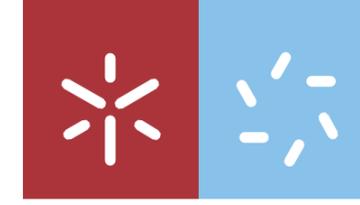




Eficiência Energética em Edifícios: Estudo Energético de Melhoria do Desempenho Energético para o Edifício do Laboratório da Paisagem

UMinho | 2022

Gonçalo Carvalho

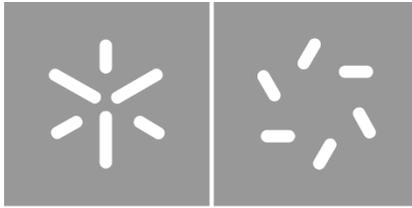


Universidade do Minho
Escola de Ciências

Gonçalo João Costa Carvalho

**Eficiência Energética em Edifícios:
Estudo Energético de Melhoria do
Desempenho Energético para o
Edifício do Laboratório da Paisagem**

outubro de 2022



Universidade do Minho

Escola de Ciências

Gonçalo João Costa Carvalho

Eficiência Energética em Edifícios: Estudo Energético e Medidas de Melhoria no Desempenho Energético do Edifício do Laboratório da Paisagem

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Ciências e Tecnologias do Ambiente –
Ramo Energia

Trabalho efetuado sob a orientação de:

Doutor Manuel Filipe Pereira Cunha Martins Costa

Doutor Carlos Alexandre Lopes Rodrigues Ribeiro

outubro de 2022

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada. Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



Atribuição-NãoComercial-SemDerivações

CC BY-NC-ND

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Agradecimentos

Depois de mais uma etapa concluída, não posso deixar de expressar a minha gratidão àqueles que, de alguma forma, me ajudaram nesta jornada e que a tornaram possível.

Queria começar por agradecer ao Laboratório da Paisagem por me acolher durante este período de estágio curricular, por me proporcionar todas as ferramentas necessárias para que este projeto fosse possível e pela oportunidade de contactar com profissionais de excelência. Uma experiência enriquecedora a nível profissional e pessoal.

Agradecer, ao meu ao orientador Professor Doutor Manuel Filipe Pereira da Cunha Martins Costa por toda a prontidão e disponibilidade na realização deste projeto de tese. Ao meu coordenador de estágio e diretor executivo do Laboratório da Paisagem, Doutor Carlos Alexandre Lopes Rodrigues Ribeiro por todo o acompanhamento, disponibilidade, passagem de conhecimento e auxílio na realização deste projeto, um exemplo de profissionalismo e método de trabalho. Ao Engenheiro Miguel Fernandes por todo o acompanhamento técnico e disponibilidade para a concretização deste estudo. A toda a equipa do Laboratório da Paisagem, Sara Terroso, Luis Peliteiro, Sara Oliveira, Ana Pinheira, João Miranda, Paulo Machado, Andreia Ribeiro, Susana Falcão, José Lobo, Pedro Cunha, Guilherme Braga, Daniel Ferreira, Carolina Rodrigues, Ana Sousa, Alona Perebynos, obrigado por toda a ajuda e acréscimo profissional e pessoal. Obrigado!

Por fim, quero agradecer à minha família e amigos, alguns deles já enunciados em cima, sem estes seria impossível a realização deste percurso. Um especial obrigado, do fundo do coração, à minha mãe, Sónia Costa por TUDO, o suporte incondicional, motivação, acompanhamento e orientação na minha jornada desde sempre, à minha avó Fátima Senra pela ajuda na logística de cuidar da minha cadela Buda e por todo o incentivo nesta jornada e um obrigado gigante à minha namorada Bruna Moura por me aturar em todos os momentos deste projeto, por estar ao meu lado e por todo o apoio emocional e estrutural. Aos meus amigos, um obrigado do tamanho do mundo. Aos de sempre, aos que estão sempre e aqueles que apesar do tempo, nada muda.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Resumo

O desenvolvimento económico mundial tem vindo a caracterizar-se pela utilização intensa de energia, e como resultado disso, a dependência energética dos países acentuou-se bastante. Nesse sentido, a União Europeia implementou um conjunto de políticas energéticas, tendo como objetivo reduzir a dependência dos combustíveis fósseis e as emissões de carbono para a atmosfera.

A eficiência energética assumiu-se, então, como um instrumento fundamental para minimizar os impactos. A sua adaptação aos edifícios é um fator preponderante para a resiliência e sustentabilidade das cidades.

Na cidade de Guimarães, o edifício do Laboratório da Paisagem foi selecionado para a realização de um estudo energético piloto. O objetivo principal foi, não só, procurar uma melhoria na sua eficiência energética e reduzir, como também, desenvolver uma metodologia de avaliação energética que possa ser replicada para outros edifícios do Município de Guimarães.

A primeira fase do estudo consistiu numa análise global dos consumos energéticos através das faturas energéticas. Posteriormente, analisou-se os equipamentos consumidores de energia repartindo-os por sector para, desta forma, identificar quais as áreas com maior potencial de economizar energia.

A última fase consistiu na apresentação de um conjunto de propostas que visam reduzir os consumos energéticos e, conseqüentemente, otimizar a utilização energética do Laboratório da Paisagem.

Com a realização deste estudo conclui-se que o maior consumidor de energia, responsável por 75% do consumo, no edifício do Laboratório da Paisagem é o AVAC. Com 14% do consumo, segue-se os equipamentos e, por último, a iluminação com 12%.

Este estudo culminou no estabelecimento de uma metodologia de avaliação energética passível de ser replicada noutros edifícios do Município de Guimarães, contribuindo para o compromisso desta cidade com a neutralidade carbónica até 2030.

Palavras-Chave: Estudo energético; AVAC; Eficiência energética; Energia elétrica; Laboratório da Paisagem.

Abstract

The world economic development has its origin in a characterized by the intense use of energy and as a result, the energy dependence of the countries has accentuated a lot. In this sense, the European Union implements a set of energy policies, with the objective of reducing dependence on chemical substances and avoiding carbon in the atmosphere.

Energy efficiency was informed, then, as a fundamental instrument to minimize impacts. Its adaptation to buildings is a major factor for the resilience and sustainability of cities.

In Guimarães, the Landscape Laboratory Building was selected to carry out an energy pilot study. The main objective was to seek an improvement in energy efficiency and reduce, also to develop an energy assessment methodology that can be replicated for other buildings in the Municipality of Guimarães.

The first phase of the study consists of a global analysis of energy consumption through energy bills. Larger, which are the energy equipment distributing them, identified as areas with potential for energy savings.

The last phase consists of the presentation of a set of proposals aimed at reducing energy consumption and, consequently, optimizing the energy use of the optimization laboratory.

With this study, it is concluded that the largest energy consumer, responsible for 75% of consumption, in the Landscape Laboratory building is the HVAC. With 14% of consumption, equipment follows and, lastly, lighting with 12%.

This study of energy assessment study in the establishment of a susceptible energy methodology replicated by other builders in the municipality of Guimarães was designed to assess the commitment of this city to carbon neutrality by 2030.

Key words: Energy study; HVAC; Energy efficiency; electricity; Landscape Laboratory.

Índice

Agradecimentos.....	iii
Resumo	v
Abstract	vi
Índice	vii
Índice de Figuras.....	ix
Índice de Tabelas	xi
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos	xii
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento	1
1.1.1 Energia e as Alterações climáticas	1
1.1.2 Energia e a Economia	2
1.1.3 Energia e Edifícios	5
1.2 Objetivo.....	9
1.3 Organização da dissertação	10
2. Fundamentos teóricos	11
2.1 Energia	11
2.2 Consumo Energético	12
2.3 Enquadramento legal.....	17
2.3.1 Políticas de eficiência energética na Europa.....	17
2.3.2 Políticas de Eficiência Energética em Portugal	20
2.3.3 Norma NP EN ISO 50001:2012	23
2.3.4 Legislação aplicável	24
2.4 Eficiência Energética	25
2.5 NZEB – Nearly Zero Energy Building	27
2.6 Auditorias Energéticas	28
2.6.1 Metodologia a aplicar numa auditoria energética	30
2.7 Cidades sustentáveis.....	31
2.7.1 Guimarães no caminho para a sustentabilidade	32
3. Caso de estudo	36
3.1 Laboratório da Paisagem	36
3.2 Localização e Clima	37

3.2 Caracterização do espaço do edifício	40
3.4 Abordagem Geral do Estudo Energético	43
3.5 Caracterização da instalação elétrica	46
3.5.1 Energia elétrica.....	46
3.5.2 Sistema de iluminação	46
3.5.3 Sistemas de Climatização	47
3.5.4 Outros equipamentos elétricos.....	48
3.6 Análise energética global do edifício	49
3.6.1 Faturas de eletricidade.....	50
3.7 Indicadores de desempenho	57
3.7.1 Consumo de energia Vs. temperatura (°C)	57
3.7.2 Consumo de energia Vs. área (m²)	59
3.8 Discriminação dos consumos energéticos.....	60
3.8.1 Repartição dos consumos energéticos	60
3.8 Propostas de melhoria na eficiência energética.....	62
3.8.1 Adoção de um plano de gestão do funcionamento do AVAC.....	62
3.8.2 Implementação de um sistema de energia renovável.....	65
3.8.3 Desativação de lâmpadas e instalação de sensores de movimento.....	70
3.8.4 Outras sugestões de melhoria	71
4. Conclusões.....	73
4.1.1 Trabalhos futuros.....	74
Referências.....	76
Anexos	80

Índice de Figuras

Figura 1 - Esquematização do sistema da interligação energética (Sadler, 2020).....	12
Figura 2 - Dependência energética na EU-27 em 2020 (ADENE, 2022).	13
Figura 3 - Consumo de energia primária em 2021 (DGEG, 2021).	14
Figura 4 - Estrutura do consumo final de energia em 2021 (DGEG, 2021).	15
Figura 5 - Consumo de energia elétrica por consumidor em Portugal (PORDATA, 2022).	16
Figura 6 - Metas de Portugal para o horizonte 2030 (Fonte: Portugal Energia).	22
Figura 7 - Ilustração simplificada do balanço energético de um edifício (Adaptado de Asdrubali et al., 2019).....	27
Figura 8 - O conceito de balanço de energia para NZEB é calculado principalmente para energia de uso final ou energia primária (Adaptado de S. Attia, 2018).....	28
Figura 9 - Principais etapas de um processo de auditoria energética (Adaptado de Asdrubali & Desideri, 2019).....	31
Figura 10 - Academia de ginástica de Guimarães, um edifício autossustentável.	35
Figura 11 - Localização do edifício na veiga de Creixomil e no concelho de Guimarães (Fonte: Google Earth via QGIS).....	37
Figura 12 - Valores mensais da temperatura do ar no concelho de Guimarães entre os anos 1980 - 2016.	38
Figura 13 - Classificação climática de Köppen-Geiger.	39
Figura 14 - Resumo das principais alterações climáticas projetadas para o município de Guimarães até ao final do século (Município de Guimarães, 2016).	40
Figura 15 – Materiais de construção danificados (figura da esquerda) e infiltrações na cobertura (figura da direita).	42
Figura 16 - Fluxograma com a metodologia adotada neste estudo energético.	45
Figura 17 – Ecrã do sistema de climatização central do Laboratório da Paisagem.	48
Figura 18 - Ciclo horário diário de acordo com a ERS.	51
Figura 19 - Representação mensal da energia elétrica por período - 2020.....	51
Figura 20 - Representação mensal da energia elétrica por período - 2021.....	52
Figura 21 - Distribuição percentual de energia elétrica por período.....	54
Figura 22 - Distribuição percentual de energia elétrica por período.....	54
Figura 23 - Consumo elétrico mensal de 2020 e 2021.	55

Figura 24 – Correlação entre o consumo mensal de eletricidade e a temperatura média mensal em 2020.	57
Figura 25 – Correlação entre o consumo mensal e temperatura média mensal em 2021.	58
Figura 26 - Consumo de energia por unidade de área.	59
Figura 27 - Repartição do consumo de energia no ano 2020 e 2021.	60
Figura 28 – Simulação de uma proposta de implementação para a instalação fotovoltaica na cobertura do edifício do Laboratório da Paisagem, utilizando como ferramenta o programa AutoCAD.....	65
Figura 29 - Produtividade anual da instalação fotovoltaica e consumos do edifício no ano de 2021.	67
Figura 30 - Horário de produção de energia do painel fotovoltaico no mês de janeiro na localização do edifício do Laboratório da Paisagem (Fonte: Programa Pvsyst).....	67
Figura 31 - Horário de produção de energia do painel fotovoltaico no mês de agosto na localização do edifício do Laboratório da Paisagem (Fonte: Programa Pvsyst).....	68

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Consumo de energia elétrica por tipo de consumo em Portugal (PORDATA, 2022).....	16
Tabela 2 - áreas dos diferentes espaços do Laboratório da Paisagem.	42
Tabela 3 - Resumo das quatro fases do estudo energético.	44
Tabela 4 - Quadro de iluminação do Laboratório da Paisagem.	47
Tabela 5 - Outros equipamentos elétricos existentes no Laboratório da Paisagem.	49
Tabela 6 - Planos de gestão de funcionamento do AVAC.	62
Tabela 7 - Consumos e faturação da implementação dos Planos de gestão do AVAC, no mês de abril de 2022.	63
Tabela 8 - Consumos e faturação da implementação dos planos de gestão do AVAC, no mês de julho de 2022.	64
Tabela 9 - Cash-flows investimento a 20 anos.	69

Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos

GEE – Gases com efeito de estufa

NZE - *Net Zero Emissions by 2050*

IEA - *International Energy Agency*

GW – Gigawatts

APS - *Announced Pledges Scenario*

EJ – Exa joule

MPES – Padrões mínimos de desempenho energético

GPL – Gás de petróleo liquefeito

AEA – Agência Europeia do Ambiente

UE – União Europeia

UE-27 – 27 estados-membros da União Europeia

PNAEE – Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética

PNAER – Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis

PNEC – Plano Nacional de Energia e Clima

PNAC – Plano Nacional para as Alterações Climáticas

ECO.AP – Programa de eficiência energética na Administração Pública

ELPRE – Estratégias de Longo Prazo para a Reabilitação dos Edifícios

SGE – Sistema de Gestão Energética

PDCA – *Plan-Do-Check-Act*

IDE – Indicadores de Desempenho Energético

RSECE – Regulamento de Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

SGCIE – Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia

IC – Intensidade Carbónica

NZEB – *Net Zero Energy Buildings*

ECMs – Medidas de Conservação de Energia

EEMs – Medidas de Eficiência Energética

ASHRAE – Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado

ICLEI – *International Council for Local Environmental Initiatives*

ONU – Organização das Nações Unidas

CPCJ – Comissão de Proteção de Crianças e Jovens

COP – Coeficiente de Desempenho

EER – Rácio de Eficiência Energética

SNIRH - Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

1. Introdução

1.1 Enquadramento

1.1.1 Energia e as Alterações climáticas

Uma das problemáticas mais urgentes que a sociedade moderna enfrenta são os danos ambientais que, por influenciarem milhões de vidas humanas, têm recebido uma considerável atenção de cientistas e formuladores de políticas (Tomiwa Sunday Adebayo et al., 2021). Estes danos ambientais têm sido agravados, ao longo das últimas décadas, pelas alterações climáticas e pelo aquecimento global. Embora os termos “aquecimento global” e “mudanças climáticas” sejam frequentemente usados de forma sinónima, o aquecimento global é um componente das mudanças climáticas. As mudanças climáticas referem-se a alterações de longo prazo nas condições climáticas existentes na Terra. Fatores como a atividade humana, a emissão de dióxido de carbono (CO₂) e outros gases com efeito de estufa (GEE) para a atmosfera e o aquecimento global registado por várias décadas são, em grande parte, os culpados desta mudança (Contu et al., 2021).

O dióxido de carbono (CO₂) é responsável por cerca de 75% das emissões mundiais de GEE. O aumento dos níveis de CO₂ na atmosfera culminou em alterações climáticas globais e severas, que se tornaram comuns na última década, incluindo inundações, secas, ondas de calor e chuvas fortes (Tomiwa S Adebayo et al., 2021). De forma a mitigar o impacto destes eventos nos ecossistemas e na vida das pessoas foram realizados vários acordos como o Protocolo de Kyoto em 1997, o Acordo Climático de Paris (ACP) em 2015 e a recente COP 26, em Glasgow, em 2021. Estes acordos têm como objetivo manter o aquecimento global abaixo de 1,5 graus Celsius. Nesse sentido, os governos de todo o mundo estão a promover sistemas energeticamente eficientes (Gielen et al., 2021). Apesar destes acordos, as temperaturas globais continuam a subir e estima-se que, em 2021, foram recuperados 4,8% das emissões de CO₂ após uma diminuição de 5,4% em 2020 (devido à pandemia Covid-19), valores esses que se aproximam dos níveis de 2019 (Friedlingstein et al., 2022).

Os combustíveis fósseis são considerados a principal causa do aquecimento global e das emissões de CO₂. Contudo, existem métodos de obtenção de energia com

impacto mais significativo na redução da emissão deste gás para a atmosfera que se prendem com a introdução de fontes de energia renováveis (desde a energia solar, energia das marés, geotérmica, eólica, biomassa e hídrica) no mix energético¹ para serem utilizadas nos diversos processos produtivos (Ozturk et al., 2016; Pata, 2021). Segundo o renovado Protocolo de Kyoto em 2005 e a COP 26, a utilização de fontes de energia renováveis tornou-se uma tática propulsora para as nações desenvolvidas que procuram cumprir as suas metas de redução de emissões de GEE.

1.1.2 Energia e a Economia

Em 2020, mesmo com as economias a afundar sob o peso dos bloqueios da Covid-19, a implementação das fontes renováveis de energia, como eólica e solar fotovoltaica, aumentou a um ritmo muito acelerado em duas décadas. Está a surgir uma nova economia energética, impulsionada por ações políticas, desenvolvimento do conhecimento científico, inovação tecnológica e a crescente necessidade de combater as alterações climáticas. Não há garantia de que estamos a fazer esta transição energética com rapidez suficiente para evitar impactos severos num clima em mudança. Contudo, com a crescente inovação tecnológica e aumento de diferentes formas de produção e consumo de energia, está claro que a economia energética de amanhã promete ser bem diferente da que temos hoje (Henderson et al., 2021).

A eletricidade assume um papel cada vez mais central na vida dos consumidores e, para um número cada vez maior de habitações, promete tornar-se a fonte de energia fulcral para todas as necessidades quotidianas: mobilidade, cozinha, iluminação, aquecimento e arrefecimento (IEA, 2021a).

A participação da eletricidade no consumo final mundial de energia aumentou de forma constante nas últimas décadas e agora é de 20%. A sua ascensão tende a acelerar nos próximos anos à medida que o ritmo das transições energéticas aumenta. No cenário de *Net Zero Emissions by 2050 (NZE)* da *International Energy Agency (IEA)*², a eletricidade representará cerca de 50% do uso final de energia até 2050. Dado que a eletricidade fornece serviços de energia úteis com melhor eficiência do que outros

¹ A matriz energética é uma representação quantitativa de todos os recursos energéticos disponíveis num determinado território, região, país ou continente.

² Este cenário normativo da IEA mostra o caminho, mais viável, para o setor energético global atingir zero emissões líquidas de CO₂ até 2050, onde as economias avançadas são as primeiras a atingir zero emissões líquidas.

combustíveis, a contribuição da eletricidade, para atingir as zero emissões líquidas até 2050, pode ser ainda maior do que estes números sugerem (IEA, 2021c).

O aumento da produção/consumo de eletricidade exige um aumento paralelo da sua participação no investimento relacionado com a energia. Desde 2016, o investimento global no setor de energia tem sido consistentemente maior do que no fornecimento de petróleo e gás. Quanto mais rápidas forem as transições de energia limpa, maior será essa lacuna e, como resultado, a eletricidade tornar-se-á a arena central para transações financeiras relacionadas com a energia. No cenário NZE, o investimento em geração de energia e infraestruturas é seis vezes maior do que no fornecimento de petróleo e gás até 2030 (Le Guenedal et al., 2022).

As tecnologias limpas no setor de energia, numa variedade de usos finais, tornaram-se a primeira escolha para os consumidores em todo o mundo, inicialmente devido ao apoio de políticas, mas ao longo do tempo porque são simplesmente mais económicas. Na maioria das regiões, a energia solar fotovoltaica ou eólica já representa a fonte de nova geração mais barata de eletricidade (IEA, 2021c).

Na nova economia energética, a enorme oportunidade de mercado para a tecnologia limpa torna-se uma nova área importante para investimento e competição internacional, países e empresas disputam posições nas cadeias de suprimentos globais. Estima-se que, se o mundo entrar no caminho para emissões líquida zero até 2050, a oportunidade de mercado anual para fabricantes de turbinas eólicas, módulos fotovoltaicos, baterias de íões de lítio, eletrolisadores e células de combustível crescerá dez vezes para US\$ 1,2 triliões até 2050. Estes cinco elementos sozinhos seriam maiores de que a indústria petrolífera de hoje e as suas receitas associadas (IEA, 2021c).

A nova economia energética envolve interações variadas e muitas vezes complexas entre os mercados de eletricidade, combustíveis e armazenamento, criando novos desafios para a regulamentação e o desenho do mercado. Uma questão importante é como gerir o potencial de aumento da variabilidade tanto no lado da procura como no lado da oferta na equação energética. A variabilidade do fornecimento de eletricidade será afetada pelo aumento das participações de energia eólica e solar fotovoltaica, comprometendo redes robustas e outras fontes de flexibilidade de fornecimento. A variabilidade da procura será moldada pelo aumento da

implementação de bombas de calor e ar condicionado, e pode ser exacerbado por recargas mal sequenciadas de frotas de veículos elétricos, por ondas de frio, ondas de calor ou outros eventos climáticos extremos. Sem políticas eficazes para preparar e gerir essas flutuações, a variação diária da procura pode aumentar com base nas promessas anunciadas para 270 gigawatts (GW) na União Europeia (de 120 GW hoje) e mais de 170 GW na Índia (de 40 GW) em meados do século (IEA, 2021c).

As tecnologias digitais desempenham papéis cruciais na integração de diferentes aspetos do novo sistema energético. Setores que até então operavam de forma independente (como eletricidade e transporte) tornam-se conectados de novas maneiras com o aumento da mobilidade elétrica, e as redes precisam de lidar com uma diversidade e complexidade muito maiores de fluxos à medida que muitos novos atores, incluindo famílias, entram no mercado (IEA, 2021a).

A eletrificação limpa é o tema dominante nas fases iniciais de transformação da economia global de energia, juntamente com a busca por melhorias na eficiência. No entanto, com o tempo, a implantação rápida e contínua nestas áreas precisa de ser acompanhada de inovação em energia limpa e do uso generalizado de tecnologias que ainda não estão propriamente disponíveis no mercado. Essas tecnologias como baterias avançadas, eletrolisadores de hidrogénio, biocombustíveis avançados e novas tecnologias para a captura e uso do CO₂, são vitais para descarbonizar áreas como a indústria pesada e o transporte de longa distância que não são prontamente suscetíveis à eletrificação (Griffiths et al., 2021).

Essas mudanças redirecionam os fluxos globais de comércio e capital. A participação combinada de hidrogénio e matérias críticas (como lítio, cobalto, cobre e elementos de terras raras) no comércio global relacionado com a energia aumenta para um quarto do total no cenário *Announced Pledges Scenario* (APS)³ e assume uma participação dominante na NZE com o valor do comércio de combustíveis fósseis a diminuir significativamente. Isso derruba completamente a atual dinâmica do comércio internacional relacionada com a energia; o declínio no valor do comércio de

³ O cenário de compromissos anunciados visa mostrar em que medida as ambições e metas anunciadas, incluindo as mais recentes, estão no caminho para entregar as reduções de emissões necessárias para atingir zero emissões líquidas até 2050.

combustíveis fósseis faz com que as receitas advindas das economias produtoras do petróleo e as exportações de gás diminuam significativamente ao longo do tempo.

A nova economia de energia retratada na NZE é uma economia colaborativa em que os países demonstram um foco partilhado em garantir as reduções necessárias nas emissões, minimizando e adotando precauções contra novos riscos de segurança energética. No entanto a APS destaca a possibilidade de novas divisões e fragmentações à medida que os países avançam em velocidades diferentes nas transições energéticas. Na década de 2030, por exemplo, a APS vê a produção de aço “verde” em economias que se comprometeram a atingir *net zero* juntamente com o uso contínuo de métodos tradicionais de emissões intensivas noutros lugares, aprofundando as tensões em torno do comércio de bens intensivos em energia. Também pode haver um abismo no investimento e nas finanças internacionais: disciplinas cada vez mais rigorosas aplicáveis aos fluxos financeiros podem significar que o capital do mundo “*net zero*” não flui para países que passam por transições mais lentas. Transições bem-sucedidas, ordenadas e amplas nas quais os países usufruem dos benefícios do comércio global dependerão de encontrar maneiras de diminuir e gerir as potenciais tensões no sistema internacional destacadas na APS (IEA, 2021c).

1.1.3 Energia e Edifícios

Durante o último século, a população humana nas áreas urbanas aumentou rapidamente. Atualmente, mais de 55% da população mundial vive em áreas urbanas e espera-se que essa percentagem aumente para 67% até 2050. Na Europa e na América do Norte, esse número é maior (78% em 2016) e deve aumentar para 81% até 2050. A rápida urbanização e as subsequentes mudanças na densidade urbana aumentaram a poluição do ar e o consumo de energia nas cidades (B. Cohen, 2006) . As atividades humanas fizeram com que a temperatura da superfície global aumentasse 1 °C em relação ao seu nível pré-industrial (*Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 2012).

Definir soluções energéticas sustentáveis e resilientes desempenha um papel importante no aperfeiçoamento da mitigação e adaptação às mudanças climáticas nas cidades (Nik et al., 2021). Nesse sentido, o papel dos edifícios como os principais

componentes das cidades é vital. Os edifícios representam quase 40% do consumo final de energia nos países desenvolvidos e cerca de 30% das emissões globais de CO₂ (Jain et al., 2020).

Em 2020, deu-se uma queda das emissões de CO₂, esta deveu-se principalmente à pandemia COVID-19 e à descarbonização da geração de energia. A redução da atividade do setor de serviços (resultante do teletrabalho, escolas fechadas e hotéis e restaurantes vazios) foi a principal razão pela qual os edifícios de serviços registam a maior queda de sempre na procura de energia. Paralelamente, o aumento da geração de energia renovável combinado com uma menor procura total de energia tornou a eletricidade com menos carbono em 2020 em relação a 2019. À medida que a atividade é retomada e a procura por eletricidade é recuperada, o consumo e as emissões tendem a aumentar novamente em 2021. Assim, as emissões de CO₂ em 2020 não sinalizam uma nova tendência (IEA, 2021b).

Avanços visíveis na eficiência energética no ano de 2020 impulsionaram o progresso na dissociação do consumo de energia, do crescimento da área útil do setor de edifícios. O uso final de energia em edifícios aumentou de 118 EJ em 2010 para quase 130 EJ em 2019 a uma taxa média anual de 1%, ficando atrás da expansão média anual de 2% na área útil durante o mesmo período (IEA, 2021b).

Os usos finais de energia com um crescimento mais rápido em edifícios, são o arrefecimento de ambientes, eletrodomésticos e tomadas elétricas, e impulsionam o crescimento da procura da eletricidade do setor dos edifícios. Enquanto a eletricidade representou um terço do uso de energia em edifícios em 2020, o uso de combustíveis fósseis também aumentou a uma taxa de crescimento médio anual marginal de 0,7% desde 2010 (IEA, 2021b).

O declínio na intensidade energética da construção (uso de energia por metro quadrado) foi motivado pelo desenvolvimento de códigos de energia na construção em 80 países; padrões mínimos de desempenho energético (MEPS) adicionais e mais rigorosos para equipamentos; e mudanças para tecnologias de aquecimento de maior eficiência, como bombas de calor, cujo volume total de unidades atingiu 180 milhões de unidades em 2020, acima dos 100 milhões em 2010 (Zhong et al., 2021).

No entanto, a intensidade energética do setor de edifícios precisa de descer quase cinco vezes mais rapidamente nos próximos dez anos do que nos últimos cinco para estar alinhada com o Cenário NZE até 2050. Isto significa que a energia consumida por metro quadrado em 2030 deve ser 45% menor do que em 2020 (IEA, 2021b).

Além disso, o uso tradicional de biomassa sólida, extremamente ineficiente e ligado a cerca de 2,5 milhões de mortes prematuras por poluição do ar doméstico em 2020, deve ser completamente eliminado até 2030 (em linha com o Objetivo do desenvolvimento sustentável número 7), mudando para o uso de biomassa sólida moderna, biogás, eletricidade e GPL (Woolley et al., 2022).

Mesmo sem a pandemia da Covid-19, é provável que as emissões de CO₂ tivessem estabilizado em 2020, em grande parte graças ao efeito combinado de ganhos moderados de eficiência energética e menor intensidade de carbono do setor elétrico (que diminuiu 6% nos anos de 2019 e 2020).

Desde 2010, a crescente procura por serviços de energia em edifícios, particularmente eletricidade para alimentar equipamentos de refrigeração, eletrodomésticos e dispositivos conectados, têm superado os ganhos de eficiência e descarbonização. Temperaturas muito altas e ondas de calor prolongadas bateram recordes em muitos países, aumentando a procura pelo ar condicionado. De facto, 2020 foi o ano mais quente já registado, empatado com o ano de 2016 (quando um forte fenómeno El-Nino e as mudanças climáticas elevaram as temperaturas em todo o mundo), e ocorreram nove dos dez agostos mais quentes desde 2009 (IEA, 2021b).

Alcançar o cenário NZE até 2050 para o setor da construção requer uma rápida mudança para melhores tecnologias disponíveis em todos os mercados até 2030. Na União Europeia, por exemplo, os novos refrigeradores são 75% mais eficientes do que há 10 anos, os rótulos comparativos foram redimensionados em 2021 para ajudar os consumidores a identificar os produtos mais eficientes. No entanto, o progresso continua lento para algumas tecnologias. Por exemplo, as políticas de iluminação em muitos países não foram revistas para eliminar as lâmpadas halógenas, que são apenas cerca de 5 % mais eficientes do que as lâmpadas incandescentes (IEA, 2021b).

Impulsionados por políticas de redução de emissões existentes e alguns programas governamentais relacionados com estímulos, os investimentos em eficiência

energética em edifícios receberam um impulso em 2020, chegando quase a US\$ 180 bilhões, um crescimento de 11% relativamente a 2019. O investimento na Europa foi forte o suficiente para potenciar os gastos globais em eficiência (IEA, 2021b).

Espera-se que os investimentos totais em eficiência energética no setor global de edifícios aumentem ainda mais em 2021. Quase metade desses investimentos são para a construção de novos edifícios eficientes, enquanto o restante é gasto em retrofits relacionados com a energia e aparelhos eficientes. A recuperação económica nos setores de construção e transporte é o principal impulsionador do aumento esperado no total de investimentos em eficiência energética global em 2021.

Apesar do recente aumento nos investimentos em eficiência, os gastos precisam de triplicar até 2030 em relação às medidas da última meia década para atingir o cenário NZE. O objetivo é atingir taxas de retrofit de energia de 2,5% até 2030 e garantir que os novos edifícios construídos na próxima década atendem a padrões de alta eficiência (IEA, 2021b).

1.2 Objetivo

O Município de Guimarães tem vindo a traçar um caminho sólido e exemplar na área da sustentabilidade ambiental. A mais recente distinção deste caminho modelar, foi a integração de Guimarães na lista das cidades da União Europeia que participarão na Missão para as 100 cidades inteligentes e neutras em termos de clima até 2030, a chamada “Missão das Cidades”.

É no âmbito do compromisso de Guimarães para a neutralidade climática até 2030 que surge esta dissertação. Esta dissertação, visa contribuir para uma redução dos consumos energéticos dos edifícios públicos no Município de Guimarães e consequentemente redução das emissões de gases com efeito de estufa auxiliando assim Guimarães no seu compromisso rumo à neutralidade climática até 2030.

De forma a desenvolver um processo metodológico para a caracterização da eficiência energética dos edifícios públicos sob a alçada do Município de Guimarães, foi utilizado como edifício piloto o edifício do Laboratório da Paisagem. O Laboratório da Paisagem, como estrutura de investigação, desenvolvimento e educação ambiental, tem um papel preponderante, quer ao nível de conceção, quer ao nível do desenvolvimento de projetos na área da sustentabilidade ambiental. Assim, por intermédio de uma auditoria energética e uma metodologia sistemática, pretende-se avaliar o desempenho energético do edifício do Laboratório da Paisagem e desta forma identificar áreas de intervenção e oportunidades de melhoria que contribuíssem para o aumento da eficiência energética, não só do Laboratório da Paisagem, mas também para outros edifícios do Município de Guimarães.

Esta dissertação, tem como principal objetivo, tendo como edifício piloto o Laboratório da paisagem, desenvolver um processo metodológico que possa ser reproduzido na avaliação e caracterização da eficiência energética de outros edifícios do município. Para além disso, é possível perceber que tipo de complicações/restrições o edifício em estudo apresenta, e de que forma poderão ser ultrapassadas, analisando e propondo quais as formas de eficiência energética mais adequadas ao mesmo.

1.3 Organização da dissertação

No desenvolvimento deste projeto foi necessário seguir uma linha de pesquisas e trabalhos com a finalidade de alcançar o objetivo proposto. Desta forma, este projeto foi organizado em várias secções e pontos, todos com uma relevante importância.

Numa fase inicial, nos fundamentos teóricos, foram descritos os conceitos importantes a ter em consideração e que são fundamentais para uma melhor compreensão do tema. É neste ponto também que é abordado o panorama da procura energética no mundo e em Portugal, que permite entender a situação energética atual e devidas projeções para o futuro.

O Enquadramento Legal descreve a legislação normativa, metas e objetivos delineados por parte da União Europeia (UE), assim como em Portugal, para um futuro mais sustentável e com redução de emissão de gases com efeito de estufa.

De seguida é referenciada a abordagem utilizada para o desenvolvimento de uma avaliação de soluções de eficiência energética.

Segue-se a análise de faturação, em que foi elaborada uma análise detalhada da faturação energética a fim de compreender a evolução dos consumos anuais e entender as necessidades energéticas do edifício. Foram também criados indicadores de desempenho de forma a ter um fator de comparação com outros edifícios do Município de Guimarães.

Após recolha e análise dos dados foram delineadas um conjunto de propostas de melhoria, nomeadamente a implementação de um plano de gestão do funcionamento do AVAC, a instalação de um sistema de energia renovável, a instalação de sensores de movimento, uma melhor gestão da iluminação e outras medidas qualitativas.

Por último, depois de analisados os dados obtidos, efetuou-se a apresentação das conclusões obtidas ao longo do estudo.

2. Fundamentos teóricos

2.1 Energia

O que a Física nos diz é que existe uma lei universal que estabelece a existência de uma quantidade, a que chamamos “Energia”, que se conserva num sistema isolado, independentemente das formas que possa assumir. Esta é a lei da Conservação de Energia.

Numa abordagem menos abstrata, a energia é definida pelo *US Energy Information Administration* (2022) como a capacidade de realizar trabalho, já para a Agência Europeia do Ambiente (AEA) a energia é descrita como sinónimo de conforto pessoal, de mobilidade e é um aspeto fulcral para a produção de riqueza em qualquer parte do mundo, pelo que sem ela não há desenvolvimento económico nem melhoria da qualidade de vida (AEA, 2021). A energia pode manifestar-se de várias formas: calor, luz, força motriz, transformação química entre outras (Kaper et al., 2002).

Dentro do conceito geral de energia, é importante destacar alguns conceitos como a energia primária, energia secundária, energia final e energia útil. A energia primária é a energia extraída de um stock de recursos naturais ou capturada de um fluxo de recursos que não tenha sofrido qualquer transformação ou conversão (carvão, petróleo bruto, gás natural, energia solar, energia hidroelétrica, etc). A energia secundária é a energia que é obtida a partir de uma fonte de energia primária que é sujeita a um processo de transformação e conversão (gasolina, gasóleo, eletricidade de alta tensão obtida através de centrais termoelétricas a carvão etc.). A energia final é a energia que é disponibilizada aos consumidores sob diferentes formas (eletricidade, gás natural, biomassa, etc). Por último, a energia útil está diretamente relacionada com a eficiência dos equipamentos que consomem a energia final (Bhattacharyya, 2019).

É relevante salientar que existem formas de energia primária que coincidem com as de energia final, como é o caso do gás natural e da biomassa, sendo estas diretamente disponibilizadas aos consumidores.

A figura 1 representa um esquema da interligação entre as fontes de energia e armazenamento (combustíveis) com a transmissão e distribuição para os locais onde a energia é necessária (Edifícios, indústria, transporte etc.).

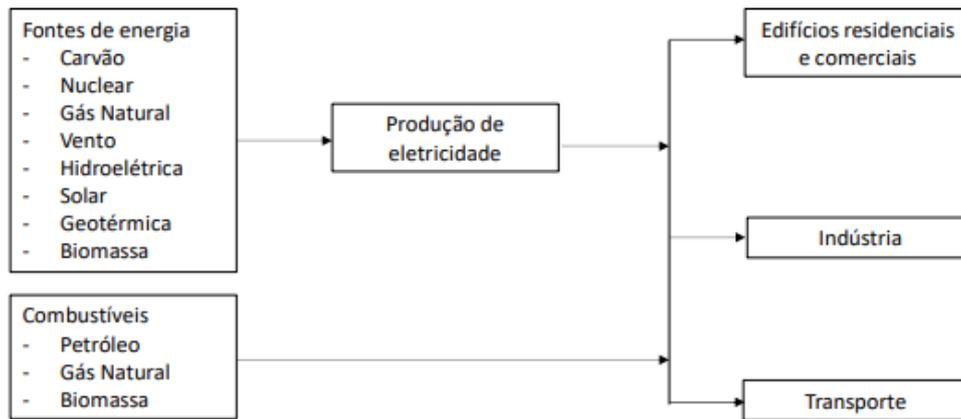


Figura 1 - Esquemática do sistema da interligação energética (Sadler, 2020).

2.2 Consumo Energético

Inerente à energia surge o consumo energético. O consumo energético é um problema a nível mundial.

O período de pandemia abrandou a tendência de crescimento do consumo global de energia. Estima-se que este consumo aumentou 4,6% em 2021, compensando a contração de 4% em 2020 e aumentando 0,5% relativamente aos níveis de 2019. Aproximadamente 70% deste aumento no consumo global de energia encontra-se em mercados emergentes e economias em desenvolvimento. Nestes locais, os níveis de consumo devem aumentar 3,4% acima dos níveis de 2019. Relativamente a economias mais avançadas, o uso de energia está a progredir para os 3% abaixo dos níveis pré-Covid (IEA, 2021a).

Em geral, o consumo dos combustíveis fósseis deverá crescer em 2021. Estima-se que o consumo do carvão aumentou 60% e o consumo do gás natural aumentou cerca de 1% relativamente a 2019. Contudo, a procura global do petróleo deverá permanecer 3% abaixo dos níveis de 2019. Concomitantemente, o consumo de energias renováveis deverá também aumentar em todos os setores-chave – energia, aquecimento, indústria e transporte – em 2021. As energias renováveis e o gás natural alimentarão grande parte do crescimento da produção elétrica (IEA, 2021a).

A energia eólica e solar contribuirão com a maior fatia para a evolução da produção de energia renovável, com impacto de 66% (IEA, 2021a).

No que diz respeito, à dependência energética, em 2020, os 27 estados-membros da União Europeia (UE-27) apresentavam valores na ordem dos 57%, conforme se pode observar na figura 2. De frisar, que o setor dos edifícios é responsável por 40% do consumo de energia final.

No que se refere a Portugal, a dependência energética total, nacional, rondava os 70% a 93% até 2019. Em 2020, Portugal atingiu um valor de dependência energética historicamente baixo, situando-se em 65,8%. Esta redução teve três contributos significativos: a quebra no consumo final de energia em 7,4% devido ao impacto da pandemia Covid-19 na economia e comportamentos sociais, a inexistência de importação de carvão para produção de eletricidade e o aumento da produção doméstica de energia a partir de fontes renováveis (+2,6% face a 2019). Quando comparado com os restantes países da UE, o nosso país ocupou a 11ª posição, ficando acima da média da EU-27 (ADENE, 2022).

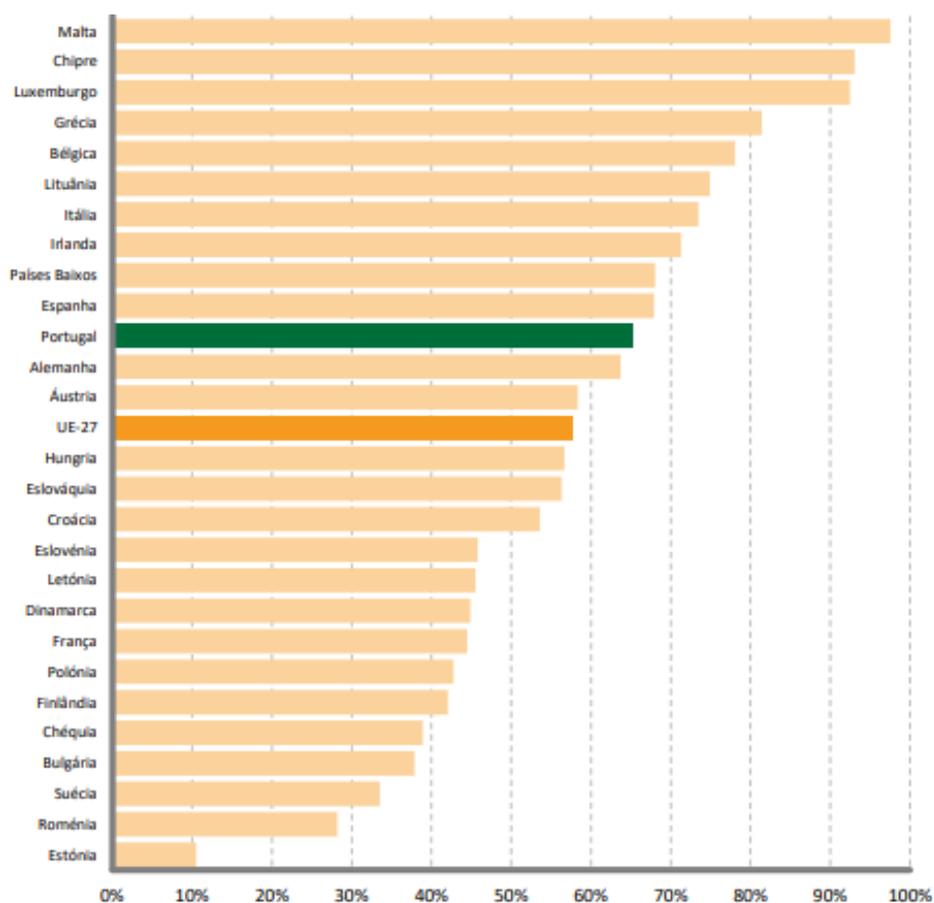


Figura 2 - Dependência energética na EU-27 em 2020 (ADENE, 2022).

Apesar desta descida devido à pandemia Covid-19 e a inexistência da importação do carvão, Portugal continua a apresentar uma considerável dependência energética, consequência da não produção de energia fóssil, como o petróleo ou gás natural que têm um peso muito significativo no consumo total de energia primária (figura 3) (DGEG, 2021).

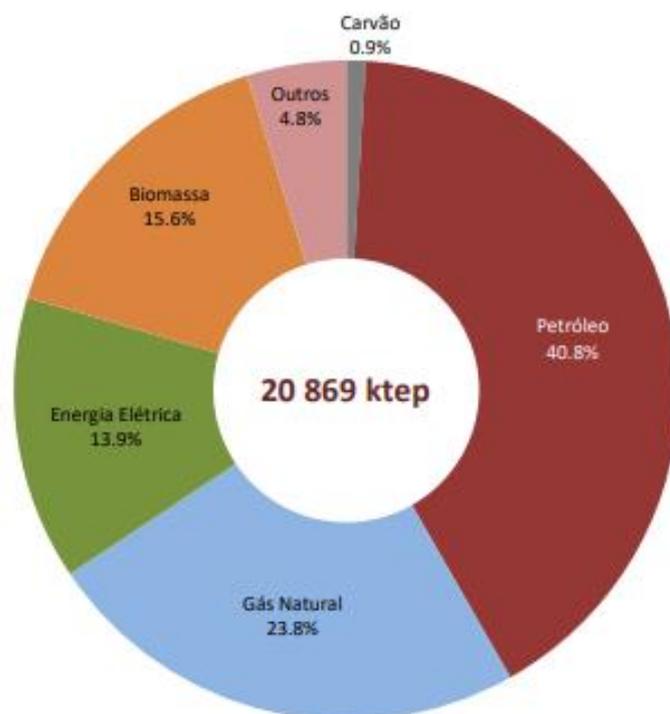


Figura 3 - Consumo de energia primária em 2021 (DGEG, 2021).

Para contrariar esta tendência, a aposta nas energias renováveis e na eficiência energética tem permitido a Portugal baixar a sua dependência energética para níveis inferiores a 70%, como referido anteriormente.

De salientar que o consumo em edifícios representa aproximadamente 33% do consumo energético final (19% em edifícios residenciais/domésticos e 13,6% em edifícios de serviços), conforme ilustrado na figura 4.

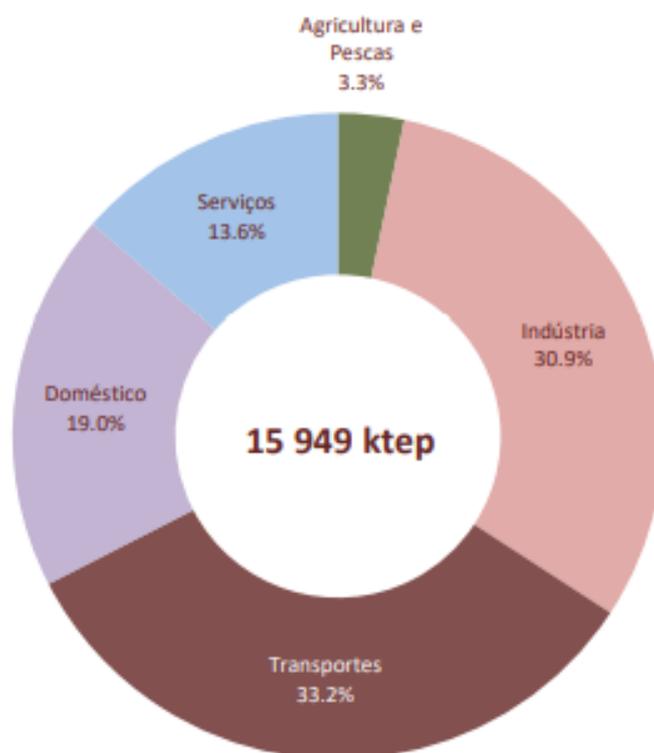


Figura 4 - Estrutura do consumo final de energia em 2021 (DGEG, 2021).

O consumo de energia final no setor do comércio e serviços tem diminuído nos últimos anos, conforme se pode observar na figura 5 e na tabela 1. O consumo de energia elétrica, em média, por utilizador não doméstico é de 14.970,4 KWh no ano de 2020. A descida mais acentuada que se verifica do ano de 2019 para o ano de 2020 pode ser apenas indicativa da paragem forçada do consumo energético devido à pandemia que enfrentamos e não uma tendência para uma rápida diminuição dos consumos. Apesar desta rápida descida, indicativa da pandemia Covid-19, e comparando com anos anteriores, estima-se que a partir de 2016 surge uma tendência de diminuição destes consumos, o que pode ser representativo dos esforços de reorganização do sistema energético: maior eficiência energética, maior participação das fontes renováveis e descentralização da produção de energia.

De forma a criar um sistema energético mais sustentável, concorrencial e descarbonizado até 2050, os estados-membros têm definido ações específicas e mensuráveis como, por exemplo, o financiamento acessível a toda a sociedade (financiamento Plano de Recuperação e Resiliência), de forma a tentar colmatar as lacunas existentes no parque imobiliário.

No sentido da melhoria contínua destes resultados, as diretivas europeias e a legislação nacional estão em constante atualização, baseando nas metas europeias e na posição atual do país, como se constatará no próximo capítulo.

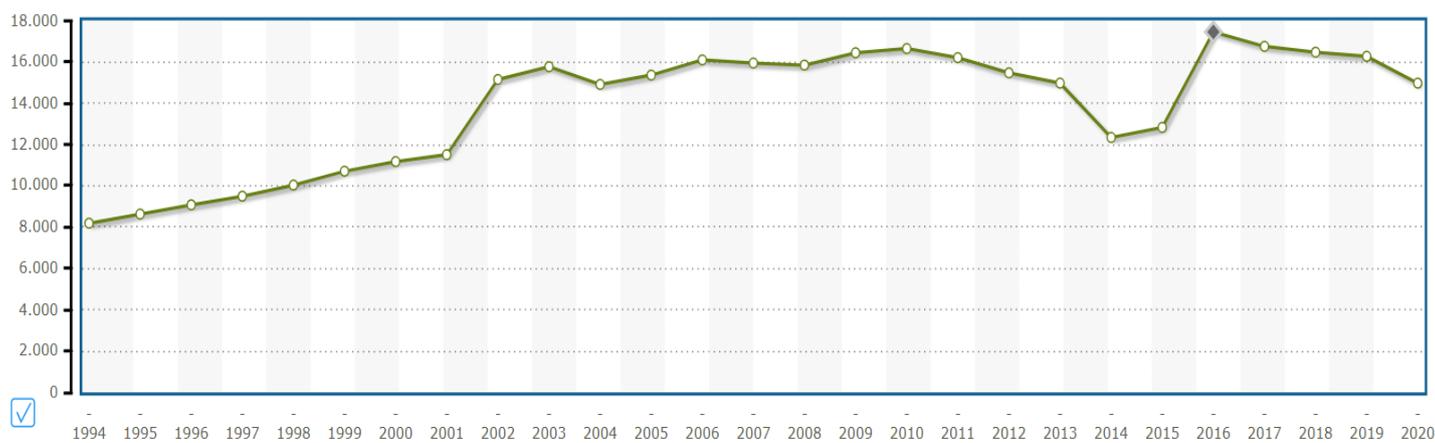


Figura 5 - Consumo de energia elétrica por consumidor em Portugal (PORDATA, 2022).

Tabela 1 - Consumo de energia elétrica por tipo de consumo em Portugal (PORDATA, 2022).

Anos	Consumo de energia eléctrica por tipo de consumo (kWh)				
	Total	Doméstico	Não doméstico	Indústria	Agricultura
2003	7.361,1	2.361,0	15.766,3	111.485,4	5.160,3
2004	7.480,4	2.443,4	14.907,6	118.362,0	5.657,5
2005	7.617,8	2.557,0	15.361,2	126.985,7	5.930,1
2006	7.755,3	2.543,8	16.095,8	143.855,7	5.647,1
2007	7.861,7	2.611,2	15.943,2	146.395,7	6.059,9
2008	7.731,8	2.510,3	15.844,3	153.722,5	6.152,2
2009	7.668,1	2.629,3	16.442,6	166.316,3	6.240,1
2010	7.893,9	2.665,3	16.644,6	189.469,5	6.681,9
2011	7.652,8	2.530,7	16.205,0	180.666,5	6.466,2
2012	7.380,9	2.394,7	15.469,4	189.707,0	8.077,0
2013	7.259,1	2.289,2	14.972,8	249.385,9	8.382,3
2014	7.235,6	2.412,1	12.340,5	327.048,6	9.966,9
2015	7.315,9	2.373,8	12.828,5	341.659,7	13.004,1
2016	± 7.353,2	± 2.316,7	± 17.449,6	± 162.929,3	± 14.381,3
2017	7.356,8	2.234,1	16.750,9	175.690,1	17.354,1
2018	7.501,1	2.348,4	16.470,2	196.598,4	18.053,5
2019	Pro 7.423,1	Pro 2.293,2	Pro 16.269,5	Pro 195.384,0	Pro 18.475,7
2020	Pro 7.159,6	2.388,1	14.970,4	187.972,5	17.686,6

2.3 Enquadramento legal

2.3.1 Políticas de eficiência energética na Europa

A redução do consumo de energia e do desperdício energético assume uma importância cada vez maior para a União Europeia (UE). Em 2007, os líderes da UE adotaram um objetivo para 2020 que consistia na redução em 20% do consumo médio anual de energia da UE. Em 2018, no âmbito do pacote “Energia Limpa para todos os Europeus”, foi fixado um novo objetivo de redução do consumo de energia de, pelo menos, 32,5% até 2030. As medidas em matéria de eficiência energética são cada vez mais reconhecidas como meio não apenas para alcançar um abastecimento de energia mais sustentável, reduzir as emissões de gases com efeito de estufa, melhorar a segurança do abastecimento e reduzir as faturas de importação, mas também promover a competitividade da UE. A eficiência energética é, por conseguinte, uma das prioridades estratégicas para a concessão de uma União da Energia e a UE promove o princípio da “prioridade à eficiência energética” (Ciucci, 2021).

Neste sentido, a União Europeia estabeleceu diretivas com medidas para potenciar a eficiência energética e atingir os objetivos supracitados.

A Diretiva Eficiência Energética (2012/27/UE), que entrou em vigor em dezembro de 2012, obriga os Estados-Membros a fixarem objetivos em matéria de eficiência energética por forma a garantir que a UE atinja o seu objetivo central de reduzir o consumo de energia em 20% até 2020. Esta diretiva introduziu igualmente um conjunto de medidas vinculativas destinadas a ajudar os Estados-Membros a alcançarem este objetivo e normas jurídicas para os consumidores finais e fornecedores de energia.

Esta diretiva foi revista para o horizonte de 2030, onde a Comissão propôs um objetivo ambicioso de 30% em matéria de eficiência energética até 2030. Em janeiro de 2018, o Parlamento Europeu alterou a proposta da Comissão de revisão da Diretiva Eficiência Energética, num esforço para tornar a proposta mais ambiciosa em termos globais. Em novembro de 2018, foi alcançado um acordo que estabelece um objetivo de redução do consumo de energia primária e final de 32,5% até 2030 a nível da UE. A diretiva exigia também que os Estados-Membros da UE adotassem medidas para reduzir, em média, 4,4% do seu consumo anual de energia até 2030 e no período de

2021-2030, cada país da EU deve elaborar um Plano Nacional Integrada em matéria de Energia e Clima (PNEC) com a duração de 10 anos, que descreva qual a forma que tenciona atingir os seus objetivos de eficiência energética para 2030. No âmbito do pacote “Energia limpa para todos os Europeus” (COM (2016)0860), a nova Diretiva Eficiência Energética ((UE) 2018/2002) entrou em vigor em dezembro de 2018 e foi transposta pelos Estados-Membros para o direito nacional até 25 de junho de 2020.

Em julho de 2021, a Comissão propôs uma nova revisão da Diretiva Eficiência Energética como parte do pacote “Concretizar o Pacto Ecológico Europeu” e em concordância com a sua nova ambição em matéria de clima de reduzir as emissões de gases de efeito de estufa da UE em, pelo menos, 55% até 2030, em comparação com os níveis de 1990, e de se tornar neutra em termos de clima até 2050. Esta revisão propõe aumentar o objetivo de redução do consumo de energia primária e final para 39% e 36%, respetivamente, até 2030. Em termos absolutos, ao abrigo da proposta, o consumo de energia da UE até 2030 não seria superior a 1023 e 787 milhões de toneladas de equivalente de petróleo para a energia primária e final até 2030.

Na proposta, a Comissão solicita aos Estados-Membros que estabeleçam objetivos nacionais em matéria de redução do consumo de energia, introduz mecanismos automáticos reforçados para colmatar as lacunas e duplica a obrigação dos Estados-Membros realizarem novas economias anuais de energia. Introduce também requisitos para os edifícios públicos, tais como um objetivo anual de redução do consumo de energia de 1,7% para o setor público e um objetivo de renovação de, pelo menos, 3% da superfície total dos edifícios da administração pública, propõe reduzir a pobreza energética dando prioridade aos clientes vulneráveis e introduz obrigações de auditoria e requisitos de competência técnica, especialmente para os grandes agentes consumidores de energia. As auditorias energéticas deverão ter em conta as normas europeias ou internacionais pertinentes, tais como as normas EN ISO 50001 (Sistemas de gestão da energia ou EN 16247-1 (Auditorias Energéticas) ou a EN ISO 14000 (Sistemas de gestão do ambiente), estando assim em consonância com as disposições do Anexo VI da Diretiva 2012/27/UE.

A diretiva relativa ao desempenho energético dos edifícios (2010/31/UE), alterada em 2018 (Diretiva (UE) 2018/844), juntamente com a Diretiva relativa à

eficiência energética ((UE) 2018/2002), visa garantir um parque imobiliário descarbonizado e altamente eficiente em termos energéticos em cada Estado-Membro até 2050.

A diretiva alterada relativa ao desempenho energético dos edifícios (Diretiva (UE) 2018/844) introduziu estratégias de renovação a longo prazo:

- Cada Estado-Membro deve estabelecer uma estratégia de renovação a longo prazo para apoiar a transformação do parque nacional de edifícios públicos e privados num parque imobiliário descarbonizado e altamente eficiente do ponto de vista energético até 2050;

- Acelerar a transformação dos edifícios existentes em “edifícios com necessidades quase nulas de energia” até 2050, e todos os novos edifícios devem ter necessidades quase nulas até 2021;

- Apoiar a modernização de todos os edifícios com tecnologias inteligentes.

Em outubro de 2020, a Comissão publicou uma nova estratégia intitulada “Impulsionar uma vaga de renovação na Europa para tornar os edifícios mais ecológicos, criar emprego e melhorar as condições de vida” (COM (2020)0662), que visa pelo menos duplicar as taxas de renovação nos próximos 10 anos garantir que as renovações conduzam a uma maior eficiência em termos de energia e recursos.

A iniciativa relativa à vaga de renovação tem como base as medidas acordadas no âmbito do Pacote Energia Limpas para Todos os Europeus, nomeadamente no requisito de cada Estado-Membro da UE publicar uma estratégia de renovação de edifícios a longo prazo e aspetos relacionados com os edifícios dos planos nacionais em matéria de energia e clima de cada Estado-Membro da UE.

Em 16 de fevereiro de 2016, no quadro do pacote da União Europeia, a Comissão lançou uma estratégia da UE para o Aquecimento e a Refrigeração (COM (2016)0051). A estratégia inclui planos para promover a eficiência energética dos edifícios, melhorar as sinergias entre os sistemas elétricos e os sistemas de aquecimento urbano, o que promoverá uma maior utilização de energias renováveis e fomentará a reutilização de calor e frio residuais gerados pela indústria.

No que se refere à eficiência energética dos produtos, foram introduzidas várias medidas a nível da UE, nomeadamente:

- A uniformização da rotulagem relativa aos produtos, consumo de energia e de outros recursos dos “produtos relacionados com o consumo de energia”, que é regido pelo regulamento relativo à etiquetagem de eficiência energética (Regulamento (UE) 2017/1369). Publicado em julho de 2017, estabelece um novo quadro para a etiquetagem da eficiência energética, a fim de estabelecer prazos para substituir as atuais classes A+, A++ e A+++ por uma escala de A a G, que é utilizada desde março de 2021;

- Os requisitos de conceção económica dos produtos relacionados com o consumo de energia, regidos pela Diretiva-Quadro 2009/125/CE, que reformula a Diretiva 2005/32/CE alterada pela Diretiva 2008/28/CE.

2.3.2 Políticas de Eficiência Energética em Portugal

Em Portugal, o sector de energia, incluindo transportes, é o principal sector responsável pelas emissões de gases com efeito de estufa, representando cerca de 73% das emissões nacionais (APA, 2022).

No âmbito de uma política que aposta num modelo energético racional e sustentável, que visa assegurar e promover a competitividade das empresas e a qualidade de vida dos cidadãos, foram desenvolvidos planos e programas que convergem para objetivos específicos, mediante a dinamização e implementação de medidas a vários níveis:

- PNAEE – Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética;
- PNAER – Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis;
- PNEC – Plano Nacional de Energia e Clima 2030;
- ECO.AP – Programa de Eficiência Energética na Administração Pública;
- ELPRE – Estratégias de Longo Prazo para a Reabilitação de edifícios.

No que diz respeito à eficiência energética, o PNAEE integra seis áreas específicas dos setores dos transportes, residencial e serviços, indústria, estado, comportamentos e agricultura, que agregam um total de dez programas com um leque de medidas de melhoria da eficiência energética orientadas para a procura de energia e que, de uma forma quantificável e monitorizável, visam alcançar os objetivos propostos.

No que respeita às energias renováveis, o PNAER prevê uma quota de 60% de eletricidade de origem renovável e uma meta global de energias renováveis de 35% até 2020. Para tal, o PNAER estabelece trajetórias de introdução de fontes de energias renováveis em três grandes sectores: aquecimento e arrefecimento, eletricidade e transportes.

A resolução do conselho de ministros nº 20/2013, de 10 de abril, aprovou e publicou o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética para o período 2013-2016 e o Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis para o período 2013-2020. Tendo em vista a adequação aos novos objetivos definidos pela Diretiva 2012/27/UE, redefinindo um limite máximo do consumo de energia primária em 2020 equivalente a uma redução de 20%, Portugal estabeleceu uma meta mais ambiciosa de uma redução de 25%.

Através do regulamento (EU) 2018/1999 do parlamento europeu e do Conselho, de 11 de dezembro de 2018, foi criado o Plano Nacional Integrado de Energia e Clima (PNEC), definindo este as principais ações e contributos no desenvolvimento de eficiência energética em Portugal, promoção de energias renováveis e redução de GEE.

Este plano é o mais importante plano de política energética e climática em Portugal no horizonte de 2020-2030, substituindo e compactando três planos nacionais (PNAER, PNAC E PNAEE). O PNEC inclui assim uma caracterização da situação existente em matéria de Energia e Clima, abrangendo cinco dimensões do regulamento, a descarbonização, a eficiência energética, segurança de abastecimento, o mercado interno da energia e investigação, inovação e competitividade, bem como a definição dos contributos nacionais, políticas e medidas planeadas para o cumprimento dos diferentes compromissos globais da UE, em termos de redução de emissões de gases de efeito de estufa, energias renováveis, eficiência energética e interligações. Na figura 6

ilustra as metas e contributos nacionais definidos para o horizonte 2030 no âmbito do Plano Nacional Integrado Energia e Clima (PNEC).



Figura 6 - Metas de Portugal para o horizonte 2030 (Fonte: Portugal Energia).

O PNEC está também alinhado com o Roteiro para a Neutralidade Carbónica (RNC 2050), assumido por Portugal o objetivo de alcançar a neutralidade carbónica até 2030.

O Programa ECO.AP, lançado através da Resolução de Conselho de Ministros nº 2/2011, de 12 de janeiro, é um programa evolutivo que se traduz num conjunto de medidas de eficiência energética para execução nos serviços, organismos e equipamentos públicos, e que visa alterar comportamentos e promover uma gestão racional dos serviços energéticos através da contratação de empresas de serviços energéticos (“ESE”), estabelecendo como meta, a redução em 30% até 2020 na administração pública (ECO.AP, 2020).

De encontro a todos os pacotes supracitados, com o intuito de contribuir também para a redução de consumo energético, privilegiando a eficiência energética, renovação energética e promoção de fontes de energia renováveis nos edifícios, surge a ELPRE para dar resposta a estes objetivos. Com base numa avaliação detalhada, nesta estratégia, foram definidos e quantificados pacotes de medidas de melhoria avaliados como tecnicamente viáveis, considerando o mercado atual, para cada tipologia tendo em conta a sua especificidade e localização geográfica. Estes pacotes de medidas preveem a atuação na envolvente do edifício (através de isolamento térmico nas fachadas e cobertura e janelas mais eficientes), substituição dos sistemas existentes por mais eficientes (bombas de calor, *chiller*, recuperador de calor, entre outros) e promoção de fontes de energias renováveis (painéis solares térmicos e fotovoltaicos) (DGEG, ADENE, 2020).

2.3.3 Norma NP EN ISO 50001:2012

No ano de 2012 foi adotada a Norma Europeia ISO 50001 – sistemas de gestão de energia, elaborada pela *International Organization for Standardization* ISSO/TC 242 e adaptada pelo Instituto Português da Qualidade (IPQ) “Energy Management”, tendo-lhe sido atribuído, em Portugal, o estatuto de Norma Nacional.

A ISO 50001 pode ser aplicada em qualquer organização do mundo que tenha como principais objetivos o estabelecimento de requisitos que um sistema de gestão de energia (SGE) deve ter, aumentando o seu desempenho energético, a sua eficiência e diminuindo os impactos ambientais.

A utilização de um sistema de gestão de energia (SGE) deve assegurar principalmente, o conhecimento dos consumos energéticos da organização (como e quanto se consome de energia), a contabilização e monitorização da evolução dos consumos energéticos, a disponibilização de dados para a tomada de decisões sobre as medidas a adotar para a melhoria do desempenho energético, a adoção de medidas que permitam otimizar a utilização de energia e o controlo do resultado das ações de investimentos realizados para a melhoria do desempenho energético.

A norma é baseada numa metodologia “*Plan-Do-Check-Act*” (PDCA), sendo uma ferramenta de qualidade na prática diária das organizações.

- “*Plan*” (Planear): realizar a avaliação energética, estabelecer a linha orientadora, os indicadores de desempenho energético (IDE), objetivos, metas e planos de ação necessários para fornecer resultados de acordo com as oportunidades que vão melhorar o desempenho energético da organização;

- “*Do*” (Executar): implementar os planos de ação de gestão de energia definidos anteriormente;

- “*Check*” (Verificar): monitorizar e medir os processos e produtos principais que determinam o desempenho energético de acordo com a política adotada;

- “*Act*” (Atuar): face aos resultados atingidos devem ser tomadas ações que visem melhorar continuamente o desempenho do SGE.

A aplicabilidade desta norma traz vários benefícios para as organizações, podendo esta ser demonstrada por meio de autoavaliações ou certificações externas no âmbito do SGE. Alguns desses benefícios passam por:

- Garantir um maior nível de controlo energético;
- Demonstrar compromisso e transparência;
- Reduzir custos de energia;
- Identificar as oportunidades de melhoria dos seus sistemas, processos e equipamentos.

As políticas energéticas deste tipo de organizações não têm obrigatoriamente de ser complexas, podendo muitas vezes ser medidas simples e claras a aplicar no dia-a-dia das suas atividades específicas.

2.3.4 Legislação aplicável

Para além das várias normas europeias e dos planos nacionais, existe também legislação que procura regular e categorizar o tema. Foi selecionada a legislação mais relevante para a temática do estudo energético e da gestão eficiente de energia:

Decreto-Lei nº79/2006, 4 de abril

Aprova o regulamento de sistemas energéticos de climatização em edifícios (RSECE).

Decreto-Lei nº 71/2008, 15 de abril, alterado pela Lei nº7/2013, 22 de janeiro

Regula o sistema de gestão dos consumos intensivos de energia (SGCIE).

Despacho nº17313/2008, de 26 de junho

Procedo à publicação dos fatores de conversão para toneladas equivalentes de petróleo (tep) de teores de energia em combustíveis selecionados para utilização final, bem como os respetivos fatores para cálculo de Intensidade Carbónica (IC).

Decreto-Lei nº 118/2013, de 20 de agosto

Visa promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios através do Sistema de Certificação Energética dos edifícios (SCE), que integra o regulamento de desempenho energético dos edifícios de habitação (REH) e o regulamento de desempenho energético dos edifícios de comércio e serviços (RECS).

Despacho (extrato) nº 15793-d/2013

Procede à publicação dos fatores de conversão entre energia útil e energia primária a utilizar na determinação das necessidades normais anuais de energia primária.

Decreto-Lei nº 101-D/2020

Estabelece os requisitos aplicáveis a edifícios para a melhoria do seu desempenho energético e regula o Sistema de Certificação Energética de Edifícios, transpondo a Diretiva (EU) 2018/884 e parcialmente a Diretiva (EU) 2019/944.

2.4 Eficiência Energética

Diferentes fontes referem a eficiência energética como “(...) a otimização que realizamos no consumo de energia”. Ou seja, trata-se de alcançar, sem diminuir o conforto, um menor consumo de energia. Tal pode ser realizado de duas formas distintas, no decorrer dos processos de transformação de energia e no modo como esta é posteriormente utilizada (PEE, 2010).

Enquanto os processos de transformação estão relacionados com as prioridades físicas dos sistemas, que os torna mais ou menos eficientes, a utilização da energia está relacionada com o consumidor e os comportamentos que este adota. Assim, entende-se por utilização racional de energia “(...) a adoção de medidas que permitem uma melhor utilização de energia, tanto no setor doméstico, como nos setores de serviços e indústria” (PEE, 2010).

De uma forma mais simplista, a eficiência energética refere-se à realização de um mesmo trabalho, ou mais intenso, com um menor uso de energia. Ou seja, são consumidos menos recursos energéticos para suprir o funcionamento de um determinado eletrodoméstico ou imóvel (Lovins, 2017).

Particularizando na área dos edifícios, estes são responsáveis por grande parte do consumo final de energia na UE, cerca de 38,9%, superior ao transporte e à indústria, com cerca de 33.1% e 23%, respetivamente (Patiño-Cambeiro et al., 2019). Assim, é fácil perceber que este é um setor com elevado potencial e enorme urgência de intervenção.

O parque habitacional português está a envelhecer, onde cerca de 15% dos edifícios portugueses foram contruídos antes de 1945 e cerca de 70% foram construídos antes de 1990, período em que ainda não havia regulamentação quanto ao desempenho térmico dos edifícios (Palma et al., 2019).

Uma das medidas para reduzir o consumo de energia é a modernização dos edifícios de forma a reduzir a sua baixa eficiência energética. Por outro lado, como referido no capítulo anterior, a reabilitação energética dos edifícios é uma das medidas e objetivos do desenvolvimento sustentável das Nações Unidas até 2030 (Patiño-Cambeiro et al., 2019).

Nos últimos anos foram tomadas medidas para aumentar a eficiência energética dos edifícios, sendo que a melhoria mais significativa foi observada após a década de 1990, devido à implementação de regulamentos rigorosos no setor da construção. As estimativas das taxas anuais de renovação de edifícios na Europa situam-se atualmente entre 0,5% e 2,5% do *stock* imobiliário (Patiño-Cambeiro et al., 2019).

Existem várias oportunidades para melhorar o desempenho energético de um edifício, desde a envolvente aos serviços como o aquecimento, arrefecimento, ventilação, iluminação, sistemas de transporte (por exemplo, elevadores, escadas rolantes), equipamentos dentro do edifício e, por vezes, eletrodomésticos ou outras cargas ligadas. Para tornar um edifício mais eficiente energeticamente é necessário compreender todos os fluxos e processos de energia, identificar os portadores de energia e os usos para todos os serviços (figura 7). Existem oportunidades de economia

de energia em todas as etapas dependendo da condição existente do edifício (Asdrubali et al., 2019).

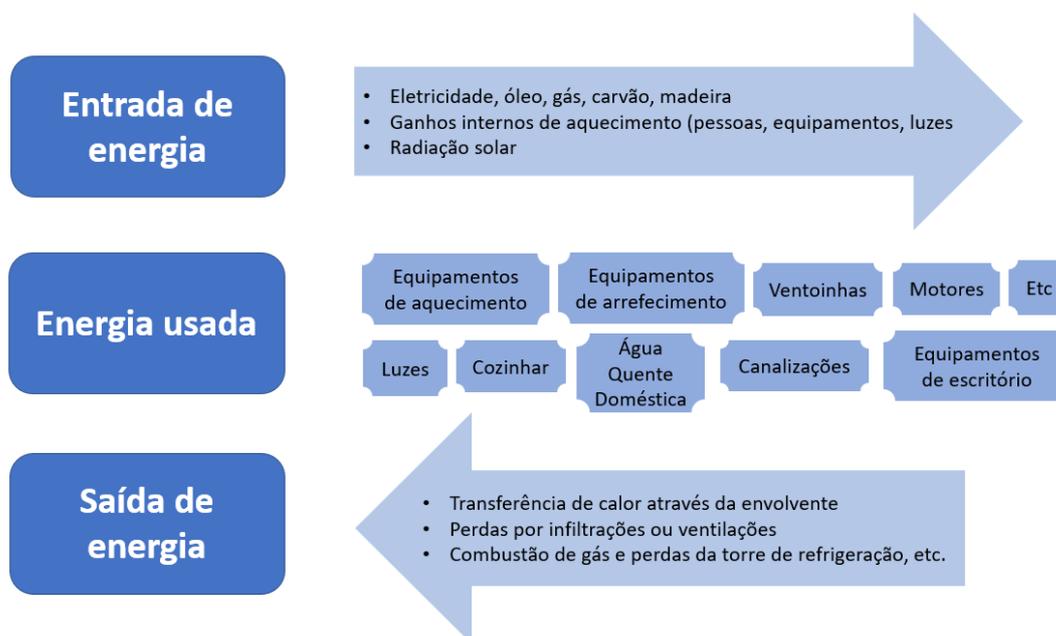


Figura 7 - Ilustração simplificada do balanço energético de um edifício (Adaptado de Asdrubali et al., 2019).

Os edifícios *Net Zero Energy Buildings* (NZEB) são um exemplo de como podemos obter altos desempenhos energéticos e balanços de energia quase nulos. No próximo capítulo irá ser abordado em que consiste esta determinação para os novos edifícios.

2.5 NZEB – Nearly Zero Energy Building

Os edifícios NZEB serão a próxima grande fronteira para a inovação e concorrência no mercado imobiliário mundial e pode ser rapidamente escalado na Europa e na América do Norte (S. Attia, 2018).

A definição de NZEB surgiu fortemente nos últimos anos como um novo conceito para o desenvolvimento sustentável e neutro em energia no ambiente construído. A importância deste conceito reside na sua capacidade de resolver parte da nossa atual crise ambiental, limitando a nossa dependência dos combustíveis fósseis e substituindo-a por energias renováveis através de uma abordagem descentralizada. As definições de energia zero são baseadas principalmente no balanço do uso de energia da operação do edifício, incluindo aquecimento, arrefecimento, ventilação, iluminação, etc. (figura 8) (S. Attia, 2018).

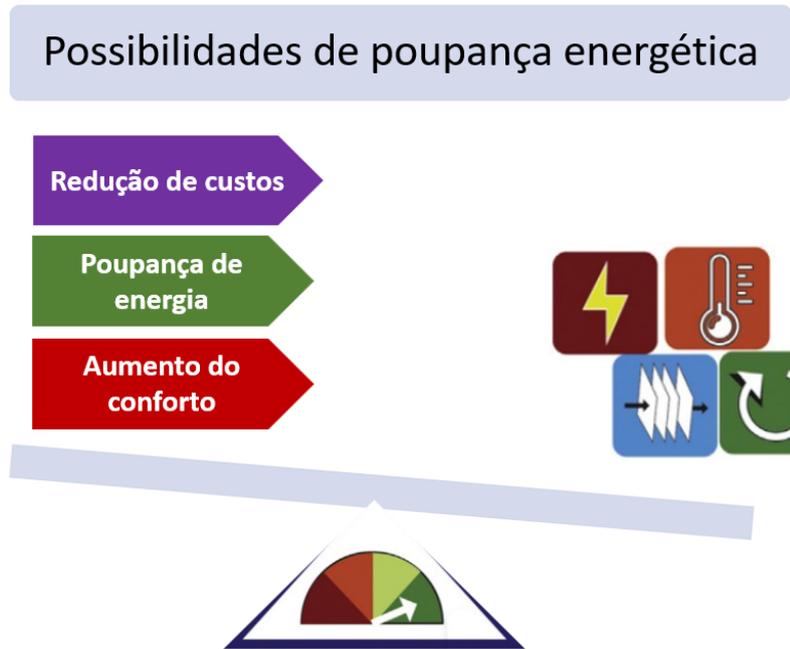


Figura 8 - O conceito de balanço de energia para NZEB é calculado principalmente para energia de uso final ou energia primária (Adaptado de S. Attia, 2018).

Um edifício com emissões quase nulas (NZEB) significa um edifício que tem um desempenho energético muito elevado, enquanto a quantidade quase zero ou muito baixa de energia necessária deve ser coberta, em grande medida, por energia proveniente de fontes renováveis, no local ou nas proximidades (D’Agostino et al., 2021).

2.6 Auditorias Energéticas

Os Sistemas de Gestão Energética (SGE), como o padrão voluntário ISO 50001, são baseados numa estrutura de melhoria contínua e incorporam a gestão de energia nas práticas cotidianas. Neste contexto, uma auditoria energética é uma parte crítica dos esforços do SGE como um procedimento sistemático com o objetivo de obter conhecimento adequado do perfil de uso de energia de um edifício ou grupo de edifícios, identificando e quantificando, priorizando e classificando medidas custo-efetivas de conservação de energia (ECMs) ou medidas de eficiência energética (EEMs), e relatar os resultados (Asdrubali et al., 2019).

Existem vários procedimentos e padrões para a realização de auditorias energéticas em edifícios, variando em complexidade e nível de análise.

As auditorias de energia ISO, definem os requisitos com orientação de uso para apoiar uma revisão de energia e facilitar a monitorização, medição e análise conforme

descrito no SGE ou usado de forma independente. A norma especifica os requisitos do processo para realizar uma auditoria energética em relação ao desempenho energético e é aplicável a todos os tipos de estabelecimentos e organizações. Especifica os princípios da realização de auditorias energéticas, requisitos para os processos comuns durante as mesmas e resultados. Baseia-se em medições e observações apropriadas de uso de energia e eficiência energética. As auditorias energéticas são planeadas e conduzidas como parte da identificação e priorização de oportunidades para melhorar o desempenho energético, reduzir o desperdício de energia e obter benefícios ambientais relacionados. Os resultados da auditoria incluem informações sobre o uso e desempenho atuais e fornecem recomendações classificadas para melhoria em termos de desempenho energético e benefícios financeiros (Dall’O’ et al., 2020).

Nas auditorias energéticas publicadas pela Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado (ASHRAE) são identificados quatro níveis de esforço de auditoria energética:

Nível 0 – Análise Preliminar de Uso de Energia.

Este tipo de auditoria inclui as principais etapas de recolha e análise das faturas mensais, consumo e uso de energia, determinação da área útil do edifício, de forma a calcular a intensidade do uso de energia (indicador energético) e comparação com edifícios semelhantes ou com o desempenho anterior do próprio edifício.

Nível 1 – Pesquisa *Walk-Through*.

Além do Nível 0, esta auditoria inclui uma breve visita in loco ao edifício para analisar os elementos construtivos, equipamentos, operação e manutenção do edifício. A análise fornece uma visão geral de alto nível e avaliação preliminar de ECMs potenciais, como foco em medidas sem custo (por exemplo, ajuste de termostatos) que reduzem o desperdício de energia e em medidas de baixo custo e medidas de retorno curto. Além disso, o relatório analisa e identifica os padrões mensais do uso de energia, juntamente com sugestões sobre as suas possíveis causas. Também engloba o custo total de energia, uma divisão preliminar do uso de energia para os principais usos finais e uma lista de recomendações está incluída, com uma estimativa de custos de instalação e economia de custos de energia.

Nível 2 – Levantamento e Análise Energética

Esta inclui uma pesquisa da construção mais detalhada e análise de energia, com custos de instalação mais precisos e economia de custos que atendem às restrições e critérios económicos do proprietário, juntamente com recomendações detalhadas sobre alterações nos procedimentos de operação e manutenção. Os cálculos são realizados por meio de ferramentas simples ou programas específicos para projetos de construção. O relatório deve incluir uma descrição do edifício, um resumo do uso de energia e custo associado para todos os usos finais, ECMs recomendados com investimento de capital estimado, economia de energia e custos e métodos de medição e verificação recomendados. Este nível de levantamento e análise será suficiente para a maioria dos edifícios e ECMs, deve fornecer documentação suficiente para uma possível implementação.

Nível 3 – Análise Detalhada e Modificações de Capital Intensivo

Este nível exige a recolha de dados de campo adicionais e análises mais rigorosas de engenharia e economia. Fornece cálculos detalhados de custo e economia do projeto com um alto nível de confiança que seria suficiente para tomar grandes decisões de investimento de capital. O trabalho analítico segue o trabalho dos níveis 1 e 2, expande a definição de todas as modificações e requerem uma análise adicional, pode exigir testes e monitorizações adicionais para determinar a viabilidade dos ECMs, envolve simulações de alta precisão dos ECMs propostos para o edifício, enquanto cada ECM é suportado por um layout esquemático e uma análise detalhada de custos e economias.

A auditoria ao Laboratório da Paisagem procurou aproximar-se o máximo possível do Nível 2 de referência, que inclui os dois níveis anteriores, não tendo sido possível completar na íntegra todos os pontos por ele referidos.

2.6.1 Metodologia a aplicar numa auditoria energética

Na realização de uma auditoria energética, é importante definir uma sequência de passos a aplicar ao longo da mesma. Existem várias possibilidades (que dependem da intenção do projeto, por exemplo, avaliação do desempenho energético,

classificação, certificação ou rotulagem), no entanto, em linhas gerais, as fases pelas quais uma auditoria energética se deve guiar estão apresentadas no esquema abaixo.

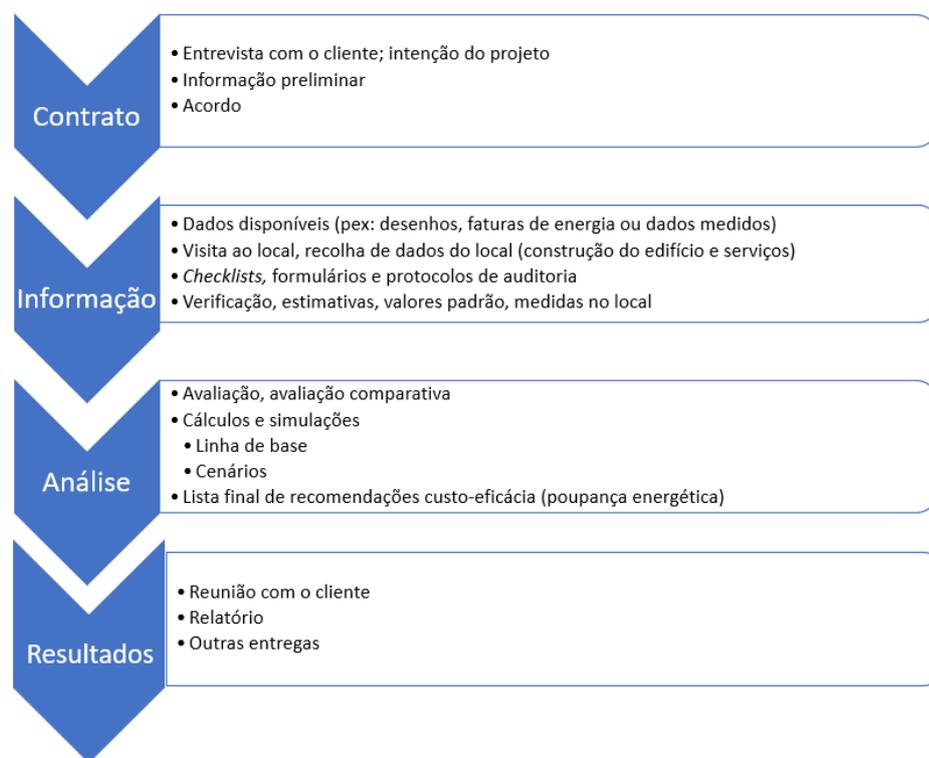


Figura 9 - Principais etapas de um processo de auditoria energética (Adaptado de Asdrubali & Desideri, 2019).

2.7 Cidades sustentáveis

A Conferência das Nações de Unidas sobre o Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro em 1992, considerou muitos desafios e oportunidades globais para gerir os problemas levantados pela urbanização. Como resultado, alguns documentos essenciais foram adotados, principalmente a Declaração do Rio sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento e a Agenda 21. Além disso, os documentos essenciais que regulam o desenvolvimento sustentável das cidades são, por exemplo, a Declaração de Princípios da Organização das Nações Unidas (ONU) sobre Direitos Humanos e a Carta das cidades europeias para o Desenvolvimento Sustentável. Estes documentos visaram unir esforços da comunidade mundial para estudar e resolver os problemas globais da humanidade e desenvolver medidas para cumprir a condição primária da Estratégia de Desenvolvimento Sustentável – “... proporcionar condições de vida adequadas para a geração presente e preservar o planeta para gerações futuras...”. Neste aspeto, a questão da urbanização é altamente relevante e essencial durante a

implementação da Estratégia de Desenvolvimento Sustentável. A conferência no Rio de Janeiro e várias outras (ex. A Oitava Conferencia Ministerial do Meio Ambiente para a Europa, “Greener, Cleaner, Smarter”) prova que questões de desenvolvimento urbano, características demográficas e problemas socioeconómicos são o assunto da comunidade mundial (Niemets et al., 2021).

De acordo com o ICLEI Local Governments for Sustainability (2016), “as cidades sustentáveis trabalham para um habitat ambiental, social e economicamente saudável e resiliente para as populações existentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de experimentar o mesmo”.

O objetivo de uma cidade sustentável é construir uma urbanização que tenha o menor impacto possível no meio ambiente. A cidade sustentável minimiza as suas emissões de poluentes atmosféricos convencionais e gases com efeito de estufa, usa o menor número possível de recursos não renováveis, usa energia e água de forma mais eficiente possível, tenta reduzir e reciclar resíduos e minimizar o impacto de qualquer descarte necessário (S. Cohen et al., 2021).

Uma cidade sustentável deve ser construída sobre as bases de um conjunto de sistemas urbanos sustentáveis. Estes são os processos de produção e consumo, juntamente com a infraestrutura que permite que as urbanizações sobrevivam e prosperem com o menor impacto possível nos sistemas naturais. As operações destes sistemas requer tecnologia, dinheiro, capacidade organizacional e apoio político para serem desenvolvidos e mantidos (S. Cohen et al., 2021).

2.7.1 Guimarães no caminho para a sustentabilidade

Tendo em conta a definição de cidade sustentável, o Município de Guimarães tem traçado o seu caminho com esta definição bem presente, procurando acelerar a descarbonização, maximizar a utilização de fontes renováveis, potenciar o uso eficiente de energia e água, adaptar o seu território aos efeitos das alterações climáticas e implementar ações para mitigar esses efeitos, tentar reduzir e reciclar os resíduos gerados e valorizar e proteger o seu património natural, tendo como o objetivo final a melhoria da qualidade de vida dos cidadãos e o aumento da sua consciência ecológica.

Em linha com o conhecimento científico atual e as metas da UE e nacionais, o Município de Guimarães tem desenvolvido uma estratégia de descarbonização,

definindo metas e compromissos que visam a redução de gases com efeito de estufa, recorrendo a ferramentas como o Plano para Energia Sustentável (PAES) do Pacto das Autarcas, bem como o aproveitamento do potencial de eficiência energética. O processo de descarbonização é estendido ao setor dos transportes e da renovação de edifícios bem como a outros setores que impactam a redução de emissões de CO₂.

Estas medidas resultaram do compromisso de Guimarães com a Carta de Aalborg⁴, a Agenda 21 Local⁵, o Acordo de Paris⁶, a adesão à Declaração Basca⁷, associado à colaboração no projeto CimAdaPT.local⁸ e à rede de Municípios para as Alterações Climáticas. Estes compromissos contribuíram significativamente para o desenvolvimento da estratégia de combate às alterações climáticas através de processos de mitigação e adaptação (Estratégia de Guimarães para a Adaptação às Alterações Climáticas⁹), tornando a cidade mais sustentável e resiliente.

Uma abordagem integrada às questões climáticas e energéticas e sinergias entre ações de mitigação e adaptação formam a base para projetos que se concentram numa variedade de medidas estruturais e não estruturais (desenho e implementação de políticas, estratégias e processos), que visam promover um município mais sustentável.

No que diz respeito às trajetórias de baixo carbono, Guimarães tem vindo a alcançar uma maior eficiência energética através da introdução de novas tecnologias e da gestão mais eficiente de recursos, aumentando a eletrificação e introduzindo energias renováveis. Como resultado, foi alcançada uma redução das emissões de CO₂ em 20%, em relação a 2008, superando assim as metas estabelecidas para 2020 no Plano de Ação para a Energia Sustentável. As medidas adotadas por Guimarães que contribuíram para baixar a sua intensidade energética e carbónica, passaram por apostar em produção de energia renovável, renovação de edifícios de habitação social e otimização da utilização da iluminação pública.

Neste sentido, Guimarães reestruturou edifícios de habitação social para melhorar o seu desempenho energético através da adição de isolamento térmico na

⁴ http://www.sustainablecities.eu/fileadmin/repository/Aalborg_Charter/Aalborg_Charter_signatories.pdf

⁵ <http://www.cm-guimaraes.pt/pages/118>

⁶ <http://expresso.sapo.pt/sociedade/2016-09-30-Portugal-ratificou-hoje-o-acordo-pelo-clima>

⁷ <http://www.sustainablecities.eu/endorsers-basquedeclaration/>

⁸ <http://climadapt-local.pt/>

⁹ <http://www.cm-guimaraes.pt/pages/1241>

envolvente do edifício, substituição de janelas existentes e instalação de equipamentos solares e sistemas fotovoltaicos¹⁰. Nos edifícios municipais, o objetivo era reduzir o consumo de energia em 30% até 2020. No biénio 2016-2018, já tinha sido alcançada uma redução de 10% nos custos relativos ao consumo de energia nos edifícios municipais, juntamente com um aumento do consumo de gás natural.

No parque escolar municipal, dez centros escolares foram reestruturados através de soluções construtivas ativas e passivas visando o conforto térmico e favorecendo a iluminação natural, utilizando isolamento térmico e palas de ensombramento, equipamentos de climatização e sistemas de gestão centralizada. No universo das escolas do 1º ciclo e jardins-de-infância do município, 12% têm sistemas de aquecimento centralizado que funcionam na íntegra através da queima de biomassa. Para além disso, nos equipamentos desportivos municipais, foram também instalados balastros eletrónicos e bombas de calor, isolamento térmico na envolvente do edifício.

Em 2017, foi construída a Academia de Ginástica, um edifício autossustentável com recuperação de calor e energia. Este edifício possui soluções integradas projetadas para garantir a sustentabilidade ambiental e económica. Estas incluem a utilização de cortiça, 100% ecológica e certificada pela Declaração Ambiental do Produto, para o revestimento exterior, a recolha de águas pluviais para utilização sanitária e para arrefecimento de equipamentos AVAC, a utilização de luz natural e parede trombe.

Este investimento assenta em várias premissas. Entre elas constam uma maior produção energética em relação às necessidades de consumo, uma bacia de retenção de águas pluviais cuja água é utilizada em sistemas de refrigeração, permitindo a redução da fatura de água e, por último, a criação de um canal de ar subterrâneo que permite manter uma temperatura interna estável de 20°C e, dessa forma, contribuir para a redução da fatura de energia (figura 10).

¹⁰ <https://www.cm-guimaraes.pt/conhecer/noticia/tres-milhoes-de-euros-para-reabilitacao-energetica-em-edificios-de-habitacao-social>

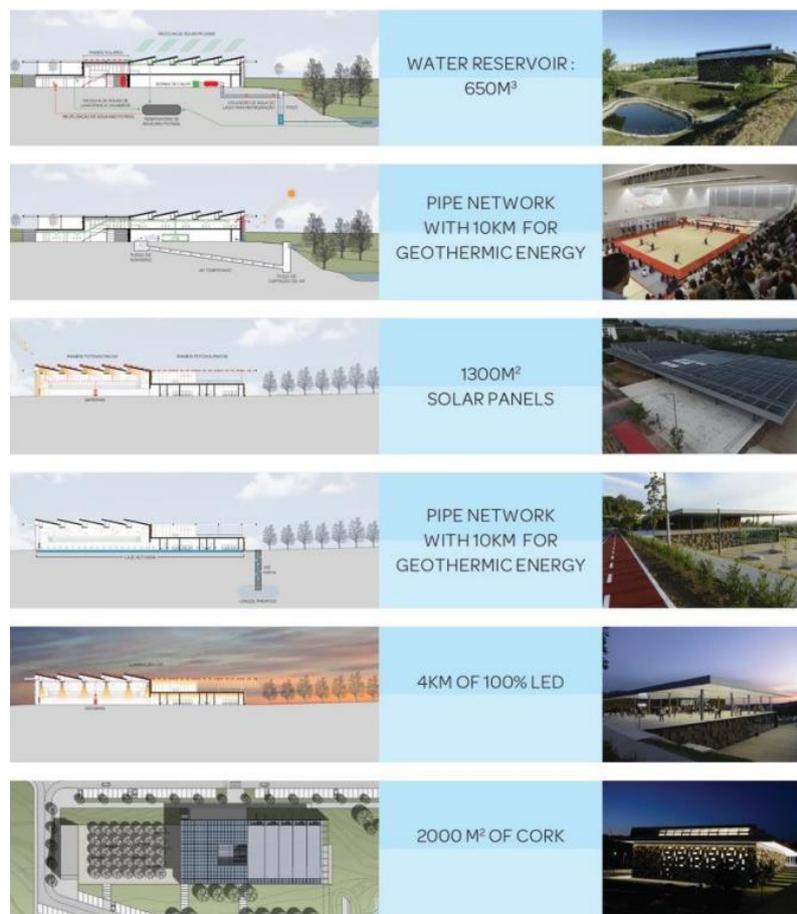


Figura 10 - Academia de ginástica de Guimarães, um edifício autossustentável¹¹.

No mesmo ano de 2017, foi elaborada a Matriz Estratégica de Sustentabilidade Energética e Climática destinada a caracterizar o consumo de energia local e as tendências evolutivas correspondentes, auxiliar na gestão da procura e da oferta e alcançar a sustentabilidade. A par de medidas estruturais, a cidade dispõe ainda de estratégias que incentivam e potenciam a recuperação/construção de edifícios com certificação energética A ou A+ (desde 2013): Regulamento Municipal de Urbanização e Edificação; Regulamentação das taxas municipais de urbanização e edificação; Procedimentos administrativos em operações urbanas; Definição de lotes ou áreas específicas de construção; Benefícios fiscais relativos ao Imposto Municipal sobre imóveis; Áreas de reabilitação urbana.

Para além disso, entre 25 de novembro de 2021 a 31 de janeiro de 2022, a Comissão Europeia lançou um convite à manifestação de interesse dirigido às cidades

¹¹ https://www.researchgate.net/profile/Ligia-Silva-15/publication/342816693_Guimaraes_mais_verde_no_caminho_da_sustentabilidade_Guimaraes_getting_greener_on_the_path_of_sustainability/links/5f074b2d92851c52d624b785/Guimaraes-mais-verde-no-caminho-da-sustentabilidade-Guimaraes-getting-greener-on-the-path-of-sustainability.pdf

para se tornarem neutras em termos climáticos até 2030. Em 28 de abril, a Comissão anunciou as 100 cidades que participarão no *Cities Mission* e Guimarães faz parte dessa lista. Guimarães irá desenvolver “contratos de cidades climáticas” que incluem planos gerais para a neutralidade climática em todos os setores, como energia, edifícios, gestão de resíduos e transporte, juntamente com planos de investimento. Este processo envolverá cidadãos, organizações de investigação e o setor privado.

É na sequência do Plano de Ação para o Desenvolvimento Sustentável, mas também suportado por esta ambição da neutralidade climática que surge o projeto de tese que aqui se descreve. O objetivo passa pelo desenvolvimento de um processo metodológico para a caracterização da eficiência energética de edifícios e equipamentos, culminando num plano de ação que inclui medidas de intervenção de acordo com critérios de exequibilidade e de capacidade para os edifícios municipais. Como edifício alvo deste estudo foi escolhido o Laboratório da Paisagem, um Centro de Investigação e Educação, responsável por diversos projetos locais, nacionais e internacionais na área da sustentabilidade.

3. Caso de estudo

3.1 Laboratório da Paisagem

O Laboratório da Paisagem é uma Associação que foi fundada em 2014 na área da sustentabilidade ambiental e prestação de serviços à comunidade. Tem como missão principal promover o conhecimento e a inovação, a investigação e a divulgação científica, contribuindo para uma ação integrada e participada das políticas ambientais e do desenvolvimento sustentável. Estes objetivos, visam alcançar um elevado nível de consciencialização ambiental, um eficiente metabolismo das cidades, o bem-estar e a qualidade de vida dos cidadãos, assim como dos recursos naturais. A Câmara Municipal de Guimarães, a Universidade do Minho e a Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro são os sócios constituintes da Associação Laboratório da Paisagem, para além destes, o Laboratório da Paisagem conta com um conjunto de outros associados que contribuem para a sua missão enquanto instituição de Educação Ambiental e de Investigação & Desenvolvimento. Estes dois pilares têm como objetivo a promoção de uma eficiente utilização dos recursos naturais, a preservação da biodiversidade e a

sustentabilidade dos ecossistemas, promoção de campanhas de sensibilização e consciencialização, analisar as dinâmicas paisagísticas, o Estudo de soluções promotoras de ecoeficiência dos sistemas urbanos, incentivar o desenvolvimento de projetos inovadores e promover novas fileiras económicas.

A singularidade do Laboratório da Paisagem resulta do cruzamento da sua localização e relação com o espaço físico envolvente, qualidade urbanística e arquitetónica, articulação e coerência com os projetos e estratégia desenhados para a cidade de Guimarães e respetivo impacto na região.

3.2 Localização e Clima

O edifício do Laboratório da Paisagem foi reabilitado de uma antiga fábrica têxtil, localiza-se na Veiga de Creixomil no território de Guimarães numa área sensível de elevado interesse paisagístico, classificada, de acordo com o plano Diretor Municipal de Guimarães, como reserva ecológica nacional, REN.

O terreno onde se localiza o edifício está situado a sudoeste do centro histórico da cidade de Guimarães (figura 11). A morfologia do terreno é caracterizada por uma relativa diferença de cotas, pela presença de um canal de água, percursos de acessibilidade ao edifício e uma grande visibilidade das áreas circundantes. O edifício tem as suas fachadas nas orientações Norte, Sul, Este, Oeste, é distanciado da costa marítima em 40 km e está a uma altitude de 144,3 m.

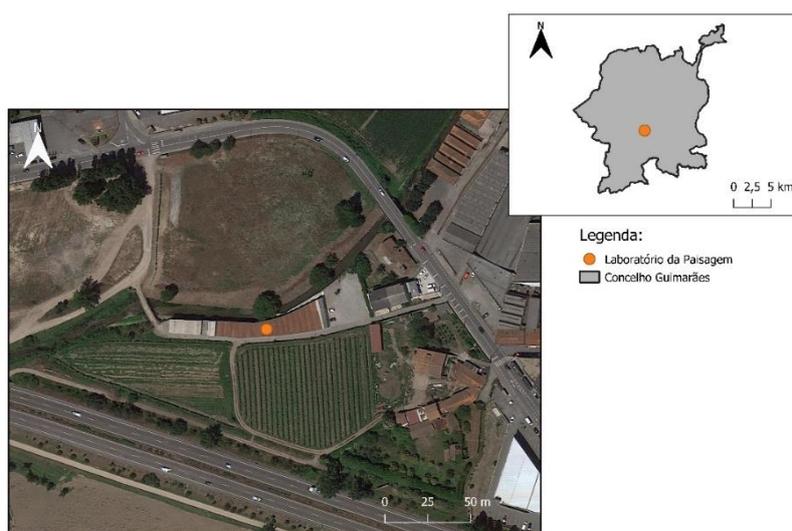


Figura 11 - Localização do edifício na veiga de Creixomil e no concelho de Guimarães (Fonte: Google Earth via QGIS).

No que toca à caracterização climática, no âmbito do Plano Municipal da Defesa da Floresta contra Incêndios em Guimarães¹², foi realizado um estudo estatístico, referente aos últimos 30 anos (1986 – 2016). Os dados analisados foram baseados na base de dados do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) do INAG.

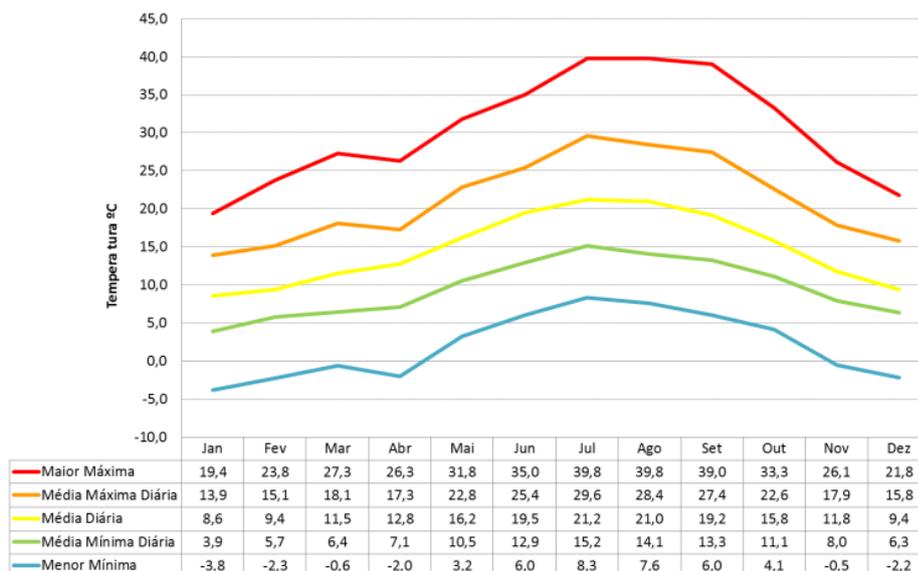


Figura 12 - Valores mensais da temperatura do ar no concelho de Guimarães entre os anos 1980 - 2016.

A temperatura média anual registada na estação climatológica de Gondizalves/Braga entre os anos de 1986 e 2016 é de 14,7°C.

Como se pode observar na Figura 12, as médias diárias da temperatura do ar registadas na base de dados do SNIRG do INAG relativas ao concelho de Guimarães variam entre 8,6°C em janeiro e cerca de 21°C em julho e agosto. No que respeita às temperaturas máximas, constata-se que a média das temperaturas máximas entre maio e outubro é sempre superior a 20°C com o pico em julho e agosto onde rondam os 30°C. Por sua vez, os valores máximos registados (no período 1986 – 2016) aconteceram nos meses de julho e agosto (39,8°C). Em relação às mínimas, observa-se que a média das temperaturas mínimas entre novembro e abril é sempre inferior a 10°C, sendo que no mês de janeiro os valores são inferiores a 4°C. Os meses de dezembro, janeiro e

¹² https://www.cm-guimaraes.pt/cmguimaraes/uploads/writer_file/document/7184/caderno_i___diagnostico.pdf

fevereiro são os que registaram valores mais baixos no período 1986 – 2016 uma vez que apresentam valores mínimos inferiores a 2°C negativos.

Segundo a classificação de Köppen-Geiger, a região de Braga e Guimarães têm uma forte influência atlântica e caracterizam-se como uma zona de clima mediterrâneo do tipo Csb (clima temperado com verão seco e suave)¹³ (figura 13).

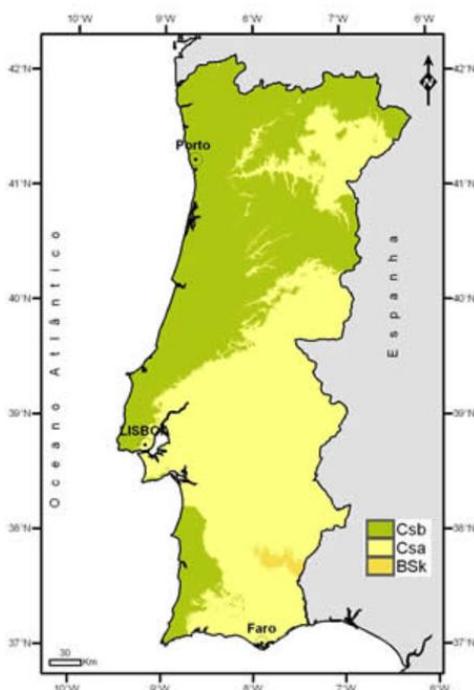


Figura 13 - Classificação climática de Köppen-Geiger.

Na tentativa de fazer uma previsão da evolução do clima nos próximos anos, o Município de Guimarães, no âmbito do projeto ClimadaPT.Local, criou uma estratégia municipal de adaptação às alterações climáticas. Desta estratégia foram identificadas potenciais alterações projetadas para o clima atual e futuro, utilizando para os cálculos da simulação três períodos de trinta anos: 1976-2005 (clima atual); 2041-2070 (clima a médio-prazo); 2071-2100 (clima a longo-prazo).

No que diz respeito à temperatura, ambos os cenários e modelos utilizados no estudo projetam um aumento da temperatura média anual até ao final do século. Este aumento varia entre 1,5 a 2,8°C para meio do século (2041-2070) e entre 1,6 e 4,4°C para o final do século (2071-2100), em relação ao período histórico modelado (1976-2005). Para além disso, os modelos projetam aumentos de temperatura para todos os

¹³ <https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/>

meses do ano até ao final do século. As anomalias mais elevadas são projetadas para o verão e outono. Relativamente às projeções para o mês de agosto (um dos mais quentes), as anomalias podem variar entre aumentos de 2,4-4,1°C (meio do século) e 2,4-6,1°C (final do século) e no que toca média sazonal de temperatura mínima apontam também para aumentos, com maiores anomalias e serem projetadas para o verão e outono (até 5°C) (Município de Guimarães, 2016).

As principais alterações climáticas projetadas para o município de Guimarães são apresentadas de forma resumida na figura 14.

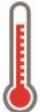
Variável climática	Sumário	Alterações projetadas
	 Diminuição da precipitação média anual	<p>Média anual Diminuição da precipitação média anual, podendo variar entre 3% e 23% no final do século.</p> <p>Precipitação sazonal Nos meses de inverno não se verifica uma tendência clara (entre -18% e +15%), projetando-se uma diminuição no resto do ano, que pode variar entre 5% e 32% na primavera e entre 9% e 35% no outono.</p> <p>Secas mais frequentes e intensas Diminuição do número de dias com precipitação, entre 11 e 29 dias por ano. Aumento da frequência e intensidade das secas no sul da Europa [IPCC, 2013].</p>
	 Aumento da temperatura média anual, em especial das máximas	<p>Média anual e sazonal Subida da temperatura média anual, entre 2°C e 4°C, no final do século. Aumento acentuado das temperaturas máximas no outono e verão (entre 2°C e 6°C).</p> <p>Dias muito quentes Aumento do número de dias com temperaturas muito altas ($\geq 35^\circ\text{C}$), e de noites tropicais, com temperaturas mínimas $\geq 20^\circ\text{C}$.</p> <p>Ondas de calor Ondas de calor mais frequentes e intensas.</p>
	 Diminuição do número de dias de geada	<p>Dias de geada Diminuição acentuada do número de dias de geada.</p> <p>Média da temperatura mínima Aumento da temperatura mínima, entre 1°C e 4°C no inverno, sendo maior (entre 2°C e 5°C) no verão e outono.</p>
	 Aumento dos fenómenos extremos de precipitação	<p>Fenómenos extremos Aumento dos fenómenos extremos, em particular de precipitação intensa ou muito intensa (projeções nacionais) [Soares et al., 2015]. Tempestades de inverno mais intensas, acompanhadas de chuva e vento forte (projeções globais) [IPCC, 2013].</p>

Figura 14 - Resumo das principais alterações climáticas projetadas para o município de Guimarães até ao final do século (Município de Guimarães, 2016).

3.2 Caracterização do espaço do edifício

Após uma análise do clima onde o edifício está inserido, torna-se necessária a caracterização física do mesmo. Segundo a planta do edifício, o Laboratório da Paisagem é constituído por dois pisos, cada um com as suas especificidades próprias:

- Piso 0 – É o piso responsável pela maior área do edifício. Esta área é caracterizada pela existência de uma sala multiusos, uma arrecadação dedicada à arrumação e armazenamento de material, uma zona de exposição, cafetaria, espaços destinados a apresentações, Laboratórios, Gabinetes entre outros. Apenas a sala multiusos, o Gabinete Paisagem e Território e o Laboratório de Recursos Hídricos e Economia Circular são compartimentalizados, todos os restantes espaços estão inseridos numa zona aberta, delineados por paredes e com um teto comum do edifício;
- Piso 1 – É uma zona com uma área pequena onde se encontra a sala de reuniões e áreas administrativas.

Apesar do Laboratório da Paisagem ser um edifício reabilitado relativamente recente, é notória a necessidade de uma intervenção ao nível da estrutura do edifício de forma a minimizar infiltrações e reparar danos provocados pelas inundações que aconteceram no edifício no ano de 2019 devido a subida do caudal do canal de água. Apesar desta necessidade, ainda não existem projetos de intervenções para o edifício, havendo apenas os projetos arquitetónicos iniciais do projeto de reabilitação do edifício.

Embora este estudo não englobe uma análise térmica do edifício, é importante referir que, durante o período de utilização do edifício, verificou-se que as janelas possuem vidros duplos, com caixilharias sem corte térmico e sem nenhum tipo de material responsável pela proteção solar. No que toca à envolvente do edifício, como referido anteriormente, podem ser notadas algumas infiltrações e danificação dos materiais de construção, como demonstradas na figura 15. Estas evidências podem comprometer de alguma forma a eficiência térmica do edifício, e contribuir para um maior gasto energético devido à danificação do isolamento. Para além disso, com estas infiltrações podem desenvolver-se bolores que podem influenciar a qualidade do ar no interior do edifício.



Figura 15 – Materiais de construção danificados (figura da esquerda) e infiltrações na cobertura (figura da direita).

O quadro seguinte descreve os diferentes espaços do Laboratório da Paisagem, descrevendo as áreas úteis de cada piso:

Tabela 2 - áreas dos diferentes espaços do Laboratório da Paisagem.

Pisos	Espaços	Área (m2)
Piso 0	Zona Técnica	210,10
	Entrada/Recepção	57,50
	Cafetaria	65,00
	Gabinete	10,00
	Gabinete	10,00
	Gabinete da Paisagem e Território	20,00
	Laboratório de Hidráulica e Economia Circular	20,00
	Laboratório de Natureza e Biodiversidade	48,00
	Gabinete de educação ambiental	46,50
	Sala de reuniões	22,00
	Sala	29,00
	Zona de exposição	110,00
	Sala multiusos	250,00
	Zona de espera administrativa	27,80
	Instalações sanitárias Masculinos e Femininos	13,60
	Instalações Sanitárias Pessoas de Mobilidade Condicionada	4,84
	Cozinha	49,60
	Arrecadação	4,20
	Zona técnica	1,60
	Vestuário Funcionários	2,50
	Espaço circulação piso 0	50,15
	Gabinete administrativo	20,00
	Sala de Reuniões	15,00

Piso 1	Arquivo	15,00
	Espaço de trabalho	30,00
	Zona técnica	1,70
	Espaço de circulação piso 1	24,00
	Total de Área Útil	1.158,03

O horário de funcionamento do Laboratório da Paisagem é de segunda a sextas-feiras das 08h00 às 17h00. Habitualmente, este é o período de maior intensidade de utilização, no qual se encontram todos os quinze colaboradores a trabalhar em simultâneo. Contudo, apesar deste horário, existem algumas exceções. Estas compreendem-se com a flexibilidade do horário dos colaboradores, com o serviço de segurança 24h e com atividades que, por vezes, também ocorrem no período de fim de semana. Estas condicionantes fazem com que o edifício esteja constantemente em funcionamento, não havendo um período de inativação total.

3.4 Abordagem Geral do Estudo Energético

Para determinar medidas de eficiência energética a implementar foi necessário, em primeiro lugar, quantificar a energia e compreender de que forma esta é consumida no edifício.

Os trabalhos começaram com a identificação da fonte de energia utilizada no edifício, tendo por base a sua faturação anual. Desta forma, foi possível perceber qual a fonte de energia utilizada.

A faturação de 2020 e 2021 foi analisada de forma detalhada desagregando-a em todos os componentes faturados, permitindo assim perceber de que forma é taxado o consumo energético e o peso de cada componente no total faturado. Através da faturação e diagramas de carga analisados foi possível perceber a distribuição do consumo de energia ao longo do tempo, picos de consumo e horas de ponta. O consumo energético de um edifício está também intrinsecamente relacionado com as condições climáticas que se fazem sentir na região, pois influenciam a temperatura de conforto dentro do edifício, pelo que foi importante a caracterização climática no capítulo 3.2.

A tabela 3 resume as diferentes fases do trabalho. A fase 1 corresponde à fase de diagnóstico, na qual são analisados os consumos do edifício, os equipamentos responsáveis pelo consumo e como se processa ao consumo energético. A fase 2

corresponde à monitorização e interpretação dos consumos energéticos do edifício. A fase 3 consiste na apresentação de propostas de melhoria na eficiência energética do edifício e análise dos resultados obtidos com a sua implementação. Por último, a fase 4 consiste na fase de sensibilização e formação, tendo por base o estudo energético.

Tabela 3 - Resumo das quatro fases do estudo energético.

<p>Fase 1 - Diagnóstico</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Análise das faturas de consumo de eletricidade de 2020 e 2021; - Quantificação do consumo energético do edifício; - Discriminação e análise dos consumos energéticos realizados no edifício; - Levantamento energético do edifício (consumos do AVAC, iluminação e equipamentos). No caso dos equipamentos, sempre que possível, foi utilizada a potência (Watt/unidade). Nos casos que não foi possível a recolha exata do equipamento foi feita uma estimativa; - Tendo em conta a informação dada pelos colaboradores e a aferida aquando do levantamento foram definidos os períodos de funcionamento de cada equipamento (horas/dias).
<p>Fase 2 - Monitorização</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Monitorização energética do edifício; - Criação de indicadores de desempenho energético; - Estudo de restrições inerentes.
<p>Fase 3 – Proposta de medidas de melhoria</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Proposta de medidas de boa gestão energética; - Análise de resultados obtidos com as medidas de boa gestão energética; - Proposta de soluções de eficiência energética.
<p>Fase 4 – Sensibilização</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Plano de sensibilização e formação ambiental tendo como base o estudo energético efetuado.

A figura 16 apresenta o fluxograma detalhado das diferentes fases da metodologia proposta, como forma de facilitar a sua replicação em contextos similares de avaliação de edifícios públicos do concelho. Realce-se que, em qualquer das etapas deste estudo, deverá ter-se em consideração eventuais limitações, tais como a ausência de documentação recente relativamente a intervenções nos edifícios, possíveis limitações legais para a implementação de determinadas medidas de melhoria na eficiência energética, dificuldade em aceder a determinados equipamentos de forma a identificar a sua potência, etc.

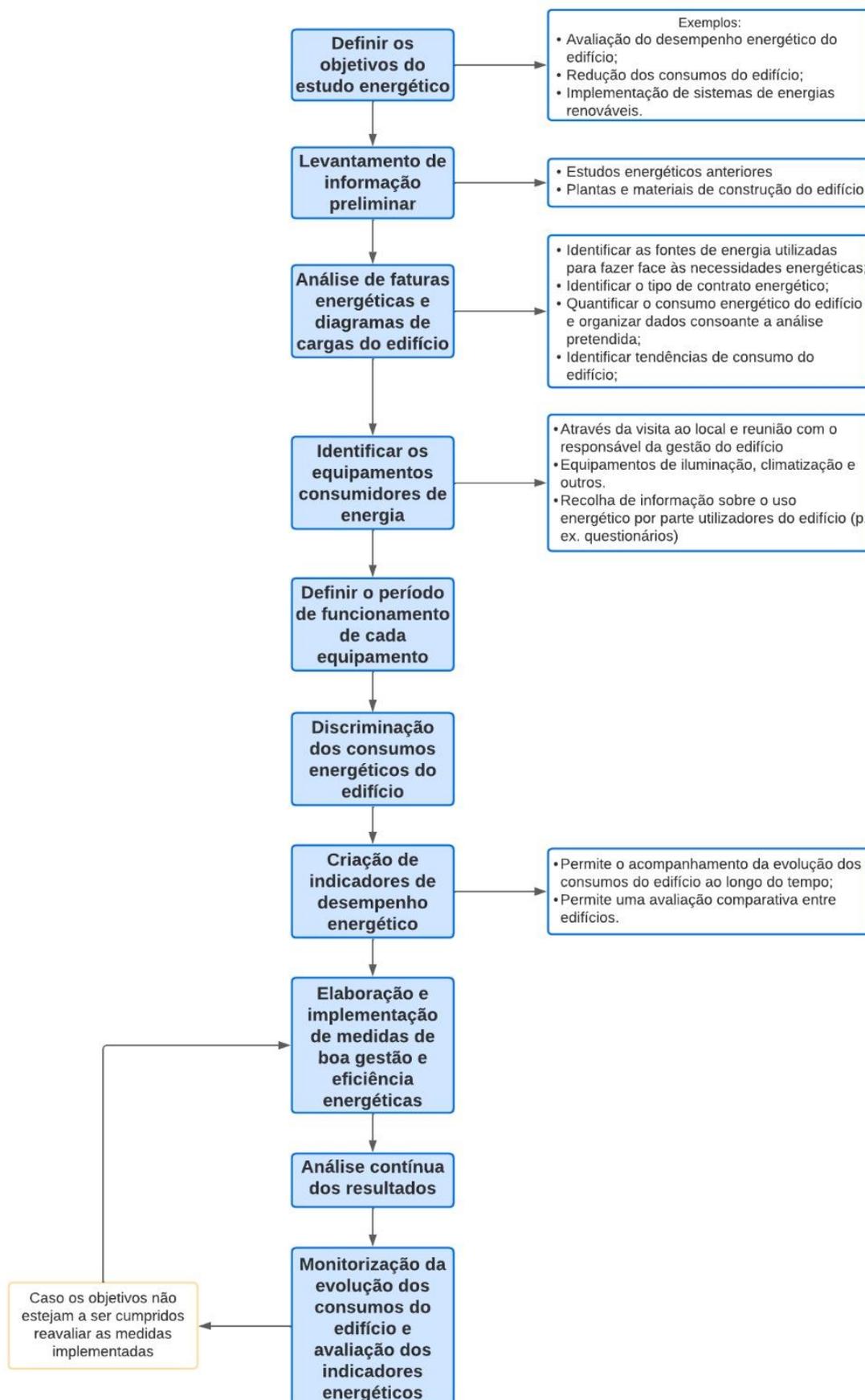


Figura 16 - Fluxograma com a metodologia adotada neste estudo energético.

3.5 Caracterização da instalação elétrica

3.5.1 Energia elétrica

Os custos de eletricidade têm vindo a aumentar nos últimos anos, e atualmente estamos a vivenciar uma grande instabilidade no mercado energético, sendo este um fator decisivo para a competitividade das empresas nacionais. Importa, por isso, utilizá-la da forma mais racional possível, evitando possíveis desperdícios (Shaikh, 2022). Recentemente Portugal lançou um Plano de Poupança de Energia 2022 – 2023, que visa fazer face a esta urgência na redução dos consumos energéticos e aumento da segurança do aprovisionamento energético na Europa e em Portugal¹⁴.

Na análise de energia elétrica da instalação é necessário ter em conta os seguintes aspetos:

- Otimizar o contrato de fornecimento de eletricidade;
- Reduzir, ao mínimo possível, o consumo em horas de ponta;
- Otimizar a rede de distribuição;
- Acompanhar regularmente a evolução dos consumos de energia elétrica.

Ao analisar a faturação do Laboratório da Paisagem foi possível verificar que apenas é utilizada a energia elétrica para fazer face às suas necessidades de consumo energético. Assim, foi seguida a próxima fase de caracterização dos sistemas responsáveis pelo consumo existente no edifício.

3.5.2 Sistema de iluminação

A iluminação é um fator essencial e preponderante no estudo energético do edifício. A escolha ideal de equipamentos ambiental e economicamente sustentáveis, com a correta qualidade de iluminação, deve ser feita tendo em conta a necessidade de luz para cada divisão.

De forma a maximizar a potencialidade do sistema de iluminação, é realizada uma gestão ponderada na utilização dos recursos conjugada com a existência de luz natural. Aproveitando a luz natural em certos locais da instalação, é possível diminuir a

¹⁴ <https://www.portugal.gov.pt/download-ficheiros/ficheiro.aspx?v=%3d%3dBQAAAB%2bLCAAAAAAABAAzNDYyNAMAsZL1lgUAAAA%3d>

utilização de luz artificial, o que traz diversas vantagens, tanto ao nível da poupança energética e financeira, como a nível ambiental (Sadeghian et al., 2021).

Tabela 4 - Quadro de iluminação do Laboratório da Paisagem.

	Piso	Nº Pontos de Luz	Potência Instalada (kW)	Tipo de Lâmpadas instaladas	Horas de funcionamento diário
Edifício	1	17	0,44	LED	Variável
	0	165	3,79	LED	Variável
	TOTAL	182	4,24	-	Variável

Durante a monitorização das instalações foi possível verificar que ainda existe alguma margem para melhoria na utilização da iluminação. Apesar do primeiro passo para a poupança energética já ter sido alcançado, com a substituição das lâmpadas existentes por lâmpadas LED com uma maior performance energética, foram registadas algumas observações:

- Existem alguns pontos de luz ligados em zonas estratégicas, que poderiam ser desligados de forma a alcançar uma maior poupança energética, uma vez que não se apresenta necessária tanta luminosidade, as necessidades de iluminação podem ser supridas com recurso a uma menor quantidade de luzes;
- Inexistência de sensores de movimento nas instalações sanitárias e corredores;
- Boa utilização de luz natural sempre que possível;
- Toda a iluminação do edifício é ligada/desligada manualmente;

O consumo de energia elétrica do sistema de iluminação, nos dois anos, é estimado em cerca de 9,79 MWh/ano (11,5% do total consumido dos dois anos). Os pressupostos subjacentes a esta estimativa estão detalhados na secção 3.8.

3.5.3 Sistemas de Climatização

Os sistemas de climatização correspondem a tecnologias de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC) são responsáveis pela climatização dos vários espaços de um edifício. São responsáveis por controlar as condições de ar interior no que toca à temperatura, ventilação, humidade, entre outros.

O edifício dispõe de vários sistemas de climatização. Encontram-se instalados ventiladores de extração, ventiloconvectores, unidades de tratamento de ar (UTA) e um *chiller*, onde as respetivas potências de aquecimento e arrefecimento podem ser consultadas no anexo I. Todo o sistema de climatização está instalado através de um sistema de condutas no teto, como demonstrado também no anexo I.

Neste estudo, os consumos energéticos inerentes ao sistema de climatização, não foram calculados através da potência da máquina mediante uma estimativa de horário de utilização nos períodos de aquecimento e arrefecimento. Estes consumos foram consultados com o recurso ao painel responsável pela monitorização centralizada dos gastos energéticos do AVAC no edifício do Laboratório da Paisagem. Com esta tecnologia, é possível gerir e monitorizar todo o sistema de climatização e consumos associados ao AVAC. Assim foram levantados os consumos mensais nos anos de 2020 e 2021, como demonstrado na figura 17. Para além disso este sistema tem a potencialidade de ser gerido e monitorizado remotamente.

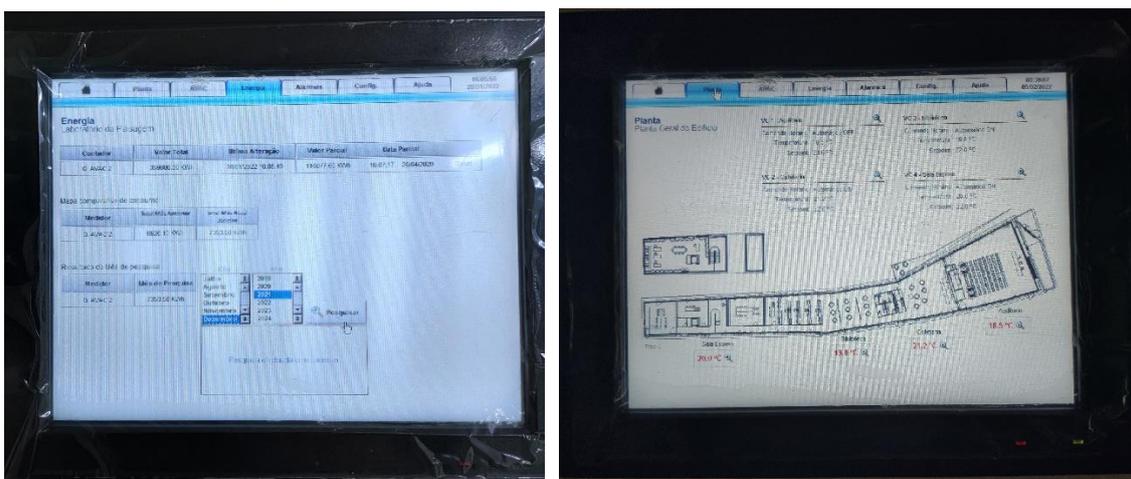


Figura 17 – Ecrã do sistema de climatização central do Laboratório da Paisagem.

O consumo de energia elétrica estimado nos dois anos foi de cerca de 65,11 MWh/ano (75% do total consumido nos dois anos). Os pressupostos subjacentes a esta estimativa são explicados na secção 3.8.

3.5.4 Outros equipamentos elétricos

No edifício existem ainda outros equipamentos com peso no consumo total de energia elétrica. Esses equipamentos estão identificados na tabela seguinte:

Tabela 5 - Outros equipamentos elétricos existentes no Laboratório da Paisagem.

Quantidade	Equipamentos	Potência (W)
1	Aparelho de medição meteorológica	0,3
8	Equipamentos WiFi	548,2
2	Arcas Frigoríficas	342
6	Bombas de água (aquários)	162
13	Computadores	1722,7
1	Estufa do Laboratório	2300
4	Servidores	110,1
1	Impressora	1716
1	Lâmpada UV	7,2
1	Lente Microscópica	35
4	Luz para aquários	40
3	Máquinas de café	4990
1	Micro-ondas	900
2	Monitores de computador	54,66
7	Telefones	26,92
5	Televisores	1960,3
3	Torres computador	380
1	Triturador de café	352
	TOTAL	15647

O consumo de energia elétrica estimado para os dois anos foi cerca de 17 MWh (13,5% do total consumido nos dois anos). Os pressupostos subjacentes são explicados na secção 3.8. No anexo II estão detalhados os equipamentos existentes no edifício.

3.6 Análise energética global do edifício

Com esta fase, pretende-se a contabilização de todos os consumos relativos ao edifício. Para tal, e como estamos na presença de um edifício já existente, realizou-se uma análise das faturas energéticas dos últimos dois anos. Neste caso, o período de análise selecionado corresponde aos anos de 2020 e 2021. Apesar de anos atípicos, devido ao estado de emergência nacional requerido pela Covid-19, a atividade do edifício não foi significativamente afetada, pela presença de segurança no edifício durante 24 horas por dia e a existência de um sistema laboral híbrido. Adicionalmente, a fatura energética do mês de abril de 2022 foi analisada com o intuito de estudar a implementação de uma proposta de melhoria na eficiência energética.

Esta análise permite-nos ter uma orientação geral do procedimento a adotar na auditoria, detetar possíveis anomalias num contexto global e, conseqüentemente, corrigi-las.

3.6.1 Faturas de eletricidade

Para o fornecimento de energia elétrica, o Laboratório da Paisagem tem contrato com a empresa Endesa Energia SA, sendo esta abastecida em Baixa Tensão Especial (BTE). A Endesa Energia SA é um comercializador de Mercado Livre, ou seja, respeitando as regras da concorrência, a lei geral e o Regulamento das Relações Comerciais, tem autonomia para definir preços e condições comerciais.

Ao analisar as faturas, verifica-se a existência de três parâmetros, sendo eles, a potência, energia reativa e energia ativa.

No que diz respeito à potência, as faturas apresentam uma potência contratada de 41,4 kVA.

A energia reativa não foi tida em consideração uma vez que estes valores foram considerados residuais, correspondendo a um total de 19981 kVA_{rh} no ano de 2020 e 20533 kVA_{rh} no ano de 2021, com o valor de faturação de 54,21€ e 77,39€, respetivamente. Para além disso, a média do fator de potência¹⁵ para os dois anos é de 0,92. Este fator de potência alto indica uma boa eficiência, o que significa que grande parte da energia utilizada da rede é transformada em trabalho.

Quanto à energia ativa, os consumos faturados estão diferenciados em quatro períodos: Ponta, Cheia, Vazio e Super Vazio. De acordo com os Artigos 24º e 31º do Regulamento Tarifário do Setor Elétrico, da ERSE, podem ser destacados em dois ciclos diferentes, o ciclo semanal e o ciclo diário. O ciclo horário utilizado pelo Laboratório da Paisagem é o diário, onde os tarifários variam mediante as horas do dia, como apresentado na figura 18.

¹⁵ Este fator corresponde á razão entre potência ativa e potencia aparente. Sendo esta a potência total que uma determinada fonte é capaz de fornecer a um sistema, esta consiste na soma vetorial da potência ativa e potência reativa.

HORA LEGAL DE INVERNO		HORA LEGAL DE VERÃO	
			
Segunda-feira a domingo		Segunda-feira a domingo	
Ponta	09h00 às 10h30 18h00 às 20h30	Ponta	10h30 às 13h00 19h30 às 21h00
Cheias	08h00 às 09h00 10h30 às 18h00 20h30 às 22h00	Cheias	08h00 às 10h30 13h00 às 19h30 21h00 às 22h00
Vazio normal	00h00 às 02h00 06h00 às 08h00 22h00 às 00h00	Vazio normal	00h00 às 02h00 06h00 às 08h00 22h00 às 00h00
Super vazio	02h00 às 06h00	Super vazio	02h00 às 06h00

Figura 18 - Ciclo horário diário de acordo com a ERS.

Na análise mensal ao consumo elétrico de energia ativa nos vários períodos associados ao ciclo horário, foram obtidos os gráficos das figuras 19 e 20.

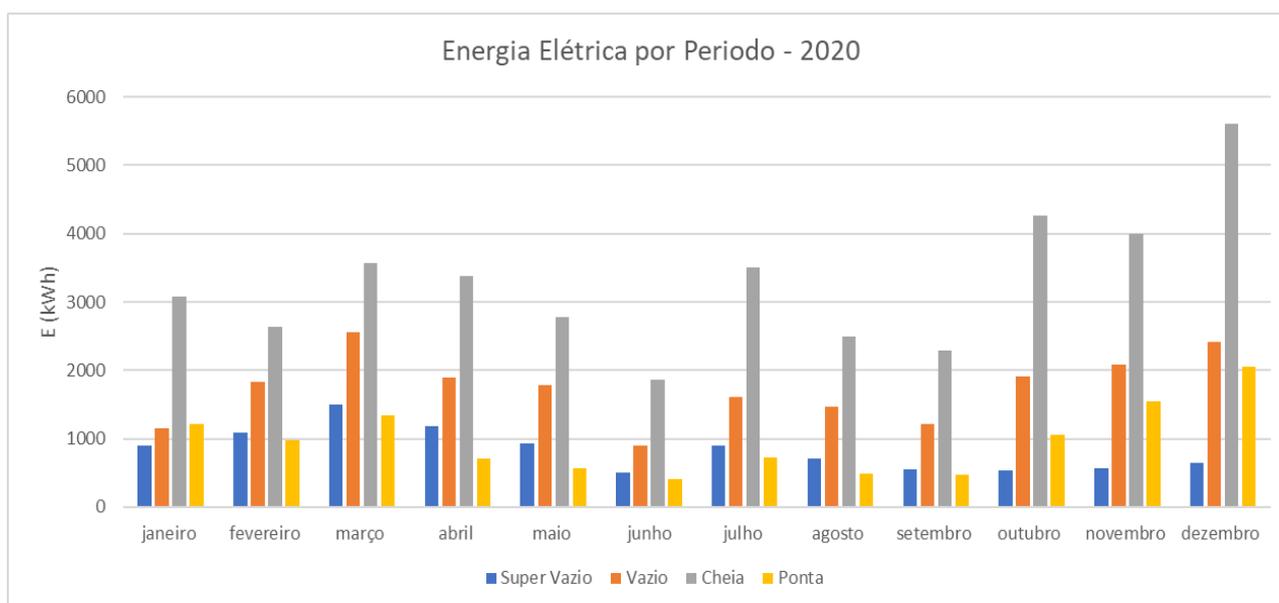


Figura 19 - Representação mensal da energia elétrica por período - 2020.

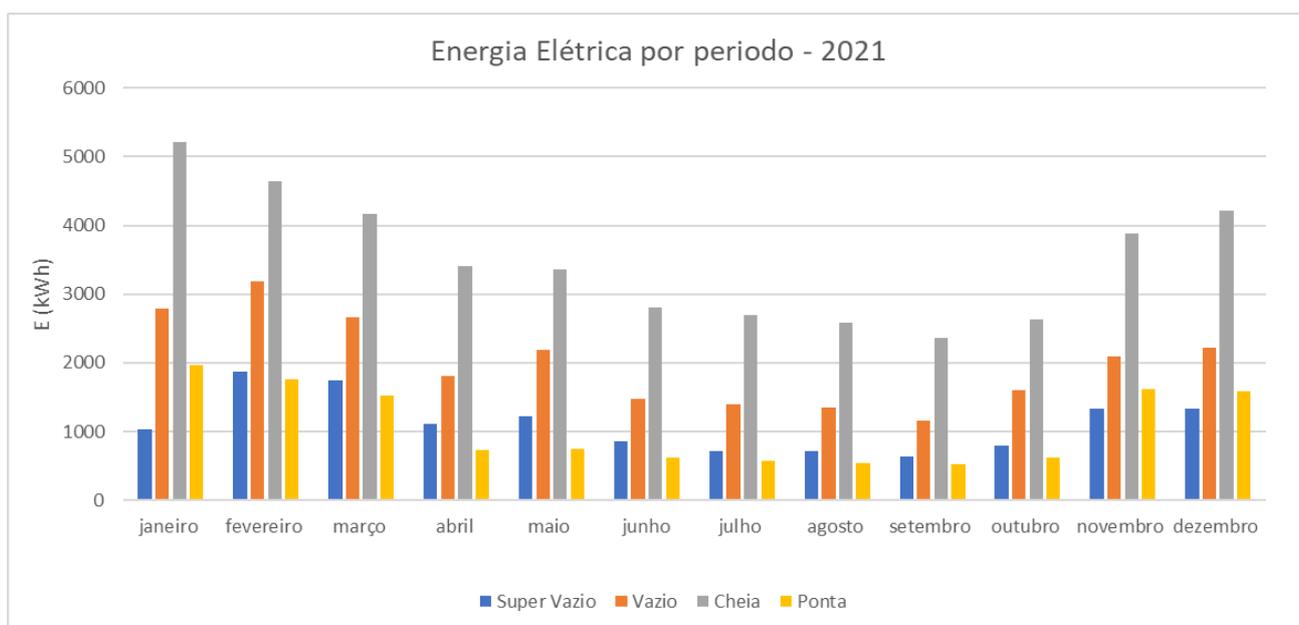


Figura 20 - Representação mensal da energia elétrica por período - 2021.

Na análise das figuras verifica-se que o consumo de energia elétrica no horário de cheia oscila entre os 1,8 e os 5,6 MWh durante os dois anos (Tabela I no anexo III). Este foi o período onde ocorreram os maiores consumos energéticos do edifício, correspondendo aos horários compreendidos entre as 08h00-09h00, 10h30-18h00, 20h30-22h00 no inverno e as 08h00-10h30, 13h00-19h30, 21h00-22h00 no verão. Este consumo mais elevado durante o período de cheias corresponde exatamente ao período em que o edifício tem maior atividade.

No ano de 2020, o consumo de super vazio apresenta menos oscilações relativamente aos restantes, sendo responsável por consumir aproximadamente 10 MWh, é o período que consome menos energia nesse ano. No ano de 2021, já não se verifica essa tendência, o consumo de super vazio já é mais variável e instável ao longo dos meses e deixa de ser o período de menor consumo passando este lugar a ser ocupado pelo período de ponta (13,3 MWh e 12,8 MWh, respetivamente). Para além disso, os consumos no período de super vazio aumentaram significativamente no ano de 2021, totalizando um aumento de 34,1%, relativamente ao ano de 2020 (Tabela II no anexo III). Os meses em que podemos verificar uma maior subida são setembro, outubro, novembro e dezembro.

Ao representar o consumo elétrico sob a forma de uma distribuição percentual (figura 21 e 22) do período horário faturado, verifica-se que o período de cheia representa 48% em 2020 e 46% em 2021 do consumo total, justificado mais uma vez pelo período de maior atividade no Laboratório da Paisagem.

O consumo energético no período de vazio manteve-se constante nos dois anos representando 26% do consumo total.

A percentagem mais baixa de consumo é durante o período de super vazio, no entanto, no ano de 2021 esta aproximou-se da percentagem do período de ponta. Este consumo significativamente constante e o aumento de 2% no ano de 2021 algo significativo durante o período da noite chamou à atenção e procurou-se averiguar as origens desse consumo. Em conversa com os colaboradores, administração, monitorização do local e análise dos diagramas de carga, foi aferido que este consumo está relacionado com os servidores existentes, com os equipamentos de refrigeração na cozinha e laboratórios, equipamentos associados ao funcionamento dos aquários, sistema de climatização e ainda com algumas luzes da entrada do edifício, cozinha e casas de banho ligadas durante 24h. Com a análise dos diagramas de carga (anexo IV), podemos notar uma diminuição brusca nos consumos entre a 00h00 e 5h30, no ano de 2020, o que não acontece no mesmo período do ano de 2021. Com base nas respostas obtidas em conversação com os colaboradores e administração, sobre a utilização do edifício nos diferentes anos, o fator diferenciador encontrado que pode explicar a subida de 2% foi a continuação da utilização do AVAC durante o período da noite no ano de 2021. Uma vez, que este é o maior consumidor do edifício, como apresentado na secção 3.8, é esperado que tenha uma influência significativa nos consumos do edifício.

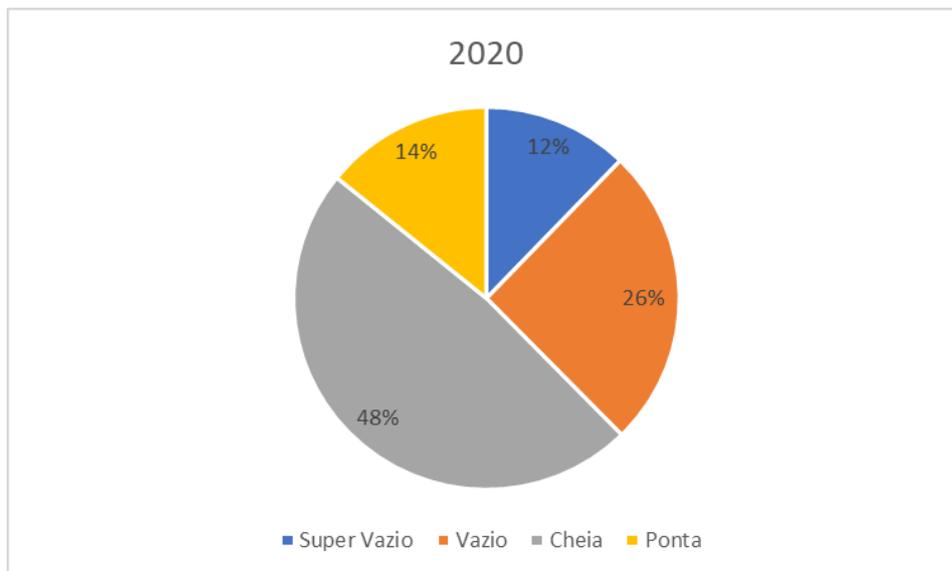


Figura 21 - Distribuição percentual de energia elétrica por período.

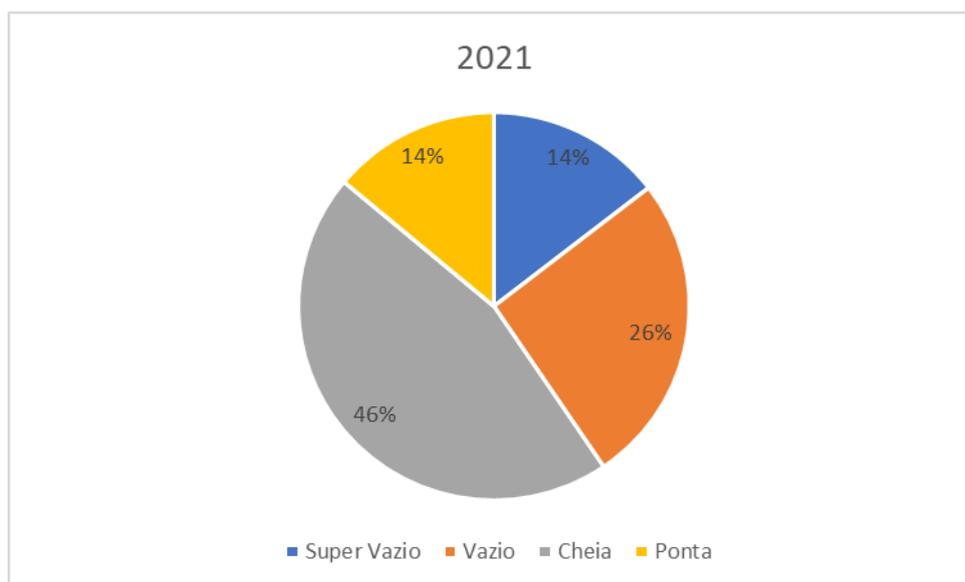


Figura 22 - Distribuição percentual de energia elétrica por período.

A figura 23 representa o consumo elétrico ao longo dos anos de 2020 e 2021:

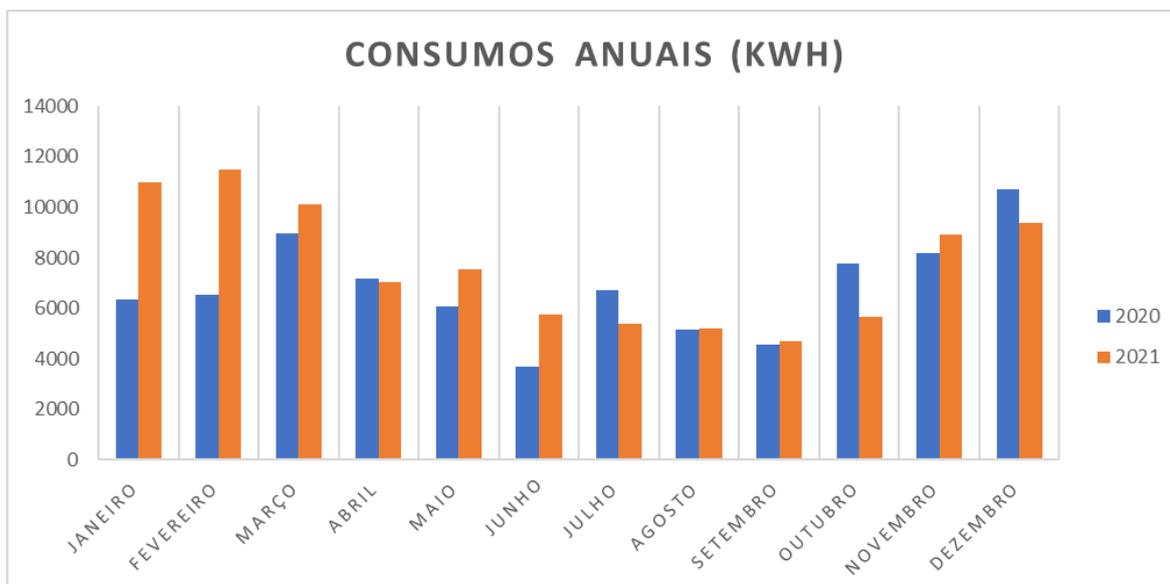


Figura 23 - Consumo elétrico mensal de 2020 e 2021.

Na análise ao consumo elétrico mensal podemos observar que não existe uma tendência notória nos consumos elétricos do edifício, existem várias flutuações nos consumos de um ano para o outro, sendo visível a falta de uniformização dos mesmos. Podemos notar uma subida do consumo em quase todos os meses do ano de 2021 relativamente ao ano de 2020. Esta subida pode ser explicada pelo facto de o Laboratório da Paisagem ter aumentado o número de colaboradores, o número de atividades realizadas no edifício (ex: palestras, workshops, formações etc.) e também pelas diferentes temperaturas sentidas nos anos em análise.

Segundo o boletim climático de Portugal em 2020¹⁶, este foi ano em que foram batidos recordes em termos de temperatura. Juntamente com o ano de 2016 foi o ano mais quente desde que há registos. Este pode ser um fator que pode ajudar a compreender os menores consumos do Laboratório da Paisagem nesse ano. Uma vez que o edifício é um edifício com baixas necessidades de climatização em temperaturas altas e está localizado junto a uma linha de água, faz com que num ano quente como foi reportado o ano de 2020 os consumos do edifício sejam mais baixos relativamente ao ano de 2021, que apesar de estar em 5º lugar no que toca aos sete anos mais quentes não supera o ano de 2020.

16

https://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20210819/LFIMMoMGFYtEbLbCHRTw/cli_20200101_20201231_pcl_aa_po_pt.pdf

Apesar das flutuações mensais de um ano para o outro, podemos verificar uma tendência de descida dos consumos nos meses de verão (junho, julho, agosto e setembro), o que é expectável, uma vez que a atividade do edifício abranda, com as férias escolares (não havendo tantas atividades no edifício) e com as férias dos próprios colaboradores não havendo tantas pessoas no edifício ao mesmo tempo. Para além disso, esta descida também pode ser explicada pelo maior número de horas de sol no verão e pelo facto de o edifício do Laboratório da Paisagem estar localizado numa zona com clima mediterrânico do tipo Csb, junto de uma linha de água que ajuda a manter a temperatura do edifício. A própria estrutura do edifício, torna-o mais fresco no verão, não necessitando de uma climatização tão intensiva como no inverno.

Os meses com maior consumo energético são os meses de novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março. Este resultado é expectável, uma vez que, para além de serem meses nos quais ocorrem muitas atividades associadas aos projetos desenvolvidos no Laboratório da Paisagem, a necessidade de aquecimento do edifício é maior.

Comparando o mês de abril de 2020 (período no qual o país esteve em estado de emergência devido à Covid-19) com o mês de abril de 2021, não se verifica uma oscilação significativa nos consumos energéticos do edifício, o que comprova que os mesmos não foram afetados pelo período pandémico. Isto deve-se à presença de segurança 24h, uma vez que o sistema de climatização funciona da mesma forma, independentemente do número de pessoas e espaços usados no edifício.

A partir da figura 23 é possível verificar também que a climatização aparenta ser dominada por aquecimento. Esta conclusão é justificada pelo edifício estar localizado junto de uma linha de água, com paredes espessas e de grande dimensão e com algumas infiltrações e danos na infraestrutura devido a inundações, sendo assim mais fácil arrefecer o edifício de forma natural.

O consumo total de energia elétrica em 2020 e 2021 foi de 81 MWh e 92 MWh, respetivamente. Estes valores correspondem a 11,8 toneladas de emissões de CO₂ no ano de 2020 e 13,3 toneladas de emissões de CO₂ no ano de 2021¹⁷.

¹⁷ De forma a calcular o valor das emissões de CO₂, foi utilizada uma equivalência energética de referência (0,144 kgCO₂/kWh), de acordo com o despacho (extrato) nº 15793-D/2013.

3.7 Indicadores de desempenho

Neste capítulo são analisados alguns indicadores de desempenho do Laboratório da Paisagem, procurando, sempre que possível, fazer uma comparação com outros edifícios do Município com uma utilização semelhante e a mesma potência contratada.

3.7.1 Consumo de energia Vs. temperatura (°C)

De forma a perceber de que forma a temperatura pode influenciar os consumos mensais do Laboratório da Paisagem, foram construídos dois gráficos. Nestes gráficos constam os consumos energéticos mensais dos diferentes anos e as temperaturas médias mensais registadas na estação meteorológica de Braga, segundo os boletins meteorológicos do IPMA.

Para facilitar a análise destes dados, foram traçadas nos gráficos duas funções polinomiais inerentes aos dados do consumo e temperatura, como pode ser observado na figura 24 e 25.

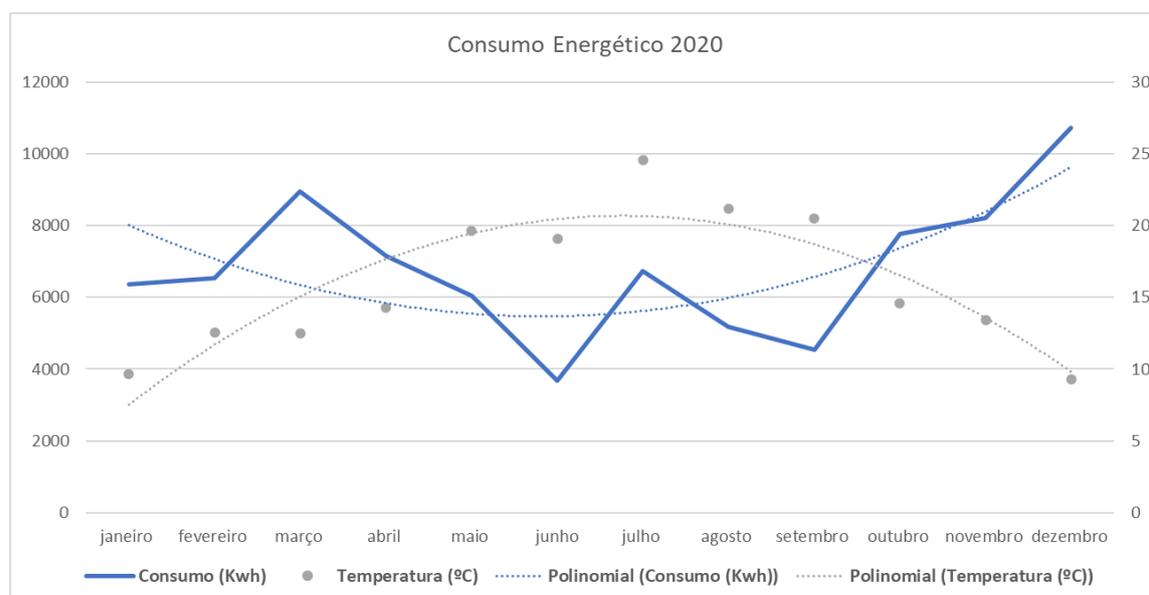


Figura 24 – Correlação entre o consumo mensal de eletricidade e a temperatura média mensal em 2020.

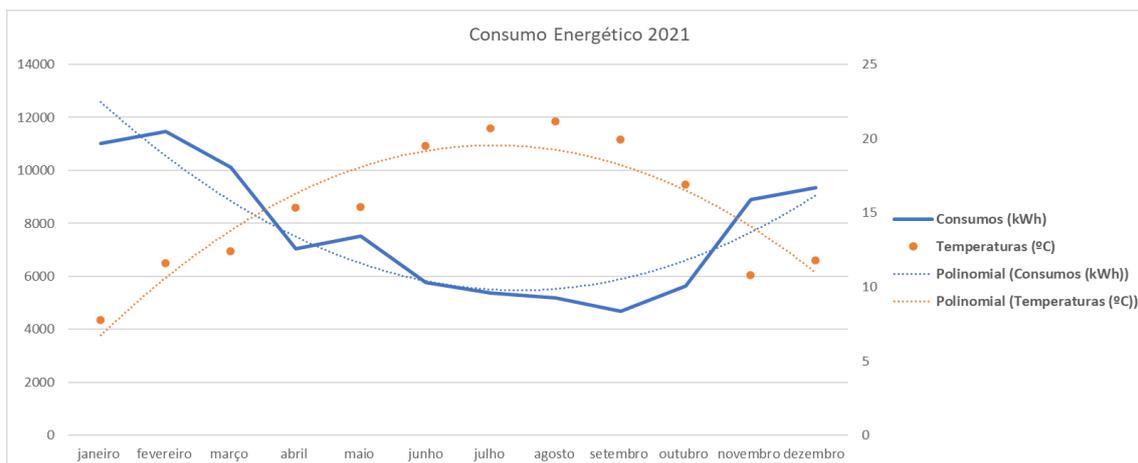


Figura 25 – Correlação entre o consumo mensal e temperatura média mensal em 2021.

Analisando as funções polinomiais de segundo grau, podemos observar que quando os valores das temperaturas são altos os valores dos consumos energéticos tendem a ser mais baixos. Isto pode ser explicado pelo facto de o maior consumidor de energia do edifício ser o AVAC, como detalhado no capítulo 3.8. Desta forma a temperatura tem uma influência determinante nos consumos do edifício. Apesar da tendência, podemos observar que no mês de julho de 2020, existiu um pico nos consumos energéticos. Este resultado pode ser explicado pelo facto de o mês de julho de 2020 ter sido o mais quente desde 1931¹⁸, ocorrendo de um pico de calor, o que leva a uma maior necessidade de arrefecimento do edifício e conseqüentemente um desvio da tendência observada.

No geral, devido à sua construção e localização, o edifício do Laboratório da Paisagem é um edifício frio no inverno e fresco no verão, o que faz com que as necessidades de aquecimento sejam maiores quando sentidas temperaturas baixas e as necessidades de arrefecimento sejam menores quando sentidas temperaturas amenas. Esta tendência só é quebrada, com a ocorrência de um pico de calor. Com estas observações podemos aferir que o edifício do Laboratório da Paisagem é altamente vulnerável à variação de temperatura do exterior.

18

https://www.ipma.pt/resources.www/docs/im.publicacoes/edicoes.online/20200806/QjVTABosEPrZtOOiteHA/cli_20200701_20200731_pcl_mm_co_pt.pdf

3.7.2 Consumo de energia Vs. área (m²)

Para o cálculo deste indicador foi utilizada a área útil do edifício do Laboratório da Paisagem com o objetivo de obter um valor de consumo de eletricidade por unidade de área.

De forma a comparar o consumo energético do Laboratório da Paisagem com outros edifícios, foram levantadas as áreas uteis e analisadas as respetivas faturas energéticas de alguns edifícios do Município de Guimarães. Na escolha destes edifícios, procurou-se a maior semelhança possível ao edifício do Laboratório da Paisagem, em termos de potência contratada (todos os edifícios selecionados têm a mesma potência contratada) e utilização por parte dos colaboradores e visitantes dos mesmos. Na figura 26 estão apresentados os valores associados a cada edifício escolhido.

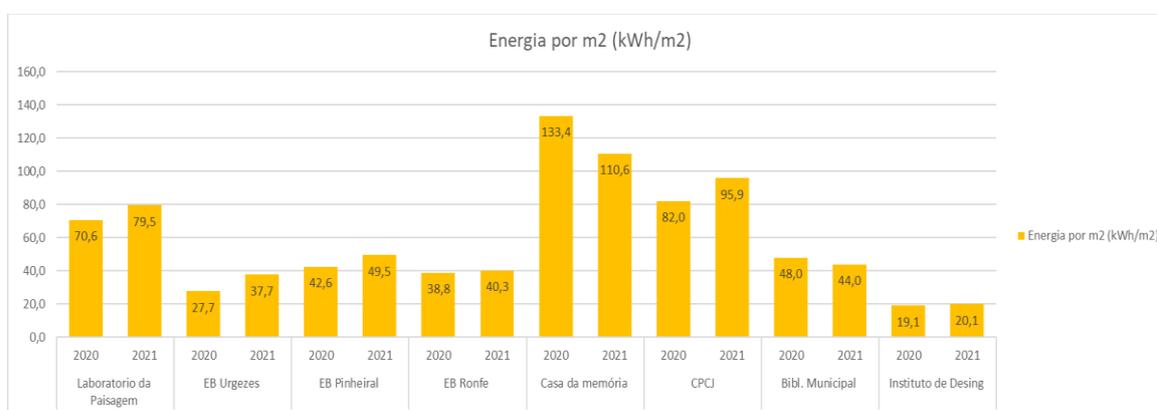


Figura 26 - Consumo de energia por unidade de área.

Analisando o gráfico apresentado, podemos notar que o Laboratório da Paisagem ocupa a terceira posição de maior gastador de energia, sendo apenas superado pela casa da memória e pela Comissão de Proteção de Crianças e Jovens (CPCJ). Contudo, apesar de este ser um bom indicador do desempenho energético dos diferentes edifícios, este resultado deve ter uma análise crítica e conservativa, devido ao período em que estão a ser analisados os consumos.

Sendo esta análise realizada num período de Pandemia, é necessário fazer a ressalva, de que esta afeta de diferentes formas os edifícios apresentados. No caso dos edifícios da EB Urgezes, EB Pinheiral, EB Ronfe, Biblioteca Municipal e o Instituto de Design, sendo estes edifícios de escolas, educação e abertos ao público, os consumos analisados podem não refletir os consumos energéticos de uma utilização normal dos edifícios, uma vez que as escolas e edifícios abertos ao público estiveram encerrados

durante o período pandémico. Todavia, podemos notar que existem três edifícios em que a pandemia não teve um impacto significativo nos seus consumos, sendo eles a Casa da Memória, um centro de exposição da cultura, território e história de Guimarães, o CPCJ, um edifício de escritórios e o Laboratório da Paisagem. Estes três edifícios, sendo os maiores consumidores dos edifícios analisados, poderão ser considerados para uma avaliação e estudo energético visando a otimização da utilização da energética.

De salientar a posição de menor consumidor de energia do edifício do Instituto de Design. Apesar do período atípico, e dentro dos edifícios que tiveram períodos de encerramento, este foi o que teve um menor consumo energético. Esta posição pode ter sido potenciada pela implementação de boas praticas ao nível da gestão energética, observadas com uma visita ao local.

3.8 Discriminação dos consumos energéticos

Depois de conhecidos o consumo médio anual é necessário conhecer quais os principais consumidores de energia e a sua contribuição para o consumo global do edifício.

3.8.1 Repartição dos consumos energéticos

Como edifício de serviços, os principais consumidores de energia destinam-se à climatização (AVAC), iluminação e equipamentos, repartindo-se da seguinte forma:



Figura 27 - Repartição do consumo de energia no ano 2020 e 2021.

O sector do AVAC é o que representa maior consumo, englobando todo o sistema de climatização distribuído pelo edifício (anexo I), este sistema apresenta um funcionamento desregulado funcionando por vezes 24h durante todos os dias nos

meses de inverno e nos meses de verão é ligado de uma forma esporádica mediante as necessidades de arrefecimento do edifício. Os equipamentos apresentam-se como o segundo maior consumidor, englobando bastidores e servidores informáticos, os computadores, impressoras, equipamentos de laboratório e equipamentos das copas existentes. E, por último, temos a iluminação englobando todas as lâmpadas LED utilizadas no edifício.

Para obtenção destes dados foi utilizada a seguinte metodologia:

- O consumo dos equipamentos de climatização foi determinado através do levantamento dos valores do sistema centralizado implementado no edifício;
- A iluminação foi determinada a partir dos levantamentos de iluminação tendo em conta o regime de funcionamento real;
- O consumo dos equipamentos foi determinado a partir da diferença entre o consumo total e o somatório do AVAC e iluminação, tendo sido validado posteriormente através do levantamento dos equipamentos existentes no edifício e estimativa do seu funcionamento real.

Após a realização das medições conclui-se que a climatização neste edifício apresenta um consumo energético de aproximadamente 61 MWh no ano de 2020 e 70 MWh no ano de 2021. Estes valores são representativos de 75% do consumo total do edifício, sendo o maior influenciador do gasto energético.

O setor da iluminação, representa uma parcela pouco significativa de 12% no ano de 2020 e 11% no ano de 2021, consumindo aproximadamente 9,8 MWh no ano de 2020 e 9,7 MWh 2021. A iluminação não natural processa-se predominantemente a partir de lâmpadas LED. Os horários de funcionamento correspondem ao horário de trabalho dos colaboradores, com início por volta das 08h00 até as 19h00, de 2ª a 6ª, e aos horários de segurança sendo que estes utilizam algumas lâmpadas para iluminação durante o período da noite.

Por fim, o setor dos equipamentos foi responsável por 13% do consumo total no ano de 2020 e 14% no ano de 2021, sendo que a utilização destes equipamentos varia mediante as atividades existentes do edifício e utilização dos colaboradores. Os

equipamentos que estão constantemente ligados são os servidores e os equipamentos de refrigeração dos laboratórios e cozinha.

3.8 Propostas de melhoria na eficiência energética

Com a análise energética detalhada do Laboratório da Paisagem, ficaram conhecidas as áreas onde o potencial de economia de energia seria maior. Assim, tornou-se necessário averiguar e identificar quais as soluções a adotar e quais os benefícios energéticos que estas poderiam trazer.

Apresentam-se, de seguida, algumas propostas que visam a redução de custos energéticos do Laboratório da Paisagem, sem, contudo, diminuir a qualidade dos seus serviços e a manutenção do conforto dos seus colaboradores.

3.8.1 Adoção de um plano de gestão do funcionamento do AVAC

Após a análise dos consumos energéticos realizada nos capítulos anteriores, torna-se evidente a necessidade de implementar uma gestão rigorosa e sustentável da utilização da climatização no edifício.

Para isso foram sugeridos dois planos de funcionamento do AVAC, estes planos têm como objetivo anular o gasto energético no período de menor atividade do edifício (durante a noite) e o 1º plano tem como particularidade o deslastre dos consumos nas horas de ponta. Na tabela 6 estão demonstrados os períodos de funcionamento dos diferentes planos.

Tabela 6 - Planos de gestão de funcionamento do AVAC.

	Horário de funcionamento	Horas em funcionamento	Graus (Cº)¹⁹
1º Plano	07h00 – 11h00 13h00 – 19h00	10h	21
2º Plano	07h00 – 19h00	12h	21

A implementação destes planos foi testada no edifício num período de 26 dias, 13 dias cada um, no mês de abril de 2022. De forma a criar um período de referência, antes da implementação destes planos o consumo do edifício foi monitorizado sem

¹⁹ De acordo com o Decreto-Lei nº 243/86, a temperatura dos locais de trabalho, na medida do possível, deve oscilar entre os 18°C e 22°C, excetuando em determinadas condições climáticas em que poderá atingir os 25°C.

qualquer tipo de plano implementado. A tabela seguinte demonstra os consumos e os gastos económicos do período monitorizado:

Tabela 7 - Consumos e faturação da implementação dos Planos de gestão do AVAC, no mês de abril de 2022.

	Consumo (kWh)²⁰	Faturação (€)²¹	Redução (kWh)	Poupança (€)
Sem plano	3357	1003,7		
1º Plano	2970	884,7	387	119,0
2º Plano	2105	613,5	654	390,2

Analisando os resultados obtidos na tabela 7, podemos notar que apesar do 1º plano fazer um deslastre das horas de ponta e haver um menor número de horas em que o AVAC está em funcionamento, o plano que gera mais poupança em termos económicos e energéticos é o 2º plano. Teoricamente este não seria o resultado esperado e para retirar alguma conclusão dos mesmos existem alguns fatores que devem ser tidos em conta: o primeiro fator é o da temperatura, durante o período de implementação do 1º plano a média das temperaturas foi inferior (14,1°C) ao período de implementação do 2º plano (14,4°C²²), o que poderá ter levado a um esforço maior por parte da máquina para manter a temperatura pretendida no interior do edifício, traduzindo-se assim num maior gasto energético. O segundo fator é o facto dos colaboradores e seguranças terem livre acesso aos termostatos e controlo do AVAC o que poderá ter influenciado os dados obtidos, apesar da colocação de material expositivo para não alterar os períodos de funcionamento e temperaturas estipuladas, existe a possibilidade do não cumprimento destas diretrizes por parte dos mesmos. Segundo o Guia de boas práticas no âmbito do projeto “Por um Turismo Sustentável”²³, cada grau centígrado que se diminui ou aumenta na climatização, consegue-se uma poupança ou gasto energético na ordem dos 7-8%. O terceiro fator é o facto da máquina, no primeiro plano, ligar e desligar mais vezes o que poderá fazer com que consuma mais energia no arranque e posteriormente a estabilizar novamente a temperatura no edifício.

²⁰ Estes valores foram consultados na plataforma da E-REDES e divididos pelos diferentes períodos horários (Ponta, Cheia, Vazio e Super Vazio).

²¹ Para o cálculo destes valores foram utilizados os preços unitários no anexo V.

²² Dados da estação meteorológica do Município de Guimarães.

²³ <http://www.porumturismosustentavel.pt/db/documentos/1081.1.1.5e31a022104bd.pdf>

Mantendo presente os fatores supracitados, estes planos foram novamente implementados e motorizados no período verão. Este novo estudo teve como objetivo analisar e validar qual o plano mais adequado tendo em conta períodos de temperatura diferentes. Assim, estes planos foram implementados novamente no mês de julho de 2022, como apresentado na tabela 8.

Tabela 8 - Consumos e faturação da implementação dos planos de gestão do AVAC, no mês de julho de 2022.

	Consumo (kWh)	Faturação (€)	Redução (kWh)	Poupança (€)
Sem plano	3357	1003,7		
1º Plano	2531	757,7	826	246
2º Plano	2209	662,6	1148	341

Analisando os resultados obtidos na tabela 8, podemos notar novamente que o plano que gera uma maior poupança em termos económicos e energéticos é o 2º plano.

Posto isto, analisando os resultados obtidos, é possível aferir que o 2º plano é a melhor opção para uma maior poupança energética. Porém, será necessário aumentar o período de monitorização, testando o desempenho dos dois planos em períodos mais alargados, reduzir os acessos à regularização da climatização do edifício e criar um banco de dados de referência para acompanhar a evolução do consumo do AVAC.

Contudo, o facto de haver uma preocupação com a gestão do funcionamento do AVAC, fez com que no mês de abril de 2022 houvesse uma poupança de 934 kWh relativamente ao mês homologado de 2021. Isto traduz-se numa poupança de 160,6€ no final do mês. Concluindo-se, com segurança, que uma melhor gestão do funcionamento do AVAC, pode traduzir-se numa poupança energética apreciável no final do ano.

Para além da implementação destes planos de gestão do funcionamento do AVAC, foi analisada a possível vantagem de substituir o *chiller* existente por um equipamento mais eficiente. Utilizando as ferramentas do Programa de eficiência de Recursos na Administração Pública, ECO.AP, foi possível determinar o resultado indicativo da implementação desta medida de melhoria da eficiência energética (Anexo V).

Uma vez que o *chiller* existente apresenta um coeficiente de desempenho (COP)²⁴ de 3,1 e um rácio de eficiência energética (EER)²⁵ de 2,8, a substituição do equipamento mostrou-se inviável devido ao período de retorno ser muito alongado no tempo, 27 anos para o aquecimento e 35,1 anos para o arrefecimento.

3.8.2 Implementação de um sistema de energia renovável

A obtenção de energia a partir de uma fonte de energia renovável pode contribuir para um aumento da eficiência energética, pois ao ser produzido parte da energia que é necessária para suprir as necessidades energéticas do edifício, menos será necessário recorrer à energia da rede. Posto isto, foi projetada uma central fotovoltaica de autoconsumo para o edifício em questão.

Tendo em conta a falta de disponibilidade de área circundante para a instalação de painéis fotovoltaicos, e visando suprir significativamente as necessidades energéticas do edifício, o dimensionamento foi pensado para ser instalado na cobertura do mesmo. Como podemos observar na figura 28, a instalação fotovoltaica seria instalada na cobertura disponível do edifício. Os quadrantes orientados a Este da cobertura do edifício do Laboratório da Paisagem, tem uma área útil para a instalação de módulos fotovoltaicos de 243 m² e foi estimada uma inclinação de 12°. É importante referir que nenhuma zona do telhado está suscetível de qualquer sombreamento.

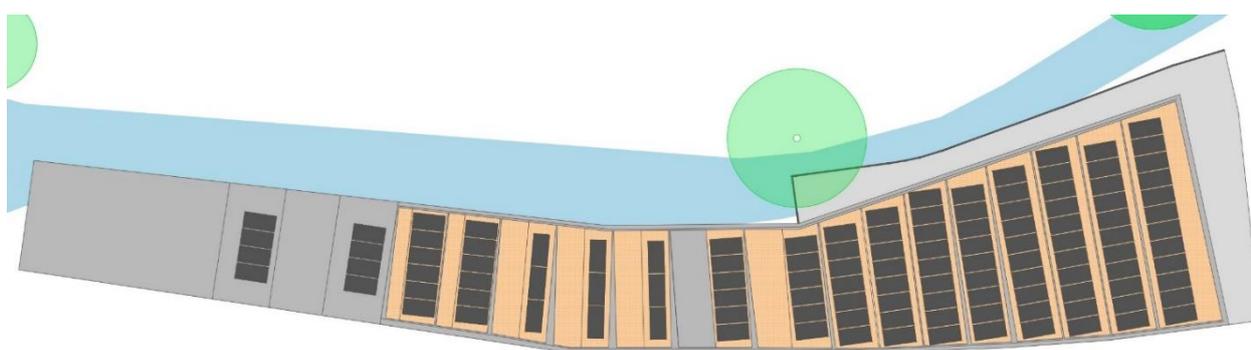


Figura 28 – Simulação de uma proposta de implementação para a instalação fotovoltaica na cobertura do edifício do Laboratório da Paisagem, utilizando como ferramenta o programa AutoCAD.

²⁴ Indicador utilizado para demonstrar a eficiência energética de aquecimento de uma bomba de calor, um refrigerador ou um sistema de ar condicionado. Quanto maior o COP de um sistema, maior será a sua eficiência energética, menor o consumo de energia e menos os custos operacionais.

²⁵ Indicador utilizado para demonstrar a eficiência de arrefecimento de uma bomba de calor, um refrigerador ou um sistema de ar condicionado.

Tendo em consideração a área disponível, poderão ser instalados 118 módulos fotovoltaicos monocristalinos com uma potência de 545 W, pelo que a potência nominal da instalação será 64,31 kW. Os módulos fotovoltaicos escolhidos foram da marca Solar Jinko, modelo JKM545M-72HL4, com um rendimento de 21,13% e com as seguintes dimensões 2,27 x 1,13 metros. O catálogo dos mesmos encontra-se no anexo VII.

O inversor escolhido foi o SUN2000-60KTL-M0. As principais razões que levam à sua escolha basearam-se na sua potência nominal, que se situa entre 70% e 120% da Potência DC instalada, tal como o facto de ser um inversor com uma frequência de funcionamento de 60 Hz. O rendimento de conversão apresentado é de 98,5%. O catálogo do inversor escolhido encontra-se no anexo VIII.

Analisando o inversor escolhido e o tipo de módulos utilizado, o número de painéis que podem ser instalados em serie está compreendido entre os cinco e as vinte e um painéis. Tendo em conta os números de módulos necessários poderão ser colocados vinte em serie distribuídos por seis fileiras.

Para o cálculo da produtividade mensal da instalação dos módulos fotovoltaicos (figura 29), foi utilizada a ferramenta *Performance of Grid-Connected PV*, disponível na plataforma PVGIS. Tendo em conta o local de instalação do sistema, foi considerada uma inclinação de 12°, um azimute de 106° e 14% de perdas por parte do sistema. Posteriormente, utilizando o programa Microsoft Excel, foi realizada uma análise financeira do investimento.

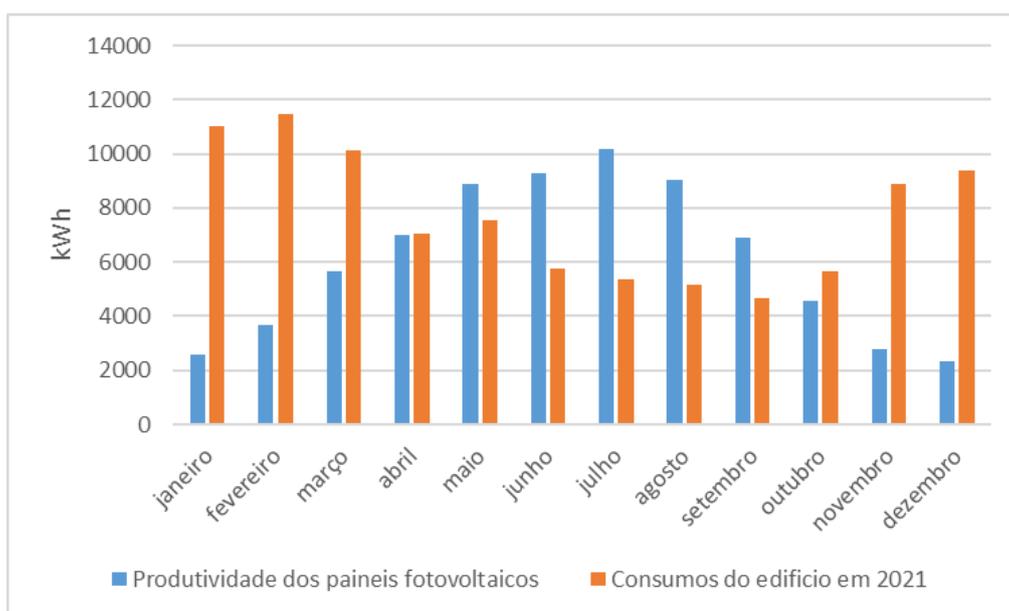


Figura 29 - Produtividade anual da instalação fotovoltaica e consumos do edifício no ano de 2021.

Estes módulos fotovoltaicos teriam uma produção estimada anual de 72 MWh. Ao comparar esta estimativa com os consumos anuais do edifício, cerca de 92 MWh totais em que 54 MWh são consumidos em horário de ponta e cheia. Deste consumo, cerca de 45 MWh poderão ser supridos pela energia dos painéis fotovoltaicos. Assim, é possível prever uma taxa de 49,2% de poupança anual em kWh, uma vez que estes painéis apenas vão suprir as necessidades do edifício nas horas de ponta e cheia (durante o período de horário solar). Apesar de uma estimativa de 55% de energia excedentária produzida nos meses de maio, junho, julho, agosto e setembro, este dimensionamento será o mais vantajoso na tentativa de suprir o maior consumo possível do edifício no período de invernos e menor irradiação, tendo em conta a área disponível para a instalação. Para além disso esta energia excedentária será dimensionada para venda à rede.

De acordo com a análise dos diagramas de carga do edifício e estimativa do horário de produção dos módulos fotovoltaicos nos meses de inverno e verão (figura 30 e 31), calcula-se uma poupança anual de 13.877,25€²⁶.

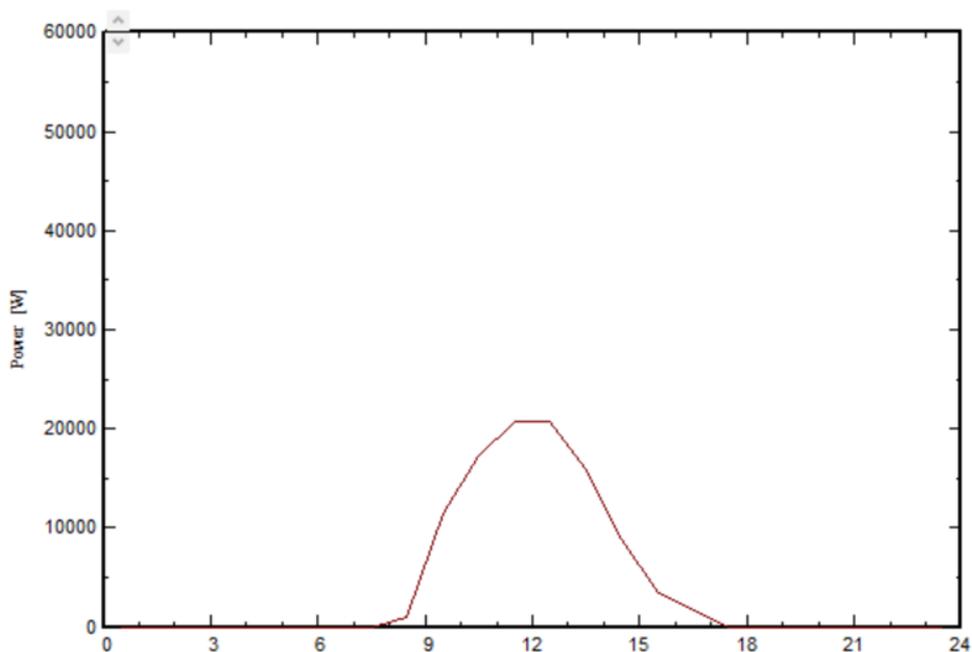


Figura 30 - Horário de produção de energia do painel fotovoltaico no mês de janeiro na localização do edifício do Laboratório da Paisagem (Fonte: Programa Pvsyst).

²⁶ Tendo por base a faturação no ano de 2021.

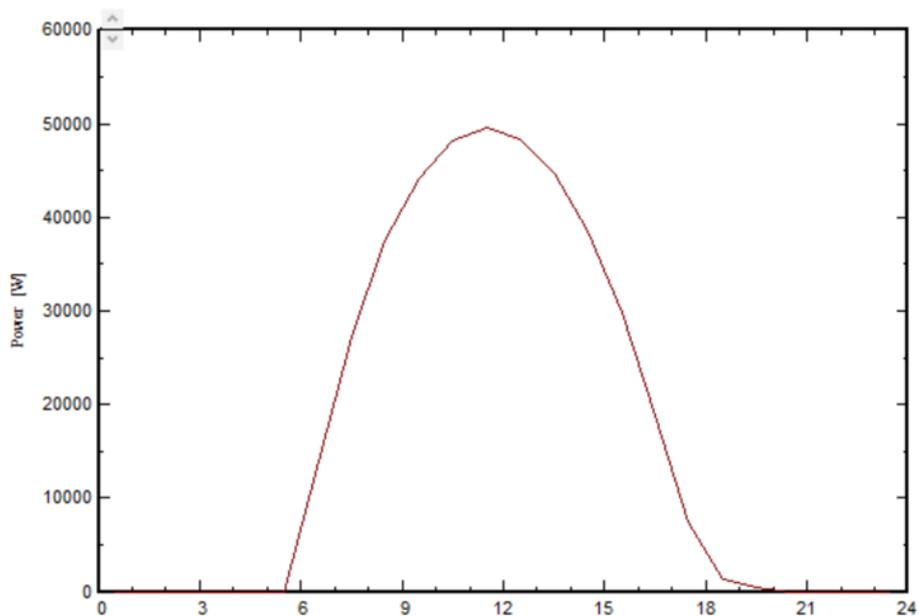


Figura 31 - Horário de produção de energia do painel fotovoltaico no mês de agosto na localização do edifício do Laboratório da Paisagem (Fonte: Programa Pvsyst).

De forma a conhecer o retorno económico que o sistema solar fotovoltaico terá, foi feito um quadro com os cash-flows a 20 anos, tendo em consideração a venda de energia à rede.

Para a realização deste quadro, foram tidos em consideração os seguintes pressupostos:

- Investimento para a instalação de 51 879,12 € (onde estão incluídos 118 painéis com um valor de 230€ cada unidade, 3150,00€ para o inversor, estimativa de 10 000€ para a mão de obra e 5055,84€ para a estrutura de suporte, cabos e ligadores);

- Valor de 650€ para o primeiro ano de manutenção (valor da potência instalada \times 10 €/kW) e nos anos seguintes uma taxa de aumento de 3%;

- Preço de venda de energia solar de 0,04 €/kWh;

- Taxa de degradação anual de 0,55%;

- Taxa de aumento de combustível de 5%;

- Taxa de desconto de 1%.

Tabela 9 - Cash-flows investimento a 20 anos.

Ano	Despesas manutenção	Venda da energia em excesso	Poupança no gasto energético da rede	Poupança + Venda - Despesas	Valor presente: Poupança + Despesas	Fluxo de caixa
0				0,00 €	0,00 €	-51 879,12 €
1	650,00 €	718,85 €	13 877,25 €	13 946,10 €	13 808,02 €	-38 071,10 €
2	669,50 €	704,30 €	14 571,11 €	14 605,91 €	14 318,12 €	-23 752,98 €
3	689,59 €	689,83 €	15 299,67 €	15 299,91 €	14 849,94 €	-8 903,04 €
4	710,27 €	675,42 €	16 064,65 €	16 029,80 €	15 404,32 €	6 501,28 €
5	731,58 €	661,09 €	16 867,88 €	16 797,40 €	15 982,15 €	22 483,43 €
6	753,53 €	646,83 €	17 711,28 €	17 604,58 €	16 584,31 €	39 067,74 €
7	776,13 €	632,65 €	18 596,84 €	18 453,35 €	17 211,78 €	56 279,52 €
8	799,42 €	618,53 €	19 526,68 €	19 345,79 €	17 865,52 €	74 145,03 €
9	823,40 €	604,48 €	20 503,02 €	20 284,10 €	18 546,56 €	92 691,59 €
10	848,10 €	590,51 €	21 528,17 €	21 270,57 €	19 255,97 €	111 947,57 €
11	873,55 €	576,60 €	22 604,58 €	22 307,63 €	19 994,86 €	131 942,43 €
12	899,75 €	562,76 €	23 734,81 €	23 397,82 €	20 764,38 €	152 706,80 €
13	926,74 €	549,00 €	24 921,55 €	24 543,80 €	21 565,72 €	174 272,52 €
14	954,55 €	535,30 €	26 167,62 €	25 748,38 €	22 400,13 €	196 672,65 €
15	983,18 €	521,67 €	27 476,01 €	27 014,49 €	23 268,92 €	219 941,57 €
16	1 012,68 €	508,11 €	28 849,81 €	28 345,23 €	24 173,42 €	244 114,99 €
17	1 043,06 €	494,61 €	30 292,30 €	29 743,85 €	25 115,04 €	269 230,02 €
18	1 074,35 €	481,18 €	31 806,91 €	31 213,74 €	26 095,23 €	295 325,25 €
19	1 106,58 €	467,83 €	33 397,26 €	32 758,50 €	27 115,52 €	322 440,77 €
20	1 139,78 €	454,53 €	35 067,12 €	34 381,87 €	28 177,47 €	350 618,25 €

As colunas da tabela 9 representam:

- “Despesas de manutenção”: Preço das despesas associadas à manutenção, considerando 10€ por kW instalado. Para o cálculo dos valores nos anos seguintes foi considerada uma taxa de aumento de 3%;

- “Venda da energia em excesso”: Preço de venda anual da energia produzida pela instalação fotovoltaica tendo em conta a taxa de degradação anual de 0,55% dos painéis e o preço de venda da energia;

- “Poupança do gasto energético da rede”: Preço faturado pelo edifício em horas de ponta e cheia no primeiro ano e posterior aumento tendo em conta a taxa de aumento do combustível;

- “Poupança + venda – despesas”: Valor da poupança total, este valor é calculado através da soma da venda de energia à rede com a poupança no gasto energético em horas de ponta e cheia, subtraindo as despesas anuais de manutenção;

- “Valor presente: poupança + Despesas”: Valor atual da poupança que será alcançada no futuro, aplicando uma taxa de desconto de 1%;

- “Fluxo de caixa”: Fluxo de dinheiro considerando o investimento inicial e a poupança que será conseguida ao longo dos anos.

Conclui-se que este é um investimento viável, uma vez que se estima que será suprido 49,2% do consumo do edifício, restando ainda energia para a venda à rede ou para a criação de uma comunidade energética. Para além disso, a partir do 4º ano dá-se o retorno do capital investido e ao final de 20 anos poderá ser gerada uma receita na ordem dos 350.618,25€.

3.8.3 Desativação de lâmpadas e instalação de sensores de movimento

Embora a percentagem de consumo do sector de iluminação no Laboratório da Paisagem seja baixa e já tenham sido substituídas as todas as lâmpadas por lâmpadas LED, apresentam-se de seguida algumas medidas com o objetivo de potenciar a redução do consumo de energia e otimizar os sistemas existentes:

- Instalação de sensores de movimento na cozinha e casas de banho, nomeadamente sensores infravermelhos (detetam calor) ou ultrassónicos que desativam a luz quando o espaço fica desocupado. Durante a monitorização do edifício e consulta junto dos colaboradores, notou-se que as luzes da cozinha e casa de banho (6 lâmpadas com uma potência de 20W) ficam ligadas durante 24h, 365 dias no ano, traduzindo-se em 1036 kWh num ano e num gasto de 309€ anuais. Com a implementação desta medida pode ser alcançada uma poupança de 847,5 kWh por ano e 252,12€ anuais.

- Desativação alternada das lâmpadas da zona da biblioteca e do auditório. Passando de uma utilização de 104 lâmpadas durante o período de trabalho (8h) para uma utilização de 48 lâmpadas para fazer face à iluminação destes locais, poderá ser alcançada uma poupança de 2365 kWh e 706€ anuais (consumo inicial de 4393 kWh e 1311€).

3.8.4 Outras sugestões de melhoria

De seguida, são apresentadas algumas propostas qualitativas, não tendo sido possível determinar com precisão os seus custos/poupanças associadas.

- Medidas com possível investimento inicial:
 - Implementação de blackout nas janelas, principalmente na fachada orientada a sul, de forma a minimizar a entrada de calor no verão;
 - Pintura de cores claras da cobertura a Oeste do edifício, de forma a minimizar a absorção de calor por parte da cobertura e diminuir as altas temperaturas sentidas no piso 1;
 - Reparação da estrutura física do edifício de forma a minimizar as perdas de calor no inverno e ganhos no verão;
 - Instalação de caixilharias de corte térmico;
 - Emissão do certificado energético, de forma a poder haver um estudo mais integrado e pormenorizado para identificar possíveis patologias construtivas, melhorias no conforto térmico e consequentemente redução das necessidades de energia e gasto na fatura energética;
 - Na compra de equipamentos elétricos, optar por equipamentos mais eficientes e fazer uma análise financeira para a substituição, daqueles com mais de dez anos.
- Medidas comportamentais ou de investimento nulo:
 - Instalação de um equipamento de monitorização de energia;
 - Regular e manter constante as temperaturas do termostato dos frigoríficos para temperaturas ideais de conservação dos alimentos (+3 a +5°C) e no congelador (-18°C). Temperaturas inferiores aumentam os consumos em cerca de 10%, podendo também estragar alguns alimentos;
 - Colocação de notas adesivas nos quadros gerais, de forma a identificar quais as luzes a ser utilizadas de forma a potenciar a redução do custo energético;
 - Se possível, não climatizar áreas do edifício que não estejam a ser ocupadas;
 - Evitar o funcionamento contínuo dos sistemas AVAC, como abordado no capítulo 3.8.1;

- Formação dos colaboradores sobre os ajustes de temperatura no AVAC, manter as temperaturas dos termostatos no intervalo aconselhado (Entre os 18°C para o aquecimento e os 25°C para o arrefecimento²⁷);
- Restrição do acesso à programação e ativação do sistema AVAC;
- Desligar arcos quando não estão a ser utilizadas;
- Não deixar equipamentos ligados quando não estão a ser utilizados;
- Utilizar multi tomadas para ligar e desligar vários equipamentos associados;
- Ativar as opções de “stand-by” e hibernação para pequenos períodos de ausência e desligar em grandes períodos de ausência;
- Utilização de material informativo positivo de modo a consciencializar os utilizadores do impacto ambiental dos consumos do edifício. Utilização consciente da climatização, da iluminação, dos vários equipamentos elétricos, da água, entre outros;
- Efetuar regularmente a manutenção de todos os equipamentos;
- Realizar um documento único, pormenorizado, com todos os equipamentos consumidores de energia instalados e histórico dos consumos no edifício;
- Sensibilizar e formar os colaboradores para uma utilização sustentável da energia do edifício.

²⁷ <https://www.adene.pt/wp-content/uploads/2022/09/Plano-de-Poupanca-de-Energia-2022-2023.pdf>

4. Conclusões

O compromisso com a neutralidade carbónica até 2050 e a dependência energética externa colocam desafios às organizações na busca de alternativas que supram as suas necessidades energéticas, sendo uma delas a aposta na eficiência energética. Os consumidores, individualmente, não controlam o preço da energia nem as políticas energéticas nacionais, mas controlam como gerem e consomem energia.

No caso particular de Guimarães, os esforços para se tornar uma cidade mais sustentável têm sido notórios. Recentemente, constituiu-se como uma das 100 cidades europeias com o compromisso de se tornarem climaticamente neutras até 2030. Desta forma, alinham-se com os objetivos europeus e, sendo cidades pioneiras, têm a possibilidade de participar em ações de inovação e projetos-piloto nesta matéria.

No setor dos edifícios, existem várias medidas de eficiência energética que podem ser consideradas e colocadas em prática. O aumento da eficiência energética, em conjunto com uma boa gestão das necessidades energéticas dos edifícios, permite atingir menores consumos e, conseqüentemente, uma poupança significativa nas faturas de energia. Esta diminuição contribui para a preservação dos recursos energéticos, mitigação dos efeitos do aquecimento global e potencia a sustentabilidade ambiental, social e económica.

No município de Guimarães, o setor dos edifícios sobre a alçada municipal ocupa uma fatia de 28% nos consumos energéticos totais do município. No âmbito da redução dos consumos energéticos e almejando a neutralidade climática em Guimarães, este estudo procura ser um contributo para esse objetivo, apresentando uma proposta de metodologia que poderá vir a ser replicada noutros edifícios.

Durante o estudo, realizou-se o levantamento possível do modo de funcionamento do edifício, atividades que decorrem no mesmo, do comportamento dos colaboradores no edifício, dos horários e dos equipamentos consumidores de energia. Analisaram-se as faturas de eletricidade para os anos de 2020 e 2021 e foram apresentados alguns indicadores de desempenho. Para além disso, averiguaram-se os consumos de equipamentos de forma a efetuar a desagregação dos consumos.

A análise realizada ao Laboratório da Paisagem, permitiu concluir que, no que diz respeito ao consumo de eletricidade, a climatização é responsável por cerca de 75% do consumo total, a iluminação por 14% e os equipamentos 11%.

O horário contratado é o diário, verificando-se maior consumo no período de cheia, justificado pela maior taxa de utilizadores nas suas instalações. Segundo os anos em análise, tendencialmente, o período em que ocorre uma diminuição dos consumos é o período de verão, devido ao aumento das temperaturas e consequente diminuição das necessidades de climatização do edifício. Para além disso, a diminuição de utilização do edifício neste período também influencia este decréscimo.

No âmbito da climatização, tendo em conta que esta apresenta a maior fatia de consumo, foi proposta a implementação de dois planos de gestão do funcionamento do AVAC. A implementação do segundo plano, apesar do maior número de horas em funcionamento, traduz-se numa maior poupança económica e energética.

De forma a suprir as necessidades energéticas do Laboratório da Paisagem através de uma alternativa mais sustentável, foi dimensionado um sistema fotovoltaico. Este sistema, apresenta-se como um investimento viável, com um custo total aproximado de 52.000€, com retorno do capital investido no 4º ano, estimando-se uma poupança de energia consumida à rede de cerca de 49,2% em kWh.

Para a iluminação foi proposta a colocação de sensores em luzes ligadas 24h e desativação de luzes desnecessárias. O que se traduzirá numa poupança de 3212,5 kWh e 958,12€ anuais.

Para além destas medidas quantitativas, sugerem-se medidas qualitativas que podem ser colocadas em prática de forma a otimizar o consumo de alguns espaços e equipamentos específicos, apelando a todos os utilizadores do edifício a um uso consciente, com menor desperdício energético.

4.1.1 Trabalhos futuros

Dado a análise efetuada ao edifício, para melhoria deste estudo, são sugeridas algumas hipóteses para desenvolvimentos futuros:

- Estudo mais aprofundado do sistema de climatização do edifício, inventariação dos equipamentos e modos de funcionamento ao longo do tempo;
- Recuperação do controlo remoto do sistema centralizado AVAC;
- Acompanhamento da evolução da utilização e dos consumos energéticos do edifício;
- Estudo da viabilidade de algumas medidas que não foram passíveis de avaliação;
- Explorar o impacto de diferentes perfis de uso de ocupação em simulação dinâmica, por exemplo em EnergyPlus ou DesingBuilder.
- Aplicação destas medidas noutros edifícios do Município de Guimarães;
- Ação de formação para a uma boa gestão energética do edifício aos colaboradores e dirigentes;
- Instalação de um sistema informativo, onde serão apresentados os consumos em tempo real do edifício do Laboratório da Paisagem.

Referências

- Adebayo, Tomiwa S, Agboola, M. O., Rjoub, H., Adeshola, I., Agyekum, E. B., & Kumar, N. M. (2021). Linking Economic Growth, Urbanization, and Environmental Degradation in China: What Is the Role of Hydroelectricity Consumption? In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 18, Issue 13). doi: 10.3390/ijerph18136975
- Adebayo, Tomiwa Sunday, & Kirikkaleli, D. (2021). Impact of renewable energy consumption, globalization, and technological innovation on environmental degradation in Japan: application of wavelet tools. *Environment, Development and Sustainability*, 23(11), 16057–16082. doi: 10.1007/s10668-021-01322-2
- ADENE, O. da E. D. (2022). *Energia em números . Edição 2022*. Retrieved from https://www.observatoriodaenergia.pt/wp-content/uploads/2022/06/Energia_em_numeros_2022_20062022.pdf
- AEA. (2021). *Energia*. Retrieved from <https://www.eea.europa.eu/pt/themes/energy/intro>
- APA. (2022). *Inventário Nacional de Emissões 2022*. 2022.
- Asdrubali, F., & Desideri, U. B. T.-H. of E. E. in B. (Eds.). (2019). *Chapter 9 - Energy Efficiency in Building Renovation* (pp. 675–810). Butterworth-Heinemann. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812817-6.00042-5>
- Attia, S. (2018). *Chapter 1 - Introduction to NZEB and Market Accelerators* (S. B. T.-N. Z. E. B. (NZEB) Attia (Ed.); pp. 1–20). Butterworth-Heinemann. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812461-1.00001-0>
- Bhattacharyya, S. C. (2019). *Energy economics: concepts, issues, markets and governance*. Springer Nature.
- Ciucci, M. (2021). *Eficiência energética*. 1–6. Retrieved from <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/pt/sheet/69/eficiencia-energetica>
- Cohen, B. (2006). Urbanization in developing countries: Current trends, future projections, and key challenges for sustainability. *Technology in Society*, 28(1), 63–80. doi: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2005.10.005>
- Cohen, S., & Dong, G. (2021). *The sustainable city*. Columbia university press.
- Contu, D., Kaya, O., & Kaya, I. (2021). Attitudes towards climate change and energy sources in oil exporters. *Energy Strategy Reviews*, 38, 100732. doi: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2021.100732>
- D’Agostino, D., Tzeiranaki, S. T., Zangheri, P., & Bertoldi, P. (2021). Assessing nearly zero energy buildings (NZEBs) development in Europe. *Energy Strategy Reviews*, 36, 100680.
- Dall’O’, G., Ferrari, S., Bruni, E., & Bramonti, L. (2020). Effective implementation of ISO 50001: A case study on energy management for heating load reduction for a social building stock in Northern Italy. *Energy and Buildings*, 219, 110029. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110029>

- DGEG, ADENE, I.-I. (2020). *Estratégia de Longo Prazo para a Renovação dos Edifícios (ELPRE)*. 1–81. Retrieved from https://anfaje.pt/wp-content/uploads/2020/08/ELPRE_Estrategia-Longo-Prazo-Reabilitacao-de-Edificios_Consulta-Publica_12.05.2020-1.pdf
- DGEG. (2021). *Balanço Energético Sintético 2021*. Retrieved from <https://www.dgeg.gov.pt/media/q3pphb2x/dgeg-bes-2021.pdf>
- ECO.AP. (2020). *Manual de Eficiência Energética*. 1–22. Retrieved from <https://www.ecoap.pt/wp-content/uploads/2019/01/Guia-1-Introdução-MEE.pdf>
- Friedlingstein, P., Jones, M. W., O’Sullivan, M., Andrew, R. M., Bakker, D. C. E., Hauck, J., Le Quéré, C., Peters, G. P., Peters, W., Pongratz, J., Sitch, S., Canadell, J. G., Ciais, P., Jackson, R. B., Alin, S. R., Anthoni, P., Bates, N. R., Becker, M., Bellouin, N., ... Zeng, J. (2022). Global Carbon Budget 2021. *Earth Syst. Sci. Data*, 14(4), 1917–2005. doi: 10.5194/essd-14-1917-2022
- Gielen, D., Gorini, R., Leme, R., Prakash, G., Wagner, N., Janeiro, L., Collins, S., Kadir, M., Asmelash, E., & Ferroukhi, R. (2021). *World energy transitions outlook: 1.5° C pathway*.
- Griffiths, S., Sovacool, B. K., Kim, J., Bazilian, M., & Uratani, J. M. (2021). Industrial decarbonization via hydrogen: A critical and systematic review of developments, socio-technical systems and policy options. *Energy Research & Social Science*, 80, 102208.
- Henderson, J., & Sen, A. (2021). *The energy transition: Key challenges for incumbent and new players in the global energy system* (Issue 01). OIES Paper: ET.
- IEA. (2021a). *Global Energy Review 2021*. Retrieved from <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021>
- IEA. (2021b). *Tracking Buildings 2021*. Retrieved from <https://www.iea.org/reports/tracking-buildings-2021>
- IEA. (2021c). *World Energy Outlook 2021*. Paris. Retrieved from <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>
- Jain, A. S., Saikia, P., & Rakshit, D. (2020). Thermal energy performance of an academic building with sustainable probing and optimization with evolutionary algorithm. *Thermal Science and Engineering Progress*, 17, 100374. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2019.100374>
- Kaper, W. H., & Goedhart, M. J. (2002). “Forms of energy”, an intermediary language on the road to thermodynamics? Part II. *International Journal of Science Education*, 24(2), 119–137.
- Le Guenedal, T., Lombard, F., Roncalli, T., & Sekine, T. (2022). Net Zero Carbon Metrics. Available at SSRN 4033686.
- Lovins, A. (2017). Energy efficiency. *Energy Economics*, 1, 234–258.
- Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (2012). Cambridge: Cambridge University Press. doi: DOI:

10.1017/CBO9781139177245

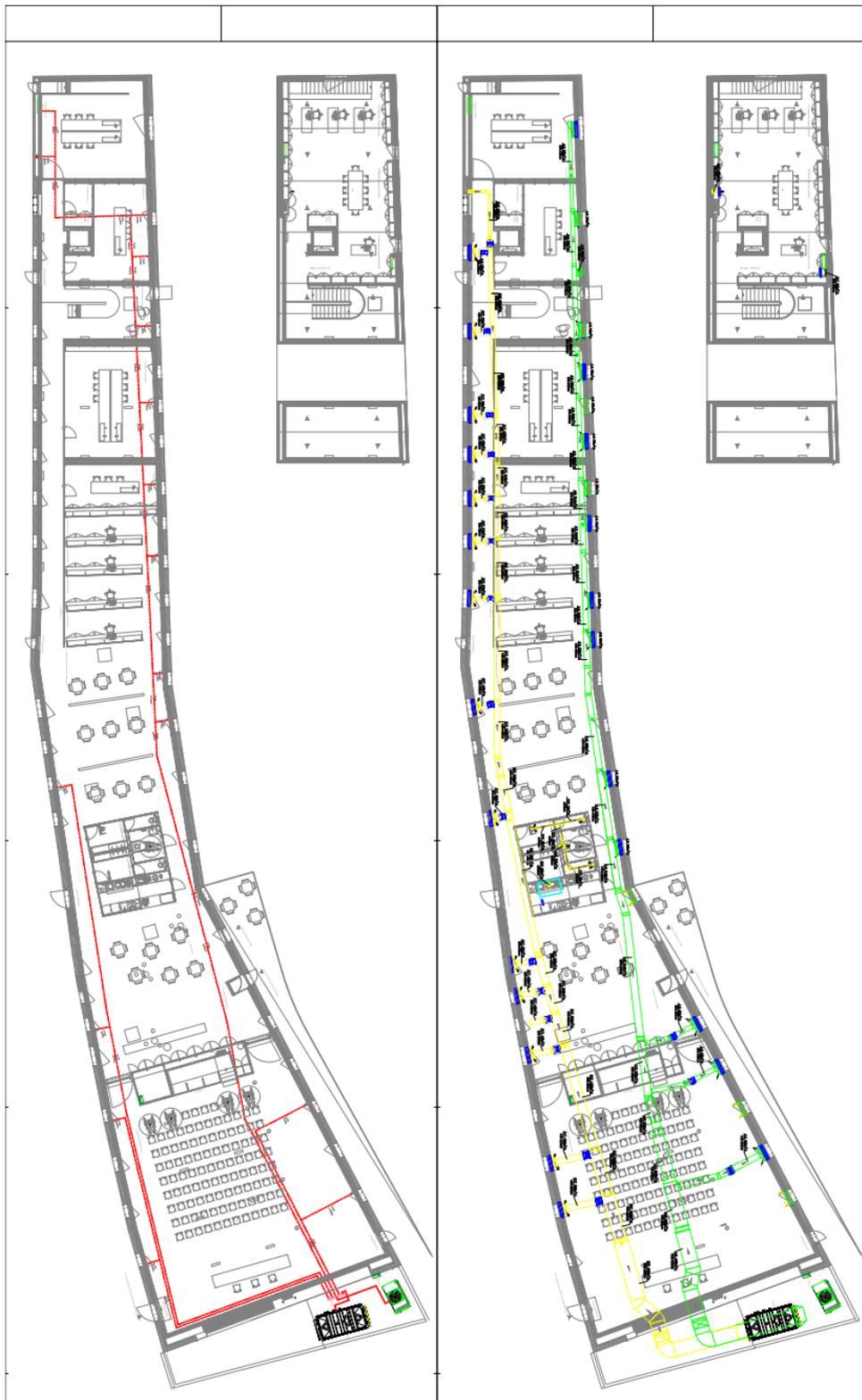
- Município de Guimarães. (2016). *Estratégia Municipal de Adaptação às Alterações Climáticas*. 1–144. Retrieved from https://www.cm-guimaraes.pt/cmguimaraes/uploads/writer_file/document/7277/emaac_guimaraes.pdf
- Niemets, K., Kravchenko, K., Kandyba, Y., Kobylin, P., & Morar, C. (2021). World cities in terms of the sustainable development concept. *Geography and Sustainability*, 2(4), 304–311. doi: <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2021.12.003>
- Nik, V. M., Perera, A. T. D., & Chen, D. (2021). Towards climate resilient urban energy systems: a review. *National Science Review*, 8(3), nwaa134. doi: 10.1093/nsr/nwaa134
- Ozturk, I., & Acaravci, A. (2016). Energy consumption, CO2 emissions, economic growth, and foreign trade relationship in Cyprus and Malta. *Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 11(4), 321–327. doi: 10.1080/15567249.2011.617353
- Palma, P., Gouveia, J. P., & Simoes, S. G. (2019). Mapping the energy performance gap of dwelling stock at high-resolution scale: Implications for thermal comfort in Portuguese households. *Energy and Buildings*, 190, 246–261.
- Pata, U. K. (2021). Renewable and non-renewable energy consumption, economic complexity, CO2 emissions, and ecological footprint in the USA: testing the EKC hypothesis with a structural break. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(1), 846–861. doi: 10.1007/s11356-020-10446-3
- Patiño-Cambeiro, F., Armesto, J., Bastos, G., Prieto-López, J. I., & Patiño-Barbeito, F. (2019). Economic appraisal of energy efficiency renovations in tertiary buildings. *Sustainable Cities and Society*, 47, 101503.
- PEE. (2010). *Portal da Eficiência energética*. Retrieved from <http://www.portal-eficienciaenergetica.com.pt/conceitos.html>
- PORDATA. (2022). *Consumo de energia elétrica por consumidor: total e por tipo de consumo*. Retrieved from [https://www.pordata.pt/Portugal/Consumo+de+energia+elétrica+por+consumidor+r+total+e+por+tipo+de+consumo-1231-10012](https://www.pordata.pt/Portugal/Consumo+de+energia+elétrica+por+consumidor+total+e+por+tipo+de+consumo-1231-10012)
- Sadeghian, O., Moradzadeh, A., Mohammadi-Ivatloo, B., Abapour, M., Anvari-Moghaddam, A., Lim, J. S., & Marquez, F. P. G. (2021). A comprehensive review on energy saving options and saving potential in low voltage electricity distribution networks: Building and public lighting. *Sustainable Cities and Society*, 72, 103064.
- Sadler, T. R. (2020). *Energy economics: Science, policy, and economic applications*. Lexington Books.
- Shaikh, I. (2022). Impact of COVID-19 pandemic on the energy markets. *Economic Change and Restructuring*, 55(1), 433–484.
- Woolley, K. E., Dickinson-Craig, E., Lawson, H. L., Sheikh, J., Day, R., Pope, F. D., Greenfield, S. M., Bartington, S. E., Warburton, D., & Manaseki-Holland, S. (2022).

Effectiveness of interventions to reduce household air pollution from solid biomass fuels and improve maternal and child health outcomes in low-and middle-income countries: A systematic review and meta-analysis. *Indoor Air*, 32(1), e12958.

Zhong, X., Hu, M., Deetman, S., Rodrigues, J. F. D., Lin, H.-X., Tukker, A., & Behrens, P. (2021). The evolution and future perspectives of energy intensity in the global building sector 1971–2060. *Journal of Cleaner Production*, 305, 127098.

Anexos

Anexo I – Planta e características do sistema de climatização do edifício



QUADRO DE VENTILADORES DE EXTRACÇÃO (VE):						
DESIGNAÇÃO	MARCA	MODELO	CAUDAL (m ³ /h)	ALIMENTAÇÃO ELÉCTRICA (kW/A)	DIMENSÕES (C×L×A mm)	PESO (kg)
VE 1	S&P	MIXVENT TH 800	200	0,14/0/0,58	(ø) 400× (A) 371	5,6

QUADRO DE VENTILCONVECTORES (VC):						
DESIGNAÇÃO	MARCA	MODELO	AQUECIMENTO (kW)	ARREFECIM. (kW)	DIMENSÕES (C×L×A mm)	PESO (kg)
VC 1	CARRIER	42NFS20F	2,54	2,08	877x532x221	19
VC 2	CARRIER	42NFS26F	3,68	3,00	877x532x221	19
VC 3	CARRIER	42NFS42F	5,55	4,00	1082x532x221	22

QUADRO DE CHILLERS (CH):					
DESIGNAÇÃO	MARCA	MODELO	POTÊNCIA CALORÍFICA (kW)	POTÊNCIA FRIGORÍFICA (kW)	Consumo amperes
CH1	CARRIER	30RQS060	55.0	56	48

QUADRO DAS UNIDADES DE TRATAMENTO DE AR (UTA):								
DESIGNAÇÃO	MARCA	MODELO	CAUDAL AR NOVO (m ³ /h)	CAUDAL EXTRACÇÃO (m ³ /h)	POTÊNCIA		FILTROS	
					AQUEC. (kW)	ARREFEC. (kW)		
UTA1	CIAT	AIRTECH 75	4.980	6.930	11.4	12.6	G4	F7

Anexo II – Tabela detalhada dos equipamentos do edifício

Quantidade	Equipamentos	W
1	Aparelho de medição meteorológica	0,3
1	Aparelho WiFi	330
2	Arcas Frigorificas	342
3	Bomba - Aquário Grande	69
1	Bomba de purificação de água (Aquário)	1,5
1	Bomba de purificação de água (Aquário)	3,5
1	Bomba de purificação de água (Aquário)	88
1	Computador Apple	33
1	Computador Apple	71
2	Computador Apple iMAC Nvidi Gforce	76
1	Computador Asus	90
1	Computador Asus	90
1	Computador Dell	638
1	Computador HP	120
1	Computador i7 - 9700	95
1	Computador Lenovo	90
1	Computador LG	24,7
1	Computador Portátil	330
1	Computador Portátil Acer	65
1	Dispositivo Internet Servidor	3
1	Estufa de Laboratório	2300
1	Huawei AR160 Series	24
1	Impressora	1716
1	Lâmpada UV (Observação de mioplásticos)	7,2

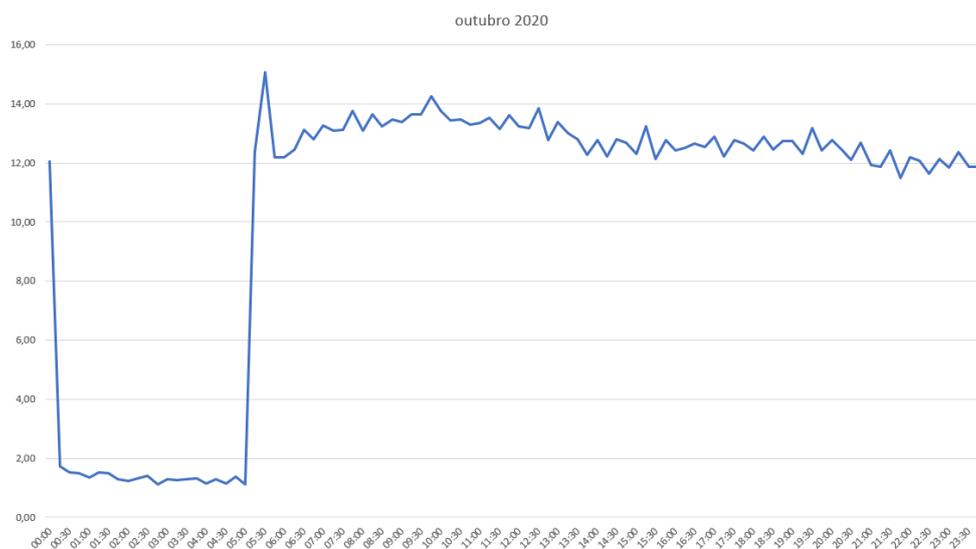
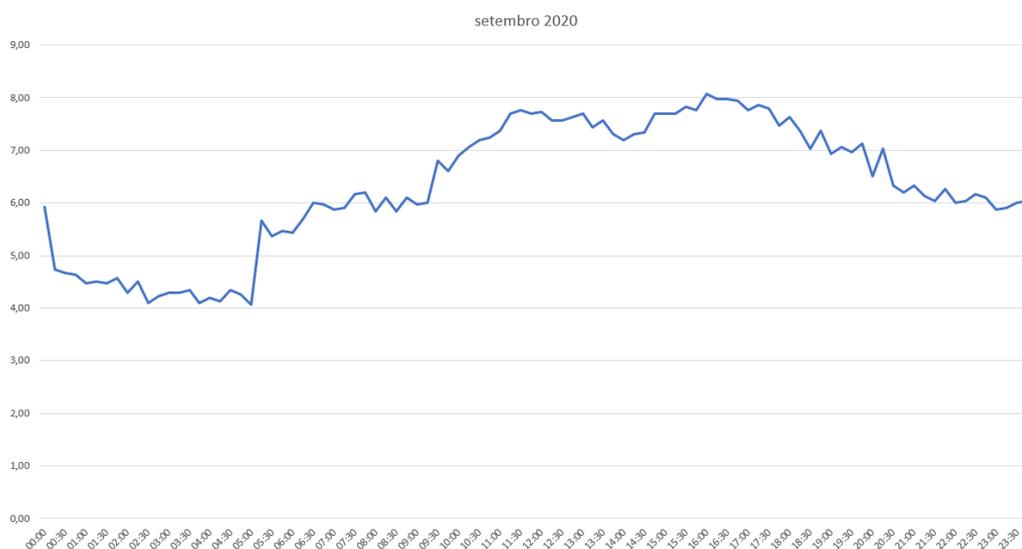
1	Lente microscópio	35
4	Luz para Aquários	40
1	Máquina de café	960
1	Máquina de café	1200
1	Máquina de café industrial	2830
1	Micro-ondas	900
1	Monitor do Servidor	29,96
1	Monitor LG	24,7
1	Router	3
1	Router	3
1	Router	12
1	Router	12
1	Router	15,2
1	Router Preto	170
1	Servidor Cisco	28,7
1	Servidor Cisco	28,7
1	Servidor Cisco	28,7
1	Telefone	3,84
3	Telefone	11,56
3	Telefones	11,52
1	Televisão	0,3
1	Televisão Interativa	1100
2	Televisão LG	420
1	Televisão Touch	440
1	Torre Computador	65
1	Torre Computador	250
1	Torre do servidor	65
1	Triturador de Café	352
	TOTAL	15647

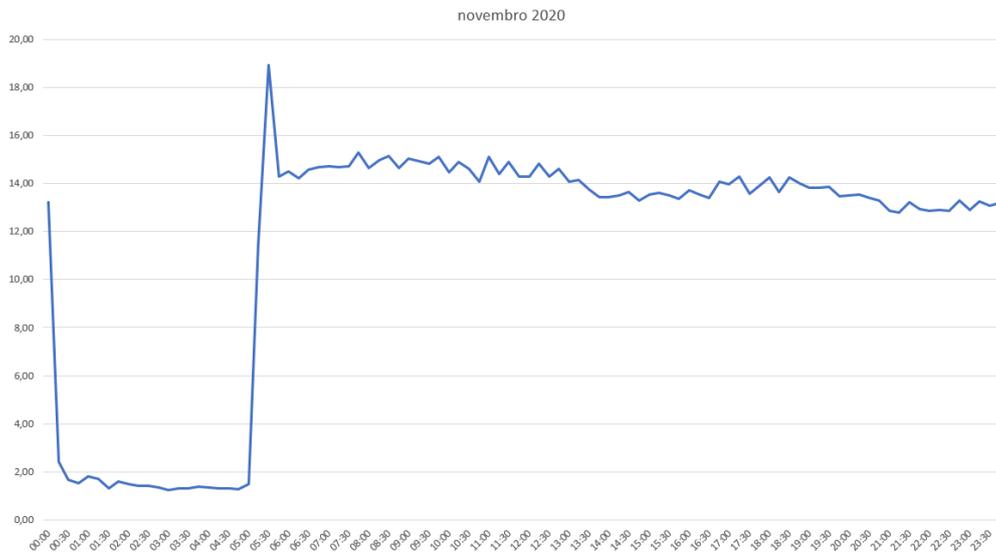
Anexo III – Tabelas de faturação energética de 2020 e 2021

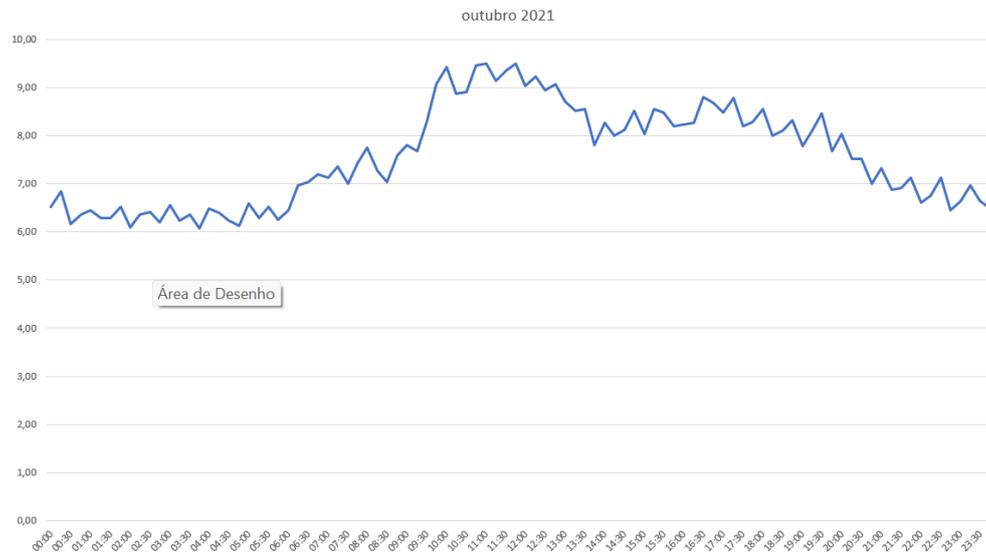
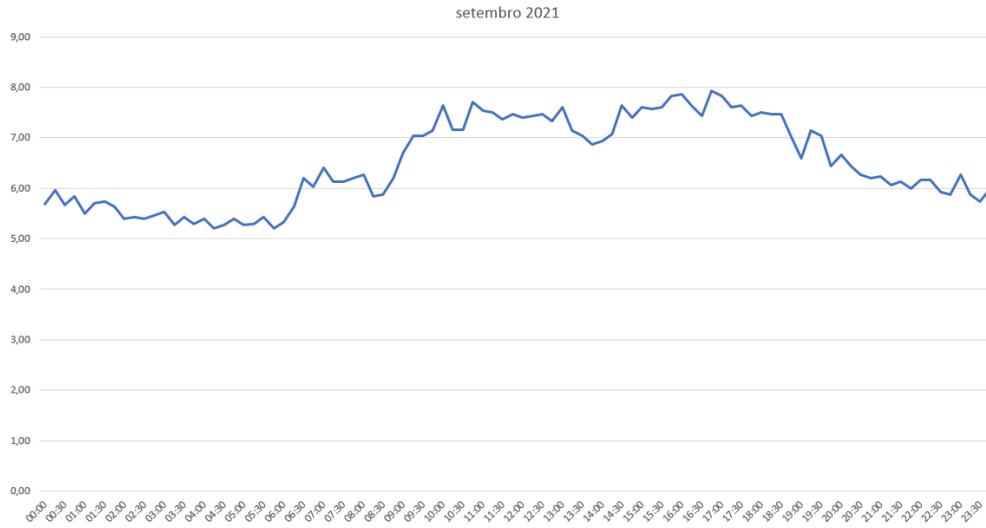
2020						
	Energia ativa (kWh)					Energia Reativa (kVArh)
	Horas S. vazio	Horas vazio	Horas de cheia	Horas de ponta	Total	
janeiro	901	1154	3081	1220	6356	793
fevereiro	1082	1829	2632	983	6526	1120
março	1493	2553	3568	1334	8948	2034
abril	1181	1893	3382	705	7161	1862
maio	934	1779	2780	560	6053	1422
junho	498	900	1863	405	3666	898
julho	893	1605	3503	727	6728	2046
agosto	714	1471	2497	491	5173	1285
setembro	546	1223	2290	479	4538	996
outubro	531	1911	4258	1055	7755	2064
novembro	565	2086	3995	1554	8200	2131
dezembro	645	2423	5604	2058	10730	3330
Total	9983	20827	39453	11571	81834	19981
Média	832	1736	3288	964	6820	1665

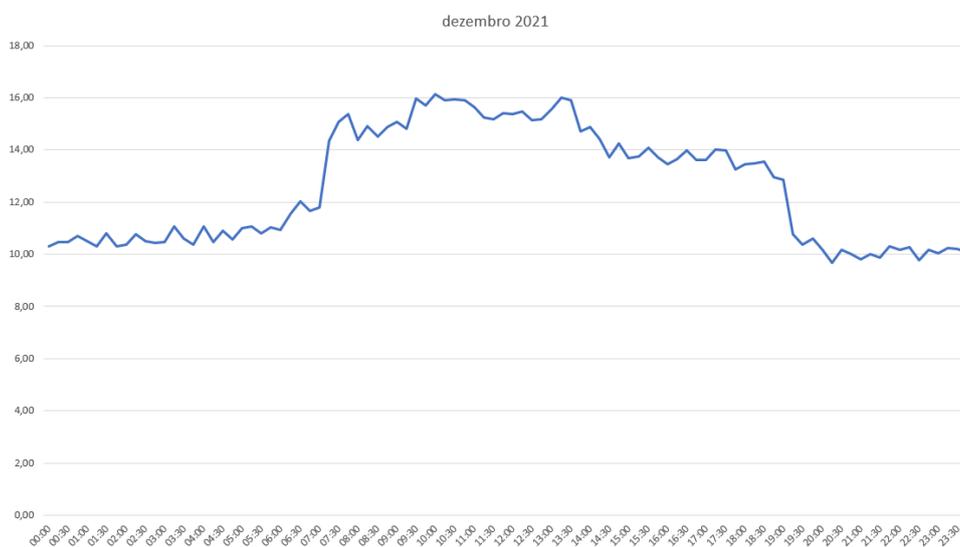
2021						
	Energia ativa (kWh)					Energia Reativa (kVArh)
	Horas S. vazio	Horas vazio	Horas de cheia	Horas de ponta	Total	
janeiro	1033	2786	5214	1973	11006	3257
fevereiro	1875	3192	4649	1760	11476	2701
março	1750	2666	4169	1528	10113	2238
abril	1113	1800	3410	724	7047	1435
maio	1224	2193	3361	745	7523	1409
junho	859	1470	2808	625	5762	1103
julho	714	1399	2689	568	5370	1082
agosto	708	1355	2582	536	5181	1146
setembro	642	1155	2357	532	4686	934
outubro	793	1603	2625	614	5635	933
novembro	1336	2085	3878	1611	8910	2040
dezembro	1336	2213	4217	1593	9359	2255
Total	13383	23917	41959	12809	92068	20533
Média	1115	1993	3497	1067	7672	1711
Variação (%)	34,1	14,8	6,4	10,7	12,5	2,8

Anexo IV – Diagramas de carga dos meses diferenciadores do edifício









Anexo V – Preços unitários (€/kWh)

Tabela III - Preços unitários (€/kWh).

Lote 2 - Baixa Tensão Especial (BTE)		
Ciclo	Descrição	Preço de Energia Ativa (€/kWh)
Ciclo Semanal	Horas de Ponta	0,3400 €
	Horas Cheias	0,3000 €
	Horas Vazio Normal	0,2800 €
	Horas Super Vazio	0,2800 €

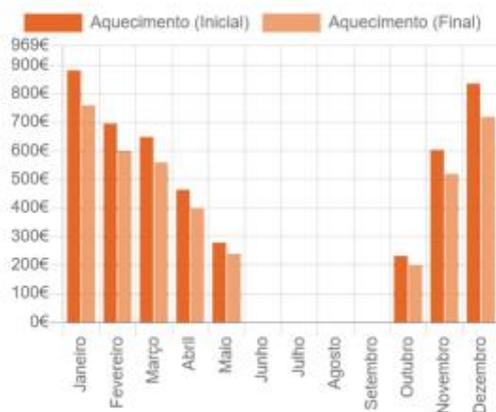
Anexo VI – Simulações na ferramenta do programa ECO.AP

...
Resumo - Resultados

Resultados	Aquecimento	
	Cenário Inicial	Cenário Final
Equipamento	Chiller Bomba de calor (aquecimento)	Chiller Bomba de calor (aquecimento)
Potência nominal	31 kW	31 kW
Rendimento	310%	360%
Fonte de energia	Energia Elétrica	Energia Elétrica
Consumo energético anual	15454 kWh	13308 kWh
Custos energéticos anuais	4636 €	3992 €
Resultados		
Redução anual do consumo de energia	2146 kWh	
Redução anual da fatura energética	644 € 14%	
Custo energético unitário	0.3 €/kWh	0.3 €/kWh
Investimento estimado *	17385 €	
Período de retorno	27.0 anos	
Resultados globais		
	Cenário Inicial	Cenário Final
Consumo total anual de energia do edifício	92068 kWh	89922 kWh
Consumo anual de energia para aquecimento	15454 kWh	13308 kWh
Rácio do consumo de energia para aquecimento relativamente ao consumo total de energia do edifício	17%	15%

* O investimento estimado incorpora os custos com equipamentos/tecnologia, com depósitos e/ou acessórios e os respetivos custos de instalação.

Custos Energéticos



...
Resumo - Resultados

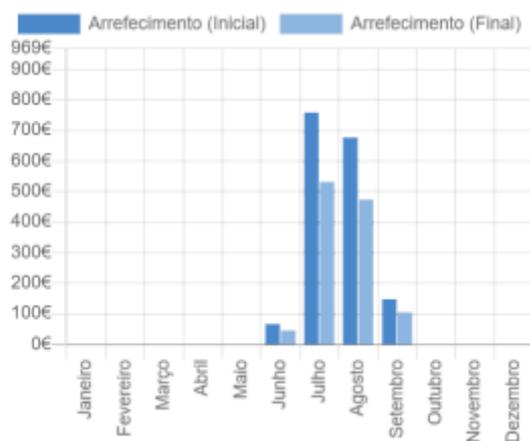
Resultados	Arrefecimento	
	Cenário Inicial	Cenário Final
Equipamento	Chiller (codensação a água)	Chiller (consensação a água)
Potência nominal	31 kW	31 kW
Rendimento	280%	400%
Fonte de energia	Energia Elétrica	Energia Elétrica
Consumo energético anual	5493 kWh	3845 kWh
Custos energéticos anuais	1648 €	1153 €

Resultados	
Redução anual do consumo de energia	1648 kWh
Redução anual da fatura energética	495 € 30%
Custo energético unitário	0.3 €/kWh
Investimento estimado *	17385 €
Período de retorno	35.1 anos

Resultados globais		
	Cenário Inicial	Cenário Final
Consumo total anual de energia do edifício	92068 kWh	90420 kWh
Consumo anual de energia para arrefecimento	5493 kWh	3845 kWh
Rácio do consumo de energia para arrefecimento relativamente ao consumo total de energia do edifício	6%	4%

* O investimento estimado incorpora os custos com equipamentos/tecnologia, com depósitos e/ou acessórios e os respetivos custos de instalação.

Custos Energéticos



Anexo VII – Catálogo do painel fotovoltaico utilizado

www.jinkosolar.com



Tiger Pro 72HC

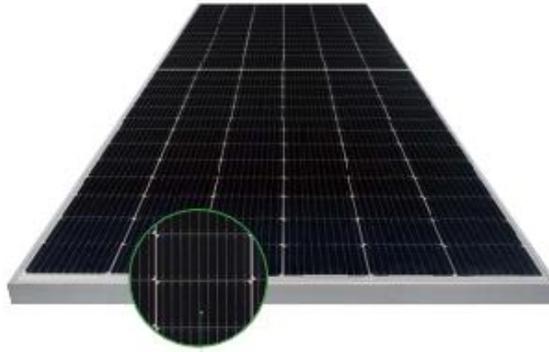
530-550 Watt

MONO-FACIAL MODULE

P-Type

Positive power tolerance of 0~+3%

IEC61215(2016), IEC61730(2016)
 ISO9001:2015: Quality Management System
 ISO14001:2015: Environment Management System
 ISO45001:2018
 Occupational health and safety management systems.



MBB HC Technology

Key Features



Multi Busbar Technology

Better light trapping and current collection to improve module power output and reliability.



Durability Against Extreme Environmental Conditions

High salt mist and ammonia resistance.



Reduced Hot Spot Loss

Optimized electrical design and lower operating current for reduced hot spot loss and better temperature coefficient.



Enhanced Mechanical Load

Certified to withstand: wind load (2400 Pascal) and snow load (5400 Pascal).

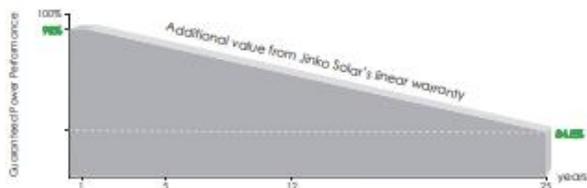


Longer Life-time Power Yield

0.55% annual power degradation and 25 year linear power warranty.



LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

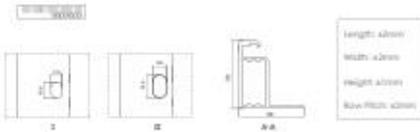
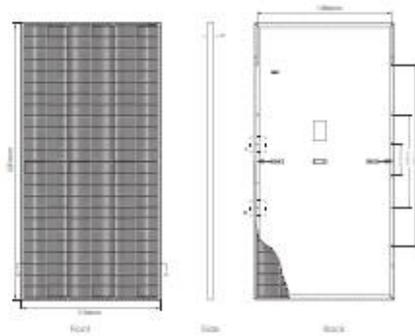


12 Year Product Warranty

25 Year Linear Power Warranty

0.55% Annual Degradation Over 25 years

Engineering Drawings

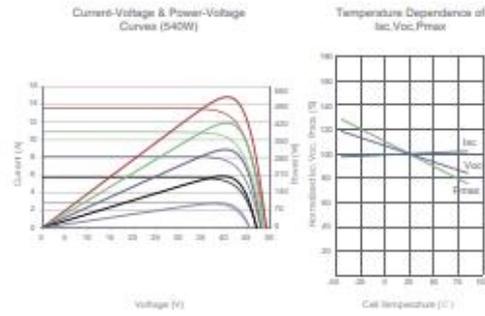


Packaging Configuration

(Two pallets + One stack)

31pcs/pallets, 62pcs/stack, 400pcs/ 40HQ Container

Bechtical Performance & Temperature Dependence



Mechanical Characteristics

Cell Type	P Type Mono-crystalline
No. of cells	144 (6×24)
Dimensions	2274×1134×35mm (89.53×44.65×1.38 inch)
Weight	28.9 kg (63.7 lbs)
Front Glass	3.2mm Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminum Alloy
Junction Box	IP68 Rated
Output Cables	10V, 1×4.0mm (+): 400mm, (-): 200mm or Customized Length

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM530M-72HL4		JKM535M-72HL4		JKM540M-72HL4		JKM545M-72HL4		JKM550M-72HL4	
	JKM530M-72HL4-V	JKM535M-72HL4-V	JKM540M-72HL4-V	JKM545M-72HL4-V	JKM550M-72HL4-V					
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	530Wp	394Wp	535Wp	398Wp	540Wp	402Wp	545Wp	405Wp	550Wp	409Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	40.56V	37.84V	40.63V	37.91V	40.70V	38.08V	40.80V	38.25V	40.90V	38.42V
Maximum Power Current (Imp)	13.07A	10.42A	13.17A	10.50A	13.27A	10.55A	13.36A	10.60A	13.45A	10.65A
Open-circuit Voltage (Voc)	49.26V	46.50V	49.34V	46.57V	49.42V	46.65V	49.52V	46.74V	49.62V	46.84V
Short-circuit Current (Isc)	13.71A	11.07A	13.79A	11.14A	13.85A	11.19A	13.94A	11.26A	14.03A	11.33A
Module Efficiency STC (%)	20.55%		20.75%		20.94%		21.13%		21.33%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+65°C									
Maximum system voltage	1000/1500VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	25A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficients of Pmax	-0.35%/°C									
Temperature coefficients of Voc	-0.28%/°C									
Temperature coefficients of Isc	0.048%/°C									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C									

STC: Irradiance 1000W/m² Cell Temperature 25°C AM=1.5
 NOCT: Irradiance 800W/m² Ambient Temperature 20°C AM=1.5 Wind Speed 1m/s

©2020 Jinko Solar Co., Ltd. All rights reserved.
 Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

JKM530-550M-72HL4-[V]-F1-EN

Anexo VIII – Catálogo do inversor utilizado

SUN2000-60KTL-M0 Smart String Inverter



Inteligente

Monitorización a nivel de string



Eficiente

Eficiencia máxima del 98,7 %



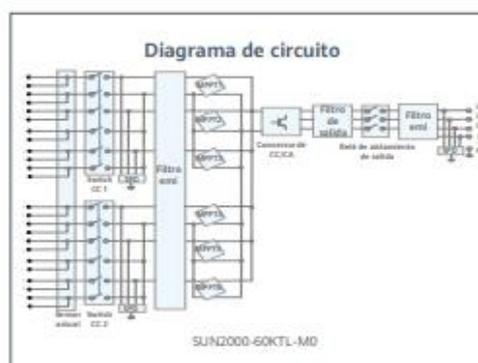
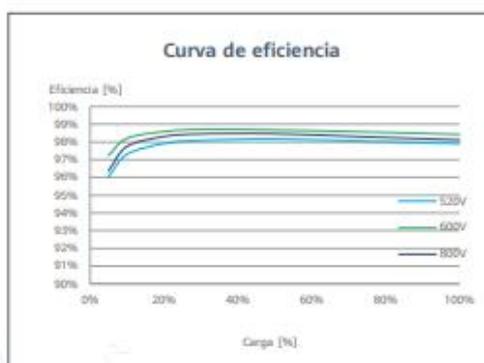
Seguro

Diseño sin fusibles



Reliable

Descargadores de sobretensión tipo II de CC y CA



SUN2000-60KTL-M0
Especificaciones técnicas

Especificaciones técnicas	SUN2000-60KTL-M0
Eficiencia	
Máxima eficiencia	98.9% @480 V; 98.7% @380 V / 400 V
Eficiencia europea ponderada	98.7% @480 V; 98.5% @380 V / 400 V
Entrada	
Tensión máxima de entrada ¹	1,100 V
Corriente de entrada máxima por MPPT	22 A
Corriente de cortocircuito máxima	30 A
Tensión de arranque	200 V
Tensión de funcionamiento MPPT ²	200 V – 1,000 V
Tensión nominal de entrada	600 V @380 Vac / 400 Vac; 720 V @480 Vac
Cantidad de MPPTs	6
Cantidad máxima de entradas por MPPT	2
Salida	
Potencia activa	60,000 W
Max. Potencia aparente de CA	66,000 VA
Max. Potencia activa de CA (cosφ = 1)	66,000 W
Tensión nominal de salida	220 V / 380 V, 230 V / 400 V, por defecto 3W + N + PE; 3W + PE opcional en configuraciones; 277 V / 480 V, 3W + PE
Frecuencia nominal de red de CA	50 Hz / 60 Hz
Intensidad nominal de salida	91.2 A @380 V, 86.7 A @400 V, 72.2 A @480 V
Max. intensidad de salida	100 A @380 V, 95.3 A @400 V, 79.4 A @480 V
Factor de potencia ajustable	0,8 capacitivo ... 0,8 inductivo
Distorsión armónica total máxima	< 3%
Protecciones	
Dispositivo de desconexión del lado de entrada	SI
Protección anti-Ida	SI
Protección contra sobrintensidad de CA	SI
Protección contra polaridad inversa CC	SI
Monitorización a nivel de string	SI
Descargador de sobretensiones de CC	Type II
Descargador de sobretensiones de CA	Type II
Detección de resistencia de aislamiento CC	SI
Monitorización de corriente residual	SI
Comunicación	
Display	Indicadores LED, Bluetooth + APP
RS485	SI
USB	SI
Monitorización de BUS (MBUS)	SI (transformador de aislamiento requerido)
Datos generales	
Dimensiones (W x H x D)	1,075 x 555 x 300 mm
Peso (incluida ménsula de montaje)	74 kg
Rango de temperatura de operación	-25°C – 50°C
Enfriamiento	Convección natural
Max. Altitud de operación	4,000 m
Humedad de operación relativa	0 – 100%
Conector CC	Amphenol Hellios H4
Conector CA	Terminal PG impermeable + conector OT
Grado de protección	IP65
Topología	Sin transformador
Consumo de energía durante la noche	< 2 W
Cumplimiento de estándares (más opciones disponibles previa solicitud)	
Seguridad	EN 62109-1/-2, IEC 62109-1/-2, EN 50530, IEC 62116, IEC 60068, IEC 61683
Estándares de conexión a red eléctrica	IEC 61727, VDE-AR-N4105, VDE 0126-1-1, BDEW, VDE 4120, UTE C 15-712-1, CEI 0-16, CEI 0-21, RD 661, RD 1699, P.O. 12.3, RD 413, EN-50438-Turkey, EN-50438-Ireland, C10/11

¹ El voltaje de entrada máxima es el límite superior del voltaje de CC. Cualquier voltaje DC de entrada más alto probablemente dañaría el inversor.

² Cualquier voltaje de entrada de CC más allá del rango de voltaje de funcionamiento puede provocar un funcionamiento incorrecto del inversor.