
avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

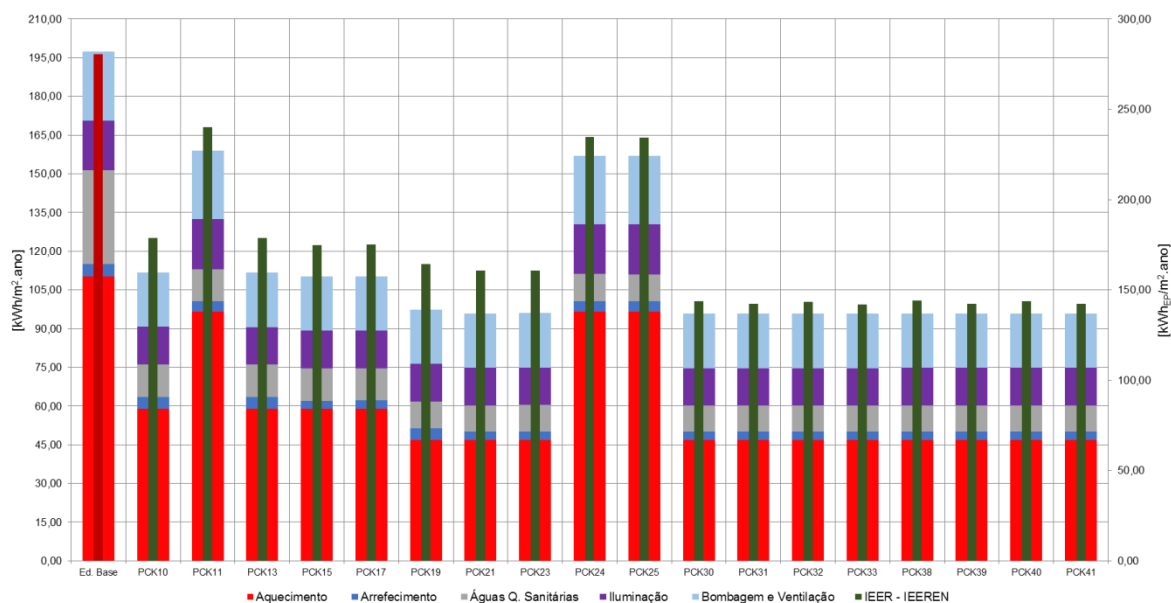


Figura G 5 – Indicadores de desempenho de energia final e primária em Londres: PCK10 – PCK41

G.6. Principais indicadores de desempenho: Atenas

Indicadores de Desempenho	Ed. Base	PCK10	PCK11	PCK13	PCK15	PCK17	PCK19	PCK21	PCK23	PCK24	PCK25
Aquecimento [kWh/m².ano]	42,66	19,38	34,24	19,38	19,38	19,38	14,45	14,45	14,45	34,24	34,24
Arrefecimento [kWh/m².ano]	21,53	17,03	19,18	16,20	11,40	11,71	16,20	11,40	11,71	19,18	19,18
Águas Q. Sanitárias [kWh/m².ano]	36,34	12,54	12,54	12,54	12,54	12,54	10,23	10,23	10,23	10,26	10,22
Iluminação [kWh/m².ano]	19,26	14,56	19,26	14,56	14,56	14,56	14,56	14,56	14,56	19,26	19,26
Bombagem e Ventilação [kWh/m².ano]	27,44	21,80	27,10	21,80	21,80	21,80	21,80	21,80	21,80	27,10	27,10
Outros Consumos [kWh/m².ano]	90,60	90,60	90,60	90,60	90,60	90,60	90,60	90,60	90,60	90,60	90,60
Aquecimento [kWhEP/m².ano]	42,94	19,52	34,38	19,52	19,52	19,52	14,59	14,59	14,59	34,38	34,38
Arrefecimento [kWhEP/m².ano]	53,84	42,57	47,95	40,50	28,51	29,28	40,50	28,51	29,28	47,95	47,95
Águas Quentes Sanitárias [kWhEP/m².ano]	36,34	12,54	12,54	12,54	12,54	12,54	10,23	10,23	10,23	10,26	10,22
Iluminação [kWhEP/m².ano]	48,14	36,40	48,14	36,40	36,40	36,40	36,40	36,40	36,40	48,14	48,14
Bombagem e Ventilação [kWhEP/m².ano]	68,61	54,49	67,76	54,49	54,49	54,49	54,49	54,49	54,49	67,76	67,76
Outros Consumos [kWhEP/m².ano]	186,76	186,76	186,76	186,76	186,76	186,76	186,76	186,76	186,76	186,76	186,76
Renovável Térmica [kWhEP/m².ano]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,82	6,13
Renovável elétrica [kWhEP/m².ano]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Renovável p/ autoconsumo [kWhEP/m².ano]	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,8	6,1
[%]	0%	-	-	-	-	-	-	-	-	3%	3%
Outros _R [kWhEP/m².ano]	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16
IEE _R [kWhEP/m².ano]	256,03	171,68	216,93	169,61	157,62	158,39	162,38	150,38	151,16	214,66	214,61
IEE _R - IEE _{REN} [kWhEP/m².ano]	256,03	171,68	216,93	169,61	157,62	158,39	162,38	150,38	151,16	208,84	208,48
Emissões _{NZEB} de CO ₂ [ton/ano]	371,05	237,89	303,95	235,23	219,76	220,76	222,14	206,67	207,67	289,32	288,66
IEE _{Total} [kWhEP/m².ano]	436,63	352,28	397,53	350,21	338,22	338,99	342,97	330,98	331,75	389,44	389,07
Emissões de CO ₂ [ton/ano]	617,67	484,51	550,56	481,84	466,38	467,38	468,75	453,29	454,29	535,93	535,27

Figura G 6 – Indicadores de desempenho em Atenas: PCK10 – PCK25

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente:
avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

Indicadores de Desempenho	PCK30	PCK31	PCK32	PCK33	PCK38	PCK39	PCK40	PCK41
Aquecimento [kWh/m ² .ano]	14,45	14,45	14,45	14,45	14,45	14,45	14,45	14,45
Arrefecimento [kWh/m ² .ano]	11,40	11,40	11,40	11,40	11,71	11,71	11,71	11,71
Águas Q. Sanitárias [kWh/m ² .ano]	10,06	10,06	10,05	10,05	10,06	10,06	10,05	10,05
Iluminação [kWh/m ² .ano]	14,56	14,56	14,56	14,56	14,56	14,56	14,56	14,56
Bombagem e Ventilação [kWh/m ² .ano]	21,80	21,80	21,80	21,80	21,80	21,80	21,80	21,80
Outros Consumos [kWh/m ² .ano]	90,60	90,60	90,60	90,60	90,60	90,60	90,60	90,60
Aquecimento [kWh _{EP} /m ² .ano]	14,59	14,59	14,59	14,59	14,59	14,59	14,59	14,59
Arrefecimento [kWh _{EP} /m ² .ano]	28,51	28,51	28,51	28,51	29,28	29,28	29,28	29,28
Águas Quentes Sanitárias [kWh _{EP} /m ² .ano]	10,06	10,06	10,05	10,05	10,06	10,06	10,05	10,05
Iluminação [kWh _{EP} /m ² .ano]	36,40	36,40	36,40	36,40	36,40	36,40	36,40	36,40
Bombagem e Ventilação [kWh _{EP} /m ² .ano]	54,49	54,49	54,49	54,49	54,49	54,49	54,49	54,49
Outros Consumos [kWh _{EP} /m ² .ano]	186,76	186,76	186,76	186,76	186,76	186,76	186,76	186,76
Renovável Térmica [kWh _{EP} /m ² .ano]	5,82	5,82	6,13	6,13	5,82	5,82	6,13	6,13
Renovável elétrica [kWh _{EP} /m ² .ano]	21,4	24,8	21,4	24,8	21,4	24,8	21,4	24,8
Renovável p/a autoconsumo [kWh _{EP} /m ² .ano]	27,2	30,6	27,5	30,9	27,2	30,6	27,5	30,9
[%]	18%	20%	18%	21%	18%	20%	18%	20%
Outros _R [kWh _{EP} /m ² .ano]	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16
IEE _R [kWh _{EP} /m ² .ano]	150,21	150,21	150,20	150,20	150,98	150,98	150,97	150,97
IEE _R - IEE _{REN} [kWh _{EP} /m ² .ano]	123,04	119,62	122,71	119,29	123,81	120,39	123,48	120,06
Emissões _{nZEB} de CO ₂ [ton/ano]	168,31	163,89	167,71	163,30	169,30	164,89	168,71	164,30
IEE _{Total} [kWh _{EP} /m ² .ano]	303,64	300,21	303,31	299,89	304,41	300,99	304,08	300,66
Emissões de CO ₂ [ton/ano]	414,92	410,51	414,33	409,91	415,92	411,51	415,32	410,91

Figura G 7 – Indicadores de desempenho em Atenas: PCK30 – PCK41

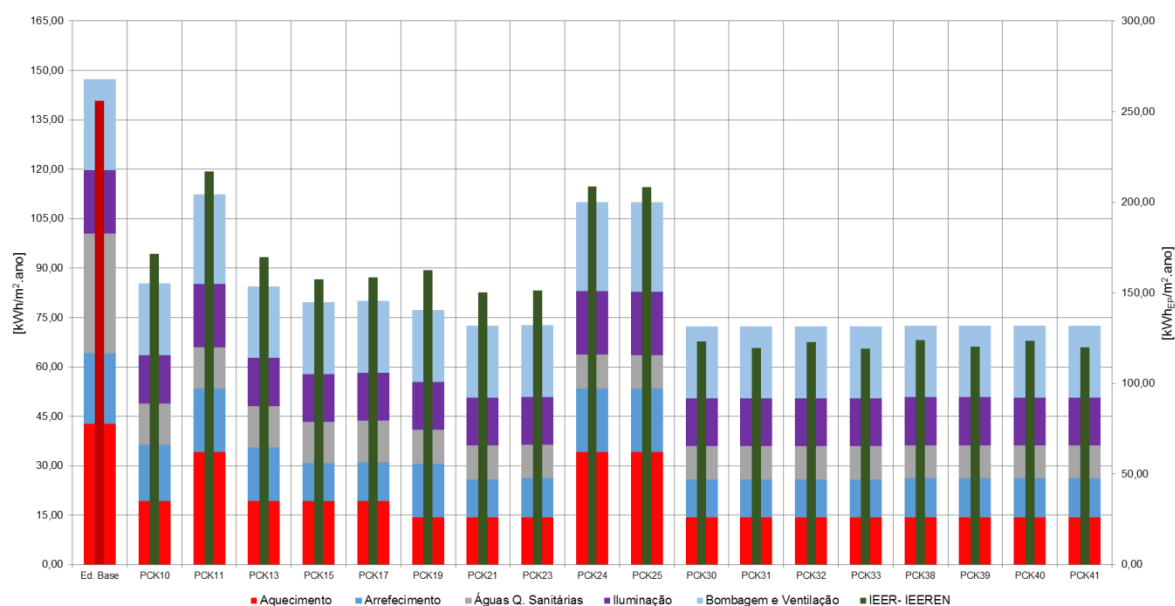


Figura G 8 – Indicadores de desempenho de energia final e primária em Atenas: PCK10 – PCK41

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente:
avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

Anexo H: Análise económica

H.1. Dados de natureza económica: Faro

ref. Faro	Indicador de Eficiência Energética nZEB $IEE_{R+} - IEE_{REN}$ [kWh _{EP} /m ²]	Redução face ao base Red. IEE_{nZEB} [%]	LCC20 [Euros/m ²] Custo global anual [Euros] $i_r = 5\% \mid e = 3\% \mid i_i = 2,00\%$		Económica			Investimento [Euros]	V. A. L. $i_r = 5\% \mid e = 3\% \mid i_i = 2\%$	Período de Retorno atualizado (PRC) [anos]
					[kWh/ano]	[Euros]	[%]			
Base	218,91	0,00%	157 473 €	341,79 €						
EEM1	217,55	-0,62%	156 898 €	374,39 €	9 170	576 €	0,4%	301 340 €	--	sem viabilidade económica
EEM2	218,73	-0,08%	157 366 €	372,66 €	3 334	107 €	0,1%	278 160 €	--	sem viabilidade económica
EEM3	217,25	-0,76%	156 870 €	371,75 €	4 322	603 €	0,4%	278 160 €	--	sem viabilidade económica
EEM4	217,23	-0,77%	156 787 €	374,19 €	9 446	687 €	0,4%	301 340 €	--	sem viabilidade económica
EEM5	218,94	0,02%	157 691 €	351,86 €	0	0 €	0%	86 580 €	--	--
EEM6	218,27	-0,29%	157 307 €	351,80 €	5 168	166 €	0,1%	92 352 €	--	sem viabilidade económica
PCK2	201,38	-8,01%	150 161 €	364,04 €	109 104	7 312 €	4,6%	315 240 €	--	sem viabilidade económica
EEM10	198,46	-9,34%	148 137 €	327,23 €	182 998	9 336 €	5,9%	20 100 €	130 413 €	2,27
PCK3	182,53	-16,62%	141 434 €	316,94 €	286 155	16 040 €	10,2%	34 000 €	222 590 €	2,22
PCK4	188,01	-14,11%	143 797 €	319,26 €	246 679	13 676 €	8,7%	20 100 €	201 782 €	1,53
PCK5	170,01	-22,34%	136 699 €	309,97 €	330 263	20 774 €	13,2%	47 445 €	284 989 €	2,40
PCK6	175,64	-19,77%	139 117 €	312,39 €	290 443	18 356 €	11,7%	33 545 €	263 282 €	1,91
PCK7	163,58	-25,28%	134 255 €	308,37 €	353 794	23 219 €	14,7%	65 280 €	299 342 €	3,05
PCK8	168,55	-23,00%	136 456 €	310,58 €	314 012	21 017 €	13,3%	52 545 €	279 509 €	2,71
PCK9	146,18	-33,23%	127 148 €	300,44 €	451 551	30 326 €	19,3%	96 945 €	370 332 €	3,56
PCK10	150,94	-31,05%	129 254 €	305,12 €	413 595	28 219 €	17,9%	100 545 €	328 398 €	4,07
PCK11	185,91	-15,07%	143 003 €	317,80 €	254 190	14 471 €	9,2%	20 100 €	214 849 €	1,46
PCK12	144,68	-33,91%	126 581 €	299,40 €	456 909	30 892 €	19,6%	96 945 €	379 653 €	3,49
PCK13	149,47	-31,72%	128 699 €	304,10 €	418 848	28 775 €	18,3%	100 545 €	337 537 €	3,98
PCK14	133,84	-38,86%	122 475 €	307,54 €	495 718	34 998 €	22,2%	205 017 €	306 767 €	7,15
PCK15	139,27	-36,38%	124 835 €	312,68 €	455 364	32 638 €	20,7%	208 617 €	260 661 €	8,03
PCK16	134,57	-38,53%	122 750 €	305,96 €	493 123	34 724 €	22,1%	190 709 €	320 841 €	6,62
PCK17	139,95	-36,07%	125 092 €	311,08 €	452 938	32 382 €	20,6%	194 309 €	275 029 €	7,43
PCK18	141,31	-35,45%	125 042 €	305,92 €	487 083	32 431 €	20,6%	161 385 €	321 239 €	5,89
PCK19	145,02	-33,75%	126 666 €	309,72 €	458 700	30 807 €	19,6%	164 985 €	287 239 €	6,49
PCK20	130,47	-40,40%	120 936 €	314,06 €	525 892	36 537 €	23,2%	269 457 €	248 353 €	9,50
PCK21	134,82	-38,41%	122 803 €	318,30 €	495 216	34 671 €	22,0%	273 057 €	210 363 €	10,43
PCK22	131,20	-40,07%	121 211 €	312,49 €	523 297	36 263 €	23,0%	255 149 €	262 427 €	8,96
PCK23	135,50	-38,10%	123 059 €	316,70 €	492 790	34 414 €	21,9%	258 749 €	224 731 €	9,83

Figura H 1 – Dados de natureza económica e indicadores de desempenho de energia primária em Faro: EEM1 – PCK23

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente: avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

ref. Faro	Indicador de Eficiência Energética nZEB	Redução face ao base	LCC20 [Euros/m ²]		Económica			Investimento [Euros]	V. A. L. ir = 5% e = 3% i _i = 2%	Período de Retorno atualizado (PRC) [anos]
	IEE _R - IEE _{REN} [kWh _{EP} /m ²]	Red. IEE _{nZEB} [%]	Custo global anual [Euros]	ir = 5% e = 3% i _i = 2,00%	[kWh/ano]	[Euros]	[%]			
PCK24	177,79	-18,78%	139 251 €	315,77 €	270 012	18 223 €	11,6%	57 930 €	233 054 €	3,42
PCK25	177,35	-18,99%	139 046 €	316,20 €	270 535	18 428 €	11,7%	64 256 €	229 155 €	3,78
PCK26	100,87	-53,92%	109 187 €	306,26 €	526 908	48 286 €	30,7%	376 747 €	318 208 €	9,94
PCK27	97,21	-55,59%	107 801 €	306,21 €	526 908	49 673 €	31,5%	396 207 €	318 635 €	10,18
PCK28	100,47	-54,11%	109 004 €	306,73 €	526 994	48 469 €	30,8%	383 073 €	313 943 €	10,09
PCK29	96,81	-55,78%	107 618 €	306,69 €	526 994	49 856 €	31,7%	402 533 €	314 370 €	10,33
PCK30	105,31	-51,89%	111 095 €	310,58 €	495 433	46 379 €	29,5%	380 347 €	279 549 €	10,65
PCK31	101,65	-53,57%	109 708 €	310,53 €	495 433	47 765 €	30,3%	399 807 €	279 976 €	10,89
PCK32	104,91	-52,08%	110 912 €	311,05 €	495 519	46 562 €	29,6%	386 673 €	275 284 €	10,81
PCK33	101,25	-53,75%	109 525 €	311,00 €	495 519	47 948 €	30,4%	406 133 €	275 711 €	11,04
PCK34	101,59	-53,59%	109 462 €	304,69 €	524 313	48 012 €	30,5%	362 439 €	332 282 €	9,52
PCK35	97,93	-55,26%	108 075 €	304,64 €	524 313	49 398 €	31,4%	381 899 €	332 709 €	9,78
PCK36	101,19	-53,77%	109 279 €	305,16 €	524 399	48 195 €	30,6%	368 765 €	328 017 €	9,67
PCK37	97,53	-55,45%	107 893 €	305,12 €	524 399	49 581 €	31,5%	388 225 €	328 444 €	9,85
PCK38	105,98	-51,59%	111 351 €	308,97 €	493 007	46 122 €	29,3%	366 039 €	293 917 €	10,21
PCK39	102,32	-53,26%	109 965 €	308,92 €	493 007	47 509 €	30,2%	385 499 €	294 344 €	10,46
PCK40	105,58	-51,77%	111 168 €	309,45 €	493 093	46 305 €	29,4%	372 365 €	289 652 €	10,37
PCK41	101,92	-53,44%	109 782 €	309,40 €	493 093	47 691 €	30,3%	391 825 €	290 079 €	10,61

Figura H 2 – Dados de natureza económica e indicadores de desempenho de energia primária em Faro: PCK24 – PCK41

H.2. Dados de natureza económica: Londres

ref. Londres	Indicador de Eficiência Energética nZEB	Redução face ao base	LCC20 [Euros/m ²]		Económica			Investimento [Euros]	V. A. L. ir = 5% e = 3% i _i = 2%	Período de Retorno atualizado (PRC) [anos]
	IEE _R - IEE _{REN} [kWh _{EP} /m ²]	Red. IEE _{nZEB} [%]	Custo global anual [Euros]	ir = 5% e = 3% i _i = 2,00%	[kWh/ano]	[Euros]	[%]			
Base	280,45	0%	188 125 €	408,32 €						
PCK10	178,83	-36%	143 790 €	342,06 €	766543	44 335 €	23,6%	100 545 €	593 401 €	2,47
PCK11	240,22	-14%	169 974 €	377,57 €	344931	18 151 €	9,6%	20 100 €	275 362 €	1,12
PCK13	178,62	-36%	143 712 €	341,91 €	767283	44 413 €	23,6%	100 545 €	594 689 €	2,47
PCK15	174,90	-38%	142 303 €	355,00 €	780597	45 822 €	24,4%	208 617 €	477 449 €	5,35
PCK17	175,21	-38%	142 422 €	353,15 €	779477	45 703 €	24,3%	194 309 €	494 089 €	4,94
PCK19	164,25	-41%	137 148 €	339,21 €	895993	50 977 €	27,1%	164 985 €	618 910 €	3,64
PCK21	160,53	-43%	135 739 €	352,30 €	909309	52 386 €	27,8%	273 057 €	501 672 €	6,25
PCK23	160,84	-43%	135 858 €	350,44 €	908189	52 268 €	27,8%	258 749 €	518 312 €	5,89
PCK24	234,48	-16%	167 350 €	377,61 €	362537	20 775 €	11,0%	57 930 €	275 025 €	2,77
PCK25	234,17	-17%	167 210 €	378,17 €	362894	20 915 €	11,1%	64 256 €	270 057 €	3,06
PCK30	143,68	-49%	129 054 €	353,80 €	910337	59 072 €	31,4%	380 347 €	488 267 €	7,89
PCK31	142,12	-49%	128 460 €	355,21 €	910337	59 665 €	31,7%	399 807 €	475 651 €	8,25
PCK32	143,41	-49%	128 928 €	354,38 €	910408	59 197 €	31,5%	386 673 €	483 059 €	8,02
PCK33	141,84	-49%	128 335 €	355,79 €	910408	59 790 €	31,8%	406 133 €	470 443 €	8,38
PCK38	144,00	-49%	129 172 €	351,94 €	909217	58 953 €	31,3%	366 039 €	504 907 €	7,54
PCK39	142,43	-49%	128 579 €	353,35 €	909217	59 546 €	31,7%	385 499 €	492 291 €	7,91
PCK40	143,72	-49%	129 047 €	352,52 €	909288	59 079 €	31,4%	372 365 €	499 699 €	7,67
PCK41	142,16	-49%	128 453 €	353,93 €	909288	59 672 €	31,7%	391 825 €	487 083 €	8,04

Figura H 3 – Dados de natureza económica e indicadores de desempenho de energia primária em Londres: PCK10 – PCK41

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente: avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

H.3. Dados de natureza económica: Atenas

ref. Atenas	Indicador de Eficiência Energética nZEB	Redução face ao base	LCC20 [Euros/m²]		Económica			Investimento	V. A. L.	Período de Retorno
	IEE _R - IEE _{REN} [kWh _{EP} /m²]	Red. IEE _{nZEB} [%]	Custo global anual [Euros]	ir = 5% e = 3% i _i = 2,00%	[kWh/ano]	[Euros]	[%]	[Euros]	ir = 5% e = 3% i _i = 2%	atualizado (PRC) [anos]
Base	256,02	0%	173 638 €	376,88 €						
PCK10	171,67	-33%	138 023 €	326,62 €	554518	35 615 €	20,5%	100 545 €	450 012 €	3,14
PCK11	216,92	-15%	156 324 €	347,67 €	312700	17 314 €	10,0%	20 100 €	261 598 €	1,17
PCK13	169,61	-34%	137 240 €	325,19 €	561921	36 398 €	21,0%	100 545 €	462 892 €	3,06
PCK15	157,61	-38%	132 695 €	332,52 €	604881	40 943 €	23,6%	208 617 €	397 227 €	6,10
PCK17	158,39	-38%	132 988 €	330,98 €	602108	40 650 €	23,4%	194 309 €	410 991 €	5,66
PCK19	162,37	-37%	133 935 €	328,47 €	626719	39 703 €	22,9%	164 985 €	433 515 €	4,82
PCK21	150,38	-41%	129 390 €	335,80 €	669679	44 248 €	25,5%	273 057 €	367 850 €	7,66
PCK23	151,15	-41%	129 683 €	334,26 €	666906	43 955 €	25,3%	258 749 €	381 614 €	7,24
PCK24	208,83	-18%	152 630 €	345,74 €	333062	21 008 €	12,1%	57 930 €	278 852 €	2,80
PCK25	208,47	-19%	152 463 €	346,24 €	333489	21 175 €	12,2%	64 256 €	274 330 €	3,09
PCK30	123,03	-52%	118 563 €	329,69 €	671265	55 075 €	31,7%	380 347 €	422 549 €	8,59
PCK31	119,61	-53%	117 266 €	329,81 €	671265	56 372 €	32,5%	399 807 €	421 500 €	8,85
PCK32	122,71	-52%	118 413 €	330,23 €	671352	55 225 €	31,8%	386 673 €	417 742 €	8,73
PCK33	119,28	-53%	117 116 €	330,34 €	671352	56 522 €	32,6%	406 133 €	416 694 €	8,98
PCK38	123,81	-52%	118 856 €	328,15 €	668492	54 782 €	31,5%	366 039 €	436 313 €	8,24
PCK39	120,39	-53%	117 559 €	328,27 €	668492	56 078 €	32,3%	385 499 €	435 265 €	8,51
PCK40	123,48	-52%	118 706 €	328,69 €	668579	54 932 €	31,6%	372 365 €	431 507 €	8,38
PCK41	120,06	-53%	117 409 €	328,81 €	668579	56 228 €	32,4%	391 825 €	430 458 €	8,64

Figura H 4 – Dados de natureza económica e indicadores de desempenho de energia primária em Atenas: PCK10 – PCK41

H.4. Análises de sensibilidade: Faro

MM's Ref.	IEE _R - IEE _{REN} [kWh _{EP} /m².ano]	LCC20 [EUR/m²]	VAL [EUR]	PRC Act [anos]
Base	218,91	292,45	--	n a
EEM1	217,55	325,23	s/ Viabilidade.	--
EEM2	218,73	323,36	s/ Viabilidade.	--
EEM3	217,25	322,60	s/ Viabilidade.	--
EEM4	217,23	325,06	s/ Viabilidade.	--
EEM5	218,94	302,45	s/ Viabilidade.	--
EEM6	218,27	302,52	s/ Viabilidade.	--
EEM7	209,25	288,11	38 893 €	3,93
EEM8	211,13	287,66	42 963 €	0
EEM9	204,11	283,35	81 484 €	0
PCK1	203,15	284,39	72 260 €	2,34
PCK2	201,38	316,99	s/ Viabilidade.	--
EEM10	198,46	280,82	104 220 €	2,35
PCK3	182,53	272,62	177 588 €	2,34
PCK4	188,01	274,21	163 411 €	1,57
PCK5	170,01	267,14	226 704 €	2,53
PCK6	175,64	268,80	211 781 €	1,97
PCK7	163,58	266,30	234 200 €	3,18
PCK8	168,55	267,83	220 543 €	2,8147
PCK9	146,18	260,60	285 250 €	3,75
PCK10	150,94	264,62	249 226 €	4,31
PCK11	185,91	273,00	174 249 €	1,5
PCK12	144,68	259,74	292 981 €	3,67
PCK13	149,47	263,78	256 805 €	4,21

Figura H 5 – Análise de sensibilidade da variação do custo energia (e = 1%): Cenário A: EEM1 – PCK13 (custo de oportunidade (i_r) 5% | taxa de inflação (i_i) 2%)

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente:
avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

MM's	IEE _R - IEE _{REN}	LCC20	VAL	PRC Act
Ref.	[kWh _{EP} /m ² .ano]	[EUR/m ²]	[EUR]	[anos]
Base	218,91	292,45	--	n a
PCK14	133,84	269,16	208 574 €	7,93
PCK15	139,27	273,57	169 091 €	9,04
PCK16	134,57	267,50	223 418 €	7,28
PCK17	139,95	271,89	184 179 €	8,28
PCK18	141,31	266,74	230 249 €	6,4
PCK19	145,02	270,03	200 806 €	7,12
PCK20	130,47	276,17	145 843 €	10,98
PCK21	134,82	279,83	113 091 €	12,28
PCK22	131,20	274,51	160 687 €	10,24
PCK23	135,50	278,14	128 179 €	11,43
PCK24	177,79	272,14	181 928 €	3,59
PCK25	177,35	272,64	177 454 €	3,98
PCK26	100,87	272,05	182 736 €	11,53
PCK27	97,21	272,43	179 273 €	11,86
PCK28	100,47	272,58	177 958 €	11,74
PCK29	96,81	272,97	174 495 €	12,06
PCK30	105,31	275,77	149 428 €	12,54
PCK31	101,65	276,15	145 965 €	12,88
PCK32	104,91	276,30	144 650 €	12,76
PCK33	101,25	276,69	141 187 €	13,1
PCK34	101,59	270,39	197 580 €	10,97
PCK35	97,93	270,78	194 117 €	11,04
PCK36	101,19	270,92	192 802 €	11,17
PCK37	97,53	271,31	189 339 €	11,31
PCK38	105,98	274,08	164 516 €	11,91
PCK39	102,32	274,47	161 053 €	12,26
PCK40	105,58	274,62	159 738 €	12,13
PCK41	101,92	275,00	156 275 €	12,47

Figura H 6 – Análise de sensibilidade da variação do custo energia ($e = 1\%$): Cenário A: PCK14
– PCK41 (custo de oportunidade (i_r) 5% | taxa de inflação (i_i) 2%)

MM's	IEE _R - IEE _{REN}	LCC20	VAL	PRC Act
Ref.	[kWh _{EP} /m ² .ano]	[EUR/m ²]	[EUR]	[anos]
Base	218,91	441,72	--	n a
EEM1	217,55	473,95	s/ Viabilidade.	--
EEM2	218,73	472,52	s/ Viabilidade.	--
EEM3	217,25	471,30	s/ Viabilidade.	--
EEM4	217,23	473,68	s/ Viabilidade.	--
EEM5	218,94	451,93	s/ Viabilidade.	--
EEM6	218,27	451,63	s/ Viabilidade.	--
EEM7	209,25	433,42	74 338 €	3,47
EEM8	211,13	433,94	69 702 €	0
EEM9	204,11	426,96	132 196 €	0
PCK1	203,15	427,38	128 471 €	2,15
PCK2	201,38	459,32	s/ Viabilidade.	--
EEM10	198,46	421,23	183 463 €	2,16
PCK3	182,53	406,69	313 732 €	2,15
PCK4	188,01	410,51	279 494 €	1,47
PCK5	170,01	396,71	403 035 €	2,31
PCK6	175,64	400,67	367 586 €	1,83
PCK7	163,58	393,56	431 277 €	2,87
PCK8	168,55	397,17	398 932 €	2,56
PCK9	146,18	381,12	542 649 €	3,33
PCK10	150,94	387,14	488 746 €	3,77
PCK11	185,91	408,55	297 076 €	1,41
PCK12	144,68	379,72	555 192 €	3,26
PCK13	149,47	385,77	501 043 €	3,69

Figura H 7 – Análise de sensibilidade da variação do custo energia: Cenário C ($e = 6\%$): EEM1
– PCK13 (custo de oportunidade (i_r) 5% | taxa de inflação (i_i) 2%)

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente: avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

MM's	IEE _R - IEE _{REN}	LCC20	VAL	PRC Act
Ref.	[kWh _{EP} /m ² .ano]	[EUR/m ²]	[EUR]	[anos]
Base	218,91	441,72	--	n a
PCK14	133,84	385,26	505 637 €	6,31
PCK15	139,27	391,90	446 120 €	6,98
PCK16	134,57	383,86	518 151 €	5,89
PCK17	139,95	390,46	459 029 €	6,53
PCK18	141,31	385,27	505 522 €	5,3
PCK19	145,02	390,10	462 294 €	5,78
PCK20	130,47	390,80	455 967 €	8,08
PCK21	134,82	396,23	407 371 €	8,73
PCK22	131,20	389,41	468 481 €	7,68
PCK23	135,50	394,79	420 280 €	8,31
PCK24	177,79	404,13	336 599 €	3,21
PCK25	177,35	404,44	333 867 €	3,53
PCK26	100,87	375,55	592 583 €	8,41
PCK27	97,21	374,62	600 887 €	8,59
PCK28	100,47	375,91	589 357 €	8,52
PCK29	96,81	374,98	597 662 €	8,63
PCK30	105,31	381,07	543 085 €	8,92
PCK31	101,65	380,15	551 390 €	9,09
PCK32	104,91	381,43	539 859 €	9,03
PCK33	101,25	380,51	548 164 €	9,19
PCK34	101,59	374,15	605 097 €	8,12
PCK35	97,93	373,22	613 401 €	8,3
PCK36	101,19	374,51	601 871 €	8,23
PCK37	97,53	373,58	610 175 €	8,41
PCK38	105,98	379,63	555 995 €	8,6
PCK39	102,32	378,70	564 299 €	8,79
PCK40	105,58	379,99	552 769 €	8,72
PCK41	101,92	379,06	561 073 €	8,89

Figura H 8 – Análise de sensibilidade da variação do custo energia: Cenário C ($e = 6\%$): PCK14 – PCK41 (custo de oportunidade (i_r) 5% | taxa de inflação (i_i) 2%)

H.5. Análises de sensibilidade: Londres

MM's	IEE _R - IEE _{REN}	LCC20	VAL	PRC Act
Ref.	[kWh _{EP} /m ² .ano]	[EUR/m ²]	[EUR]	[anos]
Base	280,45	349,38	--	n a
PCK10	178,83	297,00	469 015 €	2,57
PCK11	240,22	324,32	224 438 €	1,14
PCK13	178,62	296,88	470 082 €	2,56
PCK15	174,90	310,42	348 890 €	5,76
PCK17	175,21	308,52	365 863 €	5,30
PCK19	164,25	296,23	475 887 €	3,83
PCK21	160,53	309,77	354 696 €	6,83
PCK23	160,84	307,87	371 669 €	6,40
PCK24	234,48	325,18	216 738 €	2,79
PCK25	234,17	325,77	211 376 €	3,08
PCK30	143,68	313,36	322 535 €	8,83
PCK31	142,12	314,96	308 254 €	9,29
PCK32	143,41	313,98	316 974 €	8,99
PCK33	141,84	315,58	302 694 €	9,46
PCK38	144,00	311,47	339 507 €	8,40
PCK39	142,43	313,06	325 227 €	8,86
PCK40	143,72	312,09	333 947 €	8,56
PCK41	142,16	313,68	319 666 €	9,02

Figura H 9 – Análise de sensibilidade da variação do custo energia: Cenário A ($e = 1\%$): PCK10 – PCK41 (custo de oportunidade (i_r) 5% | taxa de inflação (i_i) 2%)

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente: avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

MM's	IEE _R - IEE _{REN}	LCC20	VAL	PRC Act
Ref.	[kWh _{EP} /m ² .ano]	[EUR/m ²]	[EUR]	[anos]
Base	280,45	527,70	--	n a
PCK10	178,83	433,30	845 323 €	2,35
PCK11	240,22	485,43	378 500 €	1,10
PCK13	178,62	433,11	847 055 €	2,34
PCK15	174,90	445,31	737 821 €	4,85
PCK17	175,21	443,52	753 787 €	4,52
PCK19	164,25	426,24	908 576 €	3,39
PCK21	160,53	438,44	799 344 €	5,60
PCK23	160,84	436,65	815 310 €	5,30
PCK24	234,48	483,81	393 075 €	2,71
PCK25	234,17	484,27	388 902 €	2,99
PCK30	143,68	435,69	823 927 €	6,89
PCK31	142,12	436,72	814 682 €	7,17
PCK32	143,41	436,19	819 432 €	6,99
PCK33	141,84	437,22	810 187 €	7,27
PCK38	144,00	433,91	839 894 €	6,63
PCK39	142,43	434,94	830 649 €	6,91
PCK40	143,72	434,41	835 399 €	6,73
PCK41	142,16	435,44	826 154 €	7,01

Figura H 10 – Análise de sensibilidade da variação do custo energia: Cenário C ($e = 6\%$): PCK10 – PCK41 (custo de oportunidade (i_r) 5% | taxa de inflação (i_i) 2%)

H.6. Análises de sensibilidade: Atenas

MM's	IEE _R - IEE _{REN}	LCC20	VAL	PRC Act
Ref.	[kWh _{EP} /m ² .ano]	[EUR/m ²]	[EUR]	[anos]
Base	256,02	322,47	--	n a
PCK10	171,67	283,38	350 091 €	3,28
PCK11	216,92	298,69	213 022 €	1,19
PCK13	169,61	282,18	360 773 €	3,20
PCK15	157,61	290,94	282 356 €	6,63
PCK17	158,39	289,31	296 943 €	6,12
PCK19	162,37	286,50	322 124 €	5,15
PCK21	150,38	295,26	243 707 €	8,53
PCK23	151,15	293,63	258 294 €	8,01
PCK24	208,83	297,92	219 912 €	2,84
PCK25	208,47	298,47	214 921 €	3,14
PCK30	123,03	292,54	268 029 €	9,73
PCK31	119,61	293,07	263 343 €	10,06
PCK32	122,71	293,13	262 802 €	9,90
PCK33	119,28	293,65	258 115 €	10,24
PCK38	123,81	290,91	282 617 €	9,28
PCK39	120,39	291,44	277 930 €	9,62
PCK40	123,48	291,50	277 389 €	9,46
PCK41	120,06	292,02	272 703 €	9,79

Figura H 11 – Análise de sensibilidade da variação do custo energia: Cenário A ($e = 1\%$): PCK10 – PCK41 (custo de oportunidade (i_r) 5% | taxa de inflação (i_i) 2%)

Um contributo para a obtenção do balanço energético quase nulo no parque edificado existente:
avaliação e parametrização de indicadores de eficiência energética em edifícios do setor hoteleiro

MM's Ref.	IEE _R - IEE _{REN} [kWh _{EP} /m ² .ano]	LCC20 [EUR/m ²]	VAL [EUR]	PRC Act [anos]
Base	256,02	487,07	--	n a
PCK10	171,67	414,21	652 385 €	2,95
PCK11	216,92	446,86	359 979 €	1,14
PCK13	169,61	412,27	669 715 €	2,88
PCK15	157,61	416,72	629 877 €	5,47
PCK17	158,39	415,37	641 974 €	5,12
PCK19	162,37	413,46	659 116 €	4,41
PCK21	150,38	417,91	619 278 €	6,71
PCK23	151,15	416,56	631 375 €	6,38
PCK24	208,83	442,59	398 224 €	2,71
PCK25	208,47	442,99	394 652 €	2,99
PCK30	123,03	404,93	735 500 €	7,42
PCK31	119,61	404,22	741 819 €	7,62
PCK32	122,71	405,37	731 545 €	7,53
PCK33	119,28	404,66	737 865 €	7,72
PCK38	123,81	403,58	747 597 €	7,16
PCK39	120,39	402,87	753 916 €	7,36
PCK40	123,48	404,02	743 642 €	7,27
PCK41	120,06	403,31	749 962 €	7,47

Figura H 12 – Análise de sensibilidade da variação do custo energia: Cenário C ($e = 6\%$):
PCK10 – PCK41 (custo de oportunidade (i_r) 5% | taxa de inflação (i_i) 2%)