



Luis Joaquim Janeiro Borges Soares da Costa

Licenciado em Engenharia Mecânica
Licenciado em Ciências de Engenharia Civil

Edifícios NZEB, Estudo de conversão de hotel

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia
Civil – Perfil de Construção

Orientador: Doutor Armando Pinto, Investigador
Auxiliar, LNEC

Co-orientador: Professor Doutor Daniel Aelenei,
Professor Auxiliar, Faculdade de Ciências
e Tecnologia da Universidade Nova de
Lisboa

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Nuno M. C. Guerra

Arguente: Doutora Laura Aelenei

Vogais: Prof. Doutor José Fernando de Almeida Dias
Doutor Armando Pinto



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Julho 2016

“Copyright” Luis Soares da Costa, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Para a realização desta dissertação tive o apoio e contributo de diversas pessoas para as quais não poderia deixar de enviar os meus agradecimentos:

- Ao meu orientador científico Doutor Armando Pinto, pelo entusiasmo, orientação e disponibilidade que sempre demonstrou durante a realização desta dissertação.
- Ao meu co-orientador científico Doutor Daniel Aelenei, por ter disponibilizado um tema relacionado com a minha experiência profissional e académica anterior e pela partilha de conhecimentos.
- Aos meus colegas de curso pelo apoio que me deram nos últimos anos, indispensáveis para a conclusão de diversas disciplinas.
- À minha família e aos meus amigos pelo apoio durante os períodos em que me dediquei ao curso.

Resumo

Na Europa, os edifícios representam cerca de 40% do consumo de energia e cerca de 36% da emissão dos gases com efeito de estufa. Assim, é imprescindível melhorar o desempenho energético dos edifícios, reduzindo os seus consumos e recorrendo a energias renováveis. Só deste modo se poderá atingir as metas da União Europeia para 2020 e alcançar os objetivos de longo prazo da estratégia climática enunciados no Roteiro de transição para economia hipocarbónica competitiva em 2050 (Comissão Europeia, 2013). Para os edifícios, os objetivos estão definidos na Diretiva 2010/31/UE, que foi transposta para o direito nacional através do Decreto-Lei nº 118/2013, de 20 de Agosto de 2013 (Atanasiu, 2011).

Neste quadro legislativo, foi introduzido o conceito de edifícios com necessidades quase nulas de energia (NZEB) como sendo aqueles com elevado desempenho energético, cujas necessidades energéticas remanescentes são suprimidas por produção de energia com origem em fontes renováveis no edifício ou nas proximidades, não estando ainda definida a contribuição mínima da componente renovável. Este constitui o objetivo da União Europeia para os novos edifícios a construir a partir do ano 2020, ou de 2018, no caso de edifícios novos de entidades públicas.

Estima-se que através de uma conceção e projeto integrados dos edifícios é possível reduzir até 80% dos custos, com reduzido ou nenhum custo adicional, considerando a vida útil do edifício.

A presente dissertação de mestrado constitui um estudo sobre a aplicação do conceito NZEB a um edifício em construção do tipo hotel de 3 estrelas com 51 quartos. Foram identificados os principais constrangimentos e alterações que seriam necessários introduzir em fase de projeto de forma a se obter um edifício de elevada eficiência energética, com baixo consumo energético e com produção de energia que equilibre esse consumo.

O estudo foi realizado utilizando os elementos de projeto disponíveis e recorrendo à ferramenta *EnergyPlus* para analisar as medidas de eficiência energética, as necessidades e a produção local de energia.

Palavras-chave:

NZEB; eficiência energética; *EnergyPlus*; produção de energia elétrica; Técnicas de Reabilitação Energética de Edifícios.

Abstract

Buildings account for around 40% of total energy consumption and 36% of CO₂ emissions in Europe. Thus, it is essential to improve the buildings energy performance, reducing its consumption and using renewable energy. Only this way it can be achieved the EU goals for 2020 and to achieve the climate strategy long term goals set in the Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050 (Comissão Europeia, 2013). To fulfil these objectives was issued 2010/31/EU Directive, which established the improvement of the buildings energy performance and was transposed into national law by Decree-Law No. 118/2013, 20 August 2013.

This legislative framework introduced the concept of nearly zero-energy buildings (NZEB), as those with high energy performance whose remaining energy needs are suppressed by the production of energy from renewable sources in the building or nearby, being the minimum contribution of renewable component not yet determined. This is the objective of the European Union for new buildings to be built from the year 2020 or 2018, for new buildings of public entities.

It's estimated that through the concept and the integrated design of buildings, it can be reduced up to 80% of its costs, with reduced or no additional investments, considering the whole life of the building.

This dissertation is a study of the application of the concept NZEB to a building under construction (3 stars hotel with 51 rooms), to identify the main constraints and changes that would be necessary to introduce in the design stage in order to obtain a high energy efficiency and building with low energy consumption and energy production that balance this consumption.

The study was conducted using the hotel design and EnergyPlus modulation to analyse energy efficiency measures, energy demands and local production of energy.

Key-words:

NZEB; energy performance; EnergyPlus; Energy Production; Energy Rehabilitation of Buildings Techniques.

Índice de Texto

1 -	INTRODUÇÃO	1
1.1 -	Enquadramento	1
1.2 -	Objetivos e metodologia	2
1.3 -	Organização da dissertação	3
2 -	ESTADO ATUAL DO CONHECIMENTO.....	5
2.1 -	Introdução	5
2.2 -	Importância dos consumos energéticos nos edifícios.....	6
2.3 -	Legislação nacional.....	9
2.4 -	Conceito edifício NZEB.....	10
2.5 -	Soluções construtivas de edifícios.....	14
2.6 -	Sistemas e equipamentos com grande consumo de energia em edifícios.....	15
2.7 -	Energias renováveis em edifícios	16
2.8 -	Ferramenta de cálculo <i>EnergyPlus</i>	19
3 -	CASO DE ESTUDO.....	21
3.1 -	Caracterização geral.....	21
3.2 -	Desenvolvimento do modelo do caso de estudo.....	22
4 -	ANÁLISE PRELIMINAR DE DESEMPENHO ENERGÉTICO	23
4.1 -	Qualidade térmica da envolvente	23
4.2 -	Perfis de utilização e cargas internas.....	25
4.3 -	Ocupação.....	26
4.4 -	Sistema de climatização	27
4.5 -	Caudais de ar novo e infiltração	28
4.6 -	Águas quentes sanitárias	28
4.7 -	Avaliação das necessidades energéticas.....	30
4.8 -	Indicadores energéticos de referência	33
5 -	SOLUÇÃO OTIMIZADA DA ENVOLVENTE DO EDIFÍCIO	35
5.1 -	Descrição das situações possíveis de serem significativamente melhoradas na envolvente	35
5.2 -	Melhoria do isolamento térmico da laje térrea.....	35
5.3 -	Melhoria do isolamento térmico das paredes e teto do compartimento RSU.....	37
5.4 -	Melhoria do isolamento térmico dos tetos com contato com o exterior.....	38
5.5 -	Introdução de gás Argon na caixa-de-ar do vão envidraçado	39
5.6 -	Alteração do sombreamento para estores automáticos controlados por necessidades de aquecimento/arrefecimento	40
5.7 -	Alteração da constituição das paredes interiores para aumentar a inércia térmica.....	42
5.8 -	Solução final de envolvente melhorada.....	43
6 -	SOLUÇÃO OTIMIZADA DOS SISTEMAS CONSUMIDORES DO EDIFÍCIO	45
6.1 -	Descrição das situações possíveis de serem significativamente melhoradas nos sistemas	45
6.2 -	Otimização de equipamentos a utilizar nos quartos e restantes zonas.....	46
6.3 -	Otimização de iluminação a utilizar nos quartos e restantes zonas.....	47

6.4 – Otimização de equipamentos com cargas térmicas pontuais.....	49
6.5 – Otimização de elevadores	50
6.6 – Otimização de consumos de AQS.....	52
6.7 – Otimização dos ventiladores de ar novo e de extração.....	54
6.8 – Solução final de instalações melhoradas	55
7 - SOLUÇÃO OTIMIZADA DOS SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO E AQS	59
7.1 – Descrição das situações possíveis de serem significativamente melhoradas no AVAC e AQS.....	59
7.2 – Utilização de sistema VRV para climatização	59
7.3 – Utilização de UTA com recuperação de energia para ar novo	61
7.4 – Utilização de bomba de calor para aquecimento de AQS	63
7.5 – Solução final de AVAC e AQS melhorados	65
8 - SOLUÇÃO DE PRODUÇÃO DE ENERGIA.....	67
8.1 – Descrição das situações possíveis de produção de energia	67
8.2 – Painéis fotovoltaicos	67
8.3 – Painéis solares para produção de AQS.....	70
8.4 – Aerogerador	72
8.5 – Banco de baterias	75
8.6 – Necessidades para se atingir o NZEB	79
9 - ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÓMICA.....	81
9.1 – Descrição das situações possíveis de produção de energia	81
9.2 – Viabilidade económica do sistema fotovoltaico.....	81
9.3 – Viabilidade económica de acrescentar o aerogerador	82
9.4 – Viabilidade económica de acrescentar um banco de baterias de 750 MJ.....	83
9.5 – Viabilidades económicas das várias soluções de produção e acumulação de energia.....	85
10 - COMPARAÇÕES DE RESULTADOS COM OUTROS ESTUDOS.....	87
11 - CONCLUSÕES	91
11.1 – Conclusões gerais.....	91
11.2 – Desenvolvimentos futuros.....	95
BIBLIOGRAFIA	97
ANEXO I – PLANTAS E ALÇADOS DO HOTEL	101
ANEXO II – ENVOLVENTE DO EDIFÍCIO.....	111
ANEXO III – MODULAÇÃO ENERGYPLUS DO HOTEL	117
ANEXO IV – DADOS TÉCNICOS DE EQUIPAMENTO DE REFERÊNCIA.....	121
ANEXO V – LOCALIZAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS E COLETORES SOLARES	127

Índice de Quadros

Quadro 3.1 – Localização do hotel	21
Quadro 3.2 – Áreas e volumetria	21
Quadro 4.1 – Resumo dos coeficientes de transmissão térmica.....	24
Quadro 4.2 – Cargas internas.....	25
Quadro 4.3 – Ocupação.....	27
Quadro 4.4 – Consumo AQS a 60°C.....	29
Quadro 4.5 – Caudais de consumo de AQS.....	29
Quadro 4.6 – Necessidades totais com <i>Ideal Loads</i>	30
Quadro 4.7 – Consumos de energia a considerar no IEE _S e IEE _T	32
Quadro 4.8 – Indicadores energéticos do projeto original	33
Quadro 4.9 – Necessidades com U _{ref}	33
Quadro 5.1 – Pavimento em contato com o solo.....	36
Quadro 5.2 – Necessidades com introdução de XPS na laje térrea.....	36
Quadro 5.3 – Necessidades com introdução de XPS nas paredes e teto do compartimento RSU.....	37
Quadro 5.4 – Necessidades com introdução de XPS em tetos em contato com o exterior	38
Quadro 5.5 – Necessidades com alteração da caixa-de-ar do envidraçado de ar para argon	39
Quadro 5.6 – Necessidades com alteração dos sombreamentos das janelas	41
Quadro 5.7 – Necessidades com aumento da massa das paredes interiores.....	42
Quadro 5.8 – Necessidades com as melhorias de envolvente implementadas	43
Quadro 5.9 – Indicadores energéticos da solução com envolvente melhorada	44
Quadro 6.1 – Otimização dos equipamentos elétricos nas diversas zonas.....	46
Quadro 6.2 – Necessidades com a otimização dos equipamentos elétricos	47
Quadro 6.3 – Otimização da iluminação nas diversas zonas.....	48
Quadro 6.4 – Necessidades com a otimização da iluminação.....	48
Quadro 6.5 – Otimização dos equipamentos elétricos nas diversas zonas.....	49
Quadro 6.6 – Necessidades com a otimização das cargas térmicas pontuais.....	50
Quadro 6.7 – Necessidades com a otimização dos elevadores.....	51
Quadro 6.8 – Consumo AQS otimizado.....	53
Quadro 6.9 – Necessidades com a otimização dos consumos de AQS	53
Quadro 6.10 – Necessidades com a otimização dos ventiladores	54
Quadro 6.11 – Necessidades com os sistemas melhorados.....	56
Quadro 6.12 – Indicadores energéticos da solução com sistemas melhorados	57
Quadro 7.1 – Necessidades com sistema VRV	60
Quadro 7.2 – Necessidades com sistema VRV + UTA com recuperação de energia	62
Quadro 7.3 – Redução de necessidades com a introdução de UTA com recuperador de calor.....	63
Quadro 7.4 – Necessidades com sistema VRV + UTA com recuperação de energia + Bomba de calor para AQS	64
Quadro 7.5 – Indicadores energéticos da solução com sistemas de AVAC e AQS melhorados.....	66
Quadro 8.1 – Consumos energéticos do edifício e produção fotovoltaica	69
Quadro 8.2 – Consumos energéticos do edifício e produção solar-térmica	71
Quadro 8.3 – Consumos energéticos do edifício e produção fotovoltaica e aerogerador.....	74
Quadro 8.4 – Variação de trocas de eletricidade com a rede, conforme capacidade do banco de baterias	77
Quadro 8.5 – Consumos energéticos do edifício com banco de baterias	78
Quadro 8.6 – Indicadores energéticos da solução com envolvente e sistemas de AVAC e de AQS melhorados, produção própria de energia e seu armazenamento.....	78
Quadro 9.1 – Análise económica do investimento em painéis fotovoltaicos	82
Quadro 9.2 – Análise económica do investimento em painéis fotovoltaicos e aerogerador	83
Quadro 9.3 – Análise económica do investimento em painéis fotovoltaicos e aerogerador e banco de baterias de 750 MJ	84
Quadro 9.4 – Análise económica do investimento em painéis fotovoltaicos e aerogerador e banco de baterias de 250 MJ	84
Quadro 9.5 – Análise económica do investimento em painéis fotovoltaicos e aerogerador e banco de baterias de 75 MJ	85
Quadro 11.1 – Rácio de classe energética.....	91
Quadro 11.2 – Indicadores energéticos das soluções estudadas.....	93
Quadro A1.0.1 – Áreas e volumetrias dos compartimentos.....	109

Índice de Figuras

Figura 2.1 - Distribuição do consumo energético em Portugal (Bernardo, 2015).....	7
Figura 2.2 - Distribuição do consumo energia elétrica no setor dos serviços	7
Figura 2.3 – Insolação média anual (European Communities, 2006).....	17
Figura 2.4 – Diagrama de processos do <i>EnergyPlus</i>	19
Figura 4.1 – Perfil da iluminação	26
Figura 4.2 – Perfil dos equipamentos.....	26
Figura 4.3 – Perfil da ocupação.....	27
Figura 4.4 – Perfil de consumo de AQS.....	29
Figura 4.5 – Necessidades totais com <i>Ideal Loads</i>	30
Figura 4.6 – Percentagens de necessidades com <i>Ideal Loads</i>	31
Figura 4.7 – Necessidades totais com U_{ref}	34
Figura 5.1 – Necessidades totais com a introdução de laje térrea com XPS	37
Figura 5.2 – Necessidades totais com a introdução de XPS nas paredes e teto do compartimento RSU.....	38
Figura 5.3 – Necessidades totais com a introdução de XPS em tetos em contato com o exterior.....	39
Figura 5.4 – Necessidades totais com alteração da caixa-de-ar do envidraçado de ar para Árgon	40
Figura 5.5 – Necessidades totais com estores exteriores.....	41
Figura 5.6 – Necessidades totais com o aumento da massa das paredes interiores.....	42
Figura 5.7 – Necessidades totais com as melhorias de envolvente implementadas	43
Figura 5.8 – Redução das necessidades energéticas com as medidas optadas	44
Figura 6.1 – Necessidades totais com otimização de equipamentos	47
Figura 6.2 – Necessidades totais com iluminação melhorada.....	49
Figura 6.3 – Necessidades totais com a otimização das cargas térmicas pontuais.....	50
Figura 6.4 – Necessidades totais com a otimização dos elevadores.....	51
Figura 6.5 – Comparação de consumos diários entre equipamentos convencionais e certificados por agregado familiar (Miranda, 2012).....	52
Figura 6.6 – Necessidades totais com a otimização de AQS	53
Figura 6.7 – Necessidades totais com a otimização dos ventiladores	55
Figura 6.8 – Necessidades totais com os sistemas melhorados.....	56
Figura 6.9 – Redução das necessidades energéticas com os sistemas adotados.....	57
Figura 7.1 – Esquema de VRF do <i>EnergyPlus</i>	60
Figura 7.2 – Necessidades totais com sistema VRV	61
Figura 7.3 – Esquema de UTA do <i>EnergyPlus</i>	62
Figura 7.4 – Necessidades totais com sistema VRV + UTA com recuperação de energia	62
Figura 7.5 – Esquema de bomba de calor para AQS do <i>EnergyPlus</i>	64
Figura 7.6 – Necessidades totais com sistema VRV + UTA com recuperação de energia + Bomba de calor para AQS	65
Figura 7.7 – Redução das necessidade energéticas com os sistemas adotados	66
Figura 8.1 – Irradiação global mensal média sobre o plano fixo horizontal e inclinado em Lisboa	68
Figura 8.2 – Produção de energia.....	69
Figura 8.3 – Esquema de ligações do sistema solar modulado pelo <i>EnergyPlus</i>	70
Figura 8.4 – Esquema de ligações dos DAQS solar e da bomba de calor, modulados pelo <i>EnergyPlus</i>	71
Figura 8.5 – Origem de energia.....	72
Figura 8.6 – Gráfico da velocidade do vento e horas de paragem do aerogerador.....	73
Figura 8.7 – Gráfico da origem de energia.....	75
Figura 8.8 – Evolução da acumulação de energia	76
Figura 8.9 – Evolução da produção, consumo e acumulação de energia	76
Figura 8.10 – Gráfico da evolução de trocas de eletricidade com a rede conforme capacidade do banco de baterias	77
Figura 9.1 – Evolução do <i>cash flow</i> acumulado para as diversas soluções de produção e acumulação de energia	86
Figura 11.1 – Evolução dos indicadores de eficiência energética.....	91
Figura 11.2 – Evolução dos consumos e da produção de energia	92

Lista de Abreviaturas, Siglas e Símbolos

λ - Condutibilidade térmica [W/(m.°C)];

AQS – Águas Quentes Sanitárias;

AVAC – Aquecimento, Ventilação, e Ar Condicionado;

COP – *Coefficient of Performance* - Representa o rácio (quociente) entre a energia térmica (calor) fornecida por uma bomba de calor e a energia elétrica consumida pelo sistema;

EER – *Energy Efficiency Ratio* - É o valor da potência da unidade em arrefecimento dividida pela potência elétrica que a unidade necessita para a execução do trabalho;

EN – *European Norm*;

ENDS - Estratégia Nacional para o Desenvolvimento Sustentável;

EPDB - *Energy Performance of Buildings Directives*;

EU – União Europeia; *European Union*;

GEE - Gases responsáveis pelos efeitos de estufa;

IEE - Indicador de Eficiência Energética;

LED – *Light-Emitting Diode*;

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil;

NP – Norma Portuguesa;

nZEB - Edifício com necessidades quase nulas de energia; *Nearly Zero Energy Buildings*;

R – Resistência térmica superficial [m².°C/W];

RECS - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços;

SCE - Sistema Certificação Energética dos Edifícios;

Tep – Tonelada Equivalente de Petróleo;

U – Coeficiente de transmissão térmica [W/m².°C];

UTA – Unidades de Tratamento de Ar;

VRV, VRF - *Variable Refrigerant Flow* ou Fluxo de Refrigerante Variável;

XPS - espuma rígida de poliestireno extrudido.

1 - INTRODUÇÃO

1.1 – Enquadramento

Na Europa, os edifícios representam cerca de 40% do consumo de energia e cerca de 36% da emissão dos gases com efeito de estufa. Assim, é imprescindível melhorar o desempenho energético dos edifícios, reduzindo os seus consumos e recorrendo a energias renováveis. Só assim se poderá atingir as metas da União Europeia para 2020 e realizar os objetivos de longo prazo da estratégia climática enunciados no Roteiro de transição para economia hipocarbónica competitiva em 2050 (Comissão Europeia, 2013). Para o cumprimento destes objetivos, foi emitida a Diretiva 2010/31/UE, que legisla a melhoria do desempenho energético dos edifícios.

A Diretiva 2010/31/EU implementa medidas que visam o aumento da eficiência energética dos edifícios novos e dos existentes, que promovem a utilização de energia proveniente de fontes renováveis e que dão orientações concretas para a redução do consumo energético dos edifícios e, conseqüentemente, para a diminuição das emissões de gases de efeito de estufa. É priorizada a diminuição do consumo de energia, sobretudo na fase de utilização do edifício, promovendo “uma utilização prudente, racional e eficiente da energia” (Diretiva 2010/31/UE) que, conjugada com o aumento da produção de energia proveniente de fontes renováveis, permitirá cumprir os pressupostos acordados no Protocolo de Quioto, promovendo, ainda, a “promoção da segurança do aprovisionamento energético, na promoção dos avanços tecnológicos e na criação de oportunidades de emprego e desenvolvimento regional, especialmente nas zonas rurais” (Diretiva 2010/31/UE). Esta diretiva foi transposta para o direito nacional através do Decreto-Lei nº 118/2013, de 20 de Agosto de 2013, que indica que os edifícios que necessitam de ser intervencionados deverão melhorar enormemente o seu comportamento do ponto de vista energético para cumprimento da mais recente regulamentação sobre a matéria. Conseqüentemente, quer os processos construtivos, quer os materiais a utilizar, bem como os equipamentos, terão de ser adequadamente estudados, de modo a garantir que, num ciclo anual, o balanço energético de um edifício seja tendencialmente nulo. Adicionalmente aos aspetos anteriormente focados, dever-se-ão dotar os edifícios com fontes de energia renováveis, de modo a satisfazerem parte das suas necessidades energéticas.

Através da conceção e dos projetos integrados dos edifícios é possível reduzir até 80% dos seus custos, com reduzido ou nenhum custo adicional, considerando a vida útil do edifício (Atanasiu, 2011). O conceito de edifício com necessidades quase nulas de energia (NZEB) é aquele com elevado desempenho energético cuja produção de energia tem origem em fontes renováveis, no edifício ou nas proximidades, e cujo valor aproxima-se do seu consumo (Amado et al, 2015). Este constitui o objetivo

da União Europeia para os novos edifícios a construir a partir do ano 2020, ou do ano 2018, no caso de edifícios novos de entidades públicas.

Para se obter um edifício NZEB torna-se necessário minimizar os consumos energéticos através de várias vertentes, tais como: melhoria da envolvente do edifício, utilização de iluminação e equipamentos mais eficientes, racionalização dos consumos de AQS, otimização dos ganhos solares, utilização de sistemas de climatização com elevado rendimento, etc.

Tendo por base as referidas necessidades mínimas de energia, para que o edifício possa ser classificado como NZEB, posteriormente terá de se definir os sistemas de produção de energia renováveis, tais como coletores solares, painéis fotovoltaicos, geotermia, etc.

Neste sentido, a presente dissertação de mestrado constitui um estudo de caso de projeto para um hotel de 3 estrelas com 51 quartos, que se encontra em construção, para o transformar num edifício NZEB, com baixo consumo energético e com produção de energia que permita obter o balanço nulo de consumo energético anual.

A modulação e cálculos de necessidades e produções energéticas são obtidas recorrendo ao *software EnergyPlus*, que é uma ferramenta de simulação dinâmica do comportamento térmico e energético de edifícios, que se encontra validado de acordo com a norma ASHRAE 140 (Henninger, 2004), conforme requerido no RECS.

As especificidades e as condicionantes deste edifício permitiram refletir e enquadrar as estratégias destinadas a se atingir o objetivo de edifício NZEB.

1.2 – Objetivos e metodologia

O objetivo desta dissertação consiste em avaliar as implicações ao nível da conceção de um edifício para que este satisfaça as exigências NZEB. Nesse sentido, foi selecionado um hotel em fase de construção, por ser a tipologia de construção que recentemente apresenta maior dinâmica e por serem edifícios com elevados requisitos de conforto e de consumo de energia. Além disso, efetua-se o estudo do edifício implantado em ambiente urbano, onde os constrangimentos construtivos e os efeitos de sombras e de velocidades do vento são maiores do que nos edifícios isolados.

No percurso para se atingir o principal objetivo, foi seguida a seguinte metodologia:

1. Caracterizar detalhadamente o edifício objeto do estudo e a sua envolvente, com base em elementos de projeto e fichas de equipamentos;
2. Desenvolver o modelo do comportamento térmico e energético do edifício e validação do mesmo por comparação com estudos anteriores (SCE);
3. Identificação de boas práticas para este tipo de soluções e definição de pacotes de medidas de melhoria no sentido NZEB;
4. Avaliação numérica do impacto dos pacotes de medidas de melhoria;
5. Análise de resultados e identificação dos principais impactos da aplicação do conceito NZEB.

1.3 – Organização da dissertação

Na primeira parte do texto, o estado atual do conhecimento, faz-se uma revisão teórica dos temas relacionados com o trabalho efetuado e baseada numa recolha bibliográfica; na segunda parte do texto é feita toda a descrição do estudo das soluções implementadas e dos seus efeitos sobre o desempenho energético do edifício, assim como a apresentação e discussão de todos os resultados obtidos. O texto desta dissertação encontra-se, então, organizado em:

- Introdução – aborda-se o enquadramento do tema, assim como os objetivos que se pretendem atingir com este trabalho e a organização do texto da dissertação;
- Estado atual do conhecimento: descrição da situação atual do conceito e da necessidade dos edifícios NZEB e da nova legislação existente sobre racionalização dos consumos energéticos dos edifícios;
- Descrição do edifício em estudo e método de cálculo utilizado: descreve-se o edifício utilizado para o desenvolvimento desta dissertação e o *software* de cálculo energético a que se recorreu;
- Soluções desenvolvidas: desenvolvimento das diversas soluções de envolvente, de sistemas energéticos, de AVAC e de produção energética que permitem otimizar o consumo energético do edifício; são efetuados estudos simplificados de viabilidade financeira para algumas das soluções estudadas;
- Conclusões: resume-se das principais conclusões obtidas a partir do estudo realizado e que respondem aos objetivos propostos inicialmente.

2 - ESTADO ATUAL DO CONHECIMENTO

2.1 – Introdução

As sociedades têm apresentado uma crescente necessidade energética ao longo dos tempos. Com a Revolução Industrial, o desenvolvimento da produção de bens de consumo exigiu uma procura cada vez mais acentuada de petróleo, carvão e gás natural bem como de outros recursos naturais. Estas fontes de energia são consideradas recursos naturais não renováveis, porque a sua formação é bastante lenta em relação à escala temporal do Homem (BCSD, 2005). No século XX, existiu uma fase de transição ao nível económico, tecnológico e social das sociedades devido a uma explosão demográfica, a uma grande concentração industrial e a um crescimento económico com base no carbono e no consumo excessivo de recursos naturais que veio implicar um novo aceleração do consumo energético.

A mencionada explosão demográfica ocorreu na segunda metade do século XX, quando a população mundial fixava-se nos 2,5 mil milhões de habitantes. Assim, em apenas 50 anos, chegou-se aos 6 mil milhões de habitantes. Atualmente, a população mundial supera os 7,2 mil milhões de habitantes, prevê-se que no ano de 2025 atinja os 8,12 mil milhões de habitantes e, em meados do presente século, alcance o número de 9,6 mil milhões. Mais agravadas são as consequências deste enorme aumento populacional quando, acompanhado pelo desenvolvimento tecnológico, é sustentado numa lógica de crescimento economicista sem preocupações com as condições ambientais (Amado et al, 2015).

Ao nível global, o consumo de energia cresceu mais de 150 vezes nos últimos 150 anos e de forma particularmente intensa desde 1970. As fontes de energia primária mais consumidas são o petróleo, o gás, a biomassa, o carvão e, em último, as energias renováveis. Uma das consequências da utilização das quatro primeiras fontes é o aumento significativo das emissões de gases com impacto no efeito de estufa (dióxido de carbono, metano, vapor de água, óxido nitroso, entre outros).

O consumo de energia mundial encontra-se distribuído de forma desigual pela população mundial pois calcula-se que 20% desta consuma mais de 60% da energia global.

Assim, a partir da década de 70 do século XX, os problemas ambientais passam a fazer parte da agenda política internacional. O Relatório de Brundtland, elaborado pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, é publicado em 1987 e contém a agenda global para a mudança, baseada na formulação de estratégias para promover e assegurar um desenvolvimento sustentável.

O relatório de Brundtland aponta uma série de medidas que deveriam ser tomadas pelos países para promover o desenvolvimento sustentável. Entre elas contam-se:

- Limitação do crescimento populacional;
- Garantia de recursos básicos a longo prazo, tais como água, energia e alimentos;
- Preservação da biodiversidade e dos ecossistemas;

- Diminuição do consumo de energia e promoção do uso de fontes energéticas alternativas;
- Aumento da produção industrial dos países não-industrializados com base em tecnologias ecologicamente adaptadas;
- Controle da urbanização e articulação entre cidades e zonas rurais;
- Garantia das necessidades básicas às sociedades, tais como a educação, a saúde e a habitação condigna.

Em 11 de Dezembro de 1997, com a assinatura do Protocolo de Quioto (entrou em vigor em 16 de Fevereiro de 2005), foi acordado um calendário pelo qual os países-membros (principalmente os desenvolvidos) têm a obrigação de reduzir a emissão de gases do efeito estufa em, pelo menos, 5,2% em relação aos níveis de 1990 no período entre 2008 e 2012.

O Protocolo de Quioto foi importante para minorar as alterações climáticas ao impor metas aos países signatários para a redução da emissão dos gases responsáveis pelo efeito de estufa.

Foram definidas as seguintes ações:

- Reformar os setores de energia e transportes;
- Promover o uso de fontes energéticas renováveis;
- Eliminar mecanismos financeiros e de mercado inapropriados aos fins da Convenção;
- Limitar as emissões de metano na gestão de resíduos e dos sistemas energéticos;
- Proteger florestas e outros eliminadores de carbono.

Portugal atingiu emissões abaixo da meta definida (reduziu as emissões de gases em 27% em relação às emissões registadas em 1990) (Portal da Energia, 2016).

Em Portugal, foi elaborada a Estratégia Nacional para o Desenvolvimento Sustentável (ENDS 2015) que é um dos compromissos internacionais assumidos por Portugal na Conferência das Nações Unidas sobre Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro em 1992. Foi identificado um conjunto de condicionantes ao desenvolvimento sustentável no que respeita à dimensão ambiental:

- Ineficácia na gestão de resíduos;
- Património natural e biodiversidade em risco;
- Deficiente gestão dos recursos hídricos;
- Forte dependência energética;
- Elevados níveis de emissão de gases responsáveis pelos efeitos de estufa.

2.2 – Importância dos consumos energéticos nos edifícios

O consumo energético dos edifícios na Europa ronda os 40% dos consumos totais de energia e estão na base das principais emissões dos gases nocivos que afetam o meio ambiente, sendo os responsáveis por mais de 30% dessas emissões. O aquecimento e refrigeração de edifícios constituem a maior fonte de procura de energia na Europa.

Em Portugal, havendo menores necessidades de arrefecimento e, sobretudo, de aquecimento dos edifícios, os consumos dos edifícios representam menos de 30% da energia utilizada para consumo final. Note-se, pela observação da Figura 2.1, que o consumo energético em Portugal se distribui, de forma muito semelhante, entre os edifícios, a indústria e os transportes.

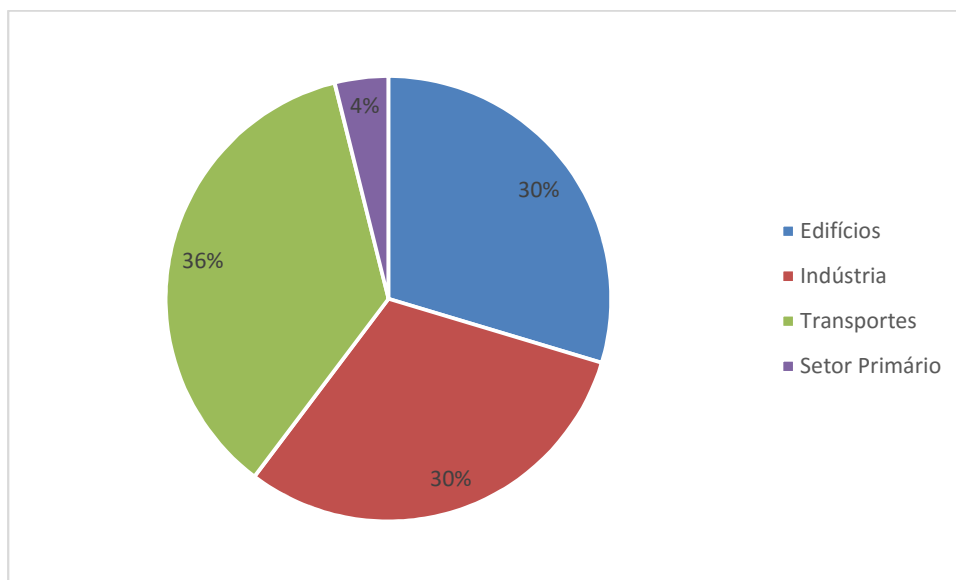


Figura 2.1 - Distribuição do consumo energético em Portugal (Bernardo, 2015)

Na UE, a principal fonte de energia utilizada para os edifícios é o gás natural (36% dos consumos), seguida da eletricidade (32%), enquanto em Portugal a maioria dos consumos são elétricos (55%), representando o gás natural apenas 10% do consumo da energia final nos edifícios.

Na Figura 2.2, representa-se a distribuição dos consumos de energia elétrica no setor de serviços, onde se pode observar a preponderância dos edifícios no setor.

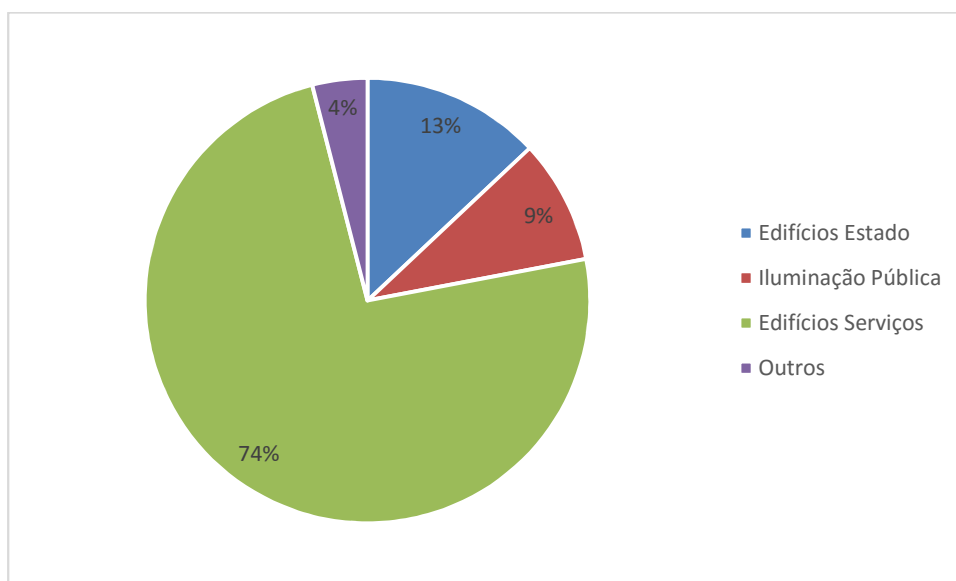


Figura 2.2 - Distribuição do consumo energia elétrica no setor dos serviços

Em Portugal, cerca de 75% dos edifícios existentes, públicos e privados, têm um desempenho energético abaixo dos requisitos da EPBD (*Energy Performance of Buildings Directives*).

O potencial de economia de energia nos edifícios é enorme, visto que mais de 50% do consumo pode ser reduzido através de medidas de eficiência energética. Esta redução do consumo energético traduz-se numa redução anual de quatrocentos milhões de toneladas de dióxido de carbono, quase a totalidade do compromisso da União Europeia no âmbito do protocolo de Quioto (Bernardo, 2015).

Em 2000, na conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente e Desenvolvimento, em Hanover, foram definidos os princípios relativos à criação de um modelo de construção sustentável com os seguintes principais aspetos:

- Adoção de soluções passivas, com base nas condições climáticas locais, de modo a evitar a utilização de soluções ativas, nomeadamente para aquecimento, arrefecimento e ventilação;
- Recurso a energias renováveis, com evidência para a energia solar, para a colmatação das necessidades humanas;
- Gestão do uso da água, desde o projeto, obra, utilização e manutenção. A utilização de águas pluviais e a reutilização de águas cinzentas tornam-se determinantes para a sustentabilidade.

Tendo em consideração o elevado consumo energético dos edifícios, a Diretiva de Eficiência Energética (Dir. 2012/27/EU) estabelece um quadro comum de medidas para a promoção da eficiência energética dessas infraestruturas. Assim, todos os Estados-membro da União Europeia devem estabelecer medidas a fim de utilizar a energia de forma mais eficiente e para promover edifícios de consumo quase nulo de energia.

Neste sentido, a Estratégia Europa 2020 define os seguintes objetivos a serem alcançados até 2020:

- 20% de redução de gases de efeito de estufa;
- 20% de peso das fontes de energia renováveis no consumo de energia final;
- 20% de redução do consumo de energia primária.

A Diretiva 2010/31/EU surgiu com o objetivo de melhorar o desempenho energético dos edifícios na UE, tendo em conta diversas condições climáticas e locais. Define requisitos mínimos e uma metodologia comum a utilizar pelos Estados-Membros. Abrange a energia utilizada para o aquecimento, a preparação de água quente, o arrefecimento, a ventilação e a iluminação.

De acordo com a metodologia de cálculo acima referida, cabe aos Estados-Membros estabelecer os requisitos mínimos de desempenho energético, devendo fazer distinção entre edifícios novos e edifícios existentes. Na construção de novos edifícios, estes requisitos devem ser cumpridos e, antes do início da construção, devem ser sujeitos a um estudo de viabilidade no que respeita a instalação de sistemas de fornecimento de energias renováveis, bombas de calor, redes urbanas ou coletivas de aquecimento/arrefecimento e sistemas de cogeração. Para os edifícios existentes que sejam sujeitos a reabilitação, deve ser melhorado o nível de desempenho energético, aplicável ao edifício ou a uma fração

autónoma do seu conjunto, de modo a se cumprirem os requisitos mínimos baseados na articulação entre as componentes técnicas, funcionais e económicas (Amado et al, 2015).

2.3 – Legislação nacional

O órgão responsável pela Gestão Nacional de Certificação Energética de Edifícios é a ADENE (Agencia para a Energia). A ADENE é uma instituição privada participada pelo Ministério da Economia e da Inovação e promove atividades de interesse público no domínio da Política Energética.

Em de Abril de 2006, foram publicados, em Diário da República, três diplomas que transpunham parcialmente para a ordem jurídica nacional a Diretiva n.º 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, relativa ao desempenho energético dos edifícios. Estes diplomas continham importantes alterações legislativas e dos hábitos de projeto no sector dos edifícios, tais como: aprovação da criação do Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (D.L. n.º 78/2006), que se responsabilizava pela aplicação dos regulamentos térmicos para edifícios; o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios (RSECE) (D.L. n.º 79/2006) e o Regulamento das Características do Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE) (D.L. n.º 80/2006). O objetivo destes diplomas era promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios na Comunidade Europeia, tendo em conta as condições climáticas externas e as condições locais, bem como as exigências em matéria de clima interior e a rentabilidade económica. Através destes diplomas foram estabelecidos requisitos em matéria de:

- Enquadramento geral para uma metodologia de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios;
- Aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos novos edifícios;
- Aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos grandes edifícios existentes que sejam sujeitos a importantes obras de renovação;
- Certificação energética dos edifícios;
- Inspeção regular de caldeiras e instalações de ar condicionado nos edifícios.

A transposição para o direito nacional da Diretiva 2010/31/EU do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Maio de 2010, que vem substituir a Diretiva n.º 2002/91/CE, permitiu melhorar a sistematização e o âmbito de aplicação do sistema de certificação energética e respetivos regulamentos, bem como de alinhar os requisitos nacionais às imposições explicitamente decorrentes da referida Diretiva. Em Portugal, a transposição desta Diretiva ocorre pelo Decreto-Lei n.º 118/2013, que introduz melhorias ao nível da sistematização e do âmbito ao incluir, num só diploma, o Sistema de Certificação Energética de Edifícios (SCE), o Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS), atendendo, simultaneamente, aos interesses inerentes à aplicabilidade integral e utilidade deste quadro legislativo, e aos interesses de simplificação e clareza na produção legislativa de carácter

predominantemente técnico (Amado et al, 2015). A referida Diretiva exige que os Estados-Membros garantam que, até 2020, os novos edifícios tenham necessidades quase nulas de energia. No caso dos edifícios do estado, esta obrigação deve ser antecipada para 2018, servindo, assim, de exemplo.

O REH define os requisitos para edifícios novos habitação ou edifícios de habitação sujeitos a grandes intervenções, de modo a otimizar o comportamento térmico e a eficiência dos sistemas técnicos e a reduzir o risco de condensações superficiais na envolvente. Também estabelece os parâmetros e as metodologias de caracterização do desempenho energético para todos os edifícios de habitação e para os seus sistemas técnicos. Por seu lado, o RECS veio estabelecer requisitos de caracterização do desempenho dos edifícios/frações de comércio e de serviços e dos seus sistemas técnicos.

2.4 – Conceito edifício NZEB

A União Europeia pretende uma redução drástica de emissões de gases de efeito de estufa: 80% até 2050 em comparação com os níveis de 1990. Os edifícios são a principal parcela dessas emissões. Atualmente, a velocidade que ocorre na construção de novos edifícios é superior à da desativação de edifícios antigos. Mais de um quarto dos edifícios que existirão em 2050 ainda estão por construir o que implica um contínuo aumento de consumo energético no setor dos edifícios. O consumo de energia continuará a aumentar até que os edifícios sejam concebidos para produzirem energia suficiente que compense as suas necessidades energéticas (Atanasiu, 2011).

Um edifício com necessidades energéticas quase nulas é aquele que apresenta um desempenho muito elevado, onde os seus gastos energéticos são cobertos por energia proveniente de fontes renováveis produzidas localmente ou nas suas proximidades (Diretiva Europeia 2010/31/UE, de 19 de Maio).

O Artº 9º desta Diretiva estabelece os pressupostos referentes aos edifícios NZEB cujos princípios mais importantes são:

- 1) *Os Estados-Membros asseguram que:*
 - a) *O mais tardar em 31 de Dezembro de 2020, todos os edifícios novos sejam edifícios com necessidades quase nulas de energia; e*
 - b) *Após 31 de Dezembro de 2018, os edifícios novos ocupados e detidos por autoridades públicas sejam edifícios com necessidades quase nulas de energia.*

Os Estados-Membros elaboram planos nacionais para aumentar o número de edifícios com necessidades quase nulas de energia. Os planos nacionais podem incluir objetivos diferenciados consoante a categoria dos edifícios em causa;

- 2) *Alem disso, os Estados-Membros, seguindo o exemplo do setor público, desenvolvem políticas e tomam medidas, como, por exemplo, o estabelecimento de objetivos, para incentivar a transformação de todos os edifícios remodelados em edifícios com*

necessidades quase nulas de energia, e informam a comissão nos planos nacionais a que se refere o nº 1.

- 3) *Os planos nacionais devem incluir, nomeadamente, os seguintes elementos:*
- a) *Uma descrição pormenorizada da forma como a definição dos edifícios com necessidades quase nulas de energia é aplicada na prática pelo Estado-Membro, que reflita as condições nacionais, regionais ou locais dos edifícios, e que inclua um indicador numérico da utilização de energia primária, expressa em kWh/m² por ano. Os fatores de energia primária aplicados para a determinação da utilização de energia primária podem basear-se em valores anuais médios a nível nacional ou regional, e podem ter em conta as normas europeias pertinentes;*
 - b) *Objetivos intermédios para melhorar o desempenho energético dos edifícios novos, até 2015, a fim de preparar a execução do disposto do nº 1;*
 - c) *Informações sobre as políticas e as medidas financeiras ou de outro tipo tomadas no contexto dos nº 1 e 2 para fomentar a criação de edifícios com necessidades quase nulas de energia, incluindo uma descrição pormenorizada dos requisitos e das medidas nacionais respeitantes à utilização de energia proveniente de fontes renováveis nos edifícios novos e nos edifícios existentes sujeitos a grandes renovações no contexto do nº 4 do Artigo 13º da Diretiva 2009/28/CE e dos Artigos 6º e 7º da presente Diretiva.*

Assim, os edifícios para terem necessidades quase nulas de energia ou os NZEB (*Net-Zero Energy Buildings*) devem ter as necessidades energéticas cobertas significativamente por fontes de energia renovável locais. Estes edifícios têm como princípio a sustentabilidade, produzindo energia para o próprio consumo de forma mais limpa. Deste modo, para se criar um edifício NZEB, é necessário seguir os seguintes principais critérios de orientação na fase de projeto:

- Reduzir os consumos energéticos;
- Recorrer a energias renováveis;
- Reduzir as associadas emissões de gases de efeito de estufa.

Consequentemente, é necessário considerar diversos fatores na conceção dos edifícios NZEB, tais como a orientação solar, as características locais e, acima de tudo, as soluções construtivas a adotar: vãos envidraçados, materiais, paredes, pavimentos, cobertura, entre outros (Amado et al, 2015).

Na origem do conceito ZEB está a ideia de que o edifício consegue suprir as suas necessidades energéticas através de fontes renováveis, de baixo custo, não poluentes e disponíveis localmente.

Um edifício ZEB utiliza, tradicionalmente, fontes de energia elétricas e de gás natural quando a sua produção própria não consegue colmatar a totalidade das suas necessidades energéticas. Quando a sua produção própria é superior ao consumo, o excesso de eletricidade é exportado para a rede. Utilizando a rede para o balanço energético, o excesso de produção pode ser utilizado posteriormente. Atingir o balanço nulo de energia sem a utilização da rede é bastante difícil pois as tecnologias de armazenamento de energia são limitadas. Como os edifícios que não se encontram ligados à rede pública

não conseguem exportar o seu excesso de produção para o receberem quando os consumos são elevados, a produção de energia por fontes renováveis tem de ser sobredimensionada, promovendo o seu desperdício (Torcellini & Crawley, 2006).

Para o recurso de produção de energia de fontes renováveis, deve ser dada prioridade às tecnologias que minimizem o impacto ambiental, que estejam disponíveis durante a vida útil do edifício, que estejam facilmente disponíveis e com elevada possibilidade de serem utilizadas recorrentemente. Assim, os sistemas fotovoltaicos e os sistemas solares de aquecimento de água são os mais utilizados para se atingir o balanço nulo de energia em edifícios.

As fontes de energia fora das fronteiras do edifício também podem ser consideradas no balanço energético para se atingir o NZEB. No entanto, deve ser dada preferência à produção de energia no interior das suas fronteiras pois, fora destas, não existe garantia que possam ser utilizadas durante a vida útil do edifício. Recorrer a um local vizinho para gerar eletricidade não é tão favorável como um sistema fotovoltaico instalado na cobertura do edifício pois aquele local poderá vir a ter outras utilidades futuras que impedirão a sua utilização para a produção de energia (Torcellini & Crawley, 2006). No entanto, considerar apenas as fontes de energia dentro das fronteiras do edifício, pode constituir uma barreira considerável à implementação de nZEBs (Atanasiu, 2011).

Quando as medidas de eficiência energética (isolamento e janelas de alto desempenho, ventilação com recuperação de calor, arquitetura de design sustentável, aparelhos de alta classe energética) são combinadas com fontes renováveis de energia no local, e o consumo de energia é igual (ou quase) à produção de energia, então o resultado pode ser referenciado como "*near net zero energy*", "*net zero-energy*" ou mesmo "*positive energy building*". Embora estes termos tenham significado diferente e sendo ainda frequentemente mal designados ou entendidos, o conceito de edifício de balanço nulo de energia (NZEB) pode ser definido como um edifício que, durante um ano é neutro, significando que ele disponibiliza tanta energia para rede como ele usa da rede (Aelenei et al, 2010).

Existem diferentes perspetivas de edifícios NZEB, que diferem na parte dos consumos energéticos dos edifícios que devem ser compensados por produção por energias renováveis (Torcellini & Crawley, 2006):

- *Nearly zero energy building* (nZEB): O consumo anual de energia primária tem de ser aproximado à produção de energia por fontes de energia renováveis.
- *Net zero energy building* (NZEB): O consumo anual de energia primária tem de ser igual ou menor que a produção de energia por fontes de energia renováveis.
- *Net Zero Site Energy*: A produção de energia anual com origem em fontes renováveis é, pelo menos, igual ao consumo energético, considerando o edifício apenas e excluindo as fontes das proximidades. As vantagens desta perspetiva são: facilidade de implementação; verificável por medições no local; visão conservadora para se atingir ZEB; os fatores externos não influenciam o desempenho; encoraja a tomada de medidas de eficiência energética. As desvantagens são:

necessita de mais exportação de energia renovável para equilibrar o consumo; não considera as diferenças não energéticas dos combustíveis utilizados no consumo energético.

- *Net Zero Source Energy*: A produção de energia anual é, pelo menos, igual ao consumo, considerando a fonte de energia primária utilizada na produção e no fornecimento de energia do edifício. Para calcular energia primária total, a energia importada e exportada é multiplicada por fatores de conversão de energia útil para energia primária. As vantagens desta perspectiva são: permite equacionar os diferentes tipos de combustíveis utilizados nos consumos de energia; modelo mais favorável para análises nos sistemas energéticos nacionais; perspectiva ZEB mais facilmente atingível. As desvantagens são: não considera as diferenças não energéticas dos combustíveis utilizados no consumo energético (emissões, disponibilidades, etc.); conversões de energia útil em energia primária não consideram as flutuações existentes; não considera todos os custos de energia.
- *Net Zero Energy Costs*: A quantidade de dinheiro anual que a rede paga pelo fornecimento de energia exportada pelo edifício é, pelo menos, igual à quantidade de dinheiro anual paga à rede pelo consumo de energia anual do edifício. As vantagens desta perspectiva são: facilidade de implementação e de medição; forças de mercado induzem um bom balanço entre os tipos de combustíveis utilizados; verificável através das faturas de energia dos edifícios. As desvantagens são: pode não refletir o impacto das necessidades da rede, ou seja, a produção própria pode ser mais vantajosa para reduzir as necessidades do que para exportar para a rede; necessita de acordos para a exportação de energia para a rede cujas taxas são muito flutuantes, dificultando a monitorização ao longo do tempo.
- *Net Zero Energy Emissions*: A quantidade anual produzida de energia renovável livre de emissões é, pelo menos, igual à quantidade anual de energia consumida através de fontes convencionais. As vantagens desta perspectiva são: melhor modelo para energia “limpa”; tem em consideração as diferenças não energéticas entre os combustíveis utilizados na produção de energia; perspectiva ZEB mais facilmente atingível. A desvantagem é a determinação dos corretos fatores de emissões.

Consoante é definida a perspectiva de NZEB dentro das referidas anteriormente, assim são feitas as escolhas e soluções de projeto.

Conforme se consideram diferentes intervalos temporais no fornecimento de energia renovável, pode haver influência significativa na emissão de gases de efeito de estufa quando a energias de fontes externas são utilizadas para compensar períodos de baixa produção de energia renovável. Deste modo, o período temporal utilizado no cálculo do balanço é importante.

De acordo com a EPBD, apenas se deve considerar a energia utilizada nos equipamentos de alguns sistemas dos edifícios, tais como: aquecimento; arrefecimento; ventilação; iluminação para os balanços nZEB. Apesar de não virem referidos na EPBD, devem ser considerados mais alguns equipamentos dos edifícios tais como os elevadores e os sistemas de bombagem (Atanasiu, 2011).

A EPBD também não faz referência à avaliação do ciclo de vida do edifício, considerando a sua construção e demolição final. Contudo, o consumo de energia durante as fases de construção e de demolição é mais importante que o consumo durante a fase de utilização do edifício (Atanasiu, 2011).

Para se atingir o objetivo de redução de emissões de CO₂ em 2050, os requisitos para os edifícios nZEB têm de incluir um limite de emissões de CO₂ de 3 kgCO₂/m².ano, aproximadamente (Atanasiu, 2011).

2.5 – Soluções construtivas de edifícios

Embora não haja nenhuma abordagem padrão para a conceção de NZEB (existem muitas combinações possíveis de construção de envolvente, de equipamentos e de sistemas de produção local de energia capazes de atingir o desempenho de balanço nulo de energia e, também, o limite de equilíbrio que define quais são os consumidores que estão incluídos no equilíbrio diferem conforme as abordagens conhecidas), existe algum consenso em que a conceção dos edifícios de energia nula deve ser iniciado pelo desenho sustentável passivo pois este nível de desempenho é alcançado como resultado de duas etapas fundamentais: (a) reduzir as necessidades de energia e (b) gerar eletricidade ou outras fontes de energia para obter valores suficientes para atingir o equilíbrio de energia desejada. Como se pode facilmente imaginar, as abordagens passivas desempenham um papel crucial no projeto NZEB pois afetam diretamente as cargas de aquecimento, de arrefecimento, de ventilação e de iluminação suportadas pelos sistemas mecânicos e elétricos dos edifícios e, indiretamente, o esforço para produção de energia renováveis (Aelenei et al, 2012).

As variáveis climáticas que mais influenciam os edifícios, em termos de transferência de calor, são a temperatura do ar exterior e a radiação solar.

A temperatura do ar determina o estabelecimento de fluxos energéticos do interior para o exterior. Os fluxos de maior valor ocorrem fundamentalmente no período de Inverno, tratando-se de perdas térmicas, promovendo a diminuição da temperatura interior, enquanto no Verão, o sentido do fluxo tem tendência a inverter-se, com ganhos térmicos no interior dos edifícios, tendendo a aumentar a temperatura no seu interior (Gonçalves & Graça, 2004).

A radiação solar tem um papel determinante no conforto térmico dos edifícios: no Inverno constitui uma fonte de calor significativa, contribuindo para o aumento da temperatura interior; no Verão é uma fonte de calor a evitar, precisamente para não elevar a temperatura interior nos edifícios. Assim, a disposição dos edifícios é fundamental para sustentar os efeitos da radiação solar:

- No Inverno pretende-se aproveitar ao máximo a sua incidência nos edifícios de modo a contribuir para o aumento da temperatura interior;
- Por outro lado, no Verão, a radiação solar direta no interior dos edifícios deve ser evitada para que não ocorra o aumento da temperatura nos espaços interiores.

Para se alcançar estes objetivos, na fase de projeto, deve ficar determinado o posicionamento adequado dos vãos face à orientação solar, visando os ganhos solares no Inverno através de fachadas orientadas a Sul. Não obstante, na estação de Verão pretende-se a minimização destes ganhos, nomeadamente nas fachadas orientadas a Este e a Oeste. Contudo, este último constrangimento pode ser facilmente resolvido através de mecanismos de sombreamento (Amado et al, 2015). A organização especial dos edifícios, consoante a orientação solar, é também uma estratégia importante no que respeita ao conforto interior dos ocupantes. Por exemplo, para edifícios de habitação, considera-se que as zonas de serviço (instalações sanitárias, salas de tratamento de roupas, arrecadações, garagens, entre outras), devem estar orientadas nos quadrantes com menores ganhos solares: Noroeste e Nordeste. Para as zonas de permanência (salas de estar, quartos, cozinhas, salas de trabalho), o conforto térmico observa-se como fundamental e, como tal, considera-se como orientações favoráveis os quadrantes Sul, Sudoeste e Este, de modo a obter maiores ganhos solares, nomeadamente para aquecimento e iluminação natural.

A radiação solar é uma das estratégias para os sistemas de aquecimento passivo, tal como anteriormente referido, contudo, esta pode causar inconvenientes quando incide diretamente nos vãos envidraçados e nas fachadas durante o período do Verão. O excesso de incidência solar pode provocar o desconforto térmico, obrigando os ocupantes a recorrerem a equipamentos de climatização artificial, gerando custos e emissões elevadas.

Como ao longo do ano a radiação solar apresenta diferentes orientações e valores, devem ser estudadas a forma do edifício e as obstruções à incidência de radiação solar com o intuito de criar soluções para a sua maximização no Inverno e minimização no Verão. Por conseguinte, na fase de projeto torna-se determinante analisar o percurso do sol ao longo do ano, assim como o conseqüente efeito da radiação solar sobre as fachadas. Esta análise deve suportar-se em diagramas solares que permitam determinar o modo como a radiação solar incide num compartimento e, face ao resultado, considerar medidas de proteção solar necessárias, tais como os efeitos sombreadores devidos ao próprio edifício e aos edifícios vizinhos, a árvores, à vegetação e à forma urbana do espaço circundante.

No caso do edifício em estudo na presente dissertação, a arquitetura já se encontrava definida, pelo que, em relação à radiação solar, apenas se estudaram soluções de mudar o tipo de envidraçado e de sombreamento das janelas.

2.6 – Sistemas e equipamentos com grande consumo de energia em edifícios

A melhoria da qualidade de vida das sociedades levou a que os ocupantes dos edifícios exigissem maiores condições de conforto, designadamente maior controlo das temperaturas interiores, utilização de maiores níveis de iluminação bem como o uso mais intensivo de equipamentos elétricos. Este desenvolvimento da sociedade em busca de maior conforto levou a que os sistemas de aquecimento, de arrefecimento e de iluminação se tornassem os principais responsáveis pelo consumo de energia em edifícios de serviços.

As características construtivas da envolvente dos edifícios têm um forte impacto no consumo de energia dos sistemas uma vez que atuam como regulador das cargas térmicas e da iluminação natural. Existe uma utilização mais intensiva de equipamentos o que também concorre para o aumento do consumo energético dos edifícios. Os processos de produção de águas quentes sanitárias necessitam de elevados consumos de energia, tornando-os, também, alvo de medidas de otimização quando se pretende a redução das necessidades energéticas nos edifícios.

Face à preponderância que os sistemas e equipamentos acima descritos têm no consumo energético dos edifícios, deve ser dada especial atenção aos procedimentos que podem contribuir para a redução dos seus consumos. Consequentemente, deverão ser devidamente acauteladas, em fase de projeto, medidas que promovam a otimização do seu funcionamento, tais como:

- Melhoria das suas características construtivas da envolvente dos edifícios, para reduzir as necessidades de aquecimento e de arrefecimento ambiente;
- Utilização de equipamentos energeticamente mais eficientes (p. ex. ascensores eficientes, televisores e monitores LCD, etc.);
- Recurso: ao aumento da iluminação natural sempre que possível; à utilização de sensores de presença e de reguladores de fluxo luminoso; ao uso de lâmpadas e de luminárias de alto desempenho energético (iluminação LED, lâmpadas T5, balastros eletrónicos em substituição dos balastros ferromagnéticos, etc.);
- Promover a diminuição do consumo de água quente, selecionando torneiras eficientes, com menor consumo de água, temporizadas ou eletrónicas e autoclismos com botão de descarga reduzida;
- Isolar convenientemente os depósitos de AQS, tubagens e acessórios;
- Utilizar equipamentos de aquecimento de água de alta eficiência, nomeadamente bombas de calor, caldeiras de condensação, etc.

2.7 – Energias renováveis em edifícios

A crise energética e do problema do aquecimento global promoveram o interesse pelas fontes renovadas de energia, ocorrido nas últimas décadas. Idealmente, uma fonte de energia sustentável é aquela que não é substancialmente comprometida pelo seu uso continuado, não emite gases poluentes em quantidades significativas, não dá lugar a outros problemas ambientais e não envolve a perpetuação de problemas graves de saúde (Castro, 2011).

A integração de energias renováveis em edifícios ocorre porque os níveis de desenvolvimento destes sistemas são técnica e economicamente viáveis e permitem a captação e transformação dessas energias em fontes de energia utilizáveis no funcionamento do edifício, contribuindo para a obtenção de edifícios energeticamente eficientes.

Atualmente existe um grande número de tecnologias que podem disponibilizar energia na forma de eletricidade, de aquecimento e de arrefecimento e soluções de transporte, de maneira sustentável.

De seguida, faz-se uma breve descrição de algumas das principais tecnologias associadas às energias renováveis disponíveis que, hoje em dia, são aplicáveis na produção de energia em edifícios.

Energia Solar

A energia solar é a energia disponível em maior quantidade na Terra, é gratuita, não é poluente e não produz resíduos.

Em Portugal, existe uma das maiores insolações solares da Europa, o que demonstra o elevado potencial para o aproveitamento desta energia. A Figura 2.3 evidencia este fato. Portugal Continental tem cerca de 2.500 horas anuais de sol (Amado et al, 2015).

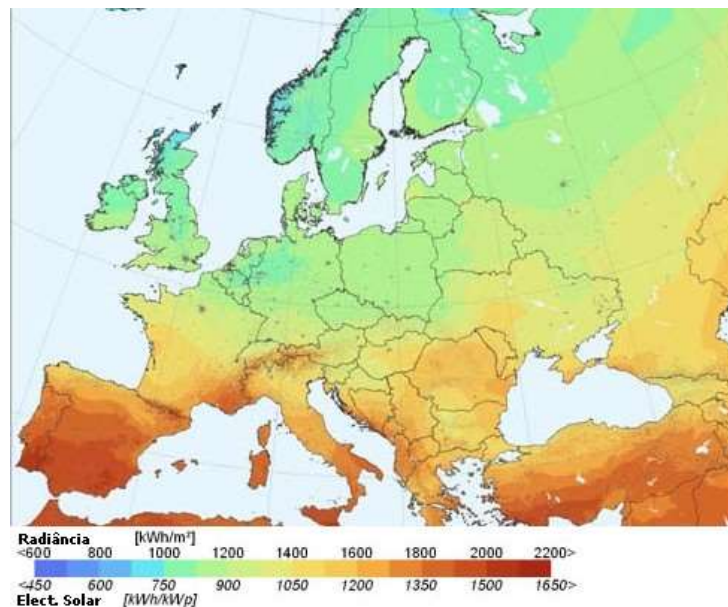


Figura 2.3 – Insolação média anual (European Communities, 2006)

A energia associada à radiação solar pode ser convertida em energia elétrica e em energia térmica. Na conversão em energia elétrica, usam-se painéis fotovoltaicos, que convertem a radiação solar em energia elétrica, por exemplo, através de células de silício que, depois de adequadamente tratado, tem a propriedade de libertar eletrões quando é exposto à radiação solar. O rendimento global da conversão é da ordem de 15 a 20%.

Quando se pretende converter a radiação solar em energia térmica, utilizam-se sistemas solares térmicos que funcionam da seguinte forma: a radiação solar atinge um coletor solar, de vidro, para provocar o efeito de estufa, aquecendo um fluido térmico; um permutador de calor transmite o calor armazenado no fluido térmico para a água de consumo (Castro, 2011).

Energia Eólica

Tal como a energia solar, a energia eólica é, também, uma energia gratuita, não polui nem produz resíduos. No entanto, os deslocamentos de ar necessários para o funcionamento dos geradores eólicos não são constantes nem facilmente previsíveis, o que se reflete na produção de energia elétrica. Os aerogeradores têm as desvantagens de produzirem algum ruído e impacto paisagístico.

A conversão da energia eólica dá-se quando a energia cinética associada ao ar em movimento faz deslocar o rotor do aerogerador, cuja energia mecânica é, por seu lado, convertida em energia elétrica através de um gerador elétrico. Nos geradores eólicos modernos, o rendimento da conversão atinge um máximo próximo de 50% (Castro, 2011).

Energia Geotérmica

A energia geotérmica é a energia térmica presente do interior da Terra. A terra possui uma elevada inércia térmica, pelo que acumula a energia solar sob a forma térmica. A temperatura aumenta cerca de 30°C por cada quilómetro de profundidade e, a cerca de 5 metros da superfície, a temperatura é de aproximadamente 15 °C, mantendo-se constante ao longo do ano. Com estas temperaturas, pode-se aproveitar esta energia constante para o aquecimento de águas quentes sanitárias e para a climatização. Esta fonte de energia não é poluente.

O calor proveniente do interior da Terra pode ser usado diretamente, ou pode ser usado em bombas de calor geotérmicas: no Verão, a bomba de calor retira o calor do interior do edifício e devolve-o ao subsolo; no Inverno, efetua o processo inverso, pelo que é possível obter frio no Verão e calor no Inverno (Castro, 2011).

Bioenergia

Bioenergia é o nome genérico para designar a biomassa e os biocombustíveis que permitem a produção de eletricidade, de aquecimento e de arrefecimento e que também é utilizado no sector dos transportes. A biomassa é a energia química existente na fração biodegradável de produtos e resíduos da agricultura, da floresta, das indústrias e dos resíduos urbanos suscetíveis de aproveitamento energético. Uma das vantagens desta fonte de energia é o facto de os resíduos que constituem a biomassa serem eliminados, do combustível se tornar mais barato e de a procura de combustíveis fósseis diminuir. Contudo, ao contrário das fontes de energia renováveis anteriormente referidas, os biocombustíveis produzem gases com efeito de estufa.

No processo de obtenção de energia elétrica, a biomassa é queimada, tal como um combustível fóssil, para a produção de vapor. Quando a potência instalada é relativamente modesta e existe necessidade de calor para uso externo, é frequentemente usado um processo combinado de produção de eletricidade e calor, designado por cogeração (Castro, 2011).

2.8 – Ferramenta de cálculo *EnergyPlus*

Os programas informáticos de simulação de energia são cada vez mais utilizados para análise do desempenho energético de edifícios e do conforto térmico dos ocupantes. Hoje em dia, existem muitos programas de simulação com interfaces de utilizador e com motores de simulação diferentes que são capazes dessas análises de desempenho. A troca de dados, fiabilidade e interfaces simples, de fácil utilização, são os principais aspetos a considerar na escolha dessas ferramentas.

O *EnergyPlus* é um programa informático complexo, desenvolvido com o intuito de facilitar a compreensão do comportamento térmico dos edifícios e do consumo energético que lhes está associado. Faz cálculos com intervalos inferiores a uma hora (é possível definir os intervalos de tempo conforme a precisão pretendida, mas com prejuízo do tempo de cálculo) e integra o desempenho dinâmico do sistema com a carga em todo o edifício para a determinação dos equilíbrios de energia e, assim, proporcionar resultados mais precisos de simulação.

O *EnergyPlus* permite a definição da geometria por zonas térmicas. O cálculo das necessidades energéticas de um dado edifício é executado pelo *EnergyPlus* a partir dos dados inseridos pelo utilizador (*inputs*) relativos à geometria, materiais da envolvente, sistemas e regimes de climatização, ficheiro de dados climáticos do local de implantação, gerando o balanço energético com recurso aos diferentes módulos que compõem o programa. Esta ferramenta baseia-se numa metodologia de cálculo dinâmico e, por esta razão, permite uma avaliação do comportamento térmico bastante rigorosa, pois podem ser empregues bastantes parâmetros que estão mais perto da realidade do que aqueles que existem em simulações estáticas ou dinâmicas simplificadas.

Resumidamente, a estrutura de funcionamento do *EnergyPlus* pode ser ilustrada pela Figura 2.4.

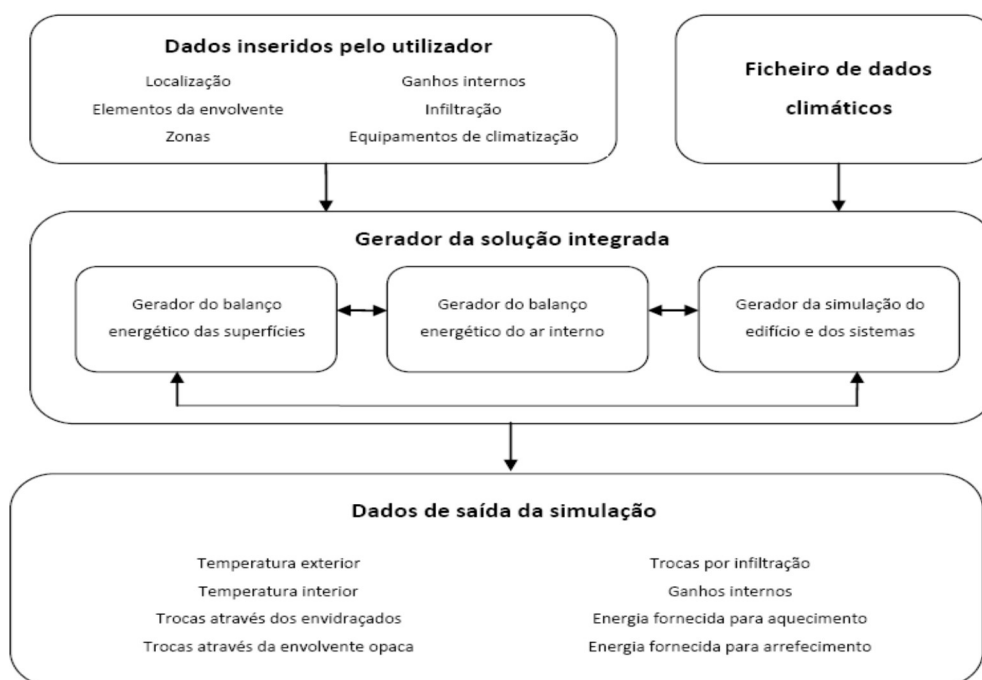


Figura 2.4 – Diagrama de processos do *EnergyPlus*

3 - CASO DE ESTUDO

3.1 – Caracterização geral

O edifício em estudo é um hotel de 3 estrelas, com 51 quartos, localizado em Lisboa cujas principais plantas, cortes, alçados, áreas e volumetrias de compartimentos do edifício encontram-se representadas no Anexo I. É constituído por 10 pisos, com a seguinte distribuição espaço-funcional:

- Piso -1: Balneários, central de bombagem, armazéns, WCs, cozinha e sala de pessoal, rouparia, compartimento de RSU e posto de transformação.
- Piso 0: Sala de pequenos-almoços, *lobby*, bar e receção e 2 zonas administrativas.
- Pisos 1 a 8: Quartos. Os pisos 1, 2, 4, 5 e 7 têm 7 quartos, os pisos 3 e 6 têm 6 quartos e o piso 8 tem 4 quartos.

As áreas técnicas são localizadas próximas dos espaços a servir (pisos -1, 3 e 6) e na cobertura. O edifício tem fachadas viradas a Nascente e Poente, tendo a fachada principal orientada a Nascente.

A localização é a seguinte:

Quadro 3.1 – Localização do hotel

Localização	Cidade	Lisboa
	Altitude	71 m
	Tipo de terreno	Cidade

As áreas e volumetrias gerais do edifício em estudo são referidas no Quadro 3.2.

Quadro 3.2 – Áreas e volumetria

Área útil [m ²]	1.356
Área Climatizada [m ²]	1.018
Área não climatizada [m ²]	330
Volumetria útil [m ³]	4.673

Os principais compartimentos têm as seguintes áreas:

- Quartos: entre 12 a 19 m²;
- Cozinha, copa suja e sala do pessoal: 28 m²;
- Compartimento RSU: 21 m²;
- Sala de pequenos-almoços, lobby e receção: 118 m².

O projeto de AVAC é de 2015 e tem pré-certificado energético com classificação energética de

B-.

3.2 – Desenvolvimento do modelo do caso de estudo

Para a modulação do edifício em estudo, introduziram-se os seguintes parâmetros que definem as características dos cálculos que são efetuados em todas as etapas desta dissertação:

- Versão utilizada: 8.5;
- Tipo de terreno: Cidade;
- Tolerância de convergência de cargas: 0,05;
- Tolerância de convergência de temperatura: 0,02;
- Número máximo/mínimo de *Warmup Days*: 6 / 25;
- Frequência de cálculo de sombreamento: 20 em 20 dias;
- Intervalo de tempo de simulação: 6 (simulação de 10 em 10 minutos).

Optou-se por se fazer uma modelação detalhada do edifício para se obter elevada precisão, considerando uma zona independente por cada compartimento, *courette*, caixa de elevador, etc. Assim, as principais quantidades de dados introduzidos na modelação são as seguintes:

- Materiais/vidros: 22;
- Elementos de construção: 13;
- Zonas: 100;
- Paredes, coberturas e pavimentos: 808;
- Vãos envidraçados: 116;
- Paredes interiores: 53;
- Zonas climatizadas: 59.

No anexo III representa-se graficamente a modulação obtida com o *EnergyPlus*.

4 - ANÁLISE PRELIMINAR DE DESEMPENHO ENERGÉTICO

4.1 – Qualidade térmica da envolvente

A Portaria 349-D/2013 estabelece os requisitos de conceção relativos à qualidade térmica da envolvente e à eficiência dos sistemas técnicos dos edifícios novos, dos edifícios sujeitos a grande intervenção e dos edifícios existentes. Esta Portaria tem como anexo o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços, de ora em diante designado por RECS. Este regulamento impõe uma qualidade mínima da envolvente dos edifícios bem como define valores de referência para as características dos materiais e dos processos utilizados nessa mesma envolvente, por forma a permitir calcular a classificação energética do edifício. Os valores admissíveis e de referência são determinados consoante a localização do edifício e conforme as zonas climáticas onde se implanta.

Para o edifício em estudo, as zonas climáticas e os valores máximos admissíveis a considerar são os seguintes:

- Zona climática:
 - Estação de aquecimento: II;
 - Estação de arrefecimento: V3;
- Valores de coeficiente de transmissão térmica máximos admissíveis:
 - Elementos opacos verticais: 1,75 W/m²°C;
 - Elementos opacos horizontais: 1,25 W/m²°C.
- Fator solar máximo admissível de vãos envidraçados:
 - $g_{Tmáx}$: 0,50.

Para o cálculo do valor do Indicador de Eficiência Energética de Referência, IEE_{ref} , utilizam-se os coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência que, no caso do presente edifício, são aplicáveis os seguintes:

- Valores de coeficiente de transmissão térmica de referência:
 - Elementos opacos verticais exteriores ou interiores: 0,70 W/m²°C;
 - Elementos opacos horizontais exteriores ou interiores: 0,50 W/m²°C;
 - Vãos envidraçados exteriores: 4,30 W/m²°C.
- Fator solar de vãos envidraçados de referência:
 - g_{Tref} : 0,15.

Os coeficientes de transmissão térmica dos diversos materiais constituintes dos elementos da envolvente são retirados do documento “Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios” do LNEC.

O valor dos coeficientes de transmissão térmica de cada elemento da envolvente é calculado através da seguinte expressão:

$$U = \frac{1}{R_t} [W/(m^2 \cdot ^\circ C)]$$

Com a resistência térmica sendo definida por:

$$R_t = R_{si} + \sum_{i=1}^n R_i + R_{se} [(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$$

Em que:

- R_t - Resistência térmica total do elemento construtivo;
- R_{si} - Resistência térmica superficial interior;
- R_i - Resistência térmica da camada i do elemento construtivo;
- R_{se} - Resistência térmica superficial exterior.

A envolvente do hotel e dos diversos espaços é constituída pelas paredes, pavimentos, coberturas e envidraçados referidos no Anexo II.

Para os vãos envidraçados são considerados sombreamentos interiores de média reflexão e transmissão, segundo modelo tipo fornecido pelo *EnergyPlus*.

Resume-se, no Quadro 4.1, os valores dos coeficientes de transmissão térmica calculados, comparando-os com os valores máximos admissíveis e com os valores de referência inscritos no RECS:

Quadro 4.1 – Resumo dos coeficientes de transmissão térmica

Elemento opaco ou vão envidraçado	$U_{solução}$ [W/m².°C]	$U_{máx}$ [W/m².°C]	U_{ref} [W/m².°C]	Observações
Paredes exteriores – PE1	0,33	1,75	0,70	Cumpre $U_{máx}$ e U_{ref}
Parede interior – PENU1	0,96	1,75	0,70	Cumpre $U_{máx}$
Parede em contato com espaço não útil - Courette – PENU2	0,43	1,75	0,70	Cumpre $U_{máx}$ e U_{ref}
Parede em contato com espaço não útil – Ed. Adjacente – PENU3	0,44	1,75	0,70	Cumpre $U_{máx}$ e U_{ref}
Cobertura Exterior (Piso 0 e piso 7)	1,00	1,25	0,50	Cumpre $U_{máx}$
Cobertura Exterior (Piso 8)	1,03	1,25	0,50	Cumpre $U_{máx}$
Pavimento exterior	0,79	1,25	0,50	Cumpre $U_{máx}$
Parede em contato com o solo	0,46	1,75	0,70	Cumpre $U_{máx}$ e U_{ref}
Pavimento em contato com o solo	1,96	1,25	0,50	Não cumpre $U_{máx}$
Paredes interior alvenaria	2,38	1,75	0,70	Não cumpre $U_{máx}$.
Paredes interior madeira	2,50	---	---	NA
Pavimento escada	3,85	---	---	NA
Vãos envidraçados	1,70	---	4,30	Cumpre U_{ref}

Note-se que os seguintes elementos não cumprem os coeficientes de transmissão térmica máximos admissíveis. No entanto, existe justificação para este ultrapassar do valor máximo:

- Pavimento em contato com o solo: Será verificado, posteriormente nesta dissertação, que diminuindo o valor de U deste pavimento, aumenta-se o consumo energético do edifício.
- Paredes interior alvenaria: Estas paredes localizam-se no piso -1, onde não existe climatização, pelo que o elevado valor de U não introduz aumento de consumo de energia.

4.2 – Perfis de utilização e cargas internas

As cargas internas, as densidades de equipamentos, de iluminação e de equipamentos específicos inicialmente consideradas, retiradas do projeto de AVAC, são as descritas no Quadro 4.2.

Quadro 4.2 – Cargas internas

Local	Atividade	Carga Térmica - Ocupação		Carga Térmica Equipamentos	Carga Térmica Iluminação	Carga Térmica Outros	
		Sensível	Latente			Sensível	Latente
		[W]	[W]			[W/m ²]	[W]
Quartos	Sono	65	30	10	10	0	0
Copas	Sedentária	80	80	25	10	500	250
Zonas Administrativas	Sedentária	75	55	15	10	0	0
Sala Pequeno-almoço	Sedentária	75	55	10	10	1000	500
Bar e Recepção	Moderada	75	55	10	10	500	250
Sala do Pessoal	Sedentária	75	55	10	10	500	250
Compartimento RSU	---			50	10	1000	750

Para a atividade de sono, optou-se por considerar 72W por ser a indicação do “*The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output*”.

Os perfis de ocupação, de iluminação e de equipamentos utilizados para a simulação são os descritos para hotéis de 3 ou menos estrelas no RSECE do DL 79/2006.

Os perfis de iluminação e de utilização dos equipamentos, conforme as estações do ano, são representados nas Figuras 4.1 e 4.2.

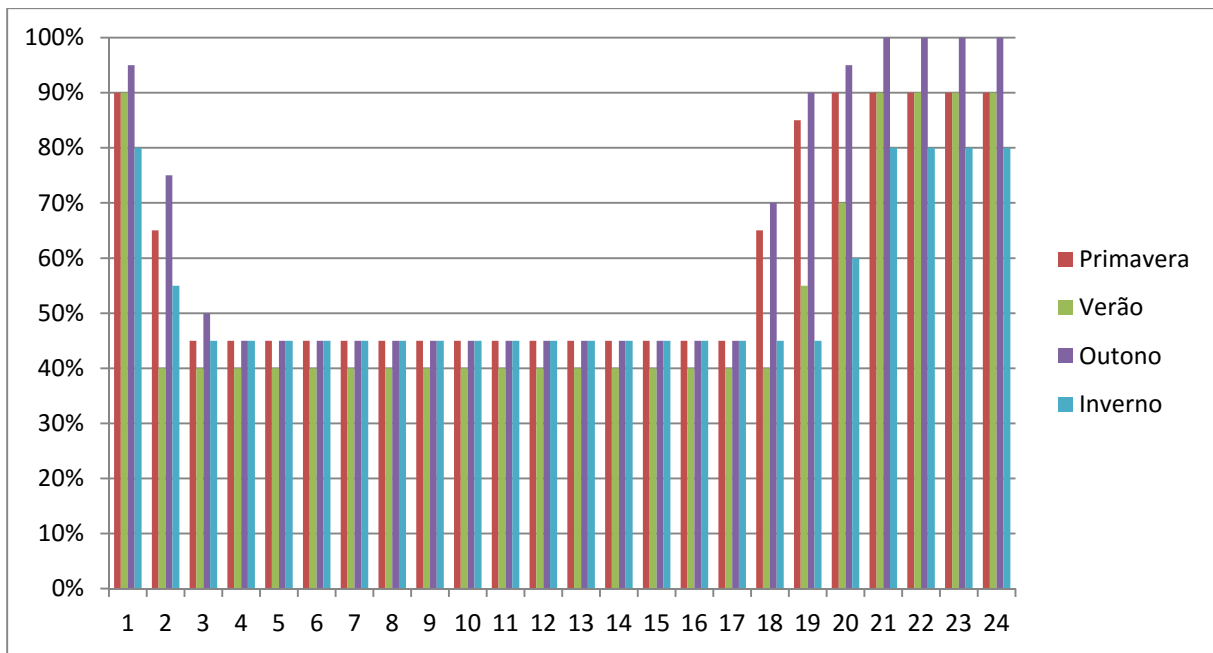


Figura 4.1 – Perfil da iluminação

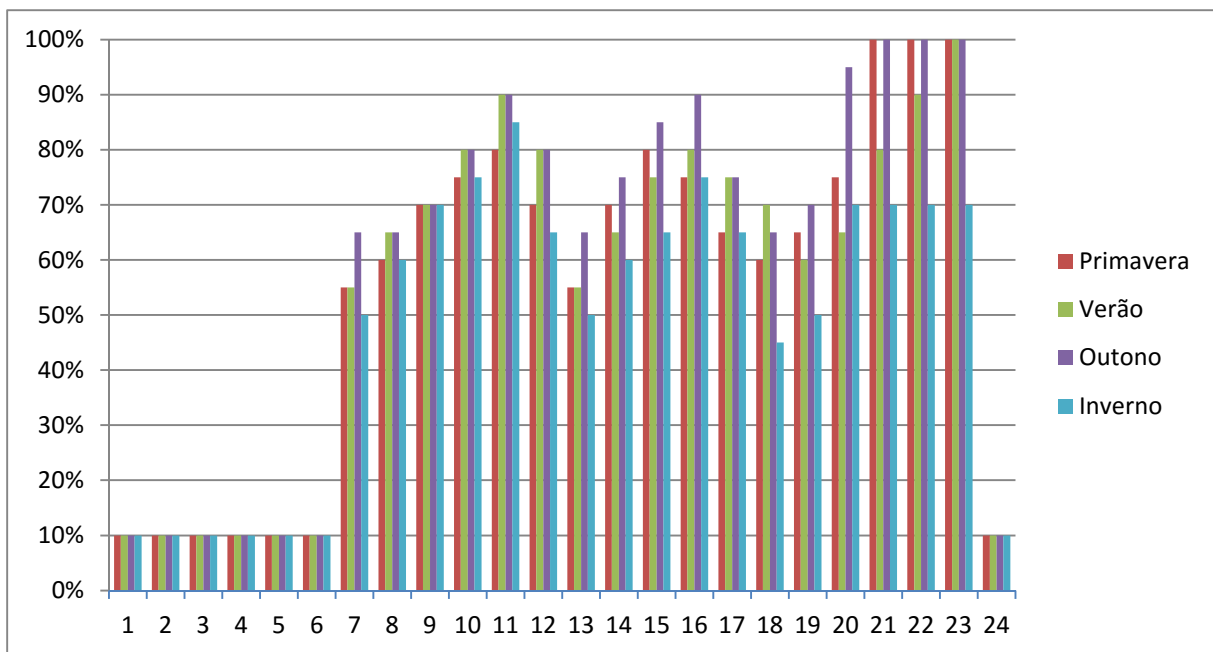


Figura 4.2 – Perfil dos equipamentos

4.3 – Ocupação

A ocupação considerada é retirada do projeto de AVAC, e descrita no Quadro 4.3.

Quadro 4.3 – Ocupação

Local	Atividade	Ocupação (pessoas)
Quartos	Sono	2
Copas	Sedentária	0
Zonas Administrativas	Sedentária	2
Sala Pequeno-almoço	Sedentária	25
Bar e Recepção	Moderada	4
Sala do Pessoal	Sedentária	6
Rouparia	Sedentária	2
Compartimento RSU	---	0

O perfil considerado, extraído do DL 79/2006, é representado na Figura 4.3.

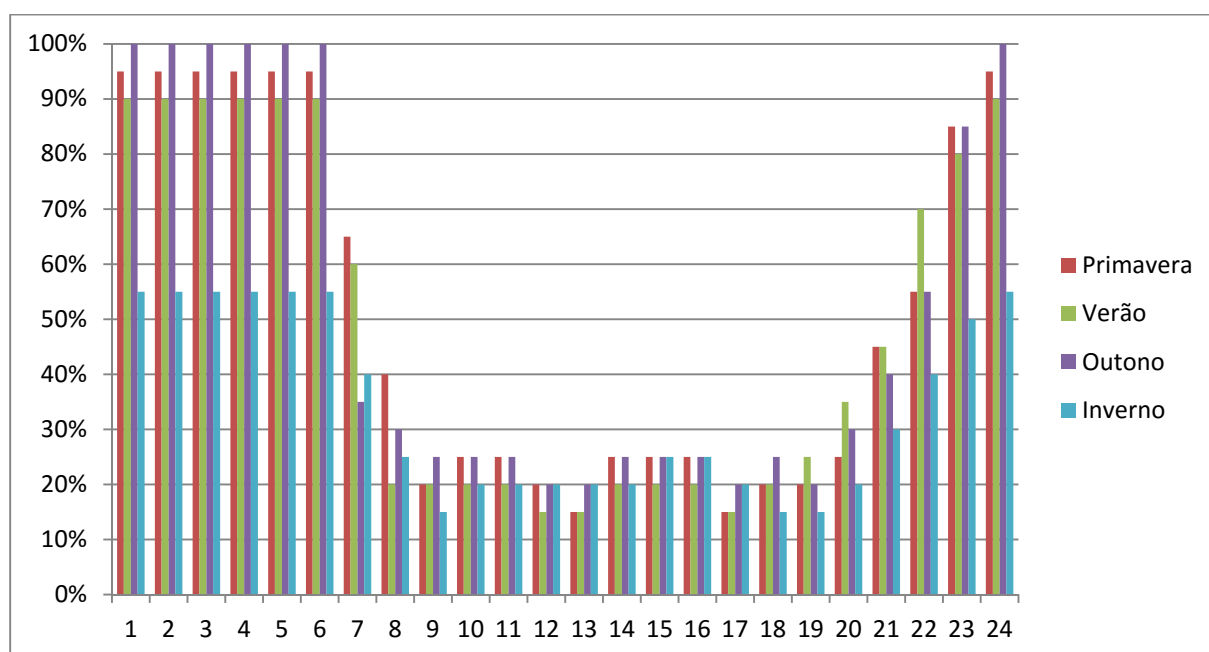


Figura 4.3 – Perfil da ocupação

4.4 – Sistema de climatização

Considera-se que o sistema de climatização do projeto original recorre a sistemas VRV com unidades interiores individuais por cada compartimento climatizado com COP e EER de 3,0. Estes não são os valores reais dos equipamentos efetivamente selecionados no projeto mas optou-se por aqueles

valores para se melhor poder aferir a preponderância que a seleção de equipamentos de climatização com elevada eficiência pode ter em relação a outros menos eficientes.

O sistema de climatização utilizado na modelação inicial é o *Ideal Loads*, que representa um equipamento simbólico, sem limite de potência.

As temperaturas de *setpoint* consideradas para os espaços climatizados são:

- Zonas climatizadas:
 - Aquecimento: 20°C;
 - Arrefecimento: 25°C;
- Compartmento de RSU:
 - Apenas arrefecimento: 18°C.

4.5 – Caudais de ar novo e infiltração

Os caudais de ar novo considerados são os indicados no projeto de AVAC, que respeitam as exigências regulamentares, sendo ligeiramente superiores a estas em algumas situações. A solução de ventilação prevista recorre a ventiladores com filtros.

Adicionalmente, também foram consideradas 0,6 renovações por hora de caudal de ar de infiltração, conforme referência do RCCTE de 2006, que descrevem as entradas de ar pela caixilharia, portas, etc.

4.6 – Águas quentes sanitárias

Segundo o *Manual dos Sistemas Prediais de Distribuição e Drenagem de Aguas* do LNEC, podem-se prever os seguintes consumos de água quente:

- Hotéis de 3 estrelas: 130 a 140 litros a 60°C;
- Total: $51 \times 130 = 6.630$ l de água a 60°C.

Note-se que este manual refere que os valores são orientativos e são dependentes do nível social das populações localizados na zona do edifício. Por sua vez, estes dados são baseados em publicação francesa de 1990, pelo que podem ser considerados como tendo alguma desatualização.

Consequentemente, são considerados os consumos de águas quentes sanitárias, retirados do projeto de AVAC do edifício, e complementados com consumos de funcionários e pequenos-almoços, referidos no Quadro 4.4.

Assim, obtém-se um consumo diário de 4.410 l de água a 60°C. Considerando que a água fria é fornecida ao edifício a 15°C, para se obter água a 40°C, existe um consumo de água de 10.023 l de água diários. O consumo anual é de 3.658 m³ de água a 40°C.

Quadro 4.4 – Consumo AQS a 60°C

Local	Quantidade	Consumo unitário [l/dia]	Consumo total [l/dia]
Quartos	51	75	3.825
Pequenos-almoços	60	5	300
Duches funcionários	19	15	285
Total			4.410

Os valores absolutos acima considerados são calculados para a ocupação a 100%. Estes valores têm de ser afetados pela ocupação existente em cada estação.

Uma vez que o consumo de água não é constante ao longo do dia, havendo picos de utilização, recorre-se à publicação “*Monitoring and modelling hot water consumption in hotel for solar thermal water heating system optimization*” que descreve perfis de consumo em vários hotéis. Recorre-se à situação mais semelhante, que apresenta o perfil da Figura 4.4.

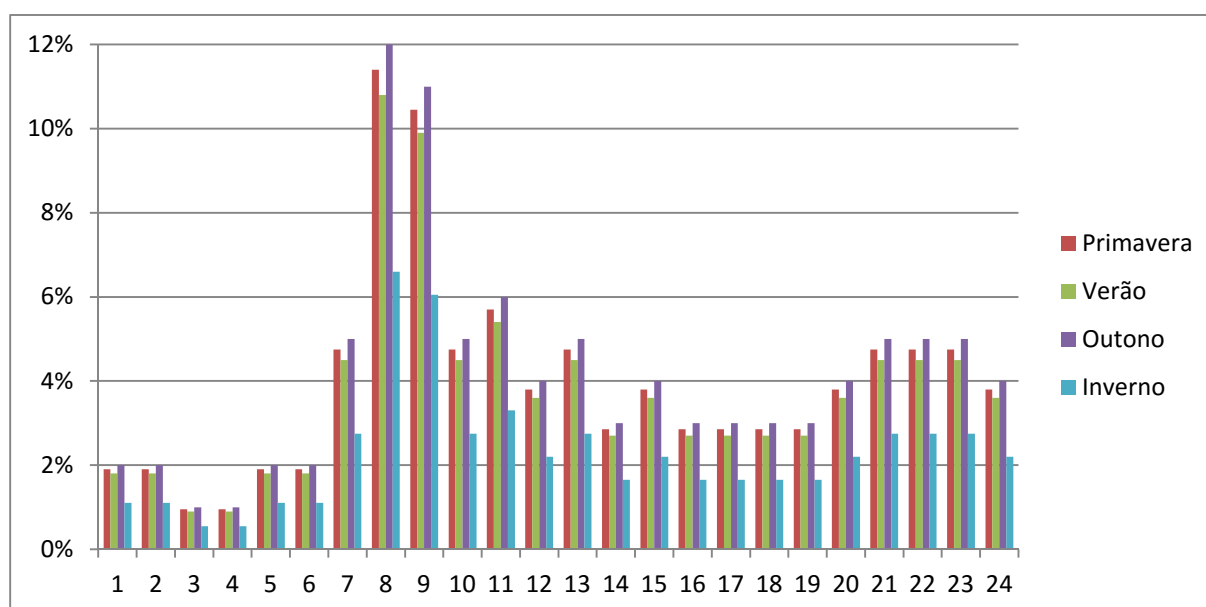


Figura 4.4 – Perfil de consumo de AQS

Os cálculos para a obtenção dos caudais de consumo são referidos no Quadro 4.5.

Quadro 4.5 – Caudais de consumo de AQS

	Qtd	Unit. 60°C [l]	Total 60°C [l]	Unit. 40°C [l]	Total 40°C [l]	Consumo [m³/s]
Quartos	51	75	3 825	170	8 693	4,735E-05
Pequenos-Almoços	60	5	300	11	682	1,894E-04
Funcionários Fem.	11	15	165	34	375	1,042E-04
Funcionários Masc.	8	15	120	34	273	7,576E-05
Total dia			4 410		10 023	
Total Ano			1 609 650		3 658 295	
Total Ano Projeto			1 368 203		3 109 551	

O consumo projetado de água a 40°C fica, então, a 3.109 m³ por ano.

Assume-se que o projeto de AVAC, para o aquecimento de água, recorre a sistemas de bomba de calor com COP de cerca de 3.

4.7 – Avaliação das necessidades energéticas

Neste capítulo define-se o ponto de partida das necessidades energéticas com a solução do projeto original. Servirá como termo de comparação com os resultados obtidos com as soluções definidas nos capítulos seguintes.

Dos resultados obtidos com a simulação efetuada com o *Energyplus*, constata-se que os valores são próximos dos apresentados no projeto de AVAC, que recorreu ao *software* HAP 4.80 da Carrier.

As necessidades energéticas definidas pelo *EnergyPlus* são as indicadas no Quadro 4.6 e na Figura 4.5.

Quadro 4.6 – Necessidades totais com *Ideal Loads*

Necessidade	Energia [kW.h]	Eletricidade [kW.h]	Percentagem
Aquecimento (COP = 3,0)	26.103	8.701	4%
Arrefecimento (EER = 3,0)	90.507	30.169	13%
Iluminação	69.661	69.661	31%
Equipamento	61.532	61.532	27%
Elevadores	13.140	13.140	6%
Ventilação	12.802	12.802	6%
Aquecimento água (COP = 2,8)	90.735	30.245	13%
Usos finais - Total	364.480	226.250	100%

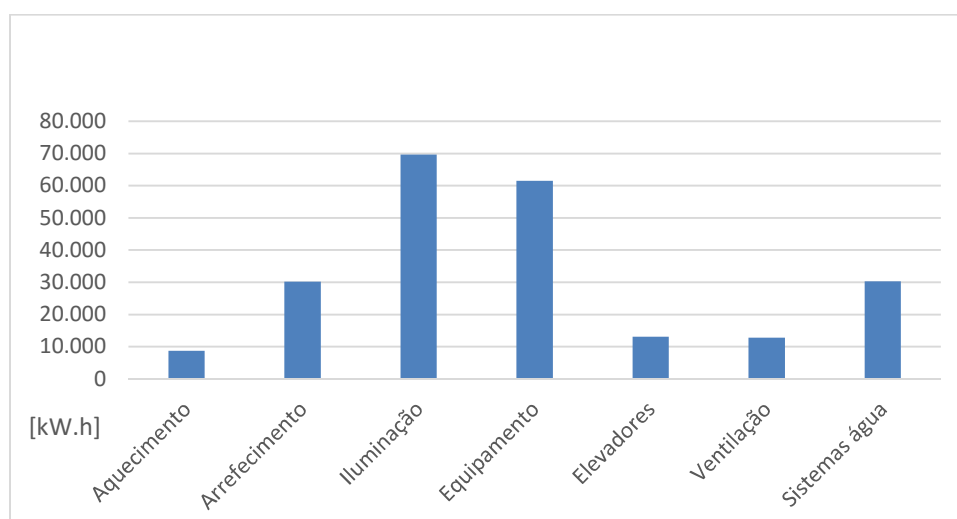


Figura 4.5 – Necessidades totais com *Ideal Loads*

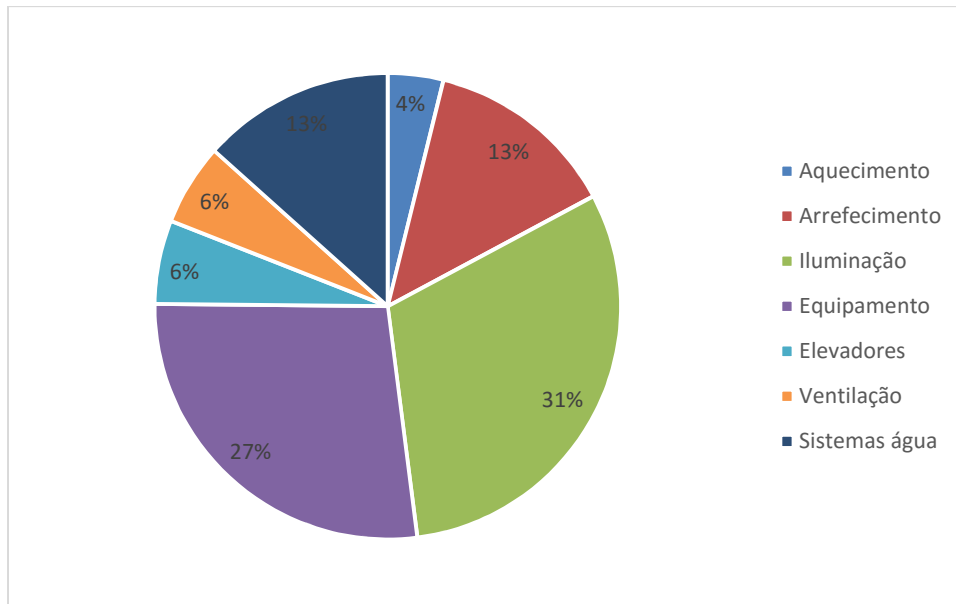


Figura 4.6 – Percentagens de necessidades com Ideal Loads

Na Figura 4.6, pode-se observar que existem necessidades significativas, que têm as seguintes origens:

- Aquecimento AQS: Existe um elevado consumo de água cuja temperatura se tem de elevar de 15 a 60°C;
- Arrefecimento: Devido a haver muitas cargas térmicas a dissipar para as zonas (iluminação e equipamentos), é necessário um elevado consumo de energia para o arrefecimento;
- Iluminação: A iluminação considerada no projeto de AVAC indicia ter baixa eficiência, promovendo muitos consumos de eletricidade para se obter os níveis de iluminação requeridos;
- Equipamentos: Por critério de projeto, considerou-se uma carga muito elevada de equipamentos elétricos em cada zona, contribuindo para o grande valor desta parcela, concorrendo indiretamente, também, para o elevado consumo de arrefecimento.

Para se poder comparar as eficiências energéticas das várias etapas da presente dissertação, torna-se necessário calcular os principais indicadores energéticos do edifício. Assim, define-se o seguinte:

- IEE - Indicador de Eficiência Energética: determinado com base no somatório dos diferentes consumos anuais de energia, agrupados em indicadores parciais e convertidos para energia primária por unidade de área interior útil de pavimento;

$$IEE = IEE_S + IEE_T - IEE_{ren}, [kWh_{EP}/m^2 \cdot ano]$$

- IEE_S - consumos de energia que são considerados para efeitos de cálculo da classificação energética do edifício;

$$IEE_S = \frac{1}{A_p} \sum_i (E_{S,i} \cdot F_{pu,i}), [kWh_{EP}/m^2 \cdot ano]$$

- IEE_T - consumos de energia que não são considerados para efeitos de cálculo da classificação energética do edifício;

$$IEE_T = \frac{1}{A_p} \sum_i (E_{T,i} \cdot F_{pu,i}), [kWh_{EP}/m^2 \cdot ano]$$

- IEE_{ren} - produção de energia elétrica e térmica a partir de fontes de energias renováveis;

$$IEE_{ren} = \frac{1}{A_p} \sum_i (E_{ren,i} \cdot F_{pu,i}), [kWh_{EP}/m^2 \cdot ano]$$

- E_{S,i} - Consumo de energia por fonte de energia i para os usos do tipo S, [kW.h/ano];
- E_{T,i} - Consumo de energia por fonte de energia i para os usos do tipo T, [kW.h/ano];
- E_{ren,i} - Produção de energia por fonte de energia i a partir de fontes de origem renovável para consumo, [kW.h/ano];
- A_p – Área interior útil de pavimento, [m²];
- F_{pu,i} - Fator de conversão de energia útil para energia primária que traduz o rendimento global do sistema de conversão e transporte de energia de origem primária, de acordo com Despacho do Diretor-Geral de Energia e Geologia.
 - a. F_{pu} = 2,5 kW.h_{EP} / kW.h para eletricidade, independentemente da origem (renovável ou não renovável);
 - b. F_{pu} = 1 kW.h_{EP} / kW.h para combustíveis sólidos, líquidos e gasosos não renováveis.

Os consumos energéticos que são, ou não são, considerados para efeitos de cálculo da classificação energética do edifício, dividem-se da forma indicada no Quadro 4.7.

Quadro 4.7 – Consumos de energia a considerar no IEE_S e IEE_T

Consumos nos IEE _S	Consumos nos IEE _T
Aquecimento e arrefecimento ambiente, incluindo humidificação e desumidificação	Ventilação e bombagem não associada ao controlo de carga térmica
Ventilação e bombagem em sistemas de climatização	Equipamentos de frio
Aquecimento de águas sanitárias e de piscinas	Iluminação dedicada e de utilização pontual
Iluminação interior	Todos os restantes equipamentos e sistemas não Incluídos em IEE _S
Elevadores, escadas e tapetes rolantes	
Iluminação exterior	

Os indicadores energéticos para a situação original do edifício são os indicados no Quadro 4.8.

Quadro 4.8 – Indicadores energéticos do projeto original

Indicadores Energéticos	Projeto Original [kW.h_{EP}/m².ano]
IEE	417
IEE _S	304
IEE _T	113
IEE _{ren}	0

4.8 – Indicadores energéticos de referência

Neste capítulo procede-se ao cálculo dos indicadores energéticos de referência. Para isso, modela-se o edifício com os coeficientes de transmissão térmica de referência, tanto em paredes exteriores e interiores, coberturas e pavimentos e vãos envidraçados, já atrás mencionados.

Para as instalações de arrefecimento, aquecimento e produção de AQS, consideram-se os valores de referência indicados no RECS

Os valores obtidos pelo *EnergyPlus* com estes coeficientes de referência são apresentados no Quadro 4.9.

Quadro 4.9 – Necessidades com U_{ref}

Necessidade	Eletricidade Projeto Original [kW.h]	Eletricidade U_{ref} [kW.h]	Diferença da alteração [kW.h]
Aquecimento	8.701	11.020	2.319
Arrefecimento	30.169	26.904	-3.265
Iluminação	69.661	69.661	0
Equipamento	61.532	61.532	0
Elevadores	13.140	13.140	0
Ventilação	12.802	12.802	0
Sistemas água	30.245	32.405	2.160
Usos finais - Total	226.250	227.465	1.215

As regras de determinação da classe energética do edifício foram publicadas através do Despacho nº 15793-J/2013, de 3 de Dezembro.

A classe energética é determinada através do rácio de classe energética (R_{IEE}):

$$R_{IEE} = \frac{IEE_S - IEE_{REN}}{IEE_{ref,S}} = \frac{304 - 0}{306} = 0,99$$

Logo, a classe energética a considerar é a B-.

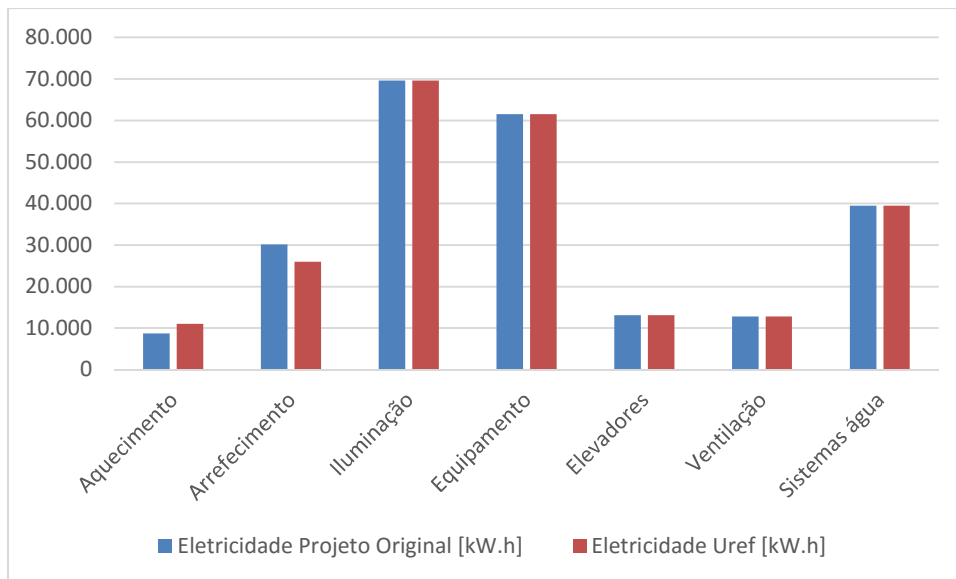


Figura 4.7 – Necessidades totais com U_{ref}

Conforme se pode observar na Figura 4.7, constata-se que a melhoria das características da envolvente considerando os U_{ref} , implicam um menor consumo de arrefecimento (melhor fator solar dos vãos envidraçados) e maior necessidade energética para aquecimento devido a se ter menores ganhos solares no inverno.

5 - SOLUÇÃO OTIMIZADA DA ENVOLVENTE DO EDIFÍCIO

5.1 – Descrição das situações possíveis de serem significativamente melhoradas na envolvente

Neste capítulo descreve-se a análise das necessidades energéticas que se obtiveram na simulação com *Ideal Loads*.

Da observação dos resultados obtidos, encontram-se as seguintes situações que podem ser melhoradas:

1. Laje térrea sem isolamento térmico: O isolamento térmico da laje térrea do edifício tem um coeficiente de transmissão térmica $U=1,96 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, o que é bastante elevado, inclusivamente não cumprindo com o valor máximo admissível no RECS;
2. Necessidade de arrefecimento do compartimento do RSU: O isolamento térmico das paredes interiores na zona do compartimento RSU tem um coeficiente de transmissão térmica que é bastante elevado, promovendo excessivas trocas térmicas neste compartimento;
3. Coberturas sem isolamento térmico: As coberturas têm falta de isolamentos térmicos pelo que as suas resistências térmicas poderão ser melhoradas;
4. Introdução de gás na caixa-de-ar do vão envidraçado: Dado a elevada área de vãos envidraçados, estuda-se a introdução de Argon na caixa-de-ar destes por forma a reduzir as transmissões térmicas através dos referidos elementos da envolvente do edifício;
5. Inexistência de sombreamentos nos vãos envidraçados: Para melhorar a proteção solar, pode-se optar pela colocação de estores exteriores comandados por temperatura do interior de cada zona.
6. Aumento da inércia térmica nos compartimentos: Altera-se a constituição das paredes interiores de separação das diversas zonas para se aumentar a inércia térmica do edifício.

5.2 – Melhoria do isolamento térmico da laje térrea

Altera-se a composição do pavimento da laje térrea, incluindo a aplicação de placas de 6 cm de XPS, ficando a composição de acordo com o Quadro 5.1.

Quadro 5.1 – Pavimento em contato com o solo

Composição do elemento	Espessura [m]	λ [W/m.°C]	R [m².°C/W]	U=1/R [W/m².°C]
Bloco de terras comprimida	0,190	1,100	0,17	0,469
Membrana impermeável	0,005	0,230	0,02	
Laje de betão	0,200	1,650	0,12	
XPS	0,060	0,037	1,62	
Betonilha	0,020	1,300	0,02	
Cerâmica	0,010	1,300	0,01	
1/h _i			0,17	
Totais	0,298		2,13	

As necessidades obtidas com a nova solução são as referidas no Quadro 5.2 e na Figura 5.1.

Quadro 5.2 – Necessidades com introdução de XPS na laje térrea

	Eletricidade Projeto Original [kW.h]	Eletricidade Laje térrea com XPS [kW.h]	Diferença da alteração [kW.h]
Aquecimento	8.701	8.664	-37
Arrefecimento	30.169	30.910	741
Iluminação	69.661	69.661	0
Equipamento	61.532	61.532	0
Elevadores	13.140	13.140	0
Ventilação	12.802	12.802	0
Sistemas água	30.245	30.245	0
Usos finais - Total	226.250	226.954	704

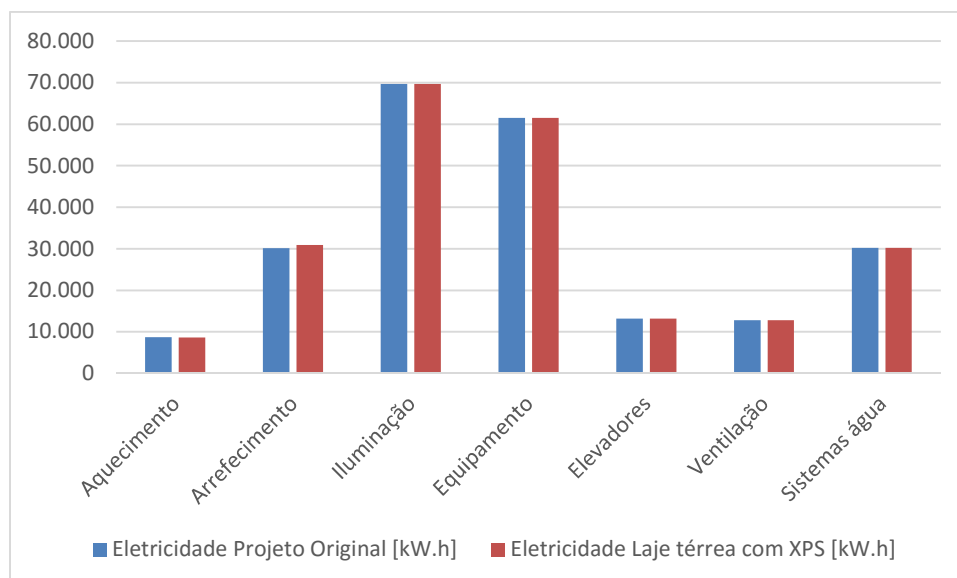


Figura 5.1 – Necessidades totais com a introdução de laje térrea com XPS

Dos valores obtidos com a simulação do *EnergyPlus*, nomeadamente do aumento da necessidade energética em 704 kW.h, conclui-se que a introdução de isolamento térmico na laje térrea prejudica o comportamento térmico deste piso enterrado pois a sua envolvente encontra-se a temperatura próxima da climatização, promovendo a remoção das cargas térmicas em situação de arrefecimento.

Assim, esta alteração não deverá ser introduzida.

5.3 – Melhoria do isolamento térmico das paredes e teto do compartimento RSU

Estuda-se, agora, a alteração da configuração das paredes internas e do teto do compartimento RSU com introdução de 6 cm de XPS.

As necessidades de arrefecimento/aquecimento obtidas com esta alteração são apresentadas no Quadro 5.3 e na Figura 5.2.

Quadro 5.3 – Necessidades com introdução de XPS nas paredes e teto do compartimento RSU

Necessidade	Eletricidade Projeto Original [kW.h]	Eletricidade Compartimento RSU com XPS [kW.h]	Diferença da alteração [kW.h]
Aquecimento	8.701	8.677	-24
Arrefecimento	30.169	30.056	-113
Iluminação	69.661	69.661	0
Equipamento	61.532	61.532	0
Elevadores	13.140	13.140	0
Ventilação	12.802	12.802	0
Sistemas água	30.245	30.245	0
Usos finais - Total	226.250	226.113	-137

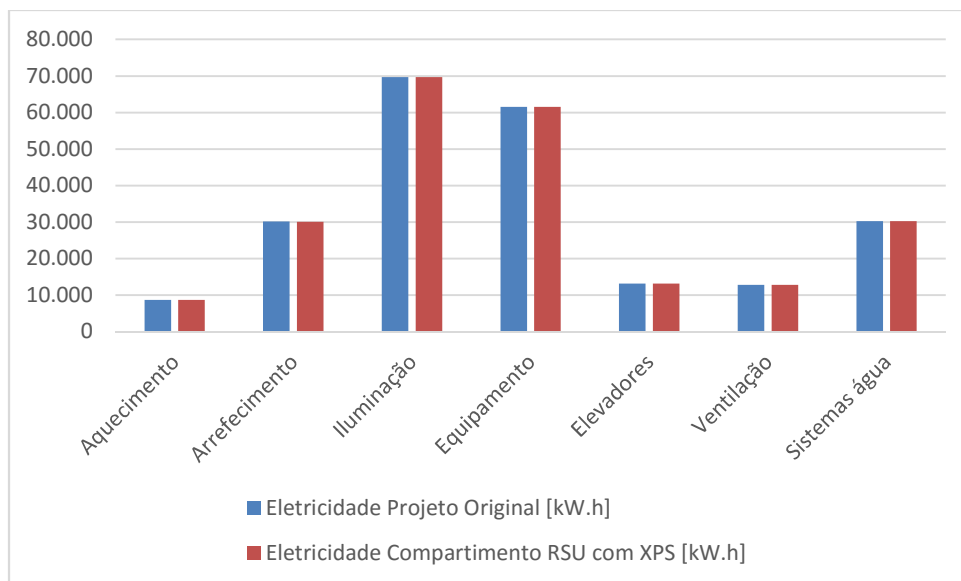


Figura 5.2 – Necessidades totais com a introdução de XPS nas paredes e teto do compartimento RSU

Assim, apesar de existir pouco impacto nas necessidades globais do edifício (redução de 137 kW.h), a introdução destas placas de XPS no compartimento dos RSU não é, por si só, significativamente onerosa. Consequentemente, esta alteração deverá ser introduzida.

5.4 – Melhoria do isolamento térmico dos tetos com contato com o exterior

Altera-se os tetos/coberturas em contato com o exterior introduzindo 6 cm de XPS na sua composição.

As necessidades de arrefecimento/aquecimento obtidas com esta alteração são apresentadas no Quadro 5.4 e na Figura 5.3.

Quadro 5.4 – Necessidades com introdução de XPS em tetos em contato com o exterior

Necessidade	Eletricidade Projeto Original [kW.h]	Eletricidade Coberturas com XPS [kW.h]	Diferença da alteração [kW.h]
Aquecimento	8.701	7.947	-754
Arrefecimento	30.169	29.952	-217
Iluminação	69.661	69.661	0
Equipamento	61.532	61.532	0
Elevadores	13.140	13.140	0
Ventilação	12.802	12.802	0
Sistemas água	30.245	30.245	0
Usos finais - Total	226.250	225.279	-971

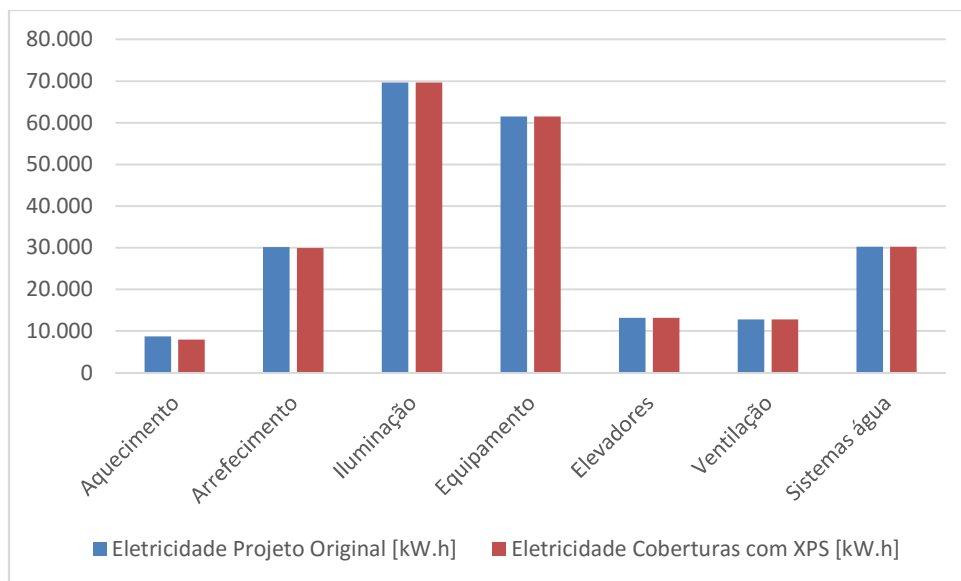


Figura 5.3 – Necessidades totais com a introdução de XPS em tetos em contato com o exterior

Assim, com um reduzido investimento na aplicação de XPS nas coberturas do edifício, consegue uma redução das necessidades energéticas logo, esta alteração deverá ser introduzida.

5.5 – Introdução de gás Árgon na caixa-de-ar do vão envidraçado

Altera-se o gás entre os vidros dos vãos envidraçados de ar para árgon. O coeficiente de transmissão térmica do envidraçado com ar passa de 1,717 W/m².K para 1,330 W/m².K. O fator solar mantém-se nos 0,35 em ambos os envidraçados.

As necessidades de arrefecimento/aquecimento obtidas com esta alteração são referidas no Quadro 5.5 e na Figura 5.4.

Quadro 5.5 – Necessidades com alteração da caixa-de-ar do envidraçado de ar para árgon

Necessidade	Eletricidade Projeto Original [kW.h]	Eletricidade Caixa Ar Envidraçados com Árgon [kW.h]	Diferença da alteração [kW.h]
Aquecimento	8.701	8.109	-592
Arrefecimento	30.169	30.528	359
Iluminação	69.661	69.661	0
Equipamento	61.532	61.532	0
Elevadores	13.140	13.140	0
Ventilação	12.802	12.802	0
Sistemas água	30.245	30.245	0
Usos finais - Total	226.250	226.017	-233

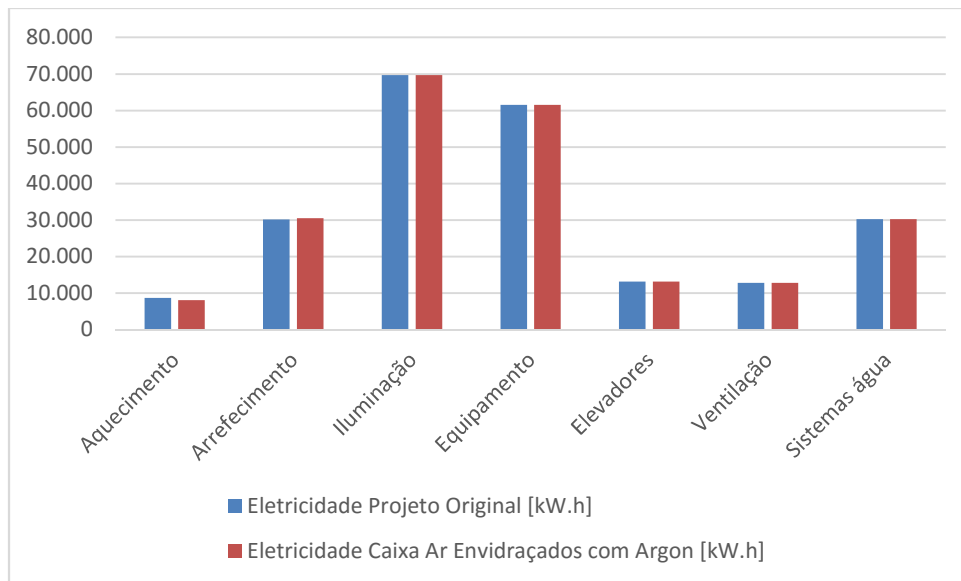


Figura 5.4 – Necessidades totais com alteração da caixa-de-ar do envidraçado de ar para Argon

Assim, devido ao elevado custo de implementação e à pequena redução de necessidades energéticas que esta substituição do gás do envidraçado introduziria, esta alteração não deverá ser introduzida.

5.6 – Alteração do sombreamento para estores automáticos controlados por necessidades de aquecimento/arrefecimento

Como sombreamento do projeto inicial, estavam considerados sombreamentos interiores de média reflexão e transmissão e com abertura e fecho relacionadas com a temperatura no interior dos compartimentos, ou seja, com temperaturas superiores a 25°C, assume-se que o ocupante ativa o sombreamento.

Como sistema alternativo, assume-se um sistema automático de sombreamento exterior comandado por necessidade de aquecimento durante a noite e arrefecimento durante o dia.

Consideram-se estores de alta reflexibilidade, cujas características são as seguintes:

- Disposição: horizontal;
- Largura de lâminas: 2,5 cm;
- Afastamento de lâminas: 1,875 cm;
- Espessura de lâminas: 1 mm;
- Angulo: 45°;
- Condutividade das lâminas: 0,9 W/m.°C;
- Reflexibilidade: 0,8;
- Emissividade: 0,9;

- Afastamento ao vidro: 5 cm;
- Tipo de controlo: Ativado se em aquecimento ou arrefecimento.

As necessidades de arrefecimento/aquecimento obtidas com esta alteração são apresentadas no Quadro 5.6 e na Figura 5.5.

Quadro 5.6 – Necessidades com alteração dos sombreamentos das janelas

Necessidade	Eletricidade Projeto Original [kW.h]	Eletricidade Estores Exteriores [kW.h]	Diferença da alteração [kW.h]
Aquecimento	8.701	8.458	-243
Arrefecimento	30.169	25.381	-4.788
Iluminação	69.661	69.661	0
Equipamento	61.532	61.532	0
Elevadores	13.140	13.140	0
Ventilação	12.802	12.802	0
Sistemas água	30.245	30.245	0
Usos finais - Total	226.250	221.219	-5.031

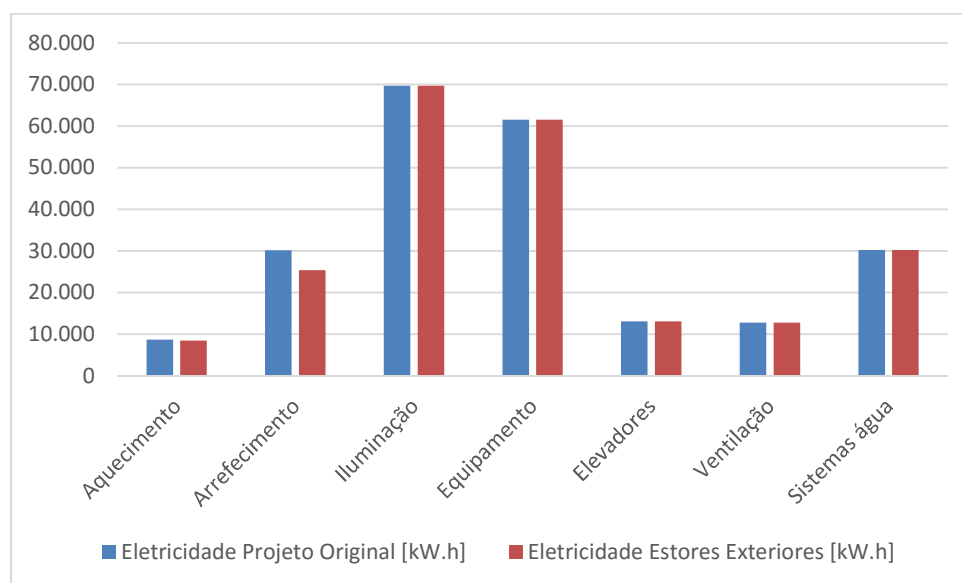


Figura 5.5 – Necessidades totais com estores exteriores

Verifica-se uma acentuada redução das necessidades de arrefecimento, causada pela grande diminuição de entrada de radiação solar nos compartimentos.

Assim, esta alteração deverá ser introduzida.

Dos resultados obtidos até agora, verifica-se que esta alteração na envolvente introduz as reduções mais significativas nas necessidades energéticas do edifício.

5.7 – Alteração da constituição das paredes interiores para aumentar a inércia térmica

As paredes interiores do edifício, a nível dos pisos dos quartos, são constituídas por placas de gesso cartonado com lã de rocha. Para se aumentar a inércia térmica do edifício, estuda-se a alteração da constituição destas paredes para paredes de alvenaria de 15 cm rebocadas em ambas as faces.

As necessidades de arrefecimento/aquecimento obtidas com esta alteração são apresentadas no Quadro 5.7 e na Figura 5.6.

Quadro 5.7 – Necessidades com aumento da massa das paredes interiores

Necessidade	Eletricidade Projeto Original [kW.h]	Eletricidade Aumento Massa Paredes Interiores [kW.h]	Diferença da alteração [kW.h]
Aquecimento	8.701	8.534	-167
Arrefecimento	30.169	30.003	-166
Iluminação	69.661	69.661	0
Equipamento	61.532	61.532	0
Elevadores	13.140	13.140	0
Ventilação	12.802	12.802	0
Sistemas água	30.245	30.245	0
Usos finais - Total	226.250	225.917	-333

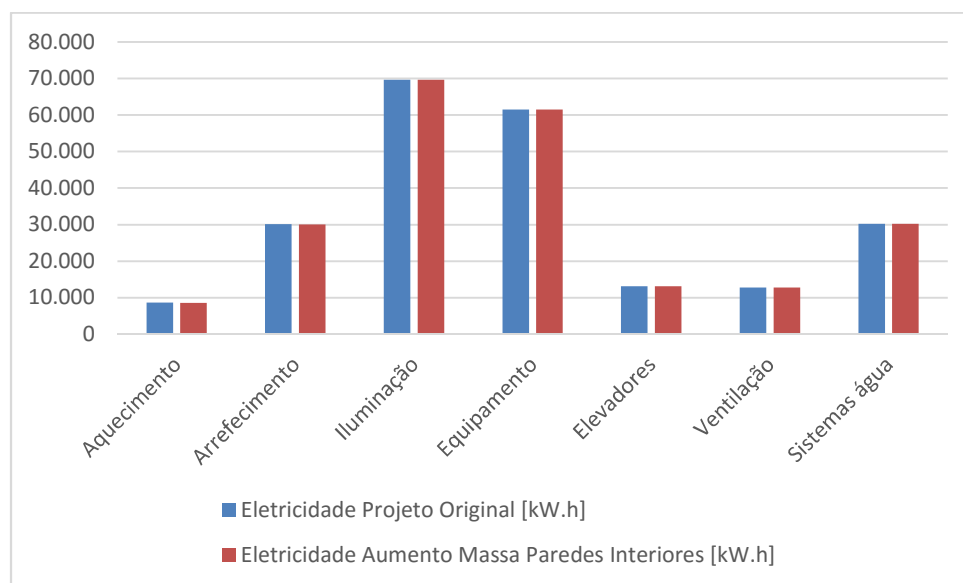


Figura 5.6 – Necessidades totais com o aumento da massa das paredes interiores

A redução de necessidade energética para aquecimento não é suficientemente significativa (-333 kW.h) para justificar a alteração da constituição das paredes interiores.

Assim, esta alteração não deverá ser introduzida.

5.8 – Solução final de envolvente melhorada

Tendo em conta os cálculos e as análises descritas nos pontos anteriores, a solução melhorada adotada para o edifício será a solução original acrescida das seguintes alterações:

- Melhoria do isolamento térmico das paredes e teto do compartimento RSU com placas de 6 cm de XPS;
- Melhoria do isolamento térmico dos tetos com contato com o exterior com placas de 6 cm de XPS;
- Alteração do sombreamento para estores automáticos controlados por necessidades de aquecimento/arrefecimento.

Das medidas acima referidas, os custos respetivos não serão significativos exceto a introdução de estores exteriores automáticos. Note-se, porém, que a redução de consumos energéticos com esta solução é de cerca de 5.000 kW.h por ano.

Os valores finais de necessidades energéticas com as soluções anteriores determinadas são as referidas no Quadro 5.8 e na Figura 5.7.

Quadro 5.8 – Necessidades com as melhorias de envolvente implementadas

Necessidade	Eletricidade Projeto Original [kW.h]	Eletricidade Envolvente Melhorada [kW.h]	Diferença da alteração [kW.h]
Aquecimento	8.701	7.673	-1.028
Arrefecimento	30.169	24.977	-5.192
Iluminação	69.661	69.661	0
Equipamento	61.532	61.532	0
Elevadores	13.140	13.140	0
Ventilação	12.802	12.802	0
Sistemas água	30.245	30.245	0
Usos finais - Total	226.250	220.030	-6.220

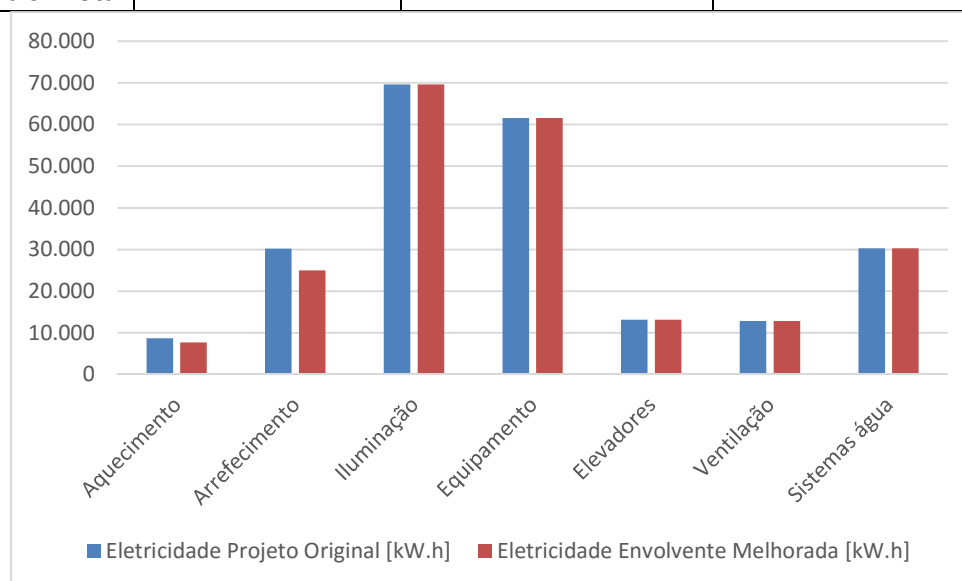


Figura 5.7 – Necessidades totais com as melhorias de envolvente implementadas

Atente-se que, com a melhoria das características da envolvente do edifício, a contribuição da climatização para os gastos energéticos do edifício reduzem-se significativamente. A evolução das necessidades energéticas é evidente no seguinte gráfico da Figura 5.8, demonstrando a importância relativa de cada solução implementada.

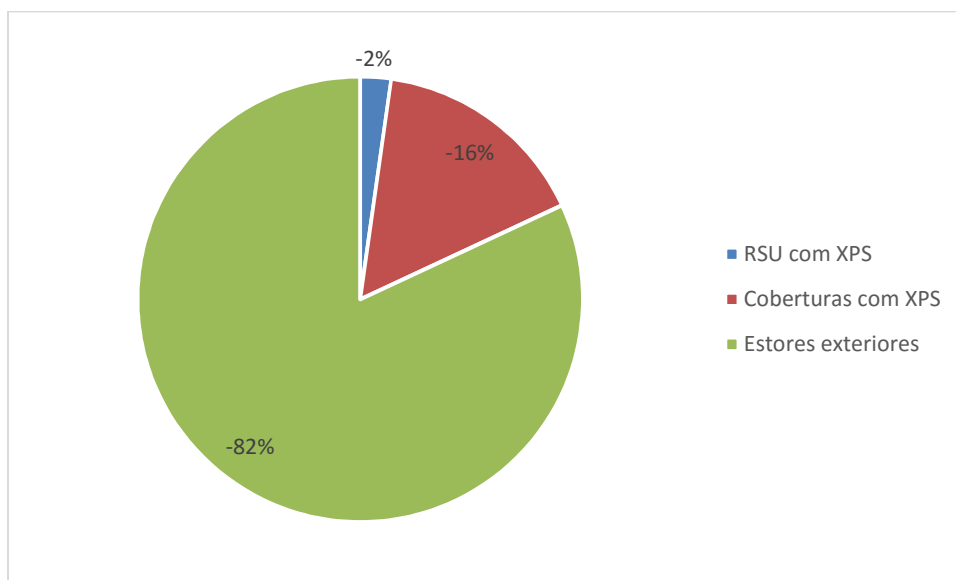


Figura 5.8 – Redução das necessidades energéticas com as medidas optadas

Os indicadores energéticos para a situação da envolvente melhorada do edifício são os indicados no Quadro 5.9.

Quadro 5.9 – Indicadores energéticos da solução com envolvente melhorada

Indicadores Energéticos	Projeto Original	Proj. Envolvente melhorada
IEE	417	406
IEE _s	304	292
IEE _T	113	113
IEE _{ren}	0	0

6 - SOLUÇÃO OTIMIZADA DOS SISTEMAS CONSUMIDORES DO EDIFÍCIO

6.1 – Descrição das situações possíveis de serem significativamente melhoradas nos sistemas

Após efetuar as alterações na envolvente do edifício, analisa-se as melhorias a efetuar nos sistemas consumidores do edifício.

Da análise dos resultados já obtidos no capítulo anterior, encontram-se as seguintes situações que podem ser melhoradas:

1. Racionalização energética dos equipamentos utilizados: Observando os valores das potências dos equipamentos referidos no projeto de AVAC, constata-se facilmente que foram considerados equipamentos energeticamente ineficientes ou houve um manifesto sobredimensionamento destas potências. Note-se que foram considerados 10W/m² na maioria dos espaços quando o DL 79/2006 considera 3 W/m² para hotéis de 3 ou menos estrelas;
2. Racionalização energética da iluminação: Observando os valores das potências da iluminação referida no projeto de AVAC, verifica-se facilmente que se consideraram luminárias e lâmpadas energeticamente ineficientes ou houve manifesto sobredimensionamento destas potências. O projeto de AVAC considera 10W/m² na maioria dos espaços;
3. Cargas térmicas pontuais: Observando os valores das potências das cargas térmicas pontuais, que são significativas em algumas zonas, torna-se necessário compreendê-las no que concerne ao perfil da sua utilização pois poder-se-á considerar que têm utilizações reduzidas, ou pontuais, no tempo;
4. Elevadores energeticamente eficientes: Os consumos elétricos considerados no projeto de instalações elétricas indicam a utilização de elevadores de baixa eficiência energética. Assim, propõe-se elevadores mais eficientes para baixar o seu consumo energético;
5. Caudais de águas quentes sanitárias: Os consumos de água inscritos no projeto de AVAC representam caudais elevados de água, nomeadamente de água quente. Existem soluções de equipamentos terminais que permitem a redução acentuada de caudais de água, minorando, assim, o consumo energético para fazer o seu aquecimento;
6. Recuperação de calor em caudais de ar novo: O ar novo introduzido no edifício possui a temperatura existente no exterior, implicando um elevado dispêndio de energia no seu aquecimento e arrefecimento para que, no interior do edifício, alcance as temperaturas de conforto. Com a utilização de sistema de recuperação de calor, aproveita-se parte da energia “desperdiçada” no ar de extração para aquecer/arrefecer parcialmente o ar novo;

6.2 – Otimização de equipamentos a utilizar nos quartos e restantes zonas

O projeto original do edifício considera uma carga distribuída de equipamentos de 10 W/m² para os quartos, a sala de pequenos-almoços, o bar, a receção e a sala de pessoal. Para as copas, considera 25 W/m², para as zonas administrativas considera 15 W/m² e para o compartimento RSU considera 50 W/m².

O único perfil considerado na simulação anterior para ativação de equipamentos é o indicado no DL 79-2006. Este perfil é desadequado quando se consideram os equipamentos em diversas zonas tais como na sala de pequenos-almoços e no compartimento RSU uma vez que não existe qualquer tipo de equipamento com funcionamento permanente.

Para o novo cálculo de consumos energéticos, considera-se que há os seguintes equipamentos elétricos em funcionamento nos quartos:

- Televisão (LED 28”, classe A, modelo ref^a: LG 28MT48DF-PZ): 28W;
- PC portátil (modelo ref^a Lenovo YOGA 700-14ISK i7-6500U): 30W;

A área média dos quartos é de 15,5 m², logo o consumo é de cerca de 4W/m².

Após consulta do projeto de instalações elétricas, constata-se que não existe nenhum equipamento com consumo elétrico significativo no compartimento RSU pelo que se considera que o consumo deste compartimento passa de 50 para 10W/m².

Assim, assume-se as cargas térmicas apresentadas no Quadro 6.1.

Quadro 6.1 – Otimização dos equipamentos elétricos nas diversas zonas

Local	Equipamentos	Consumos	Perfil
Quartos	TV, PC portátil	4 W/m ²	DL 79/2006
Copas	Confeção	25 W/m ²	Perfil 07-10 h
Zonas administrativas	PC e outros	15 W/m ²	DL 79/2006
Sala pequenos-almoços	Aquecimento comida	10 W/m ²	Perfil 07-10 h
Bar e receção	Vários	10 W/m ²	DL 79/2006
Sala de pessoal	Vários	10 W/m ²	DL 79/2006
Compartimento RSU	Sem equipamento permanente	10 W/m ²	Perfil 07-10 h

Também se alteram alguns perfis de utilização de equipamentos, nomeadamente os afetos ao serviço de pequenos-almoços pois só terão utilização num período concentrado do dia (manhã).

Após estas alterações, as necessidades de arrefecimento/aquecimento e de energia elétrica obtidos com esta alteração são indicadas no Quadro 6.2 e na Figura 6.1.

Quadro 6.2 – Necessidades com a otimização dos equipamentos elétricos

Necessidade	Eletricidade Projeto Original [kW.h]	Eletricidade Envolvente Melhorada [kW.h]	Eletricidade Equipamentos Otimizados [kW.h]	Diferença da alteração em relação à Envolvente Melhorada [kW.h]
Aquecimento	8.701	7.673	10.403	2.730
Arrefecimento	30.169	24.977	18.508	-6.469
Iluminação	69.661	69.661	69.661	0
Equipamento	61.532	61.532	26.869	-34.663
Elevadores	13.140	13.140	13.140	0
Ventilação	12.802	12.802	12.802	0
Sistemas água	30.245	30.245	30.245	0
Usos finais - Total	226.250	220.030	181.628	-38.402

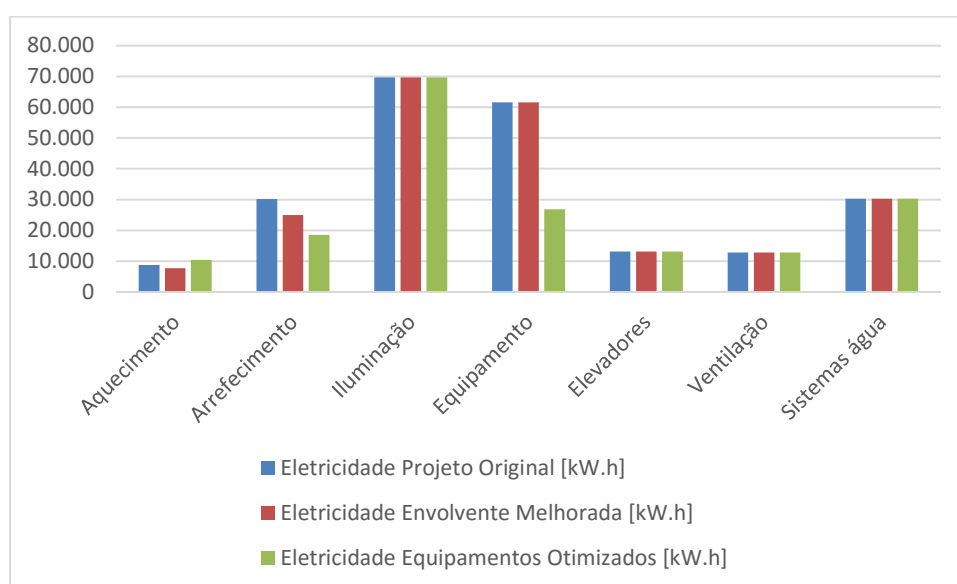


Figura 6.1 – Necessidades totais com otimização de equipamentos

Note-se que a acompanhar a elevada redução de necessidades energéticas de equipamentos, há, também, uma significativa diminuição da necessidade de arrefecimento e um aumento da necessidade de aquecimento. Isto é devido a ter sido eliminada uma significativa carga térmica do interior dos quartos.

Assim, como os equipamentos agora analisados se aproximam mais da realidade, esta alteração deverá ser introduzida nos cálculos dos consumos.

6.3 – Otimização de iluminação a utilizar nos quartos e restantes zonas

O projeto original do edifício considera um consumo elétrico distribuído de iluminação de 10 W/m² para a generalidade dos compartimentos.

O único perfil considerado para ativação de equipamentos é o indicado no DL 79-2006. Este perfil é desadequado quando se considera que a iluminação em diversas zonas, tais como sala de pequenos-almoços, copas e compartimento RSU, só é utilizada em algumas horas do dia.

O valor de 10W/m² é muito elevado considerando que se pode utilizar lâmpadas de baixo consumo ou LED cujo investimento já não é tão significativo como quando estas novas tecnologias foram introduzidas no mercado. Assim, considera-se 4 W/m².

Como a área média dos quartos é de 15,5 m², para cada quarto é considerado um consumo elétrico para iluminação de 62W. Se cada lâmpada LED tiver de 3 a 5 W de potência elétrica, estamos a considerar 12 lâmpadas, o que mesmo assim, indicia um sobredimensionamento desta potência agora redimensionada.

Assim, consideram-se as densidades de iluminação e os perfis de acionamento indicados no Quadro 6.3.

Quadro 6.3 – Otimização da iluminação nas diversas zonas

Local	Consumos	Perfil
Quartos	4 W/m ²	DL 79/2006
Copas	4 W/m ²	Perfil 07-10 h
Zonas administrativas	4 W/m ²	DL 79/2006
Sala pequenos-almoços	4 W/m ²	Perfil 07-10 h
Bar e receção	4 W/m ²	DL 79/2006
Sala de pessoal	4 W/m ²	DL 79/2006
Compartimento RSU	4 W/m ²	Perfil 07-10 h

As necessidades de arrefecimento/aquecimento e de energia elétrica obtidos com esta alteração são referidas no Quadro 6.4 e na Figura 6.2.

Quadro 6.4 – Necessidades com a otimização da iluminação

Necessidade	Eletricidade Projeto Original [kW.h]	Eletricidade Envolve Melhorada [kW.h]	Eletricidade Iluminação Melhorada [kW.h]	Diferença da alteração em relação à Envolve Melhorada [kW.h]
Aquecimento	8.701	7.673	11.308	3.635
Arrefecimento	30.169	24.977	19.938	-5.039
Iluminação	69.661	69.661	23.548	-46.113
Equipamento	61.532	61.532	61.532	0
Elevadores	13.140	13.140	13.140	0
Ventilação	12.802	12.802	12.802	0
Sistemas água	30.245	30.245	30.245	0
Usos finais - Total	226.250	220.030	172.512	-47.517

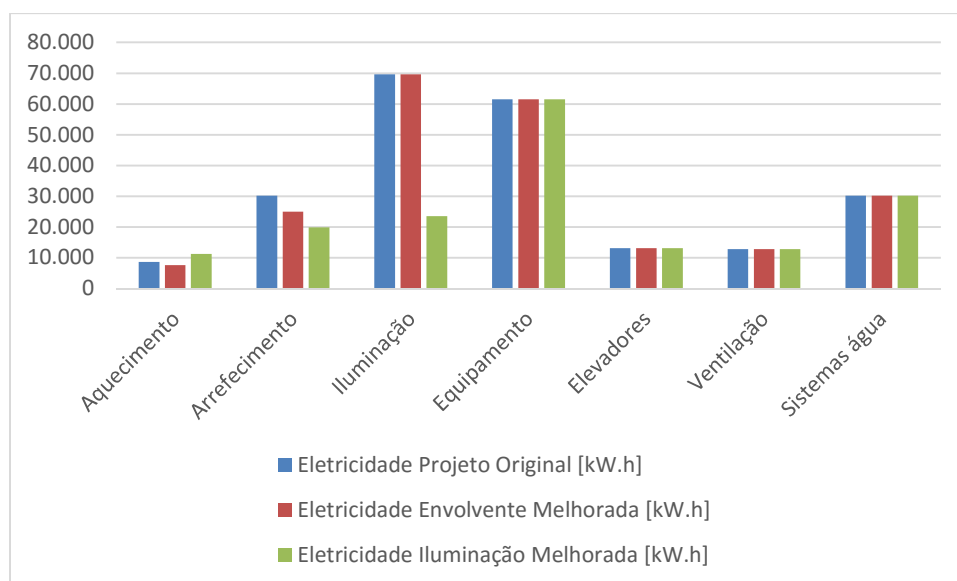


Figura 6.2 – Necessidades totais com iluminação melhorada

À semelhança do que se verificou com a otimização dos equipamentos, constata-se que, a acompanhar a elevada redução de necessidades energéticas de iluminação, há, também, uma significativa diminuição da necessidade de arrefecimento e aumento da necessidade de aquecimento. Isto é devido a uma significativa carga térmica do interior dos quartos ter sido eliminada.

Assim, a melhoria do tipo de iluminação com lâmpadas LED deverá ser introduzida.

6.4 – Otimização de equipamentos com cargas térmicas pontuais

O projeto original do edifício considera equipamentos com cargas térmicas pontuais em alguns compartimentos. Observando as cargas e o tipo de compartimento onde estão inseridos, pode-se inferir que os equipamentos não estarão permanentemente operacionais.

Assim, as cargas térmicas e tipos de perfis de utilização destes equipamentos apresentados no Quadro 6.5.

Quadro 6.5 – Otimização dos equipamentos elétricos nas diversas zonas

Local	Equipamentos	Cargas térmicas	Perfil
Copas	Confeção	750 W	Perfil 07-10 h
Sala pequenos-almoços	Aquecimento comida	1.500 W	Perfil 07-10 h
Bar e receção	Vários	750 W	DL 79/2006
Sala de pessoal	Vários	750 W	DL 79/2006
Compartimento RSU	Sem equipamento permanente	1.750 W	Perfil 07-10 h

As necessidades de energia elétrica obtidas com esta alteração são referidas no Quadro 6.6 e na Figura 6.3.

Quadro 6.6 – Necessidades com a otimização das cargas térmicas pontuais

Necessidade	Eletricidade Projeto Original [kW.h]	Eletricidade Envolvente Melhorada [kW.h]	Eletricidade Cargas Pontuais Otimizadas [kW.h]	Diferença da alteração em relação à Envolvente Melhorada [kW.h]
Aquecimento	8.701	7.673	9.270	1.597
Arrefecimento	30.169	24.977	18.612	-6.365
Iluminação	69.661	69.661	69.661	0
Equipamento	61.532	61.532	58.327	-3.205
Elevadores	13.140	13.140	13.140	0
Ventilação	12.802	12.802	12.802	0
Sistemas água	30.245	30.245	30.245	0
Usos finais - Total	226.250	220.030	212.057	-7.973

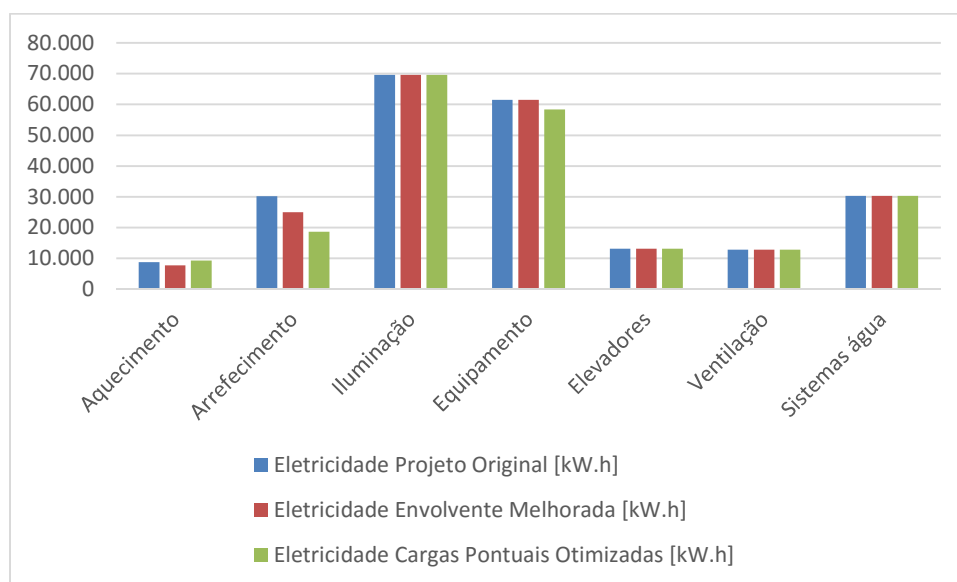


Figura 6.3 – Necessidades totais com a otimização das cargas térmicas pontuais

Estas cargas pontuais são maioritariamente não elétricas pelo que há pouca redução na necessidade elétrica mas existe uma significativa redução na potência de arrefecimento.

Assim, esta alteração deverá ser introduzida pois representa uma utilização mais realista destes equipamentos.

6.5 – Otimização de elevadores

O projeto original do edifício considera elevadores com potência de 7,5 kW. Tendo em conta a dimensão dos elevadores, constata-se que estas potências são exageradas considerando os elevadores existentes atualmente no mercado. Além disso, não se deve assumir que a potência máxima é sempre

consumida uma vez que esta altera conforme a carga transportada pelo elevador que é bastante variável e quase sempre longe do valor máximo.

Assim, consideram-se elevadores com consumo nominal correspondente a potência de 2,8 kW que funcionam, em média, com metade da carga, ou seja, estima-se um consumo correspondente a 1,1 kW por elevador.

Como referência, considerou-se os elevadores Thyssen, modelo Synergy que têm potências elétricas entre 3,8 a 4,9 kVA.

As necessidades de energia elétrica obtidas com esta alteração são indicadas no Quadro 6.7 e na Figura 6.4.

Quadro 6.7 – Necessidades com a otimização dos elevadores

Necessidade	Eletricidade Projeto Original [kW.h]	Eletricidade Envolvente Melhorada [kW.h]	Eletricidade Elevadores Otimizados [kW.h]	Diferença da alteração em relação à Envolvente Melhorada [kW.h]
Aquecimento	8.701	7.673	8.021	348
Arrefecimento	30.169	24.977	24.406	-571
Iluminação	69.661	69.661	69.661	0
Equipamento	61.532	61.532	61.532	0
Elevadores	13.140	13.140	1.927	-11.213
Ventilação	12.802	12.802	12.802	0
Sistemas água	30.245	30.245	30.245	0
Usos finais - Total	226.250	220.030	208.594	-11.436

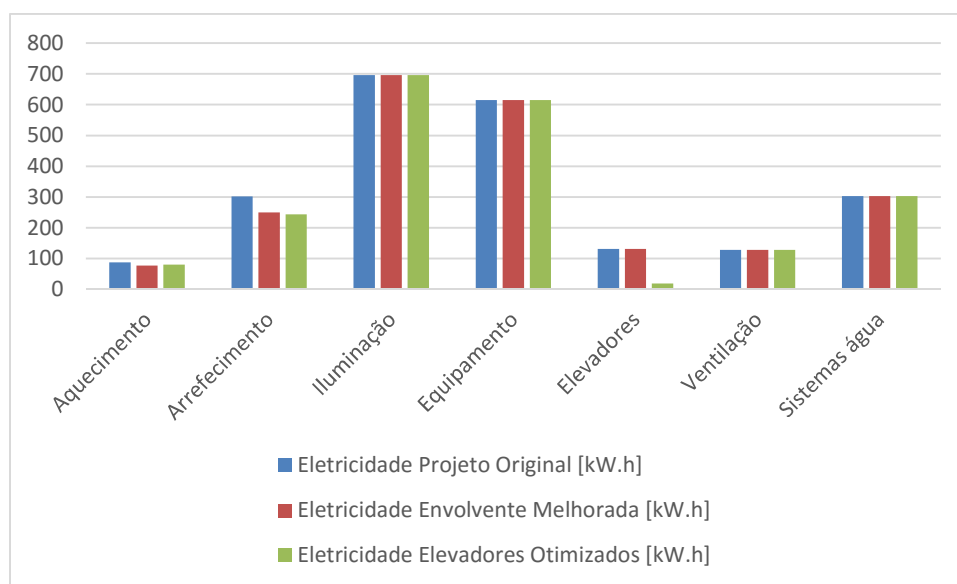


Figura 6.4 – Necessidades totais com a otimização dos elevadores

Note-se que apesar de se ter reduzido drasticamente a potência elétrica dos elevadores, esta alteração não teve qualquer impacto ao nível das necessidades energéticas, quer para aquecimento, quer

para arrefecimento, ao contrário do que sucedeu quando se reduziram as potências dos restantes equipamentos elétricos. Isto deve-se aos elevadores estarem inseridos em zonas não climatizadas.

Assim, esta alteração de eficiência dos elevadores deverá ser introduzida.

6.6 – Otimização de consumos de AQS

O projeto original do edifício considera consumos de AQS a 60°C elevados, apresentando um significativo potencial de redução.

Considerando a utilização de aparelhos de consumo (chuveiros, torneiras, etc) de elevada eficiência, pode-se otimizar grandemente estes consumos de AQS e, conseqüentemente, a energia necessária para a aquecer.

Como referência das melhorias de consumo que a utilização de sistemas mais eficientes de AQS pode promover, retirada da publicação de “*Sistemas de certificação na eficiência hídrica*” de M. Miranda, observe-se a Figura 6.5.

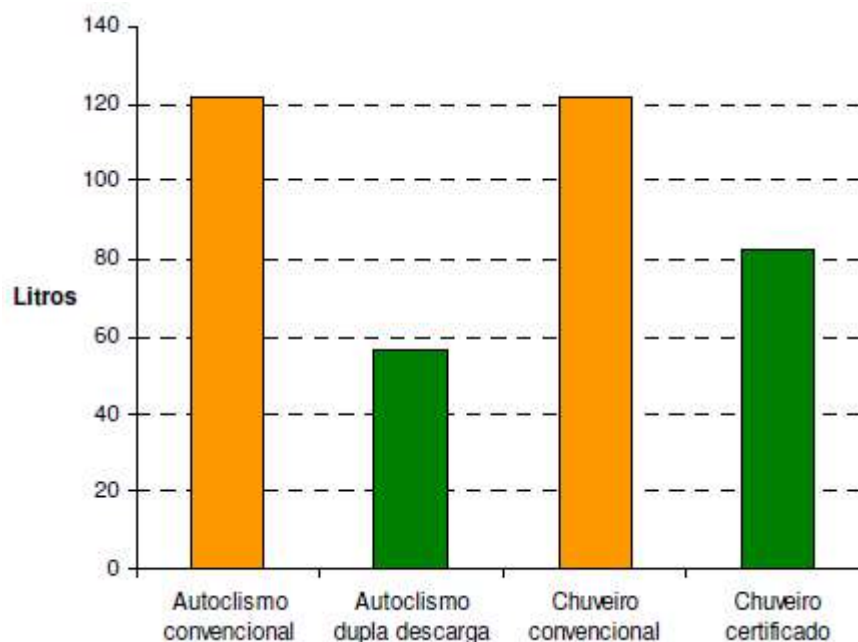


Figura 6.5 – Comparação de consumos diários entre equipamentos convencionais e certificados por agregado familiar (Miranda, 2012)

Como exemplos extraídos do documento “*Study on water efficiency standards*”, refere-se os tanques de sanitas com dois botões para descargas menores, redutores de caudal de torneiras, torneiras temporizadas ou eletrónicas, chuveiros de fluxo laminar, urinóis secos, etc.

Utilizando este tipo de aparelhos obtém-se as seguintes necessidades apresentadas no Quadro 6.8.

Quadro 6.8 – Consumo AQS otimizado

Local	Quantidade	Consumo unitário [l/dia]	Consumo total [l/dia]
Quartos	51	52	2.652
Pequenos-almoços	60	5	300
Duches funcionários	19	15	285
Total			3.237

As necessidades de arrefecimento/aquecimento e de energia elétrica obtidas com esta alteração são referidas no Quadro 6.9 e na Figura 6.6.

Quadro 6.9 – Necessidades com a otimização dos consumos de AQS

Consumo	Eletricidade Projeto Original [kW.h]	Eletricidade Envolvente Melhorada [kW.h]	Eletricidade AQS Otimizados [kW.h]	Diferença da alteração em relação à Envolvente Melhorada [kW.h]
Aquecimento	8.701	7.673	7.673	0
Arrefecimento	30.169	24.977	24.975	-1
Iluminação	69.661	69.661	69.661	0
Equipamento	61.532	61.532	61.532	0
Elevadores	13.140	13.140	13.140	0
Ventilação	12.802	12.802	12.802	0
Sistemas água	30.245	30.245	14.149	-16.096
Usos finais - Total	226.250	220.030	203.932	-16.097

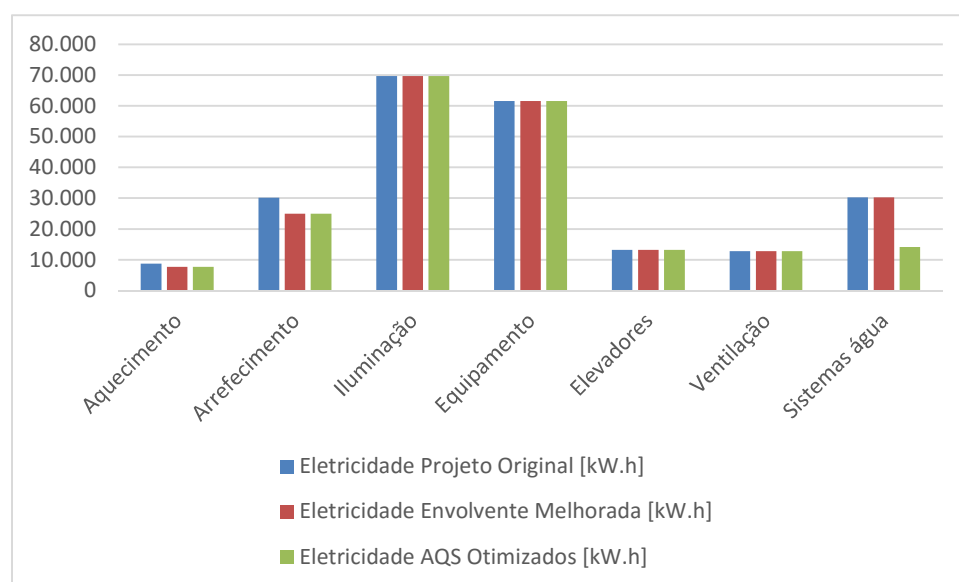


Figura 6.6 – Necessidades totais com a otimização de AQS

Assim, esta alteração de equipamentos de AQS deverá ser introduzida.

6.7 – Otimização dos ventiladores de ar novo e de extração

O projeto original do edifício considera ventiladores com eficiência a rondar os 70%. Tendo em conta a evolução dos ventiladores, já se encontram, regularmente, ventiladores com eficiência superior.

Os ventiladores com classe de eficiência EFF2 têm um rendimento mínimo de 75%. Assim, passa-se a considerar ventiladores com classe de eficiência EFF1, com 85%.

Conforme o tipo de ventilador, e sua motorização, a instalar, consegue uma vasta gama de eficiências e que se exemplificam de seguida:

- Motor com conversor frequência 75-77%;
- Motor com eficiência *standard* EFF2 80-85%;
- Motor elevada eficiência EFF1 87-89%;
- Motor EC com materiais magnéticos ferrite 88-90%;
- Motor EC com materiais magnéticos ferro-neodímio-boro 90-93%.

A potência fornecida por um ventilador é dada pela seguinte expressão:

$$P_{vent.} = \frac{\rho \cdot Q \cdot H}{1000 \cdot \eta}$$

Com:

- ρ - Massa específica do ar, kg/m³;
- Q - Vazão do ventilador, m³/s;
- H - Altura de elevação (total, útil ou motriz), m;
- η - Rendimento total do ventilador

As necessidades de energia elétrica obtidas com esta alteração são indicadas no Quadro 6.10 e na Figura 6.7.

Quadro 6.10 – Necessidades com a otimização dos ventiladores

Necessidade	Eletricidade Projeto Original [kW.h]	Eletricidade Envolvente Melhorada [kW.h]	Eletricidade Ventiladores eficientes [kW.h]	Diferença da alteração em relação à Envolvente Melhorada [kW.h]
Aquecimento	8.701	7.673	7.768	95
Arrefecimento	30.169	24.977	24.837	-140
Iluminação	69.661	69.661	69.661	0
Equipamento	61.532	61.532	61.532	0
Elevadores	13.140	13.140	13.140	0
Ventilação	12.802	12.802	10.543	-2.259
Sistemas água	30.245	30.245	30.245	0
Usos finais - Total	226.250	220.030	217.726	-2.304

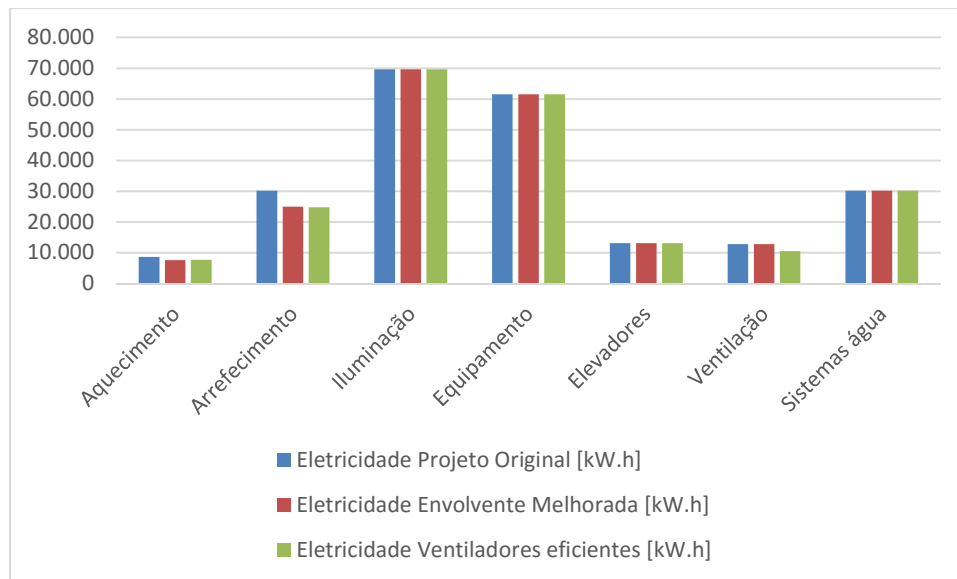


Figura 6.7 – Necessidades totais com a otimização dos ventiladores

Note-se que com a redução da potência elétrica dos ventiladores para o mesmo caudal, aumentou-se as necessidades energéticas para aquecimento e reduziu-se para arrefecimento. Isto deve-se ao ventilador dissipar menos calor para o fluxo de ar que entra nas diversas zonas.

Assim, esta alteração de eficiência dos ventiladores deverá ser introduzida.

6.8 – Solução final de instalações melhoradas

Tendo em conta as análises descritas nos pontos anteriores, a solução melhorada adotada para os sistemas que não sejam para AVAC do edifício será a solução de envolvente melhorada acrescida das seguintes alterações:

- Otimização de equipamentos a utilizar nos quartos e restantes zonas;
- Otimização de iluminação a utilizar nos quartos e restantes zonas;
- Otimização de equipamentos com cargas térmicas pontuais;
- Utilização de elevadores mais eficientes;
- Otimização de consumos de AQS;
- Utilização de ventiladores mais eficientes.

Os valores finais de necessidades energéticas com as soluções anteriores determinadas são as apresentadas no Quadro 6.11 e na Figura 6.8.

Quadro 6.11 – Necessidades com os sistemas melhorados

Necessidade	Eletricidade Projeto Original [kW.h]	Eletricidade Envolvente Melhorada [kW.h]	Eletricidade Sistemas Melhorados [kW.h]	Diferença da alteração em relação à Envolvente Melhorada [kW.h]
Aquecimento	8.701	7.673	17.768	10.095
Arrefecimento	30.169	24.977	10.265	-14.712
Iluminação	69.661	69.661	23.011	-46.650
Equipamento	61.532	61.532	26.869	-34.663
Elevadores	13.140	13.140	1.927	-11.213
Ventilação	12.802	12.802	10.543	-2.259
Sistemas água	30.245	30.245	14.148	-16.097
Usos finais - Total	226.250	220.030	104.531	-115.498

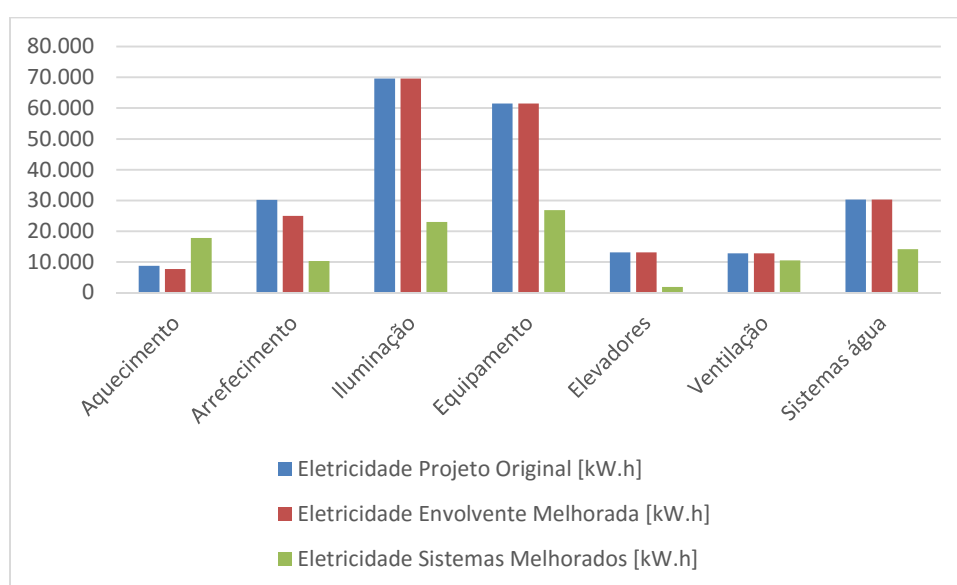


Figura 6.8 – Necessidades totais com os sistemas melhorados

Note-se que, com a melhoria das características dos vários sistemas do edifício, a contribuição da climatização para os gastos energéticos do edifício reduz-se significativamente. Com o diminuir das cargas térmicas de equipamentos e iluminação, aumentam as necessidades de aquecimento mas diminuem, de forma mais acentuada, as necessidades de arrefecimento.

A evolução das necessidades energéticas é evidente na Figura 6.9, onde se nota quais são os sistemas que podem ser melhorados e que mais contribuem para a redução do consumo energético:

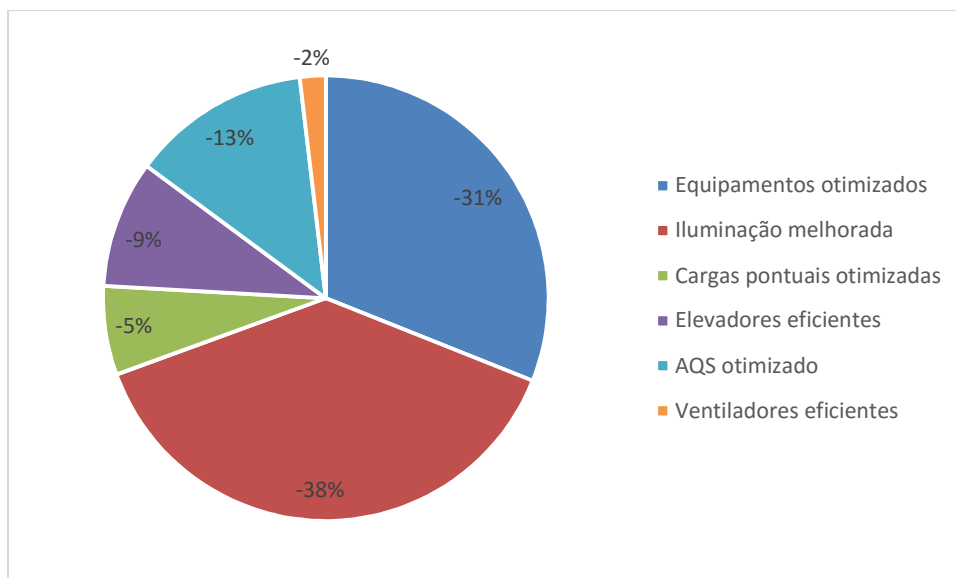


Figura 6.9 – Redução das necessidades energéticas com os sistemas adotados

Os indicadores energéticos para a situação dos sistemas melhorados do edifício são os indicados no Quadro 6.12.

Quadro 6.12 – Indicadores energéticos da solução com sistemas melhorados

Indicadores Energéticos	Projeto Original	Proj. Envolvente melhorada	Proj. Sistemas melhorados
IEE	417	406	193
IEE _S	304	292	143
IEE _T	113	113	50
IEE _{ren}	0	0	0

7 - SOLUÇÃO OTIMIZADA DOS SISTEMAS DE CLIMATIZAÇÃO E AQS

7.1 – Descrição das situações possíveis de serem significativamente melhoradas no AVAC e AQS

Após efetuar as alterações na envolvente do edifício e dos principais sistemas de consumo do edifício, analisa-se as melhorias a efetuar nos sistemas de AVAC.

Para determinar os sistemas que melhor otimizam o consumo energético do edifício, estudam-se as seguintes soluções:

1. Utilização de sistema VRV para climatização: Para climatização do edifício, estuda-se solução de sistema VRV cujos EER/COP se situam ente 4,00 e 4,50;
2. Utilização de UTA com recuperação de energia para ar novo: Na solução original do sistema de ar novo deste edifício, considerou-se a utilização de ventiladores de ar novo e de extração independentes. Não foi considerado nenhum equipamento de recuperação para aproveitar a energia contida no ar de extração para a transferir para os caudais de ar novo. Assim, estuda-se a utilização de UTA com recuperação de ar novo interligado ao sistema VRV definido no ponto anterior;
3. Utilização de bomba de calor para aquecimento de AQS: Para o aquecimento das AQS, analisa-se solução de bomba de calor para aquecimento da água.

7.2 – Utilização de sistema VRV para climatização

Para a climatização das diversas zonas, simula-se a utilização de sistema de VRV (também designado de VRF) com recuperação de energia e com elevado EER e COP.

Um sistema VRF varia o fluxo de refrigerante dependendo da capacidade requerida pelo edifício. As unidades condensadoras são instaladas externamente, e os ambientes são atendidos por múltiplas unidades evaporadoras, possibilitando controlo preciso e independente para cada usuário, de acordo com as condições de conforto e horário de utilização desejada. Permite o zoneamento e a conjugação entre as necessidades e a capacidade, eliminando o desperdício de energia.

Para fazer a modulação do sistema, utiliza-se, como referência, a marca Toshiba, cujas especificações técnicas se expõem no Anexo IV e que aqui se resumem as mais importantes:

- Marca/Modelo das unidades exteriores ref^{as}: Toshiba MAP0804FT8-E;
- Potência de arrefecimento: 22,4 kW;
- Potência de aquecimento: 25 kW;
- COP: 4,40;
- EER: 4,33.

Este equipamento de referência é classificado de A no RECS (EER > 3,20 e COP > 3,60).

A modulação deste tipo de sistemas no *EnergyPlus* recorre a modelos de expansão direta com baterias de arrefecimento e de aquecimento em cada zona climatizada. Para este tipo de sistema, as unidades de cada zona são ligadas por nós de admissão e de extração. O esquema de ligações que o *EnergyPlus* considera neste sistema é o indicado na Figura 7.1.

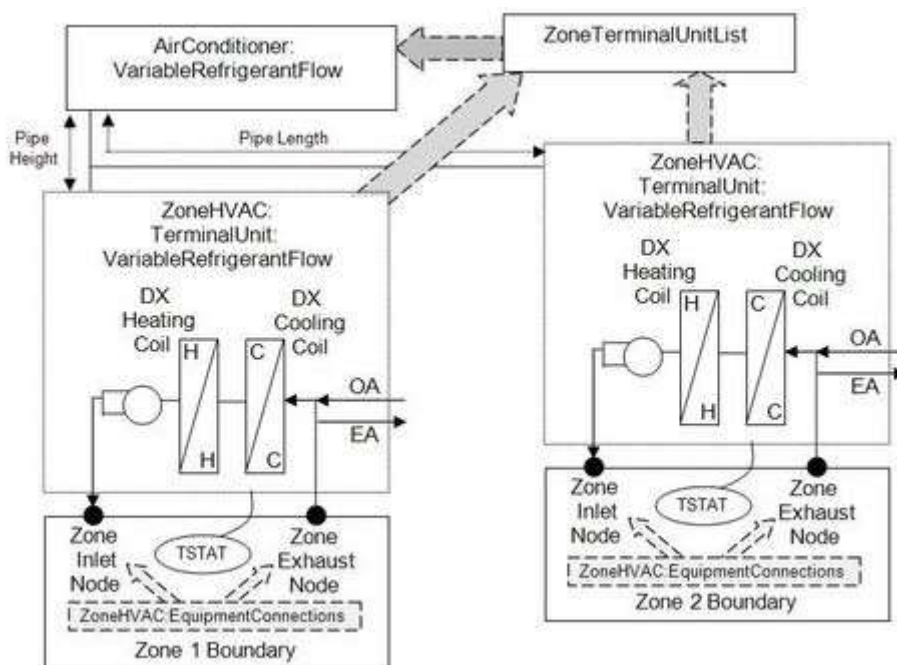


Figura 7.1 – Esquema de VRF do *EnergyPlus*

Os resultados obtidos são os descritos no Quadro 7.1 e na Figura 7.2.

Quadro 7.1 – Necessidades com sistema VRV

Necessidade	Eletricidade Projeto Original [kW.h]	Eletricidade Envolvente Melhorada [kW.h]	Eletricidade Sistemas Melhorados [kW.h]	Eletricidade VRF [kW.h]	Diferença da alteração em relação a Sistemas melhorados [kW.h]
Aquecimento	8.701	7.673	17.768	15.820	-1.948
Arrefecimento	30.169	24.977	10.265	6.918	-3.347
Iluminação	69.661	69.661	23.011	23.011	0
Equipamento	61.532	61.532	26.869	26.869	0
Elevadores	13.140	13.140	1.927	1.927	0
Ventilação	12.802	12.802	10.543	10.543	0
Sistemas água	30.245	30.245	14.148	14.148	0
Usos finais - Total	226.250	220.030	104.531	99.236	-5.295

Os valores obtidos com a modulação *EnergyPlus* são coerentes mas ligeiramente diferentes aos expectáveis com os EER e COP dos aparelhos de referência:

$$COP = \frac{53.304}{15.820} = 3,37$$

$$EER = \frac{30.795}{6.918} = 4,45$$

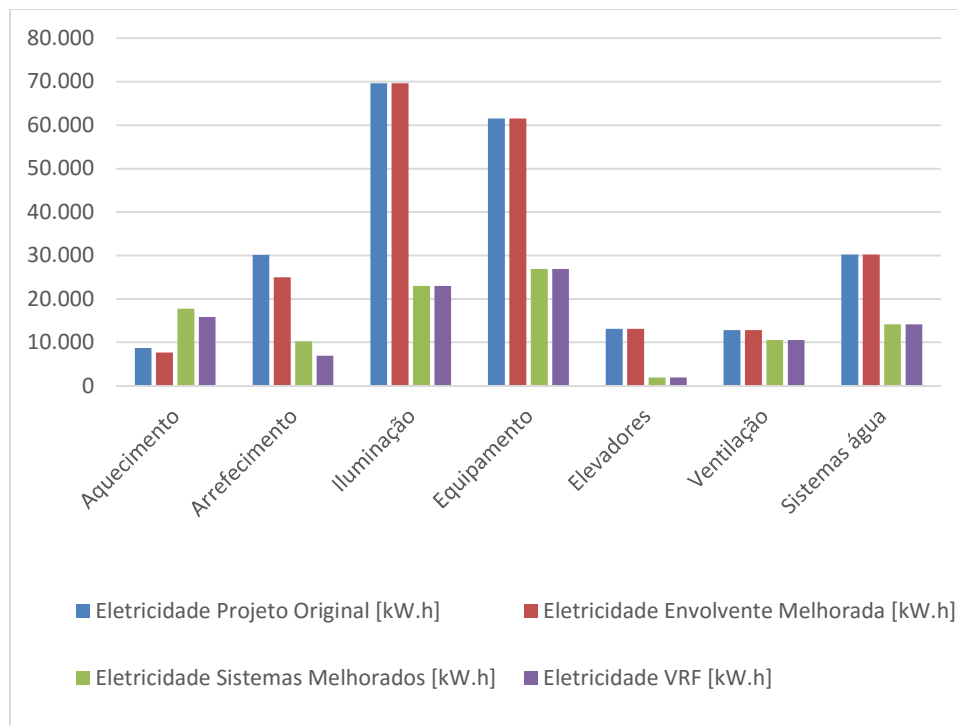


Figura 7.2 – Necessidades totais com sistema VRV

Devido ao elevado ERR/COP do sistema, conseguiu-se uma grande redução de necessidades elétricas. Logo, esta solução deve ser implementada.

7.3 – Utilização de UTA com recuperação de energia para ar novo

Com a solução existente de ventiladores de ar novo e de extração, no Inverno, o calor existente no ar extraído dos quartos e das restantes zonas climatizadas é desperdiçado. Assim, estuda-se a solução de UTA com recuperador de placas com 70% de eficiência para se aproveitar parte do calor do ar de extração para aquecimento de ar novo. Não é recomendada a instalação de roda térmica pois o retorno dos caudais dos diversos quartos é feito através de extração das casas de banho. Com a roda térmica poderia ter-se contaminação do ar novo.

A modulação do *EnergyPlus* para esta UTA recorre ao *template* de *Dedicated Outside Air System*. Este consiste numa unidade de volume constante de 100% de ar novo que serve várias zonas. Podem ser consideradas várias combinações de baterias de arrefecimento, de aquecimento, de recuperação de calor e humidificação. Além de permitir o controlo de temperatura, é, também, possível o controlo de humidade. Assume que existe um caudal de ar de retorno igual ao caudal de ar novo. Este é descrito pelo conjunto de elementos indicados na Figura 7.3, e que têm de ser definidos no programa.

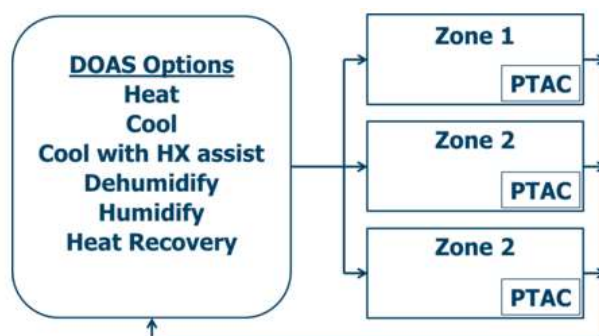


Figura 7.3 – Esquema de UTA do EnergyPlus

Os resultados obtidos são os descritos no Quadro 7.2 e na Figura 7.4.

Quadro 7.2 – Necessidades com sistema VRV + UTA com recuperação de energia

Necessidade	Eletricidade Projeto Original [kW.h]	Eletricidade Envolvente Melhorada [kW.h]	Eletricidade Sistemas Melhorados [kW.h]	Eletricidade VRF + UTA Recuperação [kW.h]	Diferença da alteração em relação a Sistemas melhorados [kW.h]
Aquecimento	8.701	23.019	17.768	5.680	-12.088
Arrefecimento	30.169	74.930	10.265	5.408	-4.857
Iluminação	69.661	69.661	23.011	23.011	0
Equipamento	61.532	61.532	26.869	26.869	0
Elevadores	13.140	13.140	1.927	1.927	0
Ventilação	12.802	12.802	10.543	7.803	-2.740
Sistemas água	30.245	90.735	14.148	14.148	0
Usos finais - Total	226.250	345.819	104.531	84.847	-19.685

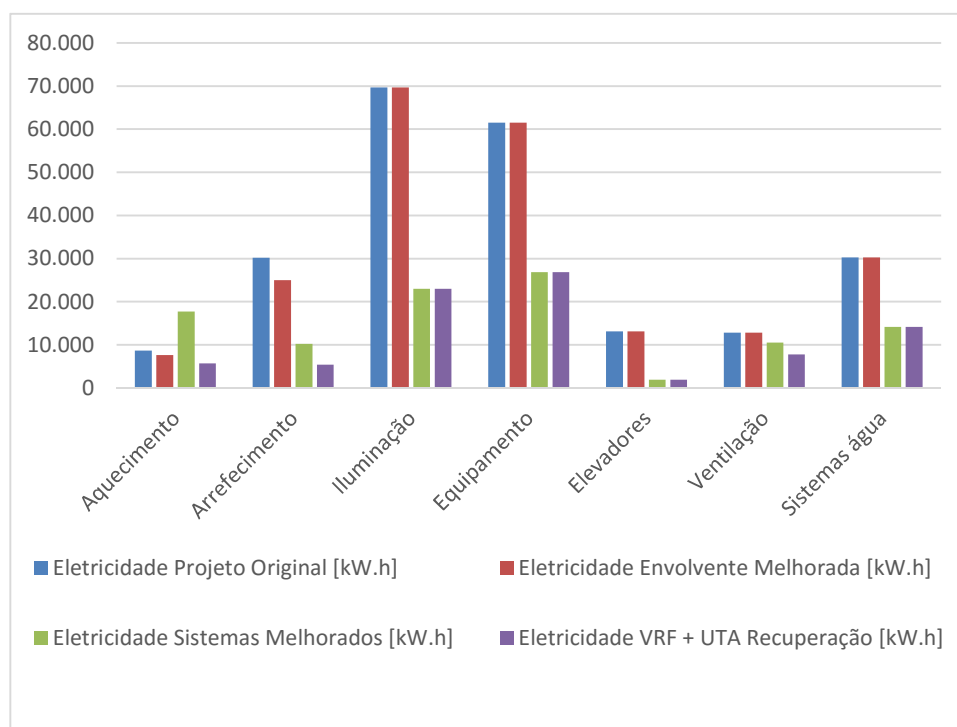


Figura 7.4 – Necessidades totais com sistema VRV + UTA com recuperação de energia

Conforme seria exetável, com um clima ameno de Verão em Lisboa, apenas existe uma significativa recuperação de energia de aquecimento, constatável pelos valores obtidos na situação antes da implementação da UTA com recuperador após a implementação desta solução e descritos no Quadro 7.3.

Quadro 7.3 – Redução de necessidades com a introdução de UTA com recuperador de calor

Situação	Apenas VRF [kW.h]	VRF + UTA com recuperação [kW.h]	Melhoria [kW.h]
Aquecimento	15.820	5.680	10.140
Arrefecimento	6.918	5.408	1.510

Devido à elevada eficiência do recuperador com permutador de placas, consegue-se fazer um bom aproveitamento do caudal de ar de extração. Logo, esta solução deve ser implementada.

7.4 – Utilização de bomba de calor para aquecimento de AQS

Para o aquecimento de AQS, simula-se a utilização de 3 sistemas de bomba de calor de elevado desempenho, o 1º para os pisos -1 a 1, o 2º sistema para os pisos 2 a 4 e o 3º sistema para os pisos de 5 a 8. O COP utilizado nos cálculos é de 4,3 e o equipamento de referência, e suas características principais são:

- Marca/Modelo das unidades exteriores ref^a: Toshiba ESTIA HWS-1604H8-E;
- Potência de aquecimento: 16 kW;
- COP: 4,30.

O *EnergyPlus* utiliza o modelo *Water Heater Heat Pump* para modular estes sistemas.

Este modelo de bomba de calor para aquecimento de água consiste num objeto composto de um depósito de água quente, uma bateria de aquecimento de expansão direta, uma permutador a ar, um compressor, um ventilador e uma bomba de água. Estes equipamentos funcionam num conjunto que aquece a água recorrendo ao ar da zona ou ar exterior como fonte principal de calor. São permitidas diversas configurações destes equipamentos sendo que o modelo utilizado é o representado na Figura 7.5.

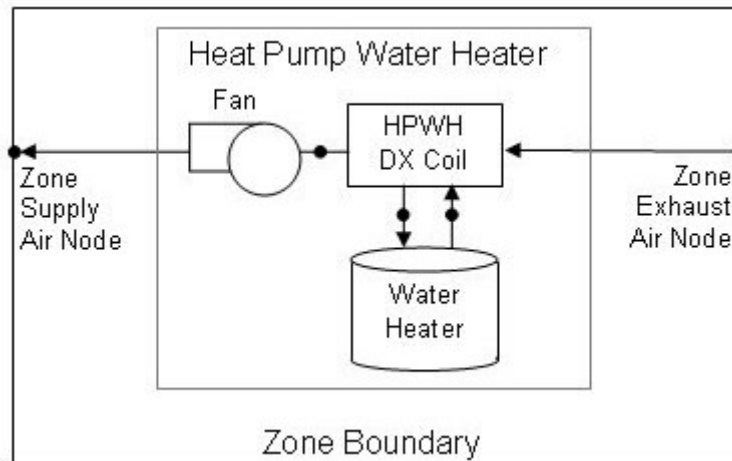


Figura 7.5 – Esquema de bomba de calor para AQS do *EnergyPlus*

Os resultados obtidos são os descritos no Quadro 7.4 e na Figura 7.6.

Quadro 7.4 – Necessidades com sistema VRV + UTA com recuperação de energia + Bomba de calor para AQS

Necessidade	Eletricidade Projeto Original [kW.h]	Eletricidade Envolvente Melhorada [kW.h]	Eletricidade Sistemas Melhorados [kW.h]	Eletricidade VRF + UTA Recuperação + Bomba Calor AQS [kW.h]	Diferença da alteração em relação a Sistemas melhorados [kW.h]
Aquecimento	8.701	23.019	17.768	5.680	-12.088
Arrefecimento	30.169	74.930	10.265	5.408	-4.857
Iluminação	69.661	69.661	23.011	23.011	0
Equipamento	61.532	61.532	26.869	26.869	0
Elevadores	13.140	13.140	1.927	1.927	0
Ventilação	12.802	12.802	10.543	7.803	-2.740
Sistemas água	30.245	90.735	14.148	9.871	-4.277
Usos finais - Total	226.250	345.819	104.531	80.569	-23.962

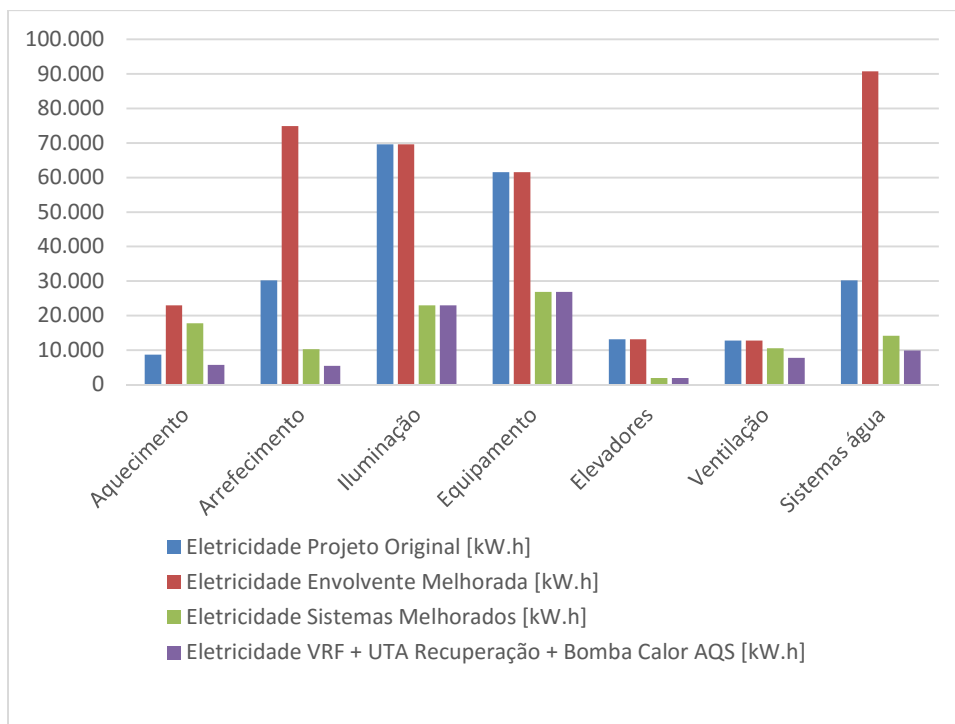


Figura 7.6 – Necessidades totais com sistema VRV + UTA com recuperação de energia + Bomba de calor para AQS

Os valores obtidos com a modulação do sistema de aquecimento de AQS por bomba de calor através do *EnergyPlus* são coerentes aos expectáveis com o COP dos aparelhos de referência:

$$COP = \frac{42.445}{9.871} = 4,30$$

As necessidades para aquecimento de AQS no hotel são muito significativas e constata-se que devido à elevada eficiência da bomba de calor, consegue-se fazer uma grande redução de consumo elétrico. Logo, esta solução deve ser implementada.

7.5 – Solução final de AVAC e AQS melhorados

Tendo em conta as análises descritas nos pontos anteriores, a solução de AVAC e AQS melhorada adotada para os sistemas não AVAC do edifício será a solução de envolvente melhorada acrescida com os sistemas melhorados das seguintes alterações:

- Sistema VRV de elevador desempenho;
- UTA com recuperação de energia;
- Bomba de calor para AQS com elevado desempenho.

Note-se que, com a melhoria das características dos vários sistemas de AVAC e de AQS do edifício, a contribuição da climatização para os gastos energéticos do edifício voltam a reduzir-se significativamente. A necessidade energética com o aquecimento das AQS também é drasticamente reduzida.

Na Figura 7.7 nota-se quais são os sistemas que podem ser melhorados e que mais contribuem para a redução do consumo energético:

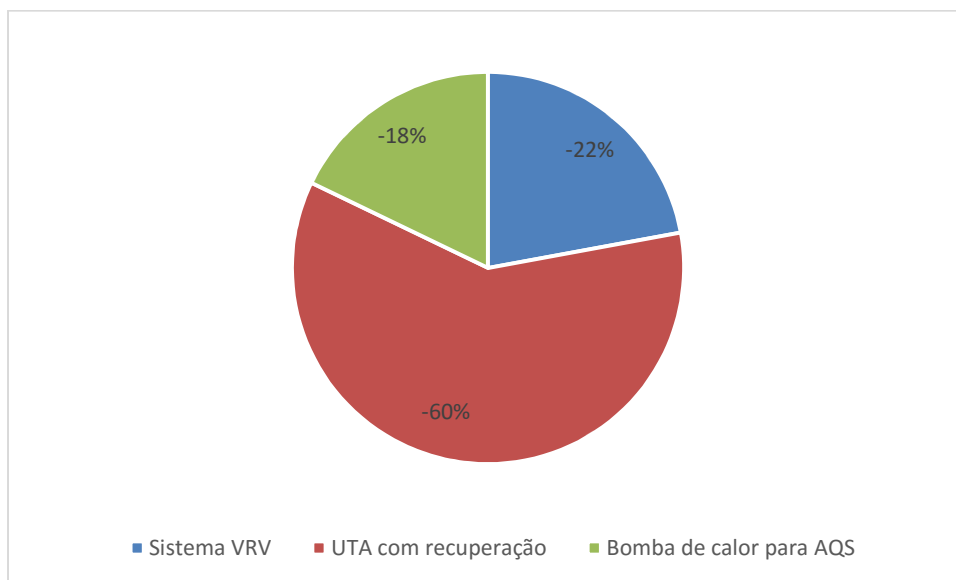


Figura 7.7 – Redução das necessidade energéticas com os sistemas adotados

Os indicadores energéticos para a situação dos sistemas melhorados do edifício são os indicados no Quadro 7.5.

Quadro 7.5 – Indicadores energéticos da solução com sistemas de AVAC e AQS melhorados

Indicadores Energéticos	Projeto Original	Proj. Envolvente melhorada	Proj. Sistemas melhorados	Proj. Sistemas VAC e AQS melhorados
IEE	417	406	193	149
IEE _s	304	292	143	99
IEE _T	113	113	50	50
IEE _{ren}	0	0	0	0

8 - SOLUÇÃO DE PRODUÇÃO DE ENERGIA

8.1 – Descrição das situações possíveis de produção de energia

Após efetuar as alterações na envolvente do edifício, dos principais sistemas de consumo do edifício e dos sistemas de AVAC, determina-se os sistemas de produção de energia do edifício.

Para determinar os sistemas que melhor otimizam a produção de energia do edifício, estudam-se as seguintes soluções:

1. Painéis fotovoltaicos na cobertura e na fachada;
2. Painéis solares para produção de AQS;
3. Aerogerador na cobertura;
4. Banco de baterias.

8.2 – Painéis fotovoltaicos

Para produção própria do hotel de energia elétrica, simula-se, através do *EnergyPlus*, a utilização de painéis fotovoltaicos na cobertura, no terraço e na fachada Sul do hotel.

Os painéis fotovoltaicos convertem a energia solar em energia elétrica. Estes equipamentos apresentam elevada fiabilidade e fácil manutenção pois não possuem partes móveis, ao contrário dos restantes geradores elétricos.

A posição dos módulos fotovoltaicos relativamente ao sol é de extrema importância para que a produção energética seja a máxima possível. No caso do hemisfério norte esta orientação corresponde ao sul, enquanto no hemisfério sul corresponde ao norte.

Se apenas se considerar o caso de uma aplicação autónoma que consome uma determinada energia quase constante ao longo de todo o ano, é no Inverno que se deverá otimizar a produção, uma vez que é a época com menor incidência solar. Para uma utilização anual, a inclinação ideal é, aproximadamente, igual à latitude do local, somada de 10°. Em Portugal, ter-se-á então uma implantação denominada "50 Sul" (orientação Sul e inclinação 50°). Quando a instalação é para funcionar apenas durante o Verão, é preferível uma inclinação de 20 a 30° com a mesma orientação.

Como se considera, na presente situação do hotel, uma instalação ligada à rede cuja produção energética pretende ser a máxima possível, haverá todo o interesse em que assim aconteça durante todo o ano.

O seguinte gráfico (Figura 8.1) representa a irradiação global mensal média sobre o plano fixo horizontal e inclinado em Lisboa (Castro, 2011).

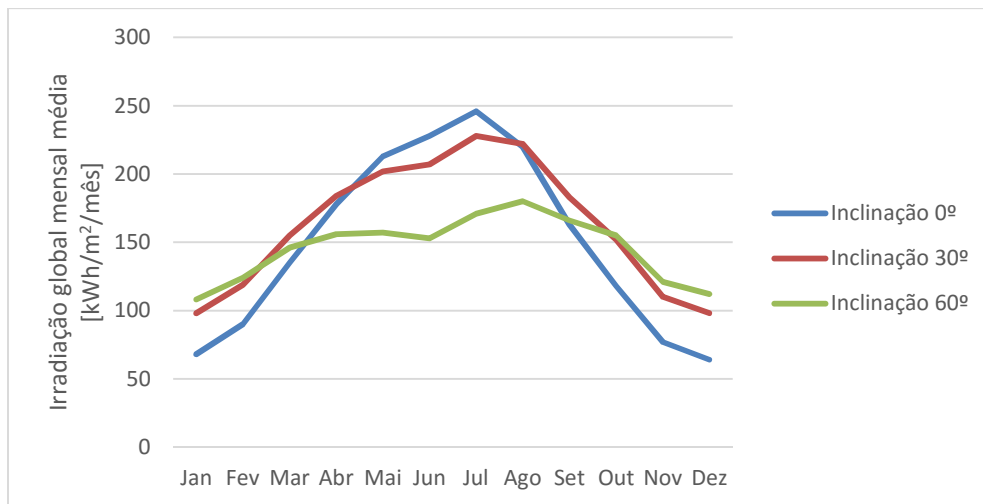


Figura 8.1 – Irradiação global mensal média sobre o plano fixo horizontal e inclinado em Lisboa

Assim, constata-se que a inclinação dos painéis que produzirão a maior quantidade de energia elétrica anual será a que se aproxima da latitude do local onde o hotel se localiza. Uma vez que a irradiação é superior no Verão, opta-se por uma inclinação igual à da latitude menos 5°.

A simulação é efetuada considerando painéis com células de eficiência de 22,09%.

Como referência, utiliza-se painéis Panasonic N330 com as seguintes principais características:

- Marca e modelo de referência: Panasonic N330;
- Eficiência de conversão das células: 22,09%;
- Eficiência de conversão do módulo: 19,7%;
- Área na cobertura: $25 \times 1,62\text{m}^2 = 40,50 \text{ m}^2$, com inclinação de 33°, orientados a Sul;
- Área no terraço: $18 \times 1,62\text{m}^2 = 29,16 \text{ m}^2$, com inclinação de 33°, orientados a Sul mas com forte sombreamento de manhã;
- Área na fachada: $80 \times 1,62\text{m}^2 = 129,60 \text{ m}^2$, com inclinação de 90°, orientados a Sul;

A ficha técnica destes painéis encontra-se no Anexo IV.

A implantação dos painéis fotovoltaicos encontra-se representada no anexo V.

A modulação dos painéis fotovoltaicos no *EnergyPlus* pode ser feita por diversos modelos, mais ou menos complexos. Neste estudo, utilizou-se o *Generator:PV:Simple* que descreve o modelo mais simples de previsão da produção de energia de painéis fotovoltaicos. Neste modelo, o utilizador especifica a eficiência que a superfície do painel tem na conversão da energia solar em eletricidade.

O modelo matemático utilizado para a determinação da potência de energia elétrica produzida é dado pela seguinte fórmula:

$$P = A_{surf} \cdot f_{activ} \cdot G_T \cdot \eta_{cell} \cdot \eta_{invert}$$

Com:

- P - Potência elétrica produzida pelo painel [W];

- A_{surf} - Superfície líquida do painel [m^2];
- f_{activ} - Fração da superfície com células ativas;
- G_T - Irradiação solar total incidente no painel fotovoltaico [W/m^2];
- η_{cell} - Eficiência de conversão do módulo;
- η_{invert} - Eficiência de conversão de corrente contínua para corrente alterna.

Os resultados obtidos são os descritos no Quadro 8.1 e na Figura 8.2.

Quadro 8.1 – Consumos energéticos do edifício e produção fotovoltaica

Consumo	Eletricidade VRF + UTA Recuperação + Bomba Calor AQS [kW.h]	Percentagem de energia [%]
Aquecimento	5.680	7%
Arrefecimento	5.408	7%
Iluminação	23.011	29%
Equipamento	26.869	33%
Elevadores	1.927	2%
Ventilação	7.803	10%
Sistemas água	9.871	12%
Consumos totais	80.569	100%
Produção fotovoltaica	55.611	69%
Produção consumida no edifício	31.485	39%
Produção fornecida à rede	24.126	30%
Energia fornecida pela rede	46.635	58%
Produção autónoma total	55.611	69%

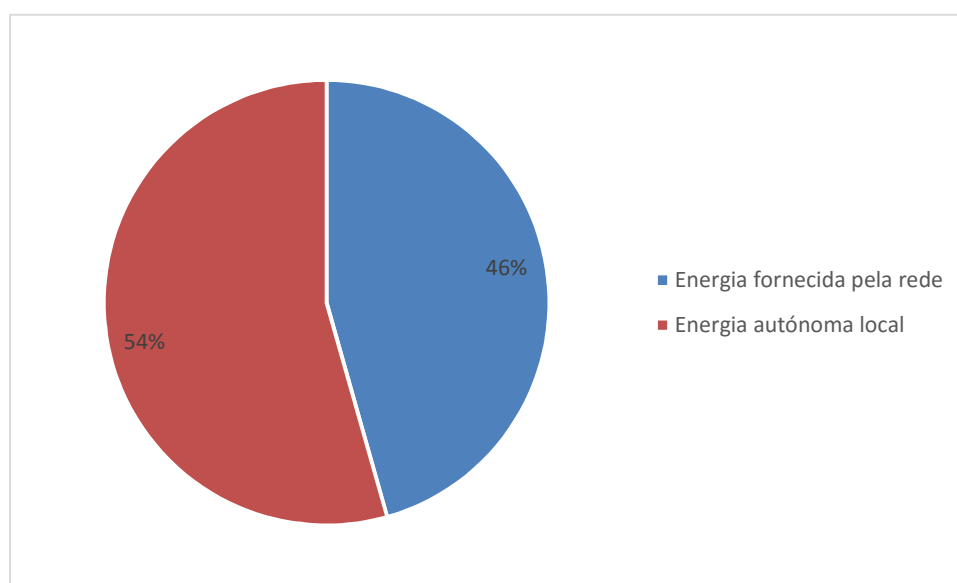


Figura 8.2 – Produção de energia

Verifica-se que a solução de instalar painéis fotovoltaicos na cobertura, no terraço e em parte da fachada sul do edifício, garante uma cobertura significativa das necessidades de eletricidade, apesar de não cobrir totalmente os consumos anuais. No entanto, esta solução deve ser implementada.

8.3 – Painéis solares para produção de AQS

Para produção própria do hotel de energia térmica, simula-se, através do *EnergyPlus*, a utilização de coletores solares planos na cobertura.

Os coletores solares são dispositivos térmicos que convertem energia solar em energia térmica através da elevação da temperatura do fluido que neles circulam. Este fluido pode ser usado para aquecimento das zonas ou de AQS. No nosso caso, apenas se utiliza para AQS.

No *EnergyPlus*, os coletores estão ligados num anel de uma central. Os restantes equipamentos que se encontram interligados são bombas e depósitos de AQS.

O modelo utilizado é representado pelo esquema da Figura 8.3.

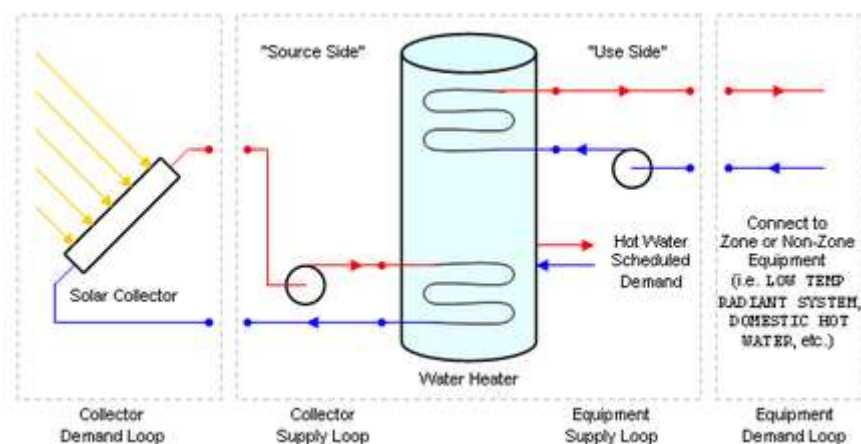


Figura 8.3 – Esquema de ligações do sistema solar modulado pelo *EnergyPlus*

A simulação é efetuada considerando painéis com eficiência de 69,1%.

Como referência, utiliza-se painéis incluídos na biblioteca do *EnergyPlus*, ref^o Alternate Energy Technologies AE-32 com as seguintes principais características:

- Marca e modelo de referência: Alternate Energy Technologies AE-32;
- Eficiência de conversão: 69,1%;
- Área de cada painel: 2,965 m² (simulou-se com dimensão de 1,62 m² para permitir facilmente simular vários conjuntos de coletores solares com painéis PV);
- Área na cobertura: 27 x 1,62m² = 46,98 m², com inclinação de 33°, orientados a Sul;

A ficha técnica deste coletor encontra-se no Anexo IV.

A implantação dos coletores solares encontra-se representada no anexo V.

Como complemento ao aquecimento de AQS por coletores solares, utiliza-se o sistema de bomba de calor anteriormente estudado. Assim, o esquema final de ligações torna-se o seguinte: o primeiro depósito é aquecido via coletores solares; o segundo depósito recorre ao sistema de bomba de calor para aquecimento da água até se atingir a temperatura pretendida. Ver Figura 8.4.

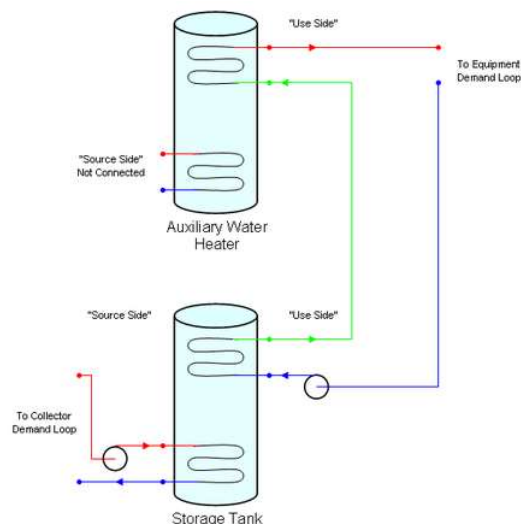


Figura 8.4 – Esquema de ligações dos DAQS solar e da bomba de calor, modulados pelo EnergyPlus

Os resultados obtidos são os descritos no Quadro 8.2 e na Figura 8.5.

Quadro 8.2 – Consumos energéticos do edifício e produção solar-térmica

Consumo eletricidade	Eletricidade VRF + UTA Recuperação + Bomba Calor AQS [kW.h]	Percentagem de energia [%]
Aquecimento	5.680	8%
Arrefecimento	5.408	8%
Iluminação	23.011	32%
Equipamento	26.869	38%
Elevadores	1.927	3%
Ventilação	7.803	11%
Sistemas água	268	0%
Consumos totais	70.966	100%
Produção fotovoltaica	55.611	78%
Produção solar térmica	23.471	
Produção consumida no edifício	25.697	36%
Produção fornecida à rede	29.914	42%
Energia fornecida pela rede	15.355	22%
Produção autónoma total	79.082	111%

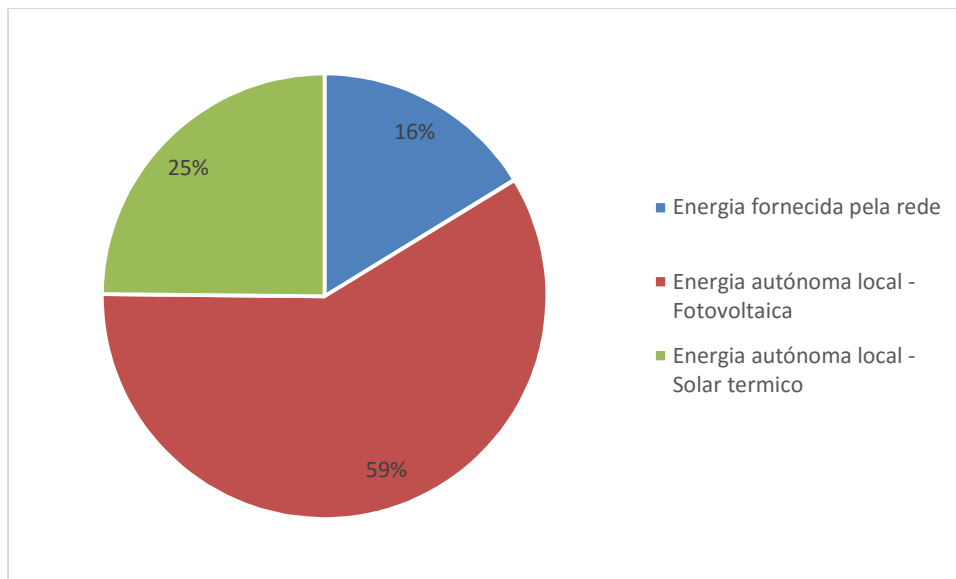


Figura 8.5 – Origem de energia

Verifica-se que a solução de instalar coletores solares para AQS em parte da cobertura, associado a depósitos suficientemente volumosos, garante a quase totalidade das necessidades de aquecimento de água para produção de AQS, apesar de não cobrir totalmente os consumos anuais. Esta solução reduz os consumos elétricos necessários para o funcionamento da bomba de calor a uma parcela residual pelo que seria mais adequado apenas instalar resistências elétricas para o tratamento por choque térmico de *legionella*.

Assim, esta solução deve ser implementada.

8.4 – Aerogerador

Dos valores de produção de energia elétrica através dos painéis fotovoltaicos constata-se que, por mais área que se coloque nas coberturas ou fachadas, esta nunca consegue cobrir parte dos consumos que ocorrem de noite ou nos de dias com pouca radiação solar.

Assim, opta-se por se estudar a implementação de um aerogerador que produz energia mesmo durante o tempo em que os painéis fotovoltaicos não têm qualquer produção.

De seguida, apresenta-se gráfico dos valores de velocidade de vento em Lisboa, retirados do ficheiro meteorológico do INETI. Ver Figura 8.6.

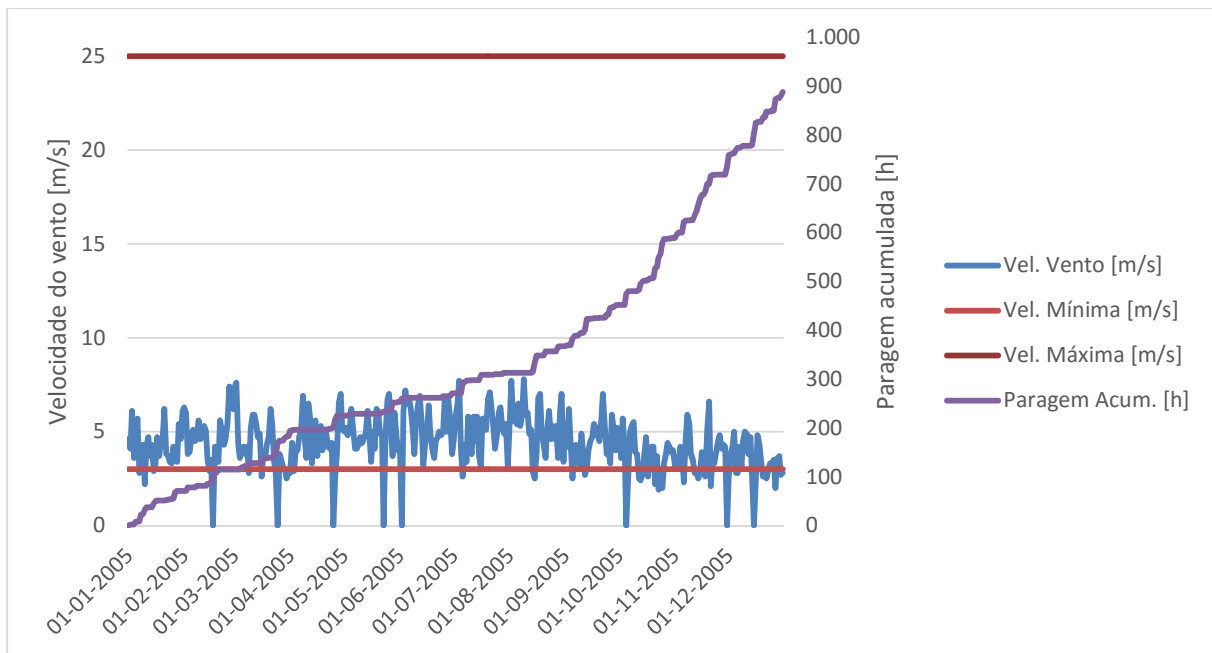


Figura 8.6 – Gráfico da velocidade do vento e horas de paragem do aerogerador

No gráfico pode-se observar que a velocidade média do vento ronda os 5-6 m/s. O aerogerador a considerar apenas funciona com velocidades entre 3 e 25 m/s. Tendo em conta estas velocidades, pode-se verificar que o aerogerador estará parado 896 horas por ano, correspondendo a cerca de 10% do tempo, sem produzir energia. Note-se que a velocidade de 5 m/s é baixa, o que implica que o aerogerador funcionará abaixo da potência nominal grande parte do tempo.

O modelo de aerogerador no *EnergyPlus* estima a produção de potência elétrica de aerogeradores de eixos horizontais e verticais. Devido à relação cúbica entre a velocidade do vento e a potência produzida pela turbina do aerogerador, o desempenho do sistema é altamente dependente das condições de vento do local. Assim, o ficheiro climático da zona do edifício deve conter a informação da velocidade e orientação do vento. O modelo estima a densidade e velocidade do ar na cota onde é instalada a turbina.

A potência obtida pelo aerogerador é calculada pela seguinte expressão:

$$P_W = \frac{1}{2} \rho_{Local} \cdot A_R \cdot V_{Local}^3 \cdot C_P$$

Com:

- P_W - Potência do aerogerador [W];
- ρ_{Local} - Densidade local do ar à cota do aerogerador [kg/m^3];
- A_R - Área percorrida pelo rotor [m^2];
- V_{Local} - Velocidade do vento no local [m/s];
- C_P - Coeficiente de desempenho.

A simulação é efetuada considerando um aerogerador de diâmetro de 5 metros e 10 kW de potência.

Como referência, utiliza-se aerogerador na biblioteca do *EnergyPlus*, com as seguintes principais características:

- Potência máxima: 10 kW;
- Velocidade do rotor: 130 rot/min;
- Diâmetro do rotor: 5,2m;
- Cota de instalação em relação ao pavimento: 35 m;
- Número de pás: 3;
- Velocidade nominal: 11 m/s;
- Velocidade máxima: 25 m/s;
- Velocidade mínima: 3 m/s;
- Coefficiente de desempenho: 0,35.

Os resultados obtidos são os descritos no Quadro 8.3 e na Figura 8.7.

Quadro 8.3 – Consumos energéticos do edifício e produção fotovoltaica e aerogerador

Consumo eletricidade	Eletricidade VRF + UTA Recuperação + Bomba Calor AQS [kW.h]	Percentagem de energia [%]
Aquecimento	5.680	7%
Arrefecimento	5.408	7%
Iluminação	23.011	29%
Equipamento	26.869	33%
Elevadores	1.927	2%
Ventilação	7.803	10%
Sistemas água	9.871	12%
Consumos totais	80.569	100%
Produção fotovoltaica	55.611	71%
Aerogerador	46.067	59%
Produção consumida no edifício	56.140	70%
Produção fornecida à rede	45.538	58%
Energia fornecida pela rede	23.821	30%
Produção autónoma total	101.678	130%

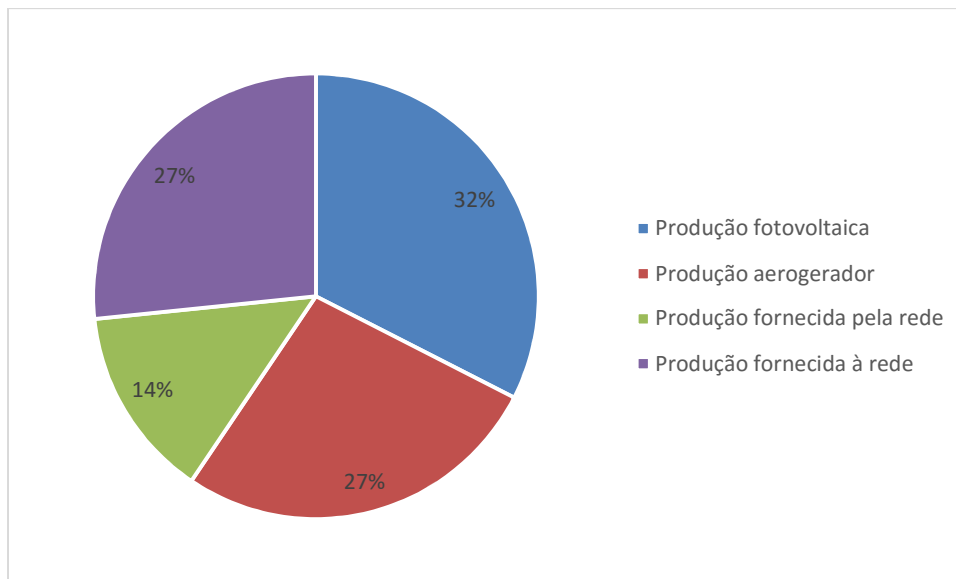


Figura 8.7 – Gráfico da origem de energia

Verifica-se que a solução de adicionar a instalação do aerogerador ao sistema fotovoltaico e sistema solar térmico já torna o edifício num NZEB, pois apesar de ainda haver consumo de energia elétrica da rede, a produção própria do edifício ultrapassa o consumo.

Assim, esta solução deve ser implementada.

8.5 – Banco de baterias

Verifica-se que, mesmo utilizando o aerogerador, existem períodos do ano em que este não produz energia, ou o seu valor é reduzido, devido à velocidade do vento no local ser insuficiente. Grande parte da produção própria de energia elétrica tem de ser enviada para a rede. Por outro lado, nos períodos em que não há produção própria de energia, existem consumos significativos de energia que têm de ser adquiridos à rede. Por forma a contornar esta situação, pode-se recorrer a bancos de baterias que armazenam a produção de energia excedente, que não é consumida num instante, para ser utilizada noutra altura em que a produção própria não consegue cobrir as necessidades de consumo.

Apresenta-se, no gráfico da Figura 8.8, os valores de acumulação de energia obtidos com a simulação de um banco de baterias de 2 GJ (556kW.h).

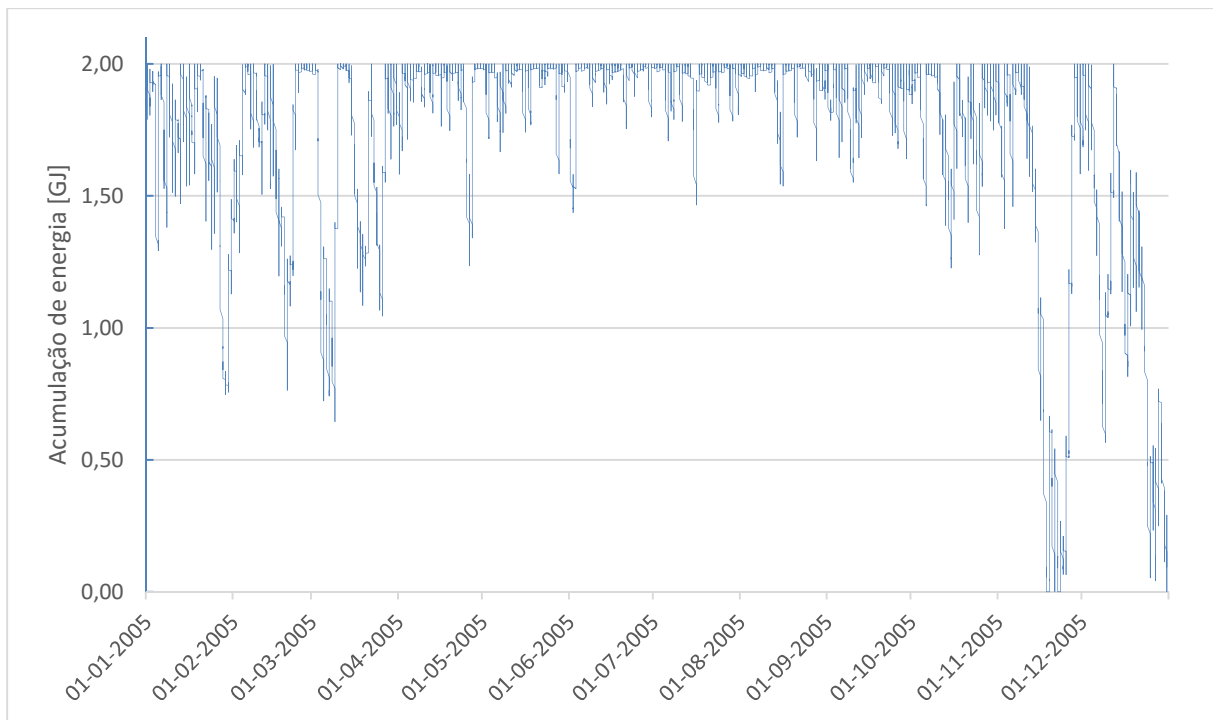


Figura 8.8 – Evolução da acumulação de energia

Verifica-se que, desde 15 até dia 27/11/2005, existe pouca produção autónoma de energia pelo que os bancos de bateria permanecem bastante tempo “descarregados”. Isto deve-se a existir consumos normais no hotel sem que haja radiação solar suficiente para produção através do sistema fotovoltaico e não existe velocidade de vento considerável para a produção por aerogerador.

Uma vez que estas duas semanas são as mais críticas, faz-se, no gráfico da Figura 8.9, uma apresentação dos valores de produção, consumo e armazenamento de energia.

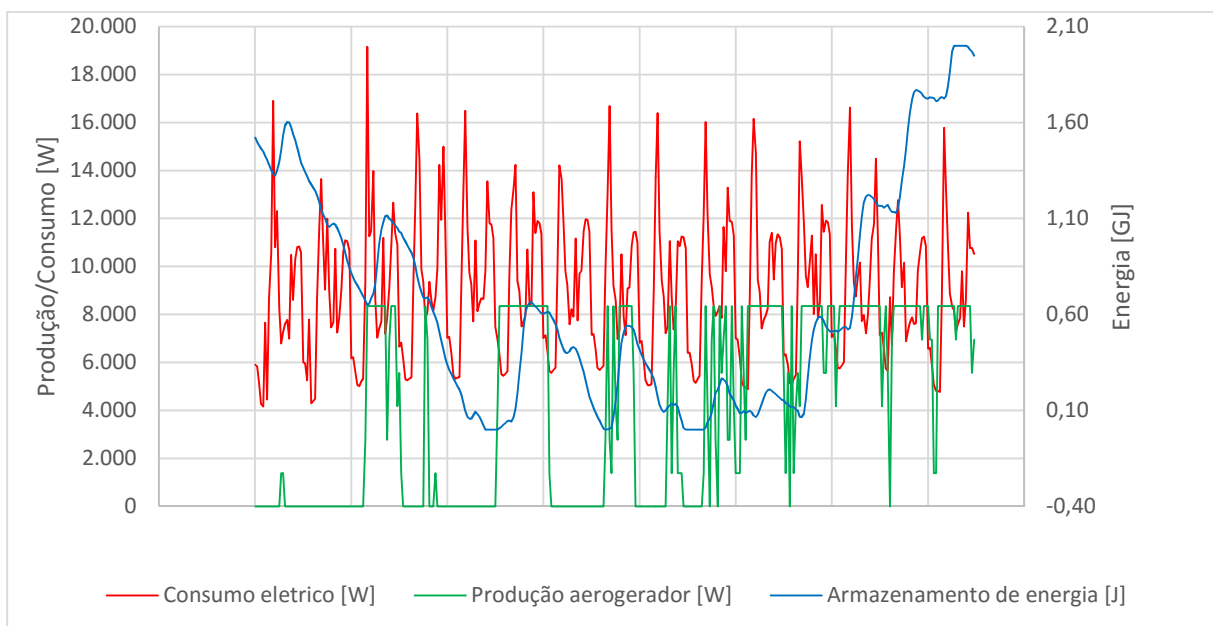


Figura 8.9 – Evolução da produção, consumo e acumulação de energia

Note-se que, quando o armazenamento de baterias chega a valor nulo, corresponde a situações pontuais, em datas específicas, pelo que não é racional tentar encontrar um banco de baterias que cubra todas as situações em que o armazenamento chegue a este valor.

Foram estudadas diversas capacidades de bancos de baterias, e o benefício que introduzem no aproveitamento efetivo da energia produzida localmente. Repare-se que o custo destes equipamentos é elevado e proporcional ao valor de acumulação de energia pelo que a eventual seleção deverá ser criteriosa.

Os resultados obtidos são os descritos no Quadro 8.4 e na Figura 8.10.

Quadro 8.4 – Variação de trocas de eletricidade com a rede, conforme capacidade do banco de baterias

Capacidade de acumulação de energia [MJ]	0	75	150	250	500	750	1500
Energia fornecida pela rede [kW.h]	23.821	14.597	10.450	6.781	2.915	1.696	457
Energia fornecida à rede [kW.h]	45.538	38.176	34.050	30.409	26.584	25.365	24.417
Energia elétrica produzida localmente [kW.h]	101.678	101.678	101.678	101.678	101.678	101.678	101.678
Energia elétrica consumida [kW.h]	78.119,73	78.119,73	78.119,73	78.119,73	78.119,73	78.119,73	78.119,73

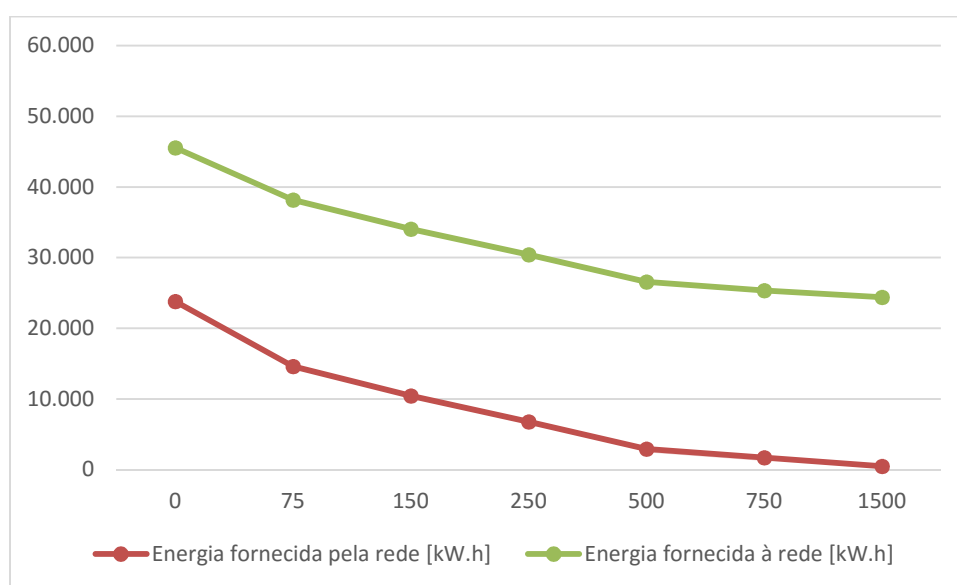


Figura 8.10 – Gráfico da evolução de trocas de eletricidade com a rede conforme capacidade do banco de baterias

Para se suprir o pico de consumo com reduzida produção no período de Novembro atrás referido, seria necessário um banco de baterias de 2,6 GJ.

A título de exemplo, considere-se um banco de baterias de 750 MJ, ou seja, com capacidade de cerca de 200 kW durante 1 hora. Assim, teríamos os seguintes valores de energia, referidos no Quadro 8.5.

Quadro 8.5 – Consumos energéticos do edifício com banco de baterias

Consumo	Eletricidade VRF + UTA Recuperação + Bomba Calor AQS [kW.h]	Percentagem de energia [%]
Aquecimento	12.667	16%
Arrefecimento	5.327	7%
Iluminação	23.012	29%
Equipamento	27.076	35%
Elevadores	1.927	2%
Ventilação	7.624	10%
Bombas	224	0%
Sistemas água	263	0%
Consumos totais	78.120	100%
Produção fotovoltaica	55.611	71%
Aerogerador	46.067	59%
Total produção elétrica autónoma	101.678	130%
Produção consumida no edifício	76.313	98%
Produção fornecida à rede	25.365	32%
Energia fornecida pela rede	1.696	2%

Com um banco de baterias de 750 MJ, consegue-se um edifício que apenas recorre ao fornecimento da energia da rede para suprir 2% das suas necessidades de energia elétrica.

Os indicadores energéticos do edifício para esta solução, com sistema fotovoltaico, aerogerador, coletores solares térmicos e aerogeradores, são os indicados no Quadro 8.6.

Quadro 8.6 – Indicadores energéticos da solução com envolvente e sistemas de AVAC e de AQS melhorados, produção própria de energia e seu armazenamento

Indicadores Energéticos	Projeto Original	Proj. Envolvente melhorada	Proj. Sistemas melhorados	Proj. Sistemas VAC e AQS melhorados	Produção própria de energia
IEE	417	406	193	149	-44
IEE _S	304	292	143	99	110
IEE _T	113	113	50	50	50
IEE _{ren}	0	0	0	0	204

8.6 – Necessidades para se atingir o NZEB

De acordo com a publicação *Principles For Nearly Zero-Energy Buildings*, o limite de emissões de CO₂ por unidade de área para se considerar um edifício NZEB é de 3 kgCO₂/m².ano.

Considerando que a área útil do edifício é de 1.356 m², então as emissões máximas a considerar para que o hotel atinja os objetivos propostos, ou seja, de ser um NZEB, é de 4.068 kgCO₂/ano. Conforme definido no Despacho 17313/2008, considera-se que o fator de emissão associado ao consumo de eletricidade é igual a 0,47 kgCO₂ e/kWh.

Consequentemente, a quantidade máxima de energia elétrica da rede que o edifício em estudo pode consumir é:

$$\text{Consumo NZEB Máximo} = \frac{4.068}{0,47} = 8.655 \text{ kW.h}$$

Assim, para se atingir este objetivo NZEB, é necessário recorrer a um banco de baterias de 250 MJ.

9 - ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÓMICA

9.1 – Descrição das situações possíveis de produção de energia

Neste capítulo apresenta-se um estudo simplificado da viabilidade económica das instalações de produção e armazenamento de energia apresentadas anteriormente. Salienta-se que esta análise económica refere-se somente à instalação fotovoltaica, ao aerogerador e ao banco de baterias.

Foram estimados valores médios do custo de cada instalação, tendo sido utilizados valores de acordo com a realidade do mercado atual.

Por fim, é importante referir que não foram consideradas taxas de inflação em todas as análises efetuadas.

Para os seguintes estudos, considera-se que os valores médios de aquisição e de venda de energia elétrica de e para a rede são:

- Preço médio de aquisição de energia elétrica da rede em média tensão (ponderação da tarifa quadri-horária): 0,10 €/(kW.h);
- Preço médio de venda de energia elétrica para a rede: 0,04 €/(kW.h).

9.2 – Viabilidade económica do sistema fotovoltaico

Para o estudo da viabilidade económica do sistema fotovoltaico, as principais situações a considerar são:

- Área de painéis solares: 199,26 m²; Preço considerado de 95€/m²;
- Inversores e restante equipamento: Preço considerado de 25€/m²;
- Montagem: Preço considerado de 20€/m²;
- Preço global: 140 €/m²;
- Não se considera a ligeira perda de eficiência dos painéis no decorrer da sua vida útil.

Os valores obtidos são referidos no Quadro 9.1.

Quadro 9.1 – Análise económica do investimento em painéis fotovoltaicos

Anos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(+) Redução de consumo energético [€]	0	3.149	3.149	3.149	3.149	3.149	3.149	3.149	3.149	3.149	3.149
(+) Venda de energia à rede [€]	0	965	965	965	965	965	965	965	965	965	965
(-) Investimento inicial [€]	27.896	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(-) Prestação [€]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(-) Manutenção e outros custos [€]	0	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
Cash Flow [€]	-27.896	2.914	2.914	2.914	2.914	2.914	2.914	2.914	2.914	2.914	2.914
Cash Flow Acumulado [€]	-27.896	-24.983	-22.069	-19.156	-16.242	-13.329	-10.415	-7.502	-4.588	-1.675	1.239
Anos	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
(+) Redução de consumo energético [€]	3.149	3.149	3.149	3.149	3.149	3.149	3.149	3.149	3.149	3.149	
(+) Venda de energia à rede [€]	965	965	965	965	965	965	965	965	965	965	
(-) Investimento inicial [€]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
(-) Prestação [€]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
(-) Manutenção e outros custos [€]	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	
Cash Flow [€]	2.914	2.914	2.914	2.914	2.914	2.914	2.914	2.914	2.914	2.914	
Cash Flow Acumulado [€]	4.153	7.066	9.980	12.893	15.807	18.720	21.634	24.547	27.461	30.374	

O período de retorno do investimento dos painéis fotovoltaicos é de 10 anos pelo que é recomendável a sua implementação.

9.3 – Viabilidade económica de acrescentar o aerogerador

Para o estudo da viabilidade económica de acrescentar um aerogerador de 10 kW ao sistema fotovoltaico, as principais situações a considerar são:

- Aerogerador de 10 kW: Preço considerado de 30.000€;
- Montagem: Preço considerado de cerca de 6.000€;
- Preço global: 36.000€.

Os valores obtidos estão inscritos no Quadro 9.2.

Quadro 9.2 – Análise económica do investimento em painéis fotovoltaicos e aerogerador

Anos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(+) Redução de consumo energético [€]	0	5.614	5.614	5.614	5.614	5.614	5.614	5.614	5.614	5.614	5.614
(+) Venda de energia à rede [€]	0	1.822	1.822	1.822	1.822	1.822	1.822	1.822	1.822	1.822	1.822
(-) Investimento inicial [€]	63.896	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(-) Prestação [€]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(-) Manutenção e outros custos [€]	0	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800
Cash Flow [€]	-63.896	5.636	5.636	5.636	5.636	5.636	5.636	5.636	5.636	5.636	5.636
Cash Flow Acumulado [€]	-63.896	-58.261	-52.625	-46.990	-41.354	-35.719	-30.083	-24.448	-18.812	-13.177	-7.541
Anos	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
(+) Redução de consumo energético [€]	5.614	5.614	5.614	5.614	5.614	5.614	5.614	5.614	5.614	5.614	
(+) Venda de energia à rede [€]	1.822	1.822	1.822	1.822	1.822	1.822	1.822	1.822	1.822	1.822	
(-) Investimento inicial [€]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
(-) Prestação [€]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
(-) Manutenção e outros custos [€]	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	
Cash Flow [€]	5.636	5.636	5.636	5.636	5.636	5.636	5.636	5.636	5.636	5.636	
Cash Flow Acumulado [€]	-1.906	3.730	9.365	15.001	20.636	26.272	31.907	37.543	43.178	48.814	

O período de retorno do investimento dos painéis fotovoltaicos e aerogerador é de 12 anos. Apesar de o período de retorno ser superior em dois anos à solução de apenas com painéis fotovoltaicos, no fim dos 20 anos o *cash flow* acumulado é superior com a incorporação do aerogerador, pelo que é recomendável a sua implementação.

9.4 – Viabilidade económica de acrescentar um banco de baterias de 750 MJ

Para o estudo da viabilidade económica de acrescentar um banco de baterias de 750 MJ ao sistema fotovoltaico e ao aerogerador, as principais situações a considerar são:

- Banco de baterias de 750 MJ: Preço considerado de 100.000€;
- Montagem: Preço considerado de cerca de 6.000€;
- Preço global: 106.000€.

Os valores obtidos estão referidos no Quadro 9.3.

Quadro 9.3 – Análise económica do investimento em painéis fotovoltaicos e aerogerador e banco de baterias de 750 MJ

Anos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(+) Redução de consumo energético [€]	0	7.631	7.631	7.631	7.631	7.631	7.631	7.631	7.631	7.631	7.631
(+) Venda de energia à rede [€]	0	1.015	1.015	1.015	1.015	1.015	1.015	1.015	1.015	1.015	1.015
(-) Investimento inicial [€]	169.896	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(-) Prestação [€]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(-) Manutenção e outros custos [€]	0	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800
Cash Flow [€]	-169.896	6.846	6.846	6.846	6.846	6.846	6.846	6.846	6.846	6.846	6.846
Cash Flow Acumulado [€]	-169.896	-163.051	-156.205	-149.359	-142.513	-135.667	-128.821	-121.975	-115.129	-108.283	-101.437
Anos	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
(+) Redução de consumo energético [€]	7.631	7.631	7.631	7.631	7.631	7.631	7.631	7.631	7.631	7.631	
(+) Venda de energia à rede [€]	1.015	1.015	1.015	1.015	1.015	1.015	1.015	1.015	1.015	1.015	
(-) Investimento inicial [€]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
(-) Prestação [€]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
(-) Manutenção e outros custos [€]	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	
Cash Flow [€]	6.846	6.846	6.846	6.846	6.846	6.846	6.846	6.846	6.846	6.846	
Cash Flow Acumulado [€]	-94.592	-87.746	-80.900	-74.054	-67.208	-60.362	-53.516	-46.670	-39.824	-32.978	

Verifica-se que o *cash flow* acumulado é sempre negativo. Isto deve-se ao elevado valor do investimento do banco de baterias.

Estuda-se agora um banco de baterias de 250 MJ, cujo resultado apresenta-se no Quadro 9.4.

Quadro 9.4 – Análise económica do investimento em painéis fotovoltaicos e aerogerador e banco de baterias de 250 MJ

Anos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(+) Redução de consumo energético [€]	0	7.127	7.127	7.127	7.127	7.127	7.127	7.127	7.127	7.127	7.127
(+) Venda de energia à rede [€]	0	1.216	1.216	1.216	1.216	1.216	1.216	1.216	1.216	1.216	1.216
(-) Investimento inicial [€]	99.230	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(-) Prestação [€]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(-) Manutenção e outros custos [€]	0	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800
Cash Flow [€]	-99.230	6.543	6.543	6.543	6.543	6.543	6.543	6.543	6.543	6.543	6.543
Cash Flow Acumulado [€]	-99.230	-92.686	-86.143	-79.600	-73.057	-66.513	-59.970	-53.427	-46.884	-40.340	-33.797
Anos	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
(+) Redução de consumo energético [€]	7.127	7.127	7.127	7.127	7.127	7.127	7.127	7.127	7.127	7.127	
(+) Venda de energia à rede [€]	1.216	1.216	1.216	1.216	1.216	1.216	1.216	1.216	1.216	1.216	
(-) Investimento inicial [€]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
(-) Prestação [€]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
(-) Manutenção e outros custos [€]	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	
Cash Flow [€]	6.543	6.543	6.543	6.543	6.543	6.543	6.543	6.543	6.543	6.543	
Cash Flow Acumulado [€]	-27.254	-20.711	-14.167	-7.624	-1.081	5.462	12.006	18.549	25.092	31.635	

O período de retorno ocorre aos 16 anos. No entanto, como não foram considerados os custos de substituição de baterias, cuja vida útil é bastante inferior aos 20 anos, esta solução continua a não ser economicamente viável.

Por último, estuda-se um banco de baterias de 75 MJ, que garante que apenas 19 % da energia elétrica consumida no edifício é originária da rede. Os valores obtidos são apresentados no Quadro 9.5.

Quadro 9.5 – Análise económica do investimento em painéis fotovoltaicos e aerogerador e banco de baterias de 75 MJ

Anos	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(+) Redução de consumo energético [€]	0	6.350	6.350	6.350	6.350	6.350	6.350	6.350	6.350	6.350	6.350
(+) Venda de energia à rede [€]	0	1.527	1.527	1.527	1.527	1.527	1.527	1.527	1.527	1.527	1.527
(-) Investimento inicial [€]	74.496	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(-) Prestação [€]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(-) Manutenção e outros custos [€]	0	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800
Cash Flow [€]	-74.496	6.077	6.077	6.077	6.077	6.077	6.077	6.077	6.077	6.077	6.077
Cash Flow Acumulado [€]	-74.496	-68.419	-62.342	-56.265	-50.187	-44.110	-38.033	-31.956	-25.878	-19.801	-13.724
Anos	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
(+) Redução de consumo energético [€]	6.350	6.350	6.350	6.350	6.350	6.350	6.350	6.350	6.350	6.350	
(+) Venda de energia à rede [€]	1.527	1.527	1.527	1.527	1.527	1.527	1.527	1.527	1.527	1.527	
(-) Investimento inicial [€]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
(-) Prestação [€]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
(-) Manutenção e outros custos [€]	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	1.800	
Cash Flow [€]	6.077	6.077	6.077	6.077	6.077	6.077	6.077	6.077	6.077	6.077	
Cash Flow Acumulado [€]	-7.647	-1.570	4.508	10.585	16.662	22.739	28.817	34.894	40.971	47.048	

O período de retorno ocorre aos 13 anos. No entanto, o *cash flow* acumulado continua a ser inferior à solução do sistema fotovoltaico e aerogerador sem qualquer acumulação de energia.

9.5 – Viabilidades económicas das várias soluções de produção e acumulação de energia

Na Figura 9.1 representa-se a evolução do *cash flow* acumulado das diversas soluções de produção e armazenamento de energia.

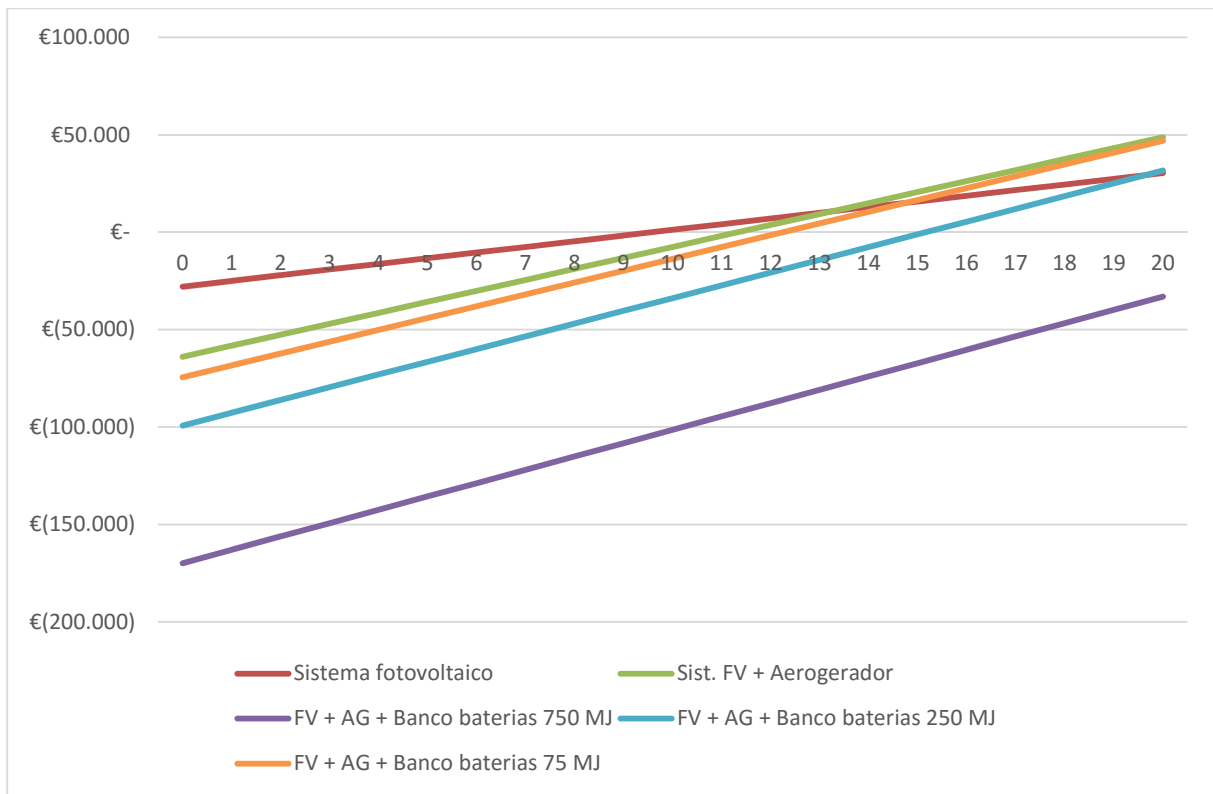


Figura 9.1 – Evolução do *cash flow* acumulado para as diversas soluções de produção e acumulação de energia

10 - COMPARAÇÕES DE RESULTADOS COM OUTROS ESTUDOS

Por forma a aferir os resultados obtidos, procede-se, no presente capítulo, à sua comparação com os obtidos em outros estudos (dissertações de mestrados) sobre desempenho energético de edifícios.

Estudo de soluções de otimização para edifícios de balanço energético nulo, 2012, Ferreira, A.R.C.S.

Esta dissertação inclui um estudo sobre alterações de soluções de construção de uma moradia, com vista a melhorar o seu comportamento energético.

Algumas das soluções que se encontram nesta dissertação são semelhantes às estudadas na presente dissertação sobre o hotel, nomeadamente a seguinte:

a) Envidraçados com introdução de Árgon:

- A moradia tem a seguinte composição de envidraçados: vidro puro incolor com 3 mm, espaço de ar com 13 mm, vidro puro incolor com 3 mm, $U = 2,72 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$;
- Nessa dissertação, à semelhança do estudo do hotel, a introdução de Árgon na caixa-de-ar produz uma insignificante alteração de consumo energético (N_{tc}).

Edifício histórico de escritórios - Convergência para NZEB de um edifício classificado, 2013, Jorge, A.F.M.

Nesta dissertação encontramos estudos sobre alterações de soluções construtivas, de equipamentos e de sistemas de iluminação de um edifício de serviços com cerca de 1.140 m^2 de área útil distribuídos por 3 pisos que podem ser comparadas com as alterações propostas para o hotel em análise neste trabalho.

a) Isolamento térmico na cobertura:

- O edifício tem cobertura constituída por: laje de betão com 20 cm, reboco comentício, acabamento em estuque, $U = 3,25 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$;
- Na dissertação do edifício de serviços, esta alteração introduz uma melhoria de cerca de 18% nos consumos energéticos de arrefecimento e aquecimento, que compara com a redução de 2,5% no caso do hotel. Note-se que a área de cobertura do edifício de serviços em relação à sua área útil é muito superior à do caso do hotel, o que explica a diferença dos valores.

b) Substituição dos computadores fixos por portáteis:

- No estudo do edifício de serviços, analisou-se a alteração de computadores fixos por portáteis. Chegou-se a uma redução de 36% do consumo de equipamentos e de 9,5% no consumo total energético do edifício;

- Estes valores podem ser comparados com a redução dos equipamentos gerais do hotel, onde se alcançou uma redução dos consumos de equipamentos de 56% e de 17% no consumo energético total do edifício. Note-se que a alteração de equipamentos no edifício de serviços foi apenas nos computadores quando, no caso do hotel, a alteração de equipamentos foi bastante mais abrangente.

c) Iluminação por sensores de presença:

- A dissertação do edifício de serviços contém um estudo de alteração do sistema de comando de iluminação, com comando por sensores de presença, permitindo que a iluminação só se encontre acionada quando há, efetivamente, necessidade dela, evitando os desperdícios de energia associados à iluminação de espaços temporariamente desocupados. Os valores apontados para esta alteração são de uma redução de 40% nos consumos de iluminação e de 10% nos consumos energéticos totais do edifício.
- Relativamente ao estudo do hotel, a alteração do sistema de iluminação, apesar de não recorrer ao mesmo sistema (alterou-se as lâmpadas para iluminação LED), introduz uma redução de 56% no consumo de iluminação e de 17% do consumo energético total do hotel.

Integração de energias renováveis num modelo de edifício de balanço energético quase zero (NZEB), 2015, Dias, J.F.R.

Esta dissertação apresenta um caso de estudo de uma moradia com uma área útil de 200 m² distribuída por dois pisos. Esta dissertação tem um estudo de viabilidade económica de aplicação de 5 soluções de sistema fotovoltaico que são possíveis comparar com o sistema do hotel, se bem que as dimensões são de ordem de grandeza bastante diferente.

a) Sistema fotovoltaico:

- A solução mais viável determinada na dissertação da moradia, recorre a um conjunto de 6 painéis com cerca de 1,6 m² e a um banco de baterias de 500 Ah. O período de retorno do investimento é de 15 anos;
- No caso do hotel, o período de retorno é de 10 anos. Note-se que o hotel tem mais consumos durante o dia, altura em que a produção fotovoltaica fornece energia diretamente ao edifício, com pouco recurso ao banco de baterias. Numa moradia, é expectável que grande parte dos consumos ocorra quando o sistema fotovoltaico não fornece energia elétrica diretamente, ou seja, neste caso o sistema é muito mais dependente do banco de baterias que é um dos componentes com preço mais elevado no sistema.

Viabilidade da aplicação do conceito NZEB à reabilitação de conjuntos habitacionais em países do Sul da Europa, 2015, Aires, M.A.R.

Esta dissertação tem um estudo sobre a aplicabilidade do conceito NZEB a um conjunto habitacional. Este é constituído por 8 edifícios de 2 andares. Das várias alterações analisadas, podem ser comparadas as seguintes:

a) Substituição da iluminação atual por iluminação LED:

- Esta dissertação assume que a substituição de lâmpadas incandescentes por lâmpadas LED introduz uma redução de 80% nos consumos de iluminação nas habitações e uma redução de 4 % no consumo energético total dos edifícios;
- No estudo do hotel, a alteração do sistema de iluminação introduz uma redução de 56% no consumo de iluminação e de 17% do consumo energético total do hotel. Esta maior preponderância do hotel na redução da energia total deve-se a existir uma maior intensidade de iluminação nas zonas comuns e de a redução dos consumos de iluminação também se refletir na redução dos consumos de arrefecimento dos espaços por a iluminação LED ter menor carga térmica a dissipar.

b) Substituição dos equipamentos atuais por equipamentos mais eficientes:

- A alteração dos equipamentos existentes (máquinas de lavar roupa e loiça, frigorífico e forno) por outros de classe energética mais eficiente (A) pode traduzir-se numa redução dos consumos energéticos dos equipamentos de 50% e numa redução de 29% no consumo energético total dos edifícios;
- Comparando com os equipamentos gerais do hotel, onde se alcançou uma redução dos consumos de equipamentos de 56% e de 17% no consumo energético total do edifício, verifica-se uma relação próxima entre os dois conjuntos de percentagens.

Reabilitação de Edifícios com Novas Tendências NZEB – Caso De Estudo – Edifício de Serviços em Setúbal, 2014, Duarte, R.A.F.

Esta dissertação estuda um edifício de serviços com área útil de cerca de 4.000 m² e 7 pisos em Setúbal. Propõe a troca de iluminação existente por sistema LED para melhorar a eficiência energética do edifício.

a) Sistema de iluminação LED:

- A alteração proposta consiste na substituição das lâmpadas existentes T5, T8 e fluorescente compactas por iluminação LED. É descrito que a potência total das lâmpadas existentes é de 32.897 W e que, sendo substituídas por lâmpadas LED, apresentarão uma potência total de 26.825 W. Segundos os cálculos apresentados, esta alteração introduz uma redução de 7% nos consumos energéticos totais do edifício.

- No estudo do hotel, a alteração do sistema de iluminação introduz uma redução de 56% no consumo de iluminação e de 17% do consumo energético total do hotel. Note-se que as lâmpadas existentes no edifício de Setúbal já têm uma eficiência energética significativa, razão pela qual apenas se reduz 7% dos consumos totais do edifício de Setúbal, bastante menos que no caso do hotel.

11 - CONCLUSÕES

11.1 – Conclusões gerais

Com a realização deste trabalho, foi possível estudar a influência de várias soluções técnicas para melhorar o desempenho energético num edifício. Foram realizadas várias simulações que permitiram aferir a preponderância de cada uma das soluções estudadas.

Procurou-se utilizar opções técnicas viáveis e correntes, tanto a nível da melhoria da envolvente do edifício, como nos vários sistemas consumidores do edifício bem como nas soluções de produção e armazenamento de energia.

Todas as soluções que foram sendo consecutivamente adotadas foram aproximando o hotel num edifício NZEB.

A evolução, ao longo do trabalho, é demonstrada pelo seguinte gráfico com os indicadores de eficiência energética para cada conjunto de soluções. Ver Figura 11.1.

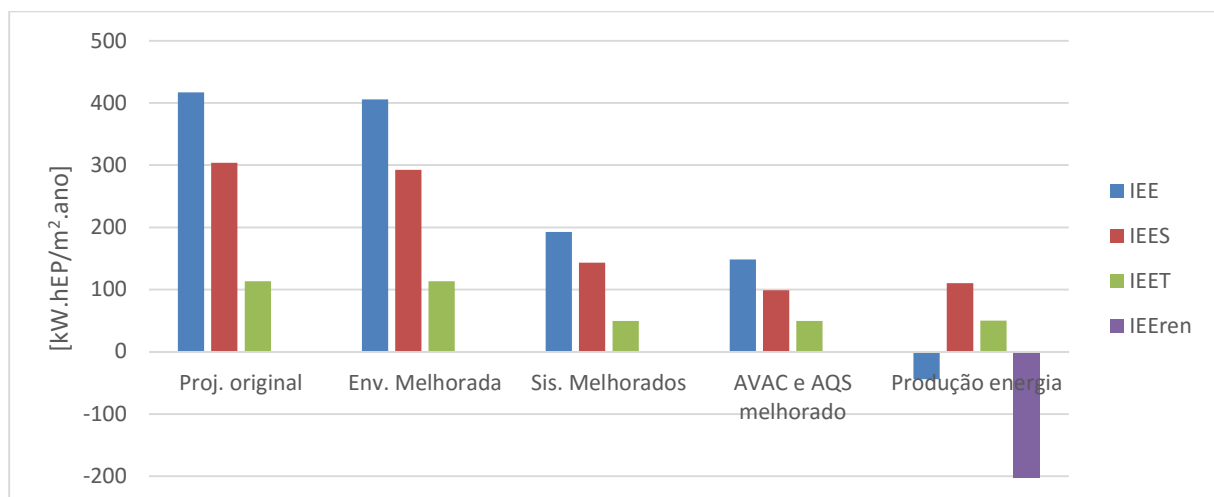


Figura 11.1 – Evolução dos indicadores de eficiência energética

Aos indicadores da Figura 11.1, correspondem as classes energéticas do Quadro 11.1.

Quadro 11.1 – Rácio de classe energética

Situação	Proj. Original	Env. Melhorada	Sist. Melhorados	AVAC e AQS Melhorados	Produção de Energia
R_{IEE}	0,99	0,95	0,47	0,32	-0,31
Classe Energética	B-	B-	A	A	A+

O gráfico da Figura 11.2 demonstra a evolução dos consumos e produções energéticas ao longo da aplicação de cada conjunto de soluções a aplicar no edifício.

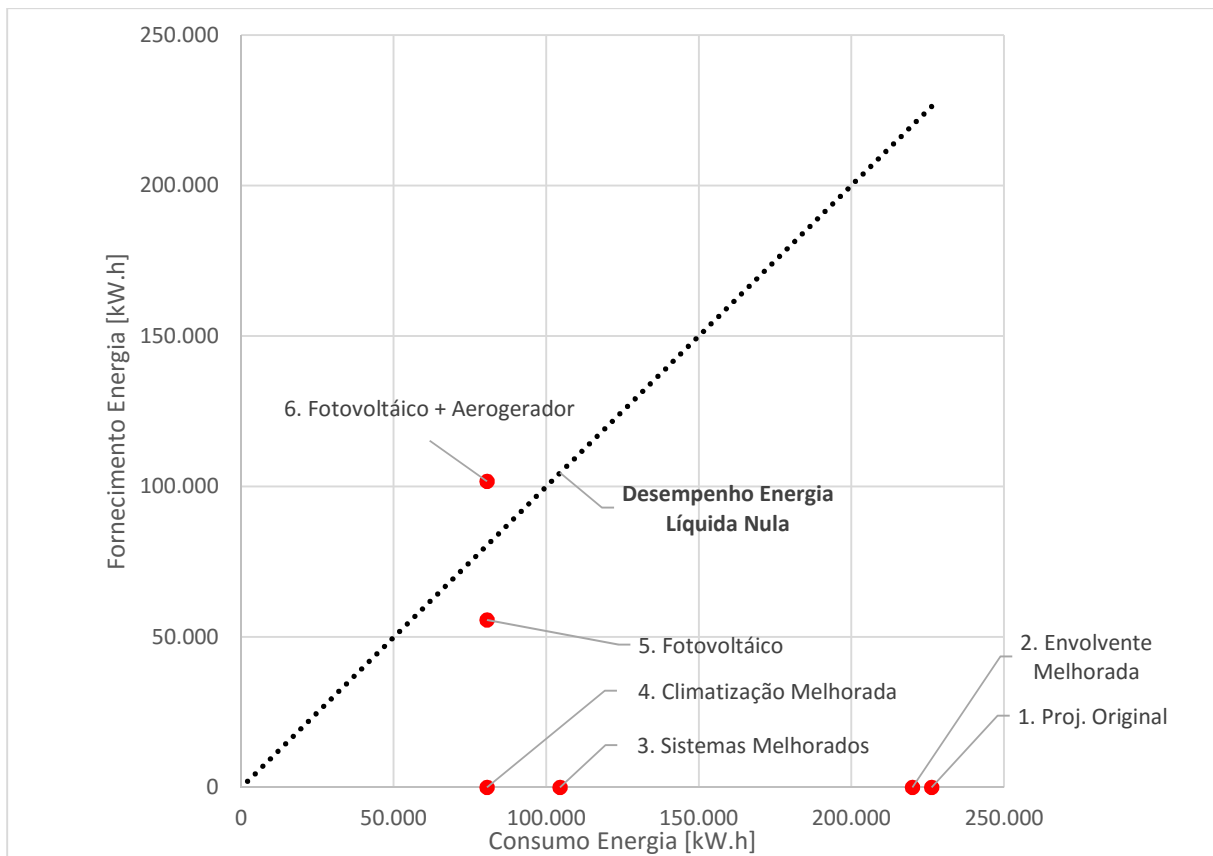


Figura 11.2 – Evolução dos consumos e da produção de energia

Para se conseguir visualizar melhor a preponderância que cada solução origina na melhoria da eficiência energética do edifício, apresenta-se, no Quadro 11.2, os rácios por m² de área útil, por quarto e por cama.

Quadro 11.2 – Indicadores energéticos das soluções estudadas

Soluções estudadas	Melhoria do consumo/produção [kW.h/ano]	Por área útil [kW.h/m ²]	Por quarto [kW.h/quarto]	Por cama [kW.h/ano]
Melhorias de envolvente				
Melhoria do isolamento térmico da laje térrea	-704	-0,52	-14	-9
Melhoria do isolamento térmico das paredes e teto do compartimento RSU	137	0,10	3	2
Melhoria do isolamento térmico dos tetos com contato com o exterior	971	0,72	19	12
Introdução de gás Argon na caixa-de-ar do vão envidraçado	233	0,17	5	3
Alteração do sombreamento para estores automáticos controlados por necessidades de aquecimento/arrefecimento	5.031	3,71	99	61
Alteração da constituição das paredes interiores para aumentar a inércia térmica	333	0,25	7	4
Melhorias dos sistemas consumidores				
Otimização de equipamentos a utilizar nos quartos e restantes zonas	38.402	28,32	753	468
Otimização de iluminação a utilizar nos quartos e restantes zonas	47.517	35,04	932	579
Otimização de equipamentos com cargas térmicas pontuais	7.973	5,88	156	97
Otimização de elevadores	11.436	8,43	224	139
Otimização de consumos de AQS	16.097	11,87	316	196
Otimização dos ventiladores de ar novo e de extração	2.304	1,70	45	28
Melhorias sistemas climatização e AQS				
Utilização de sistema VRV eficiente para climatização	5.295	3,90	104	65
Utilização de UTA com recuperação de energia para ar novo	14.390	10,61	282	175
Utilização de bomba de calor eficiente para aquecimento de AQS	4.277	3,15	84	52
Sistemas produção energia				
Painéis fotovoltaicos	55.611	41,01	1090	678
Painéis solares para produção de AQS	23.471	17,31	460	286
Aerogerador 10 kW	46.067	33,97	903	562
Banco de baterias 750 MJ (melhoria de consumo de energia da rede)	22.125	16,32	434	270

Do Quadro 11.2 pode-se concluir que as medidas mais preponderantes para a otimização energética do edifício são as que se listam de seguida:

- Melhorias de envolvente - Alteração do sombreamento para estores automáticos controlados por necessidades de aquecimento/arrefecimento: Esta solução permite controlar os ganhos solares conforme as necessidades do edifício, ou seja, quando é necessário receber a radiação solar para aquecimento das zonas, os estores encontram-se abertos, quando não se pretende que as zonas tenham aquecimento, os estores fecham. Devido a uma significativa área de envidraçados nas diversas zonas, a radiação solar, ou a sua ausência, é bastante condicionadora das cargas de aquecimento e de arrefecimento;

- Melhorias dos sistemas consumidores com utilização de equipamentos e iluminação mais energeticamente eficientes: Conforme anteriormente referido, as potências de iluminação e de equipamentos consideradas são muito elevadas, abrindo uma efetiva possibilidade de redução dos consumos de energia elétrica. A esta redução direta de consumo elétrico, há ainda que considerar que também se diminuem as cargas térmicas dissipadas nas zonas pela iluminação e pelos equipamentos, reduzindo, assim, o consumo de energia para arrefecimento.
- Melhorias dos sistemas consumidores com otimização de consumos de AQS: Os consumos estimados pelo projeto de AVAC, que contem o sistema de aquecimento de águas sanitárias, preveem um consumo apenas compatível com equipamentos de elevado consumo. Assim, com a utilização de equipamentos com consumo de água mais eficiente, é possível reduzir significativamente os gastos de aquecimento das AQS necessárias para o hotel;
- Melhorias sistemas climatização e AQS com utilização de bomba de calor para aquecimento de AQS: Existem, no mercado, bombas de calor com COP elevado, permitindo fazer o aquecimento das águas quentes sanitárias com baixo consumo elétrico. Como o aquecimento de AQS é uma grande parcela do consumo de energia do edifício, a instalação deste sistema promove uma significativa redução de consumo energético.
- Sistemas produção energia com painéis solares para aquecimento de AQS: Apesar de se reduzir bastante os consumos de energia para a produção de AQS com a bomba de calor, a utilização de coletores solares praticamente anula o recurso a energia externa do edifício para as AQS.
- Sistemas produção energia com sistema fotovoltaico e aerogerador: A instalação de painéis fotovoltaicos nas coberturas e fachada sul permite produzir a maior parte da energia elétrica necessária. No entanto, grande parte do consumo existe quando esta produção é reduzida ou mesmo nula (noite ou dias com pouca radiação solar). Assim, a instalação de aerogerador permite suprir parcialmente esta lacuna do sistema fotovoltaico, apesar de também ter limitações devido aos períodos de reduzida velocidade de vento. Por fim, para suprir os períodos de nula ou reduzida produção de energia, utiliza-se banco de baterias para se poder utilizar a energia produzida em excesso em determinados períodos para outros períodos onde não existe produção.

Após os passos tomados ao longo dos vários capítulos anteriores, onde se determinaram as soluções técnicas que se consideraram viáveis, conclui-se que para se transformar o hotel em edifício NZEB, é necessário tomar diversas medidas de melhoria de envolvente (apesar de a envolvente do projeto original ser bastante satisfatória), medidas ao nível da iluminação e de produção de AQS, bem como criar meios de produção e armazenamento de energia.

Só com todas estas medidas se atinge o objetivo proposto nesta dissertação. Conforme foi demonstrado no capítulo anterior, estas medidas implicam um investimento inicial significativo que apenas é recuperado ao fim de alguns anos.

11.2 – Desenvolvimentos futuros

Na presente dissertação estudou-se a influência de várias soluções técnicas para melhorar o desempenho energético num edifício. No entanto, as soluções abordadas são apenas uma pequena parte das alterações possíveis e viáveis a se introduzir no edifício com vista à redução de consumos e à produção própria de energia.

Por conseguinte, apresenta-se aqui algumas sugestões de desenvolvimentos futuros com vista a otimizar o trabalho realizado nesta dissertação. As seguintes alterações propostas podem ser modeladas através do *EnergyPlus*:

Envolvente do edifício

- Utilização de palas sombreadoras dos vãos envidraçados;

Sistemas consumidores do edifício

- Utilização de sensores de presença nos quartos e instalações sanitárias;
- Regulação de iluminação conforme iluminação natural disponível;

Sistemas de climatização e de AQS

- Utilização de sistemas VAV com ventilação e introdução de ar novo nos quartos apenas quando estiverem ocupados;
- Utilização do calor dissipado pelas unidades exteriores VRV para aquecimento de AQS.

Produção de energia

- Utilização de cogeração com aproveitamento do calor para aquecimento de AQS e para climatização;
- Utilização de permutadores geotérmicos combinados com bombas de calor.

BIBLIOGRAFIA

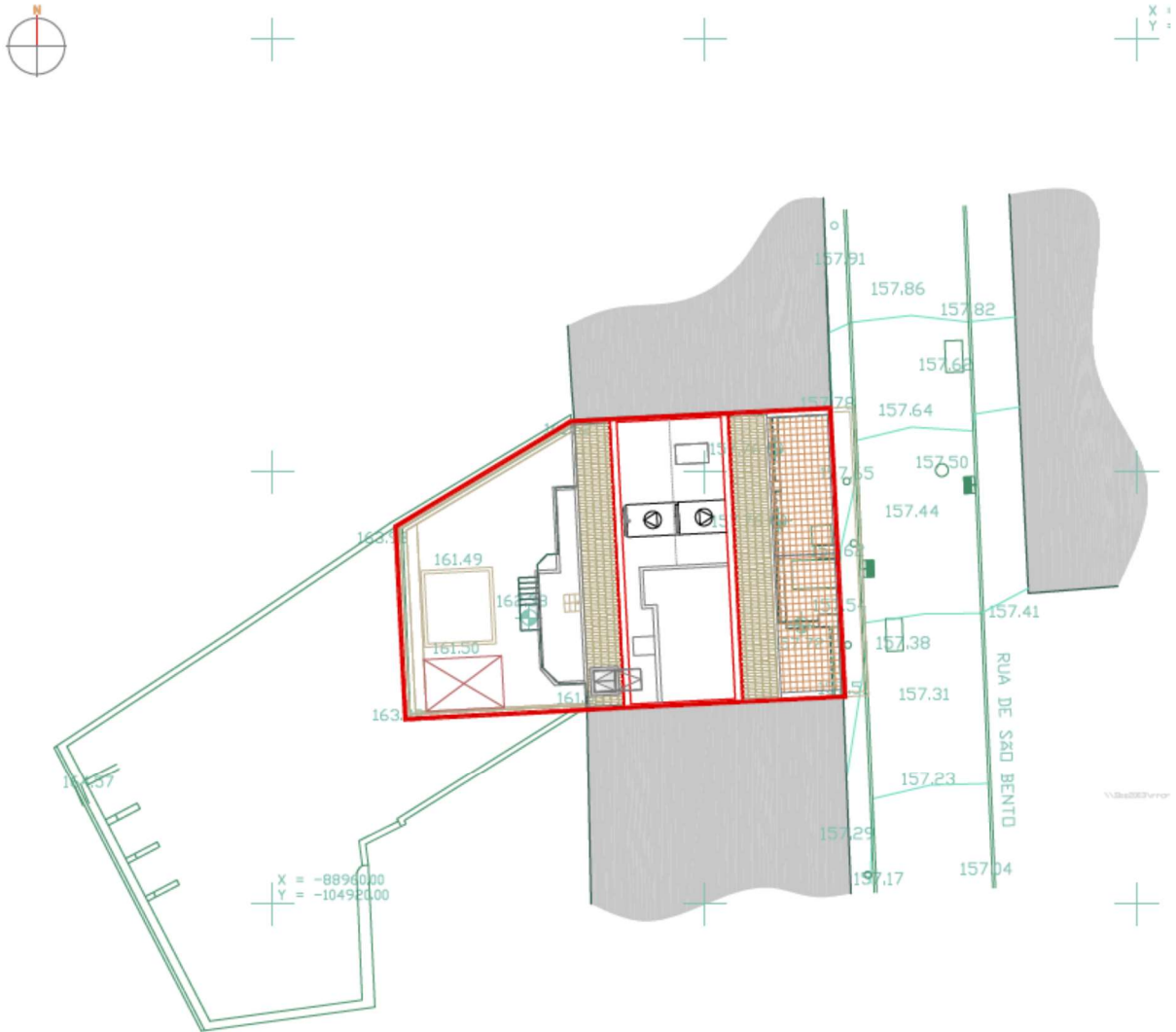
1. Aelenei, L., Aelenei, D., Gonçalves, H., Lollini, R., Musall, E., Scognamiglio, A., Cubi, E. & Massa, N., 2012, *Design issues for net Zero-Energy Buildings*, Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), Lisboa.
2. Aelenei, L., Gonçalves, H. & Rodrigues, C., 2010, *The Road Towards “Zero-energy” in Buildings: Lessons Learned from SOLARXXI Building in Portugal*, Laboratório Nacional de Energia e Geologia (LNEG), Lisboa.
3. Aires, Marco A.R., 2015, *Viabilidade da aplicação do conceito NZEB à reabilitação de conjuntos habitacionais em países do Sul da Europa*, Dissertação de mestrado, FEUP, Porto.
4. Atanasiu, B., *Principles For Nearly Zero-Energy Buildings*, Buildings Performance Institute Europe.
5. Amado, M.P., Pinto, A.R., Alcachafe, A.M. & Ramalhete, I., 2015, *Construção Sustentável, Conceito e prática*, Caleidoscópio.
6. Benito, P., *Study on water efficiency standards*, Comissão Europeia.
7. Bernardo, J., 2015, *Estratégia para a Eficiência Energética nos Edifícios Públicos*, DGEG.
8. BCSD, 2005, *Manual de boas práticas de eficiência energética*.
9. Buildings Performance Institute Europe, 2015, *Principles For Nearly Zero-Energy Buildings*.
10. Comissão Europeia, 2013, *Progresso dos Estados-Membros na via para edifícios com necessidades quase nulas de energia*.
11. Costa, G., 2012, *A contribuição dos sistemas solares térmicos e fotovoltaicos para o balanço energético dos edifícios residenciais unifamiliares*, Dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Monte da Caparica.
12. Castro, R., 2011, *Uma introdução às energias renováveis: eólica, fotovoltaica e mini-hídrica*, IST Press.
13. Decreto-Lei nº 78/2006, *Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios*.
14. Decreto-Lei nº 79/2006, *Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE)*.
15. Decreto-Lei nº 80/2006, *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE)*.
16. Decreto-Lei nº 118/2013, *Sistema Certificação Energética dos Edifícios (SCE)*.
17. Despacho 17313/2008, *Factores de conversão para tonelada equivalente petróleo*.
18. Parlamento Europeu e do Conselho, 2010, Diretiva 2010/31/EU.

19. Dias, J.F.R., 2015, *Integração de energias renováveis num modelo de edifício de balanço energético quase zero (NZEB)*, Dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Monte da Caparica.
20. Duarte, R.A.F., 2014, *Reabilitação de Edifícios com Novas Tendências NZEB – Caso De Estudo – Edifício de Serviços em Setúbal*, Dissertação de mestrado, ISEL.
21. Ferreira, A.R.C.S., 2012, *Estudo de soluções de otimização para edifícios de balanço energético nulo*, Dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Monte da Caparica.
22. Jorge, A.F.M.J., 2015, *Convergência para NZEB de um edifício classificado*, Dissertação de mestrado, ISEL.
23. Portaria nº 349-A/2013, *Competências da entidade gestora do Sistema de Certificação Energética nos Edifícios*.
24. Portaria nº 349-B/2013, *Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH)*.
25. Portaria nº 349-C/2013, *Elementos para licenciamento*.
26. Portaria nº 349-D/2013, *Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Serviços (RECS)*.
27. Gonçalves, H. & Graça, J.M., 2004, *Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal*, DGEG.
28. Grundfos, *Oxiperm Pro previne legionella e reduz custos na piscina da junta de freguesia de Benfica*, s/d, https://pt.grundfos.com/content/dam/BGP/Cases/case%20Story_JFBenfica_final.pdf.
29. Henninger, R.H. & Witte, M.J., 2004, *EnergyPlus Testing with ANSI/ASHRAE Standard 140-2001*, DOE.
30. Miranda, M.A.C., 2012, *Sistemas de certificação na eficiência hídrica, XIX Congresso da Ordem dos Engenheiros*.
31. Pedroso, V.M.R., 2007, *Manual dos sistemas prediais de distribuição e drenagens de água*, LNEC.
32. Pinto, A., *Estado da arte: Aspetos gerais e identificação de indicadores*, LNEC.
33. Pinto, A., Afonso, A.S., Santos, A.S., Pimentel-Rodrigues, C. & Rodrigues, F., *Nexus, Água e energia em empreendimentos hoteleiros*, s/d, https://www.researchgate.net/publication/297698845_NEXUS_AGUA_E_ENERGIA_EM_EMPREENDIMENTOS_HOTELEIROS_Metodologia_e_resultados_da_aplicacao_em_hotéis_de_4_e_5_estrelas.
34. Portal da Energia, 2016, *Vantagens e desvantagens do protocolo de Quioto*.
35. Santos, C.A.P. & Matias, L., 2006, *Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios*, LNEC.

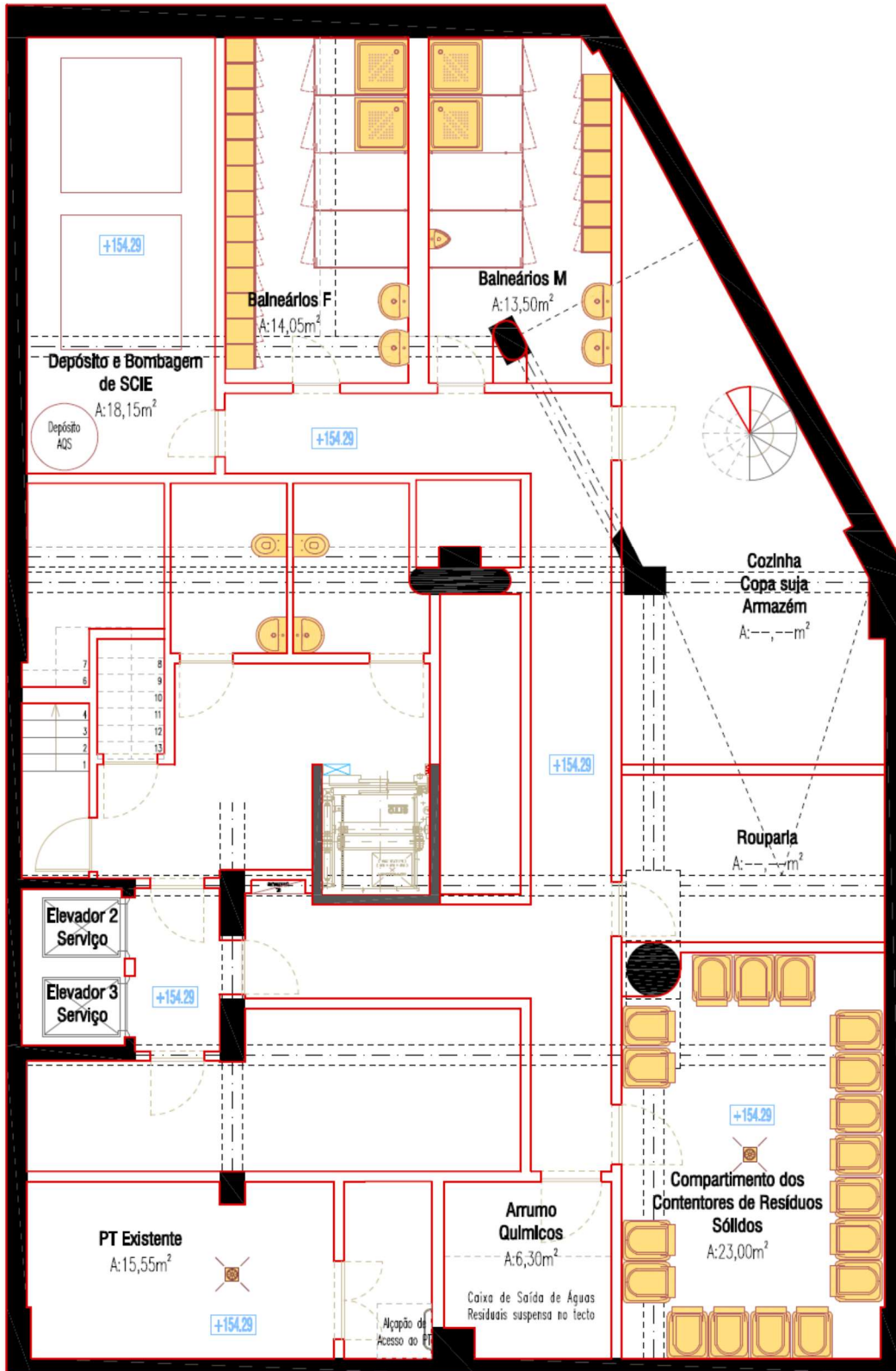
36. Styles, H., Schönberger D. & Galvez M.J.L., *Best Environmental Management Practice in the Tourism Sector*, Comissão Europeia.
37. Torcellini, P., Shanti P., Deru, M. & Crawley, D., 2006, *Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition*.
38. Urban, E.J., 2011, *Monitoring and modelling hot water consumption in hotel for solar thermal water heating system optimization*; Graduate School Appalachian State University.
39. U.S. Department of Energy, 2016, *EnergyPlus™ Version 8.5 Documentation - Input Output Reference*.

ANEXO I – PLANTAS E ALÇADOS DO HOTEL

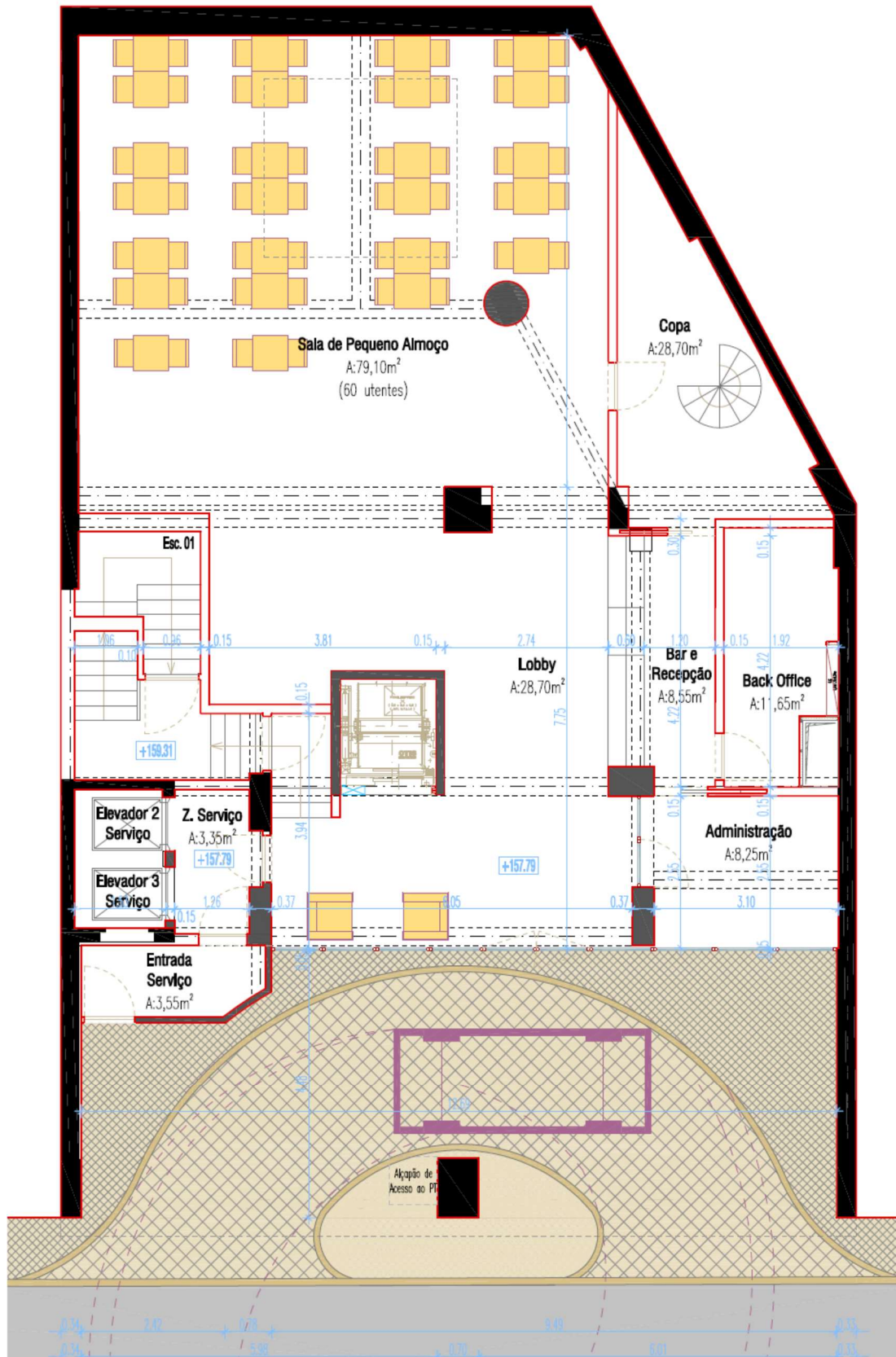
Implantação do Edifício



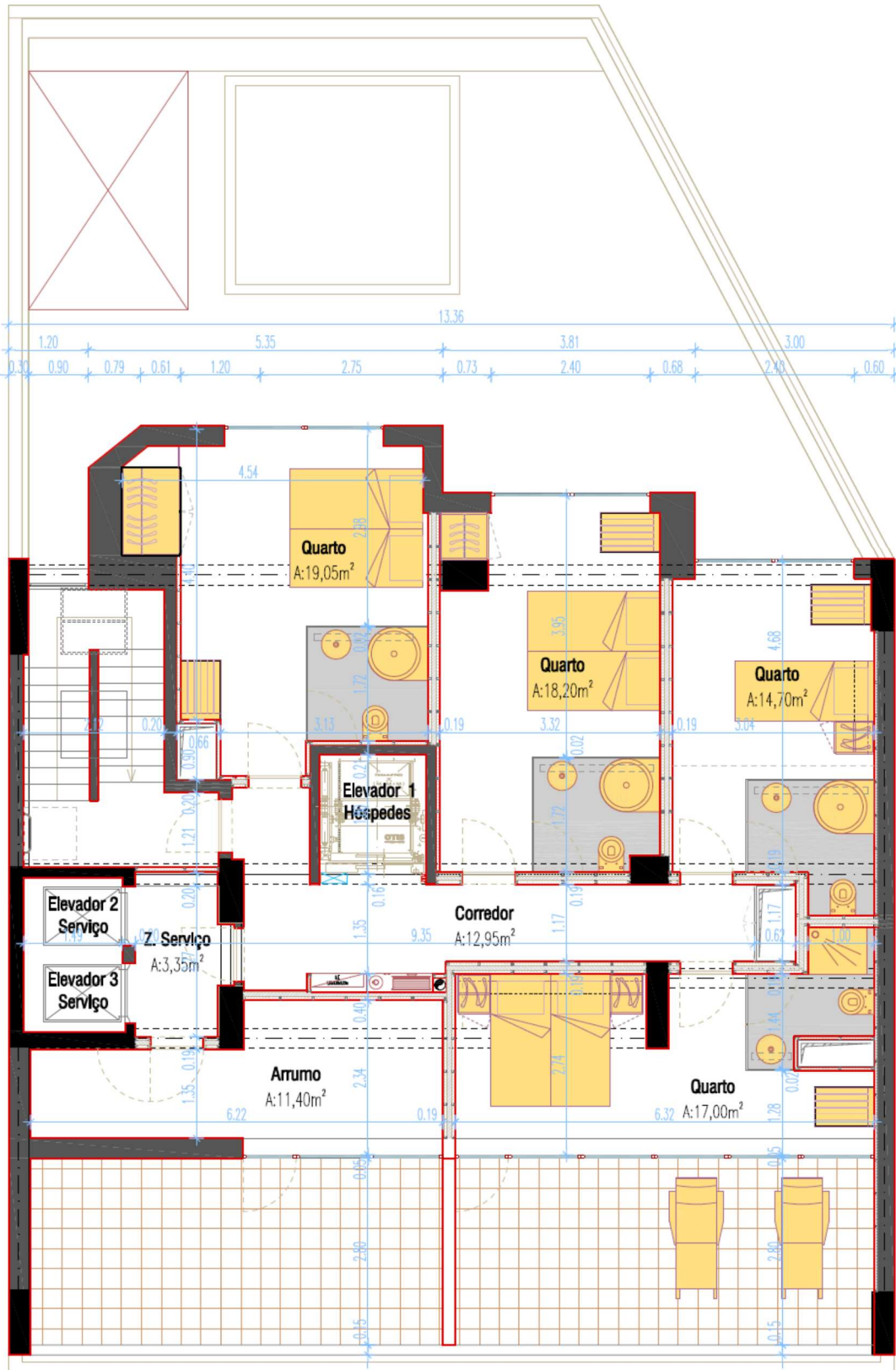
Planta do Piso - 1



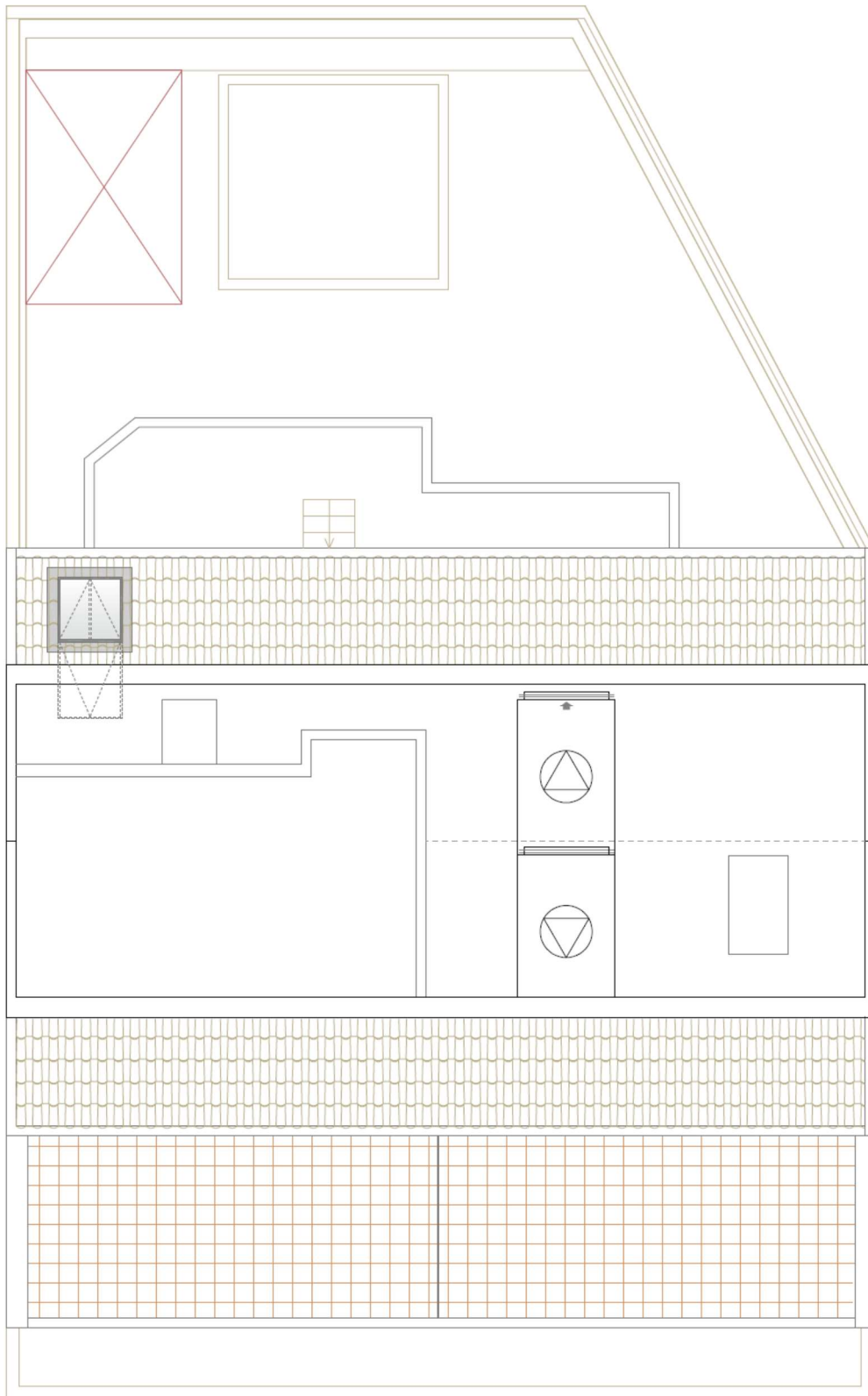
Planta do Piso 0



Planta do Piso 8



Planta da Cobertura



Alçado Principal



Quadro A1.0.1 – Áreas e volumetrias dos compartimentos

Piso	Zona	Designação	Tipo espaço	Área	Pé direito	Volume	
				[m ²]	[m]	[m ³]	
-1	1	Depósito e bombagem SCIE	Z. Técnica	18,17	3,30	59,97	
	2	Balneários Femininos	Funcionários	12,06	3,30	39,78	
	3	Balneários Masculinos	Funcionários	12,06	3,30	39,78	
	4	Armazém	Z. Técnica	8,98	3,30	29,63	
	5	Corredor	Circulação	29,96	3,30	98,86	
	6	Arrumo	Z. Técnica	7,09	3,30	23,41	
	7	IS Masculina	Funcionários	4,15	3,30	13,68	
	8	IS Feminina	Funcionários	4,4	3,30	14,52	
	9	Arrumo	Z. Técnica	2,34	3,30	7,72	
	10	Cozinha, Copa Suja, Sala Pessoal	Funcionários	28,05	3,30	92,56	
	11	Vestíbulo	Circulação	11,87	3,30	39,17	
	12	Bagagem	Z. Técnica	4,02	3,30	13,26	
	13	Escada Inferior	Circulação	2,6	3,30	8,58	
	14	Vestíbulo	Circulação	2,92	3,30	9,65	
	15	Rouparia	Funcionários	14,08	3,30	46,46	
	16	PT Existente	Z. Técnica	15,71	3,30	51,85	
	17	Arrumo Químicos	Z. Técnica	5,85	3,30	19,29	
	18	Compartimento Contentores RSU	Z. Técnica	21,43	3,30	70,71	
	19	Elevadores Serviço	Circulação	3,48	29,93	104,16	
	20	Elevadores Hóspedes	Circulação	3,01	29,93	90,08	
0	1	Sala de Pequeno-almoço, Lobby, Recepção	Hóspedes	117,53	3,30	506,64	
	2	Copa	Funcionários	10,49	4,31	43,39	
	3	Back Office	Funcionários	8,27	4,31	35,65	
	4	Administração	Funcionários	5,25	4,31	22,63	
	6	Escada Inferior	Circulação	3,74	4,31	16,14	
	7	Escada Superior	Circulação	9,31	4,31	231,95	
	8	Zona Serviço	Circulação	2,92	4,31	12,6	
	10	Entrada Serviço	Circulação	3,36	4,31	14,49	
	1	1	Quarto 1	Hóspedes	17,37	2,79	48,45
		2	Quarto 2	Hóspedes	19,42	2,79	54,19
4		Quarto 3	Hóspedes	11,83	2,79	33,02	
5		Quarto 4	Hóspedes	15,23	2,79	42,50	
7		Quarto 5	Hóspedes	19,42	2,79	54,19	
		Quarto 6	Hóspedes	13,26	2,79	37,00	
		Quarto 7	Hóspedes	11,76	2,79	32,80	
		Corredor	Circulação	14,54	2,79	40,57	
		Zona Serviço	Circulação	2,92	2,79	8,16	
		Courette Norte	Z. Técnica	0,84	22,32	18,75	

	14	Courette Sul	Z. Técnica	0,44	22,32	9,78
3 6	1	Quarto 1	Hóspedes	17,37	2,79	48,45
	2	Quarto 2	Hóspedes	19,42	2,79	54,19
	3	Ofício de andar	Funcionários	11,83	2,79	33,02
	4	Quarto 4	Hóspedes	15,23	2,79	42,50
	5	Quarto 5	Hóspedes	19,42	2,79	54,19
	6	Quarto 6	Hóspedes	13,26	2,79	37,00
	7	Quarto 7	Hóspedes	11,76	2,79	32,80
	8	Corredor	Circulação	14,54	2,79	40,57
	9	Zona Serviço	Circulação	2,92	2,79	8,16
8	1	Quarto 1	Hóspedes	17,37	2,79	48,45
	2	Quarto 2	Hóspedes	19,42	2,79	54,19
	3	Quarto 3	Hóspedes	11,83	2,79	33,02
	4	Quarto 4	Hóspedes	17,82	2,79	49,71
	5	Arrumo	Hóspedes	12,79	2,79	35,69
	8	Corredor	Circulação	11,23	2,79	31,34
	9	Zona Serviço	Circulação	2,92	2,79	8,16

ANEXO II – ENVOLVENTE DO EDIFÍCIO

Quadro A2.1 – Paredes exteriores – PE1

Composição do elemento	Espessura [m]	λ [W/m.°C]	R [m².°C/W]	U=1/R [W/m².°C]
1/h _e			0,04	
Reboco tradicional	0,010	1,300	0,01	
XPS	0,030	0,037	0,81	
Tijolo furado 9 cm	0,090	0,410	0,23	
Tijolo furado 9 cm	0,090	0,410	0,23	
Lã mineral	0,060	0,040	1,50	
Gesso cartonado	0,013	0,250	0,05	
1/h _i			0,13	
Totais	0,293		3,00	

Quadro A2.2 – Parede interior – PENU1

Composição do elemento	Espessura [m]	λ [W/m.°C]	R [m².°C/W]	U=1/R [W/m².°C]
1/h _e			0,13	
Gesso cartonado	0,013	0,250	0,05	
Lã mineral	0,027	0,040	0,68	
Gesso cartonado	0,013	0,250	0,05	
1/h _i			0,13	
Totais	0,053		1,04	

Quadro A2.3 – Parede em contato com espaço não útil - Courette – PENU2

Composição do elemento	Espessura [m]	λ [W/m.°C]	R [m ² .°C/W]	U=1/R [W/m ² .°C]
1/h _e			0,13	
Gesso cartonado	0,013	0,250	0,05	
Lã mineral	0,035	0,040	0,88	
Tijolo furado 7 cm	0,070	0,410	0,19	
Lã mineral	0,035	0,040	0,88	
Gesso cartonado	0,013	0,250	0,05	
1/h _i			0,13	
Totais	0,166		2,30	

Quadro A2.4 – Parede em contato com espaço não útil – Ed. adjacente – PENU3

Composição do elemento	Espessura [m]	λ [W/m.°C]	R [m ² .°C/W]	U=1/R [W/m ² .°C]
1/h _e			0,13	
Reboco tradicional	0,030	1,300	0,02	
Tijolo furado 9 cm	0,090	0,410	0,23	
Tijolo furado 9 cm	0,090	0,410	0,23	
Lã mineral	0,060	0,040	1,50	
Gesso cartonado	0,013	0,250	0,05	
1/h _i			0,13	
Totais	0,283		2,30	

Quadro A2.5 – Cobertura exterior (Piso 0 e piso 7)

Composição do elemento	Espessura [m]	λ [W/m.°C]	R [m ² .°C/W]	U=1/R [W/m ² .°C]
1/h _e			0,04	
Cerâmica	0,010	1,300	0,01	
Betoniha	0,010	1,300	0,01	
Laje betão	0,200	1,650	0,12	
Lã mineral	0,027	0,040	0,68	
Gesso cartonado	0,013	0,250	0,05	
1/h _i			0,10	
Totais	0,260		1,00	

Quadro A2.6 – Cobertura exterior (Piso 8)

Composição do elemento	Espessura [m]	λ [W/m.°C]	R [m ² .°C/W]	U=1/R [W/m ² .°C]
1/h _e			0,04	
Cerâmica	0,010	1,300	0,01	
Betoniha	0,010	1,300	0,01	
Laje betão	0,150	1,650	0,09	
Lã mineral	0,027	0,040	0,68	
Gesso cartonado	0,013	0,250	0,05	
1/h _i			0,10	
Totais	0,210		0,97	

Quadro A2.7 – Pavimento exterior

Composição do elemento	Espessura [m]	λ [W/m.°C]	R [m ² .°C/W]	U=1/R [W/m ² .°C]
1/h _e			0,04	
Cerâmica	0,010	1,300	0,01	
Betoniha	0,010	1,300	0,01	
Laje betão	0,200	1,650	0,12	
Lã mineral	0,027	0,040	0,68	
Caixa de ar	0,800		0,23	
Gesso cartonado	0,020	0,250	0,08	
1/h _i			0,10	
Totais	1,067		1,26	

Quadro A2.8 – Parede em contato com o solo

Composição do elemento	Espessura [m]	λ [W/m.°C]	R [m ² .°C/W]	U=1/R [W/m ² .°C]
Bloco de terras comprimida	0,040	1,100	0,04	
Membrana impermeável	0,005	0,230	0,02	
Tijolo furado 9 cm	0,090	1,300	0,23	
Tijolo furado 9 cm	0,090	1,300	0,23	
Lã mineral	0,060	0,040	1,50	
Gesso cartonado	0,013	0,250	0,05	
1/h _i			0,13	
Totais	0,298		2,20	

Quadro A2.9 – Pavimento em contato com o solo

Composição do elemento	Espessura [m]	λ [W/m.°C]	R [m ² .°C/W]	U=1/R [W/m ² .°C]
Bloco de terras comprimida	0,190	1,100	0,17	
Membrana impermeável	0,005	0,230	0,02	
Laje de betão	0,200	1,650	0,12	
Betonilha	0,020	1,300	0,02	
Cerâmica	0,010	1,300	0,01	
1/h _i			0,17	
Totais	0,298		0,51	

Quadro A2.10 – Paredes interior alvenaria

Composição do elemento	Espessura [m]	λ [W/m.°C]	R [m ² .°C/W]	U=1/R [W/m ² .°C]
1/h _e			0,04	
Reboco tradicional	0,010	1,300	0,01	
Tijolo furado 9 cm	0,090	0,410	0,23	
Reboco tradicional	0,010	1,300	0,01	
1/h _i			0,13	
Totais	0,110		0,42	

Quadro A2.11 – Paredes interior madeira

Composição do elemento	Espessura [m]	λ [W/m.°C]	R [m ² .°C/W]	U=1/R [W/m ² .°C]
1/h _e			0,04	
Painel madeira	0,020	0,410	0,23	
1/h _i			0,13	
Totais	0,020		0,40	

Quadro A2.12 – Pavimento escada

Composição do elemento	Espessura [m]	λ [W/m.°C]	R [m ² .°C/W]	U=1/R [W/m ² .°C]
1/h _e			0,04	
Laje de betão	0,200	1,650	0,12	
1/h _i			0,10	
Totais	0,200		0,26	

Quadro A2.13 – Vãos envidraçados



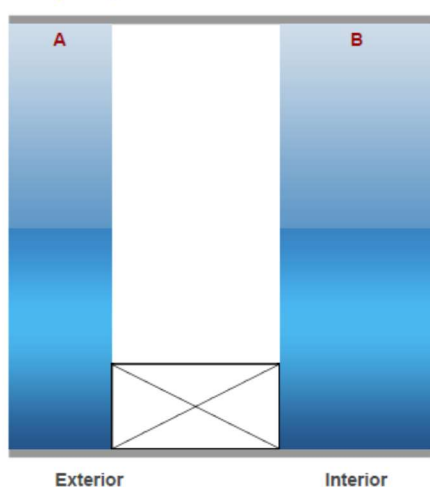
Referências do projecto

Parâmetros de selecção

Transmissão Luminosa (TI - %): **60**
Factor solar (g): **0.34**

Coefficiente U (W/m².k): **1.7**
Câmara: **Ar Tratado**
Espessuras: **Todas**

Composição do vidro



SGG CLIMALIT PLUS SOLAR CONTROL SAFE

vidro duplo de controle solar e isolamento térmico reforçado e de segurança

[A] Vidro Exterior

SGG COOL-LITE SKN 165 (6mm de espessura)

SGG COOL-LITE SKN com capa de controlo solar e baixa emissividade e de elevada performance, SGG STADIP é um vidro laminado de segurança

[B] Vidro Interior

SGG STADIP (44.1 - 9mm de espessura)

SGG COOL-LITE SKN com capa de controlo solar e baixa emissividade e de elevada performance, SGG STADIP é um vidro laminado de segurança

[C] Câmara: Ar Tratado (10mm de espessura)

Factores luminosos

Transmissão Luminosa (TI - %): **60**
Reflexão Luminosa Exterior (Rle - %): **16**

Transmissão Ultra Violetas (Tuv - %): **1**
Índice de Selectividade (I.S.): **1,76**

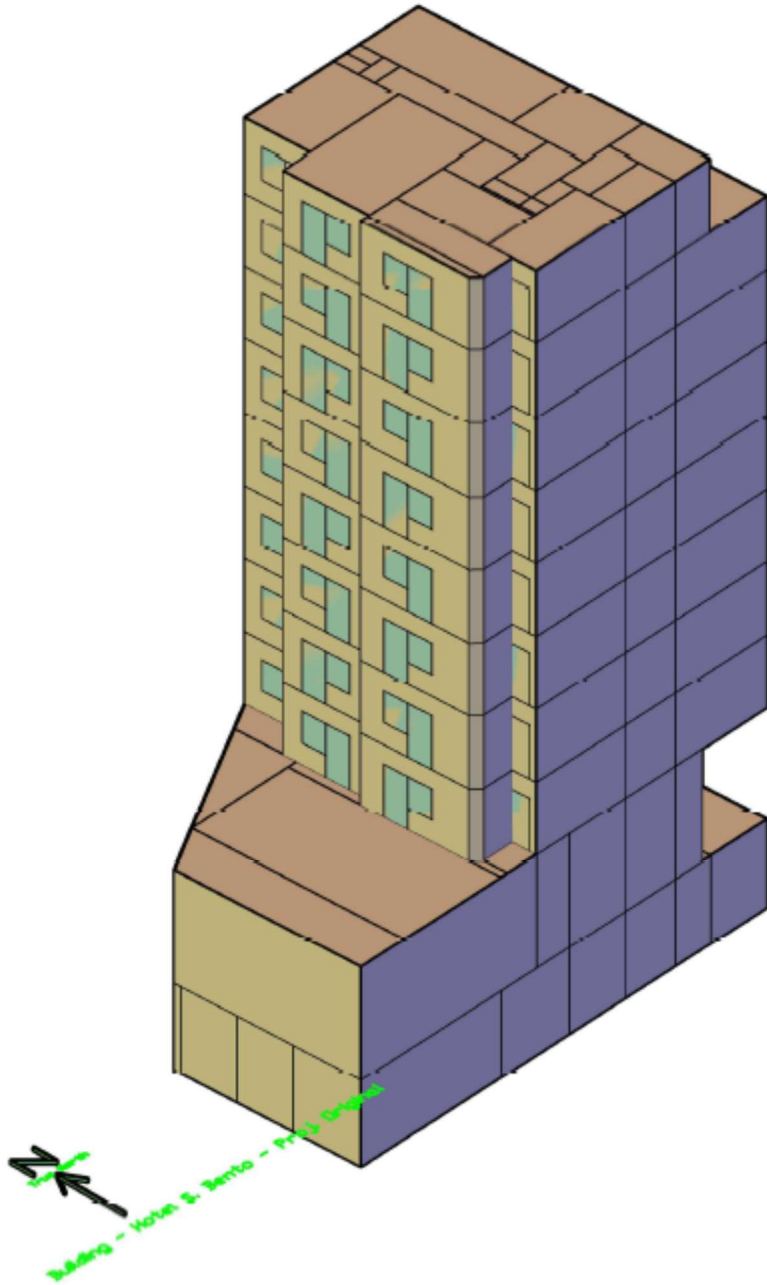
Factores energéticos

Transmissão Energética (Te - %): **30**
Absorção Energética 1 (Ae1 - %): **30**
Absorção Energética 2 (Ae2 - %): **3**
Factor solar (g): **0,34**

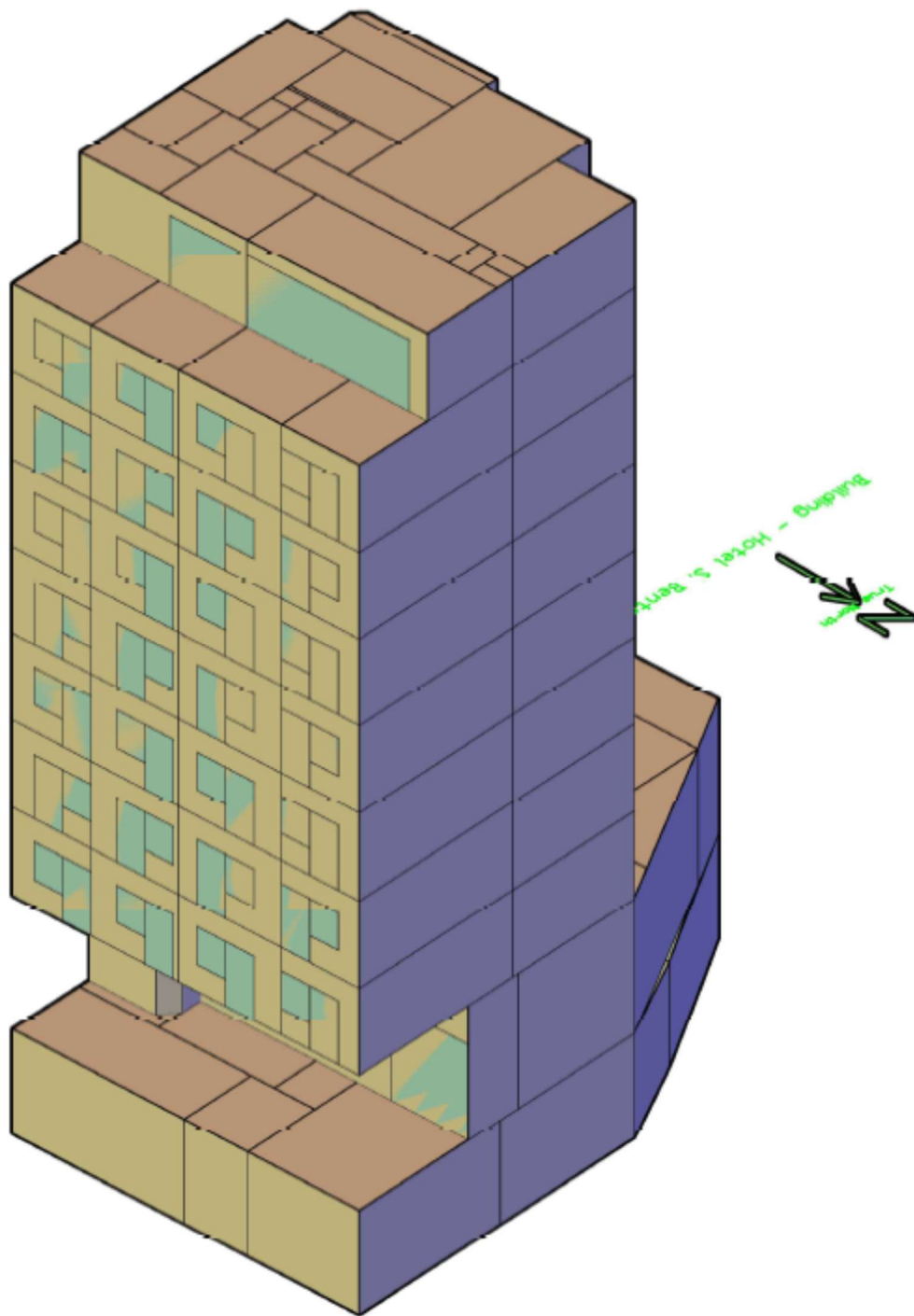
Coefficiente U com Ar (W/m².k): **1,7**
Em opção
Coefficiente U com Argon (W/m².k): **1,4**

ANEXO III – MODULAÇÃO ENERGYPLUS DO HOTEL

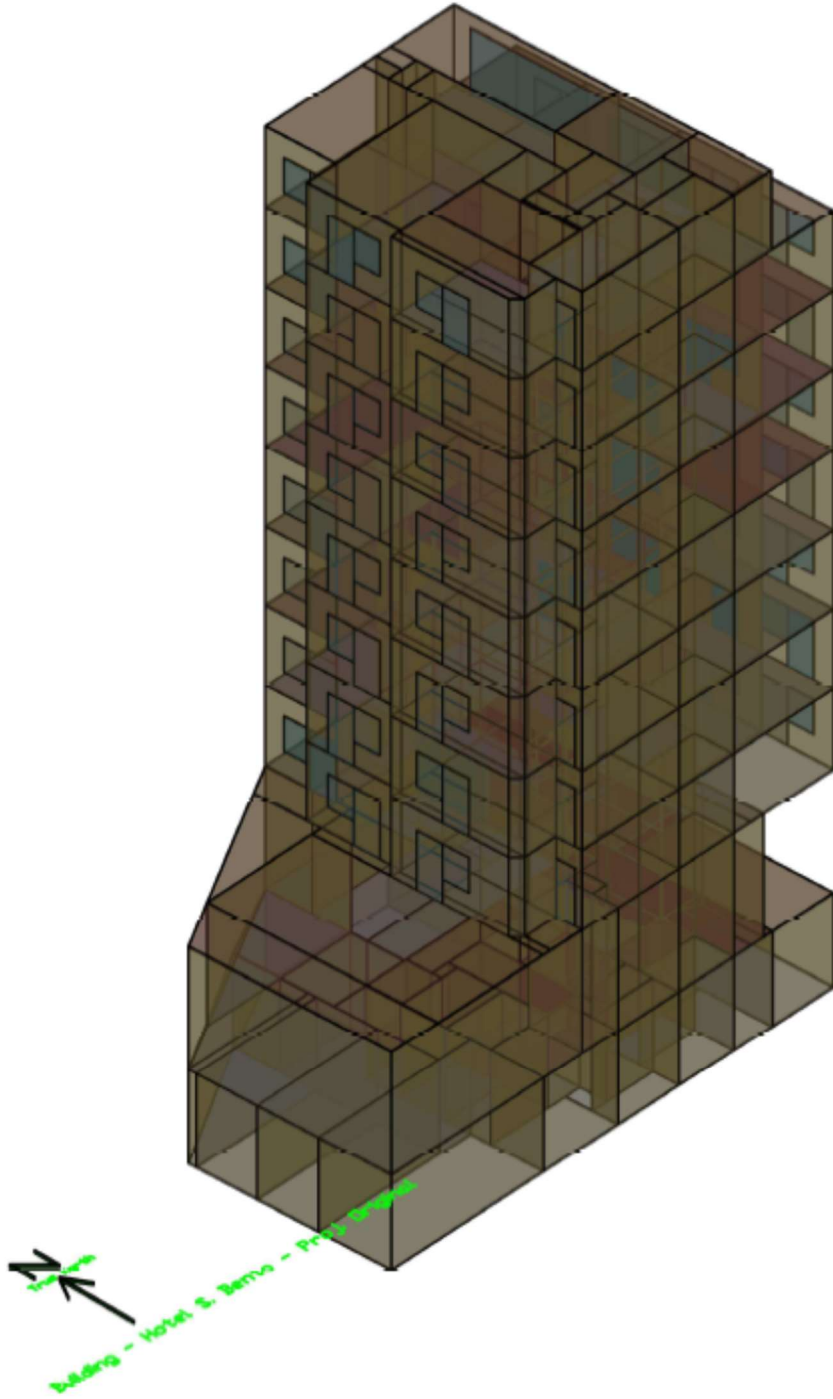
Vista SW



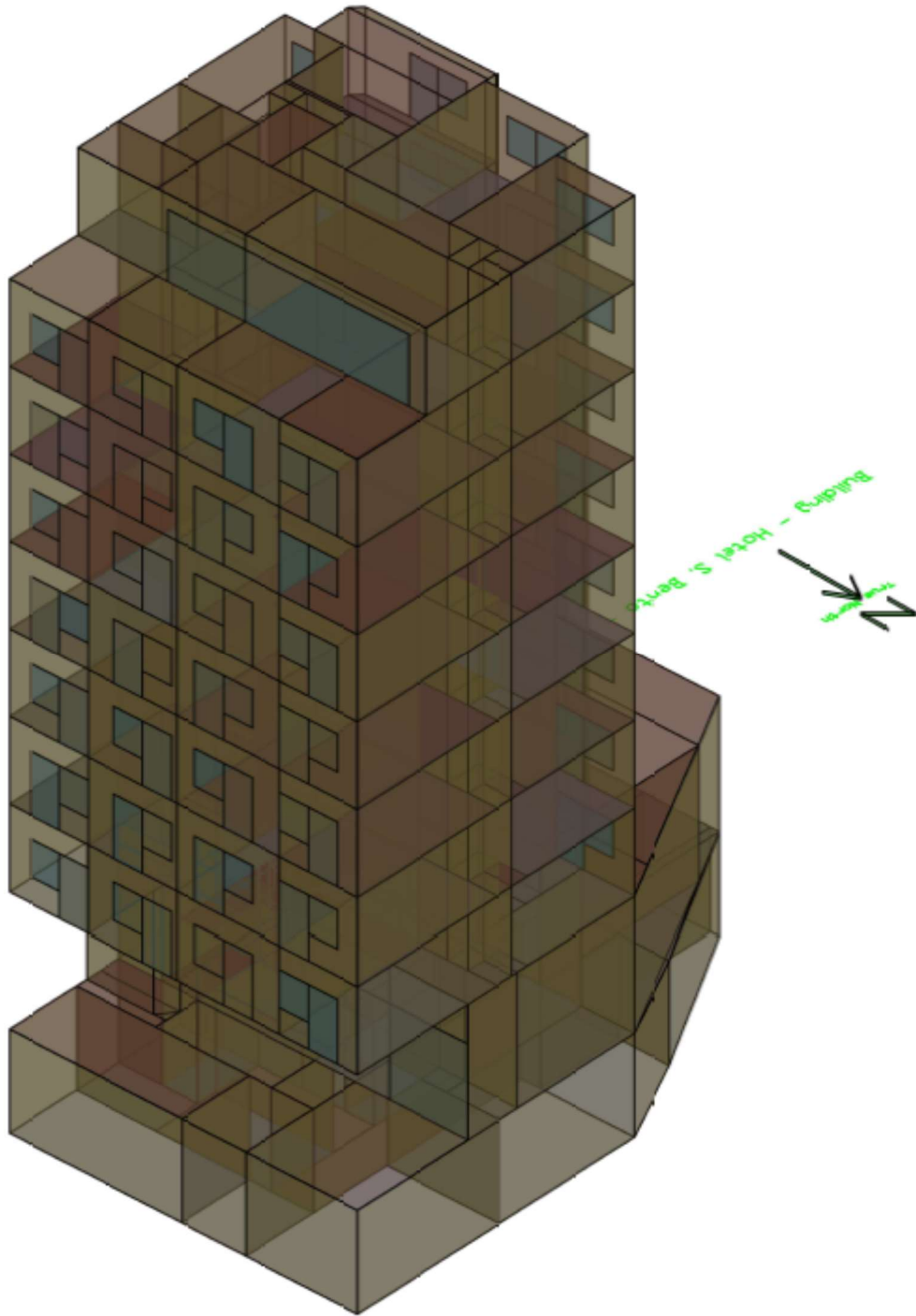
Vista NE



Vista SW – X-Ray



Vista NE – X-Ray



ANEXO IV – DADOS TÉCNICOS DE EQUIPAMENTO DE REFERÊNCIA

Elevadores – Thyssen Synergy

Technical and electric data

Rated load	Q	[kg]	450	480	630
Synchronous gearless machine, type			PMC145-2 S		PMC145-2 M
Controller			Type CMC4+ with frequency control (V3F)		
Max. number of travels per hour		[s/h]	120		
Rated output of motor		[kW]	2.8		3.9
Operating input power ¹⁾		[kVA]	3.8		4.9
Nominal operating current ¹⁾²⁾		[A]	7.5		9.5
Starting current ¹⁾³⁾		[A]	13.8		17.2
Landing accuracy		[mm]	± 5		
Rope suspension			2:1		
Diameter of traction sheave	D _r	[mm]	240		
Suspension ropes (steel)	n x d _s	[mm]	3/4 x 6	4 x 6	6/7 x 6
Guide rails	Elevator car		T70-1 (T70-9)		
	Counterweight		T-45/A (T45/5)		

¹⁾ At 400 Volt / 50 Hz. ²⁾ For the elevator control unit 3.5 A (for Q = 450/480 kg) respectively 4.5 A (for Q = 630 kg) have to be added. ³⁾ For the elevator control unit 3.5 A (for Q = 450/480 kg) respectively 7.7 A (for Q = 630 kg) have to be added.

During the planning phase, please consider all applicable regulations stipulated by the relevant notified body and all applicable national regulations. Our sales advisors would be glad to provide information or explanations on these issues.

Sistema VRV – Unidade exterior – Toshiba

COMBINATION	MMY-					AP1614FT8-E	AP1814FT8-E	AP2014FT8-E	
MODEL NAME HEAT PUMP	MMY-	MAP0804FT8-E	MAP1004FT8-E	MAP1204FT8-E	MAP1404FT8-E	MAP0804FT8-E MAP0804FT8-E	MAP1004FT8-E MAP0804FT8-E	MAP1004FT8-E MAP1004FT8-E	
CAPACITY RANGE	HP	8	10	12	14	16	18	20	
MAXIMUM NUMBER OF INDOOR UNITS	QTY	13	16	20	23	27	30	33	
Cooling Capacity	(kW)	22.4	28.0	33.5	40.0	45.0	50.4	56.0	
Heating Capacity	(kW)	25.0	31.5	37.5	45.0	50.0	56.5	63.0	
Operating Range Cooling / Heating	(°C)	-10 to 43 / -20 to 15.5							
Cooling	Power Consumption	(kW)	5.17	7.28	8.38	11.30	10.42	12.45	14.56
	EER / SEER / ESEER		4.33 / 7.11 / 7.44	3.85 / 6.79 / 7.15	4.00 / 7.07 / 7.43	3.54 / 6.36 / 6.69	4.32 / 7.09 / 7.42	4.05 / 6.88 / 7.22	3.85 / 6.78 / 7.13
Heating	Power Consumption	(kW)	5.68	7.50	9.05	12.70	11.36	13.18	15.00
	COP / SCOP / ESCOP		4.40 / 5.19 / 5.36	4.20 / 5.17 / 5.36	4.14 / 5.11 / 5.31	3.54 / 4.86 / 5.09	4.40 / 5.19 / 5.37	4.29 / 5.16 / 5.35	4.20 / 5.15 / 5.35
Standard Air Flow H	(l/s)	2417	2617	3333	3617	2417+2417	2617+2417	2617+2617	
Standard Air Flow H	(m ³ /h)	8700	9400	12000	13000	8700+8700	9400+8700	9400+9400	
External Static Pressure	(Pa)	50	40			50	40		
Sound Pressure Level H/L	(dBA)	55 / 57	57 / 59	60 / 62	62 / 64	58 / 60	59.5 / 61.5	60 / 62	
Sound Power Level H/L	(dBA)	77 / 79	78 / 80	81 / 83	82 / 84	80 / 82	80.5 / 82.5	81 / 83	
Main Unit Height / Width / Depth	(mm)	1830 / 990 / 780		1830 / 1210 / 780		1830 / 1980 / 780			
Main Unit Total Weight	(kg)	259		334		518		259	
Refrigerant Base Charge	(kg)	11				22			
Suction Gas Pipe Brazing	(mm / °)	22.2 - 7/8		28.6 - 1 1/8		28.6 - 1 1/8			
Discharge Gas Pipe Flare	(mm / °)	19.1 - 3/4			22.2 - 7/8		22.2 - 7/8		
Liquid Pipe Flare	(mm / °)	12.7 - 1/2			15.9 - 5/8		19.1 - 3/4		
Balance Pipe Flare	(mm / °)	9.5 - 3/8							
Maximum Equivalent Length	(m)	185				195			
Maximum Real Length	(m)	165				175			
Maximum Total Pipe Length (Liquid Line Real Length)	(m)	300							
Maximum Length To First Branch Height Difference Between Indoor Units < 3m	(m)	100							
Maximum Length To First Branch Height Difference Between Indoor Units > 3m	(m)	85							
Maximum Equivalent Length Of Outdoor Unit Connecting Pipe	(m)	10							
Maximum Real Length Between FS Unit & Indoor Unit	(m)	15							
Maximum Real Length Of Indoor Unit Connecting Piping	(m)	30							
Maximum Equivalent Length Between Branches	(m)	50							
Maximum Height Difference Outdoor Higher Than Indoor Units	(m)	50							
Maximum Height Difference Outdoor Lower Than Indoor Units	(m)	30							
Maximum Height Difference Between Indoor Units	(m)	40							
Maximum Height Difference Between Outdoor Units	(m)	5							
Voltage Range Minimum / Maximum	(V)	342 / 456							
Electrical Characteristic Running Current Cooling / Heating	(Amps)	8.3 / 9.1	11.4 / 12.0	13.4 / 14.5	17.8 / 19.9	16.7 / 18.2	19.7 / 21.1	22.8 / 24	
Electrical Characteristic Starting Current	(Amps)	Soft Start							
Power Supply		3 phase 400v 50Hz							
Suggested Fused Supply(s)	(Amps)	16	20	25	16 + 16	20 + 16	20 + 20		

Sistema VRV – Unidade interior – Toshiba

INDOOR UNIT	MMK-	AP0073H	AP0093H	AP0123H	AP0153H
CAPACITY CODE	HP	0.8	1.0	1.25	1.7
Cooling Capacity	(kW)	2.2	2.8	3.6	4.5
Heating Capacity	(kW)	2.5	3.2	4.0	5.0
UK Total Cooling / Sensible Cooling Capacity	(kW)	2.0 / 1.6	2.5 / 1.9	3.3 / 2.4	4.1 / 2.7
UK Heating Capacity	(kW)	1.7	2.2	2.7	3.4
Power Consumption	(kW)	0.018		0.021	0.043
Running Current	(Amps)	0.17		0.19	0.32
Starting Current	(Watts)	0.22		0.24	0.41
Motor Output	(Watts)			30	
Standard Air Flow H/M/L	(l/s)	158 / 125 / 108		167 / 133 / 117	233 / 183 / 150
Standard Air Flow H/M/L	(m3/min)	9.5 / 7.5 / 6.5		10 / 8 / 7	14 / 11 / 9
Standard Air Flow H/M/L	(m3/h)	570 / 450 / 390		600 / 480 / 390	840 / 660 / 540
Sound Pressure Level H/M/L	(dBA)	35 / 31 / 28		37 / 32 / 28	41 / 36 / 33
Sound Power Level H/M/L	(dBA)	50 / 46 / 43		52 / 47 / 43	56 / 51 / 48
Main Unit Height / Width / Depth	(mm)			320 / 1050 / 228	
Main Unit Total Weight	(kg)			15	
Gas Side	(mm / °)		9.5 - 3/8		12.7 - 1/2
Liquid Side	(mm / °)			6.4 - 1/4	
Drain Port (inner/outer)	(mm)			14 / 16	
Power Supply				1 phase 230v 50Hz	
Suggested Fused Spur Supply	(Amps)			5	
Remote Controller (Standard Supplied)				WH-L115E	
Type				Infra-Red	

INDOOR UNIT	MMK-	AP0183H	AP0243H	AP0074MH-E	AP0094MH-E	AP0124MH-E
CAPACITY CODE	HP	2.0	2.5	0.8	1.0	1.25
Cooling Capacity	(kW)	5.6	7.1	2.2	2.8	3.6
Heating Capacity	(kW)	6.3	8.0	2.5	3.2	4.0
UK Total Cooling / Sensible Cooling Capacity	(kW)	5.1 / 3.4	6.4 / 4.4	2.0 / 1.6	2.5 / 1.9	3.3 / 2.4
UK Heating Capacity	(kW)	4.3	5.4	1.7	2.2	2.7
Power Consumption	(kW)	0.043	0.050	0.017	0.018	0.019
Running Current	(Amps)	0.32	0.37	0.17	0.18	0.19
Starting Current	(Watts)	0.41	0.47	0.22	0.23	0.24
Motor Output	(Watts)			30		
Standard Air Flow H/M/L	(l/s)	233 / 183 / 150	283 / 217 / 167	133 / 117 / 100		150 / 133 / 100
Standard Air Flow H/M/L	(m3/min)	14 / 11 / 9	17 / 13 / 10	8 / 7 / 6		9 / 8 / 6
Standard Air Flow H/M/L	(m3/h)	840 / 660 / 540	1020 / 750 / 570	480 / 420 / 360		510 / 450 / 360
Sound Pressure Level H/M/L	(dBA)	41 / 36 / 33	46 / 39 / 34	35 / 32 / 29	36 / 33 / 29	37 / 33 / 29
Sound Power Level H/M/L	(dBA)	56 / 51 / 48	61 / 54 / 49	50 / 47 / 44	51 / 48 / 44	52 / 48 / 44
Main Unit Height / Width / Depth	(mm)		320 / 1050 / 228		275 / 790 / 208	
Main Unit Total Weight	(kg)		15		11	
Gas Side	(mm / °)	12.7 - 1/2	15.9 - 5/8		9.5 - 3/8	
Liquid Side	(mm / °)	6.4 - 1/4	9.5 - 3/8		6.4 - 1/4	
Drain Port (inner/outer)	(mm)			14 / 16		
Power Supply				1 phase 230v 50Hz		
Suggested Fused Spur Supply	(Amps)			5		
Remote Controller (Standard Supplied)			WH-L115E		WH-H2UE	
Type			Infra-Red		Infra-Red	

Sistema VRV – Bomba de calor para AQS – Toshiba

OUTDOOR UNIT	HWS-	804H-E	1104H-E	1404H-E	1104H8-E	1404H8-E	1604H8-E
Heating Capacity *1	(kW)	8.0	11.2	14.0	11.2	14.0	16.0
Operating Temperature Range Hydro / Outdoor	(°C)	5 to 32 / -20 to 43					
Operating Humidity Range Hydro / Outdoor	(%)	15 to 85 / 15 to 100					
Heating Condition 1 LWT=35°C DT=5°C Input Power / COP	(kW)	1.79 / 4.46	2.30 / 4.88	3.11 / 4.50	2.34 / 4.80	3.16 / 4.44	3.72 / 4.30
Heating Condition 1 LWT=35°C DT=5°C Rated Water Flow	(l/m)	22.90	32.10	40.10	32.10	40.10	45.80
Operating Noise *1 *3 Sound Pressure Hydro / Outdoor	(dBA)	27 / 49	29 / 49	29 / 51	29 / 49	29 / 51	29 / 52
Operating Noise *1 *3 Sound Power Hydro / Outdoor	(dBA)	42 / 64	44 / 64	44 / 66	44 / 64	44 / 66	44 / 67
Hydro Unit Running Current Heating	(Amps)	0.44	0.66				
Hydro Unit Power Input Heating	(kW)	0.06	0.09		0.09		
Outdoor Unit Running Current Heating	(Amps)	7.97	10.08	13.74	3.73	5.01	5.94
Outdoor Unit Power Input Heating	(kW)	1.73	2.21	3.02	2.25	3.07	3.63
Total Running Current Heating	(Amps)	8.41	10.74	14.4	4.39	5.67	6.6
Dimensions Height / Width / Depth	(mm)	890 / 900 / 320	1340 / 900 / 320				
Net Weight	(Kg)	63	92	93			
Standard Air Flow	(m3/h)	50	103				
Standard Air Flow	(m3/h)	3000	6180				
Refrigerant Piping Gas	(mm)	15.9 - 5/8					
Refrigerant Piping Liquid	(mm)	9.5 - 3/8					
Drain Port Hose Inner Diameter	(mm)	16					
Refrigerant Charge Amount / Chargeless To	(Kg)	1.8 / 30	2.7 / 30				
Refrigerant Piping Minimum / Maximum Length	(m)	5 / 30					
Refrigerant Piping Maximum Height Difference	(m)	±30					
Power Supply		1 phase 230v 50Hz			3 phase 400v 50Hz		
Suggested Fused Supply	(Amps)	20	25	16			
Wiring Connection Power To Outdoor Unit		2 core + earth			4 core + earth		
Power Cable From Outdoor To Hydro Unit		3 core + earth					

DOMESTIC HOT WATER TANK	HWS-	1501CSHM3-UK	2101CSHM3-UK	3001CSHM3-UK
Water Volume	(litres)	150	210	300
Max Water Temperature	(°C)	75	75	75
Electric Heater	(kW)	2.75	2.75	2.75
Standing Heat Loss	(kWh/day)	1.45	1.91	2.52
Nominal Storage Capacity Of Units	(litres - kg)	150 - 181	210 - 251	300 - 360
Maximum Water Supply Pressure To Prv	(Mpa - bar)	1.6 - 16.0		
Operating Pressure Of Unit	(Mpa - bar)	0.35 - 3.5		
Expansion Vessel Charge Pressure	(Mpa - bar)	0.35 - 3.5		
Expansion Valve Setting	(Mpa - bar)	0.6 - 6.0		
Max. Primary Working Pressure	(Mpa - bar)	0.3 - 3.0		
Opening Temperature of T&P Relief Valve	(°C)	90		
Opening Pressure of T&P Relief Valve	(Mpa - bar)	1.0 - 10		
Material		Stainless steel		
Insulation		CFC/HCFC free polyurethane foam		
Height - Diameter	(mm)	1090 - 550	1474 - 550	2040 - 550
Weight Net	(Kg)	31	41	60
Power Supply		1 phase 230v 50Hz		
Suggested Fused Supply	(Amps)	16		

Painéis Fotovoltaicos – Panasonic N330

Electrical Specifications

Model	VBHN330SA16	VBHN325SA16
Rated Power (Pmax) ¹	330W	325W
Maximum Power Voltage (Vpm)	58.0V	57.6V
Maximum Power Current (Ipm)	5.70A	5.65A
Open Circuit Voltage (Voc)	69.7V	69.6V
Short Circuit Current (Isc)	6.07A	6.03A
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.30%/°C	-0.30%/°C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.174V/°C	-0.174V/°C
Temperature Coefficient (Isc)	1.82mA/°C	1.82mA/°C
NOCT	49.2°C	49.2°C
CEC PTS Rating	306.5W	301.7W
Cell Efficiency	22.09%	21.76%
Module Efficiency	19.7%	19.4%
Watts per Ft. ²	18.3W	18.0W
Maximum System Voltage	600V	600V
Series Fuse Rating	15A	15A
Warranted Tolerance (-/+)	+10%/-0%*	+10%/-0%*

Mechanical Specifications

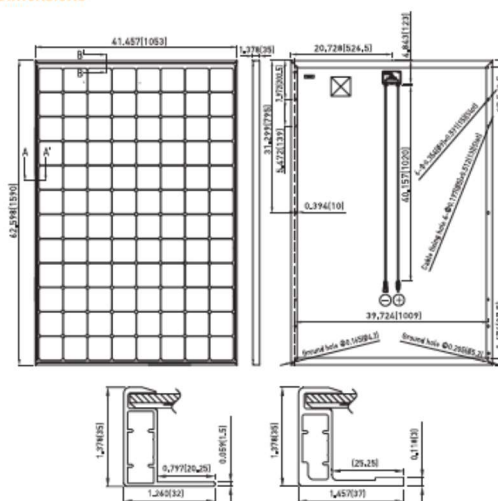
Model	VBHN330SA16, VBHN325SA16
Internal Bypass Diodes	4 Bypass Diodes
Module Area	18.02 Ft. ² (1.67m ²)
Weight	40.81 Lbs. (18.5kg)
Dimensions LxWxH	62.6x41.5x1.4 in. (1590x1053x35 mm)
Cable Length +Male/-Female	40.2/40.2 in. (1020/1020 mm)
Cable Size / Type	No. 12 AWG / PV Cable
Connector Type ²	Multi-Contact [®] Type IV (MC4 [™])
Static Wind / Snow Load	50 PSF (2400 Pa)
Pallet Dimensions LxWxH	63.7x42.2x5.5 in. (1618x1071x140 mm)
Quantity per Pallet / Pallet Weight	40 pcs. / 1719 Lbs. (780 kg)
Quantity per 40' Container	560 pcs.
Quantity per 20' Container	240 pcs.

Operating Conditions & Safety Ratings

Model	VBHN330SA16, VBHN325SA16
Operating Temperature	-40°F to 185°F (-40°C to 85°C)
Hail Safety Impact Velocity	1" hailstone (25mm) at 52 mph (23m/s)
Safety & Rating Certifications	UL 1703, cUL, CEC
UL 1703 Fire Classification	Type 2
Limited Warranty	15 Years Workmanship, 25 Years Power Output

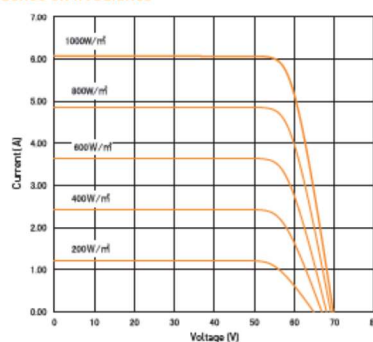
Note: Standard Test Conditions: Air mass 1.5; Irradiance = 1000W/m²; cell temp. 25°C
¹Maximum power at delivery. For guarantee conditions, please check our guarantee document.
²STC: Cell temp. 25°C, AM1.5, 1000W/m²
³Safety locking clip (PV-SSH4) is not supplied with the module.
 Note: Specifications and information above may change without notice.

Dimensions



Unit: inches (mm)


Dependence on Irradiance



Reference data for model: VBHN330SA16
 (Cell temperature: 25°C)

⚠ CAUTION! Please read the installation manual carefully before using the products.
 Used electrical and electronic products must not be mixed with general household waste. For proper treatment, recovery and recycling of old products, please take them to applicable collection points in accordance with your national legislation.

Coletores solares – Alternate Energy Technologies AE-32

<p style="text-align: center;">SOLAR COLLECTOR CERTIFICATION AND RATING</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">SRCC OG-100</p>	<p style="text-align: center;">CERTIFIED SOLAR COLLECTOR</p> <p>SUPPLIER: Alternate Energy Technologies 1057 N. Ellis Road Jacksonville, FL 32254</p> <p>MODEL: Alternate Energy AE-32 COLLECTOR TYPE: Glazed Flat-Plate CERTIFICATION #: 100-2002-001E</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

COLLECTOR THERMAL PERFORMANCE RATING							
Megajoules Per Panel Per Day				Thousands of Btu Per Panel Per Day			
CATEGORY (Ti-Ta)	CLEAR DAY 23 MJ/m ² ·d	MILDLY CLOUDY 17 MJ/m ² ·d	CLOUDY DAY 11 MJ/m ² ·d	CATEGORY (Ti-Ta)	CLEAR DAY 2000 Btu/ft ² ·d	MILDLY CLOUDY 1500 Btu/ft ² ·d	CLOUDY DAY 1000 Btu/ft ² ·d
A (-5°C)	44	33	23	A (-9°F)	42	31	21
B (5°C)	40	29	19	B (9°F)	38	28	18
C (20°C)	33	23	13	C (36°F)	32	22	12
D (50°C)	20	11	2	D (90°F)	19	10	2
E (80°C)	8	1		E (144°F)	7	1	

A-Pool Heating (Warm Climate) B-Pool Heating (Cool Climate) C-Water Heating (Warm Climate) D-Water Heating (Cool Climate) E-Air Conditioning

COLLECTOR SPECIFICATIONS

Gross Area:	2.965 m ²	31.92 ft ²	Net Aperture Area:	2.781 m ²	29.94 ft ²
Dry Weight:	51.2 kg	113 lb	Fluid Capacity:	4.9 l	1.3 gal
Test Pressure:	1103 kPa	160 psig	Max. Oper. Temp.:	176.7 °C	350 °F

COLLECTOR MATERIALS

Frame:	Anodized Aluminum
Cover (Outer):	Low Iron Tempered Glass
Cover (Inner):	None
Absorber Material:	Tube - Copper / Plate - Copper Fin
Absorber Coating:	Selective Coating
Insulation (Side):	Polyisocyanurate
Insulation (Back):	Polyisocyanurate

PRESSURE DROP

Flow		Δ P	
ml/s	gpm	Pa	in H ₂ O

TECHNICAL INFORMATION

Efficiency Equation [NOTE: (P) = Ti-Ta]				<u>Y Intercept</u>	<u>Slope</u>	
S I Units:	$\eta = 0.691$	$-3.3960 (P)/I$	$-0.0019 (P)^2/I$	0.706	-4.9099	W/m ² ·°C
I P Units:	$\eta = 0.691$	$-0.5985 (P)/I$	$-0.0002 (P)^2/I$	0.706	-0.865	Btu/hr-ft ² ·°F

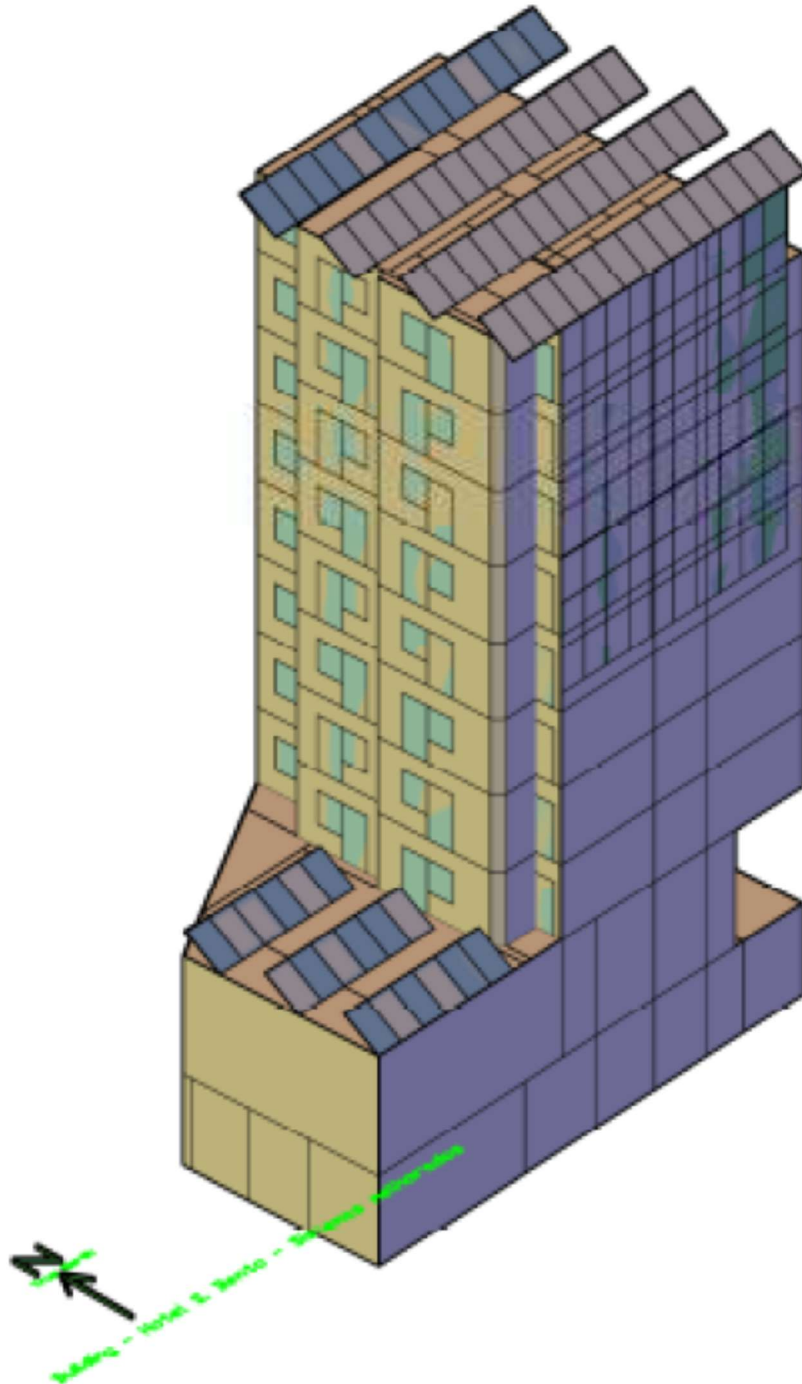
Incident Angle Modifier [(S) = 1/cos θ - 1, 0° ≤ θ ≤ 60°]

K _{act} = 1.0	-0.1939 (S)	-0.0055 (S) ²
K _{act} = 1.0	-0.20 (S)	(Linear Fit)

Model Tested:	AE-21
Test Fluid:	Water
Test Flow Rate:	39 ml/s 0.62 gpm

REMARKS:

ANEXO V – LOCALIZAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS E COLETORES SOLARES



- Coletores solares AQS: os primeiros 9 painéis das primeiras 3 fiadas de painéis da cobertura;
- Painéis fotovoltaicos: 4ª fiada da cobertura, todos no terraço e todos na fachada.