

**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Jaime Rafael da Silva Oliveira

**Avaliação do potencial das envolventes  
e dos sistemas de energia renovável  
para otimização dos consumos  
energéticos de uma unidade industrial**

Dezembro de 2023



**Universidade do Minho**

Escola de Engenharia

Jaime Rafael da Silva Oliveira

**Avaliação do potencial das envolventes e dos sistemas de energia renovável para otimização dos consumos energéticos de uma unidade industrial**

Dissertação de Mestrado  
Mestrado em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação de  
**Professor Doutor Dinis Miguel Campos Leitão**  
**Professora Doutora Ana Cristina Briga de Sá**

Dezembro de 2023

## DIREITOS DE AUTOR

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.



**Atribuição-SemDerivações**

**CC BY-ND**

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

## **AGRADECIMENTOS**

Com a conclusão deste significativo capítulo da minha jornada, desejo expressar a minha mais profunda gratidão a todos que estiveram ao meu lado, oferecendo apoio e companheirismo ao longo deste período. A vocês, o meu sincero obrigado!

Quero agradecer aos professores Doutores Dinis Leitão e Ana Sá pela orientação, pela generosidade do tempo que me dedicaram e pelo valioso auxílio prestado, incluindo leituras atentas e correções fundamentais que culminaram no êxito desta etapa, gostaria de expressar minha mais sincera gratidão.

Quero agradecer aos representantes da Continental Advanced Antenna pelos dados fornecidos para que a elaboração esta dissertação fosse possível.

Expresso também a minha gratidão a todos os amigos em especial ao Hugo Antunes que se manteve constantemente disponível para me acompanhar e oferecer auxílio ao longo desta extensa jornada. Por último, mas não menos importante, gostaria de direcionar um agradecimento especial à minha família e à minha namorada, por todo o conforto, cuidado e assistência ao longo do curso. A todos vocês, o meu mais sincero obrigado!

## **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

Os edifícios industriais são grandes consumidores de energia, representando as atividades industriais um consumo substancial da energia, atingindo uma percentagem de 25% da energia total consumida a nível mundial em 2017. Este setor requer uma elevada quantidade de energia para a realização dos processos industriais, de forma a trabalhar e transformar as matérias-primas em produtos finais que satisfaçam as necessidades do Homem, tornando-o num dos mais importantes na economia global. Isto leva a que sejam emitidas grandes quantidades de CO<sub>2</sub> que é responsável pelo aquecimento global. Neste contexto de preocupação ambiental e eficiência energética, estes grandes consumidores são essenciais para reduzir o consumo de energia e de emissões.

Perante este cenário, neste trabalho efetuou-se a avaliação detalhada da envolvente e dos sistemas de climatização de uma unidade industrial com grande consumo energético, com o objetivo principal de identificar o potencial das suas envolventes e dos seus sistemas AVAC e de energia renovável para otimização dos consumos energéticos. Para tal, fez-se a modulação dos edifícios do complexo industrial no programa de simulação dinâmica do desempenho energético de edifícios (eQuest). Posteriormente, com base nos resultados das simulações energéticas dinâmicas, foi avaliado o consumo energético por zona e por tipo de consumo na climatização, com vista a identificar onde se consome mais na unidade industrial e depois analisar cenários de melhoria com vista à redução e otimização dos respetivos consumos. Com base nos dados e análises, foram desenvolvidos cenários de otimização energética que consideram a adoção de tecnologias baseadas em sistemas de produção de energia a partir de fontes renováveis e modificações ao nível das envolventes, tais como, a título de exemplo, equipamentos de produção e armazenamento de energia renovável e soluções de isolamento de paredes. A avaliação económica foi realizada para cada cenário, considerando os investimentos necessários, as economias potenciais e os períodos de retorno.

Conclui-se então que o cenário das envolventes e o cenário das baterias não eram exequíveis devido ao facto de terem grandes períodos de retorno. O cenário dos painéis fotovoltaicos e das turbinas eólicas já eram viáveis por terem períodos de retorno mais aceitáveis para quem investe e por corresponderem também a grandes reduções no consumo de energia.

**Palavras chave:** Avaliação energética; eficiência energética; envolventes; sistemas de climatização; consumos energéticos; otimização; sustentabilidade.

## ABSTRACT

Industrial buildings are major energy consumers, with industrial activities accounting for a substantial amount of energy consumption, reaching 25 per cent of the total energy consumed worldwide in 2017. This sector requires a large amount of energy to carry out industrial processes, in order to work and transform raw materials into end products that satisfy human needs, making it one of the most important in the global economy. This leads to the emission of large amounts of CO<sub>2</sub>, which is responsible for global warming. In this context of environmental concern and energy efficiency, these large consumers are essential for reducing energy consumption and emissions.

Considering this background, this study carried out a detailed assessment of the building envelope and HVAC systems of an energy-intensive industrial unit, with the main aim of identifying the potential of its building envelope and HVAC and renewable energy systems for optimising energy consumption. To this end, the industrial building complex was modelled using a dynamic energy simulation software (eQuest). Subsequently, based on the results of the dynamic energy simulations, energy consumption was assessed by zone and by type of consumption in air conditioning, with a view to identifying where the industrial unit consumes the most and then analysing improvement scenarios with a view to reducing and optimising the respective consumption. Based on the data and analyses, energy optimisation scenarios were developed that consider the adoption of technologies based on renewable energy production systems and modifications to the building envelope, such as renewable energy production and storage system and wall insulation solutions. The economic assessment was carried out for each scenario, taking into account the necessary investments, potential savings and payback periods.

It was then concluded that the envelope scenario and the battery scenario were not feasible because they had long payback periods. The photovoltaic panels and wind turbine scenarios were already feasible because they had more acceptable payback periods for those investing and also corresponded to large reductions in energy consumption.

**Keywords:** Energy assessment; energy efficiency; envelope; climate control systems; energy consumption; optimization; sustainability.

# ÍNDICE

1.	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento .....	1
1.2	Objetivos e metodologia .....	2
1.3	Organização da dissertação.....	3
2.	Revisão bibliográfica.....	5
2.1	Contexto energético .....	5
2.1.1	Contexto mundial e europeu.....	5
2.1.2	Contexto nacional .....	8
2.2	Estudos de avaliação energética de edifícios industriais.....	11
2.3	Soluções de melhoria da eficiência energética em edifícios industriais .....	14
2.3.1	Sistemas passivos.....	14
2.3.2	Sistemas de produção de energia ativa .....	15
2.3.3	Sistemas energeticamente eficientes .....	16
2.4	Dificuldades, desafios e oportunidades .....	17
2.4.1	Envolvente .....	17
2.4.2	Sistemas de energia .....	18
2.4.3	Gestão de turnos.....	18
2.4.4	Gestão de resíduos .....	19
2.4.5	Mobilidade dos colaboradores .....	20
2.4.6	Gestão dos métodos de produção.....	20
3.	Metodologias e métodos para avaliar consumos energéticos.....	22
3.1	Metodologias para identificar o consumo de energia.....	22
3.1.1	Abordagem <i>Top-down</i> e abordagem <i>Bottom-up</i> .....	23

3.1.2	Modelos de diagnóstico ou de prognóstico .....	25
3.1.3	Modelos orientados por leis ou por dados .....	25
3.1.4	Método BECP .....	25
3.2	Metodologias utilizadas .....	27
3.3	Métodos de simulação do desempenho térmico.....	28
3.3.1	Análise experimental .....	28
3.3.2	Simulações.....	29
3.3.3	Monitorização.....	30
3.3.4	Método de análise aplicado .....	30
3.4	Software de simulação energética .....	30
3.4.1	EnergyPlus .....	31
3.4.2	eQUEST.....	31
3.4.3	DOE-2 .....	32
3.4.4	DesignBuilder.....	35
3.4.5	Open Studio .....	36
3.4.6	Programa de simulação energética escolhido.....	37
4.	Caso de estudo .....	38
4.1	Caracterização da unidade industrial .....	39
4.1.1	Descrição da unidade industrial .....	39
4.1.2	Descrição da atividade e funcionamento.....	41
4.1.3	Requisitos mínimos dos espaços de trabalho – temperatura e humidade .....	42
4.1.4	Envolventes opacas exteriores dos edifícios da unidade industrial .....	47
4.1.5	Envolventes envidraçadas exteriores dos edifícios da unidade industrial .....	51
4.2	Caracterização do consumo de energia da unidade industrial.....	52
5.	Análise do desempenho energético.....	58

5.1	Simulação eQuest .....	58
5.2	Cenário base .....	60
5.3	Cenário 1 – alteração das envolventes .....	67
5.4	Cenário 2 – reforço do sistema de fotovoltaicos .....	72
5.5	Cenário 3 – instalação de sistema eólico .....	77
5.6	Cenário 4 – instalação de baterias de armazenamento de energia .....	82
6.	Conclusões e trabalhos futuros.....	86
6.1	Conclusões.....	86
6.2	Trabalhos Futuros .....	88
	Bibliografia .....	89
	Anexo I .....	94
	Apêndice I .....	96

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Evolução da energia final consumida no setor industrial por produto de energia ....	7
Figura 2: Quota de emissões de gases com efeito de estufa por setor em 2021 na UE .....	10
Figura 3: Instalações da Continental Advanced Antenna .....	38
Figura 4: Expansões do edifício industrial .....	40
Figura 5: Tipologia das áreas .....	41
Figura 6: Localização dos espaços com exigências de temperatura e humidade .....	43
Figura 7: Linhas SMT .....	46
Figura 8: Iluminação presente na fábrica .....	47
Figura 9: Complexo industrial Continental Advanced Antenna .....	47
Figura 10: Modelo 3D do edifício – Vista NE e SW .....	48
Figura 11: Cobertura do complexo industrial .....	51
Figura 12: Tipos de envidraçados existentes .....	52
Figura 13: Consumo total de energia e produção de antenas .....	53
Figura 14: Produção desde 2012 (kWh) .....	54
Figura 15: Consumo de energia por antena por mês desde 2012 (W/h) .....	55
Figura 16: Evolução do consumo total de energia desde 2012 .....	56
Figura 17: Percentagem de uso de energia por áreas da fábrica .....	56
Figura 18: Valores simulados vs Valores reais .....	59
Figura 19: Gráfico dos consumos energéticos por equipamentos do cenário base .....	60
Figura 20: Resultados dos consumos energéticos por equipamentos do cenário base .....	61
Figura 21: % de usos da energia por equipamentos .....	62
Figura 22: Procedimento utilizado .....	64
Figura 23: Gráfico dos consumos energéticos por equipamentos segundo os indicadores de referência .....	65
Figura 24: Resultados dos consumos energéticos por equipamentos segundo os indicadores de referência .....	65
Figura 25: Gráfico dos consumos energéticos por equipamentos segundo o cenário de melhoria 1 .....	70

Figura 26: Resultados dos consumos energéticos por equipamentos segundo o cenário de melhoria 1 .....	70
Figura 27: Fotovoltaicos instalados .....	72
Figura 28: Levantamento áreas cobertura .....	75
Figura 29: Turbina eólica .....	78
Figura 30: Levantamento de possíveis locais.....	79
Figura 31: Curva da potência da turbina eólica .....	80
Figura 32: Bateria sonnen sB10P 22 kWh.....	83

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Consumos de energia no setor industrial.....	10
Tabela 2: Vantagens e desvantagens do método top-down e bottom-up .....	24
Tabela 3: Vantagens e desvantagens por categoria (caixa branca, caixa negra, caixa cinzenta) .....	27
Tabela 4: Funcionalidades e diferenças entre o DOE-2 e o EnergyPlus (Continua).....	33
Tabela 5: Comparação da funcionalidade do eQuest e do DesignBuilder (Continua).....	35
Tabela 6: Áreas do complexo por tipologia .....	41
Tabela 7: Número de trabalhadores por área de trabalho .....	42
Tabela 8: Horários de trabalho por turnos .....	42
Tabela 9: Exigências de temperatura e humidade relativa (Continua).....	42
Tabela 10: Equipamentos climatização .....	44
Tabela 11: Equipamentos das linhas SMT .....	45
Tabela 12: Soluções Construtivas (Continua) .....	48
Tabela 13: Tipo de vidro .....	52
Tabela 14: Valores mensais simulados (kWh*1000).....	58
Tabela 15: Valores reais mensais (kWh*1000) .....	59
Tabela 16: Consumos no IEES e IEET .....	63
Tabela 17: Indicadores de eficiência energética (Continua) .....	65
Tabela 18: Determinação da classe energética (Continua) .....	66
Tabela 19: Zonas Climáticas.....	67
Tabela 20: Valores máximos parâmetros .....	68
Tabela 21: Soluções de melhoria da envolvente opaca .....	69
Tabela 22: Soluções de melhoria da envolvente envidraçada .....	69
Tabela 23: Comparação cenário base vs cenário 1 .....	71
Tabela 24: Análise de custos e tempo de retorno cenário 1 .....	71
Tabela 25: Valores reais de produção dos painéis fotovoltaicos.....	73
Tabela 26: Valores da produção fotovoltaicos - simulação.....	74
Tabela 27: Simulação fotovoltaicos cenário 2 (Continua) .....	75

Tabela 28: Comparação cenário base vs cenário 2 .....	76
Tabela 29: Análise de custos e tempo de retorno cenário 2 .....	77
Tabela 30: Velocidade média do vento .....	80
Tabela 31: Produção de energia total por mês .....	81
Tabela 32: Produção de energia por mês e por ano das turbinas eólicas.....	81
Tabela 33: Análise de custos e tempo de retorno cenário 3 .....	82
Tabela 34: Energia produzida ao fim de semana por dia .....	83
Tabela 35: Energia produzida ao fim de semana por mês .....	84
Tabela 36: Análise de investimento e retorno do cenário 4 .....	85

## ACRÓNIMOS

ADENE	Agência para a Energia
AIE	Agência Internacional de Energia
ANN	<i>Artificial Neural Networks</i>
AP	Acordo de Paris
AQS	Água Quente Sanitária
AVAC	Aquecimento Ventilação e ar condicionado
BECP	<i>Building Energy Consumption Prediction</i>
BP	<i>British Petroleum</i>
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
CVRMSE	<i>Coefficient of variation of the root-mean-squared error</i>
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
DT	<i>Decision Trees</i>
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
IEE	Indicador de Eficiência Energética
MBE	<i>Mean Bias Error</i>
MLR	<i>Multiple Linear Regression</i>
NZEB	<i>Nearly Zero Energy Building</i>
PCB	<i>Printed Circuit Board</i>
PJ	Petajoule (SI)
PNEC	Plano Nacional de Energia e Clima
SMD	<i>Surface Mounted Devices</i>
SMT	<i>Surface-mount Technology</i>
SRM	<i>Simple Regression Model</i>
SVM	<i>Support Vector Machine</i>
U	Coefficiente de Transmissão Térmica
UE	União Europeia
UTA	Unidade de Tratamento de Ar
VAL	Valor atual líquido
VAV	<i>Variable Air Volume</i>

ZEB *Zero Energy Building*

€ Euro

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Enquadramento

Em contexto de emergência climática, a crescente consciência ambiental parece estar em contraciclo com o aumento da procura energética que se tem verificado ao longo dos últimos tempos. Na Europa, a procura de energia registou um aumento nos últimos anos, mas está agora numa trajetória descendente. Durante a pandemia, verificou-se uma queda acentuada da atividade económica em muitos países, o que resultou numa redução temporária da procura de energia. Com o encerramento de fábricas, a redução das viagens e as limitações das atividades comerciais, verificou-se uma diminuição da necessidade de energia.

No entanto, com o abrandamento das restrições e o início da recuperação económica, a procura de energia começou a recuperar gradualmente. As empresas voltaram a funcionar, os transportes aumentaram e a vida quotidiana voltou a um ritmo mais normal.

Apesar desta recuperação temporária, a procura de energia na Europa registou uma tendência decrescente nos últimos anos. Esta situação pode ser atribuída a vários fatores, como o aumento da eficiência energética, a adoção de fontes de energia renováveis e as políticas de sustentabilidade (DGEG, 2023).

Neste contexto, o setor da indústria é uma das áreas menos sustentáveis do nosso planeta e os edifícios industriais são um dos grandes responsáveis pelo grande consumo energético a nível mundial. O setor industrial em Portugal consome 30% do consumo final de energia (2017) e a nível mundial representa 25% da energia total consumida (2017). Para reduzir o seu impacto, foram desenvolvidas e emitidas várias diretivas, a nível europeu, com o objetivo de diminuir as necessidades energéticas que este setor apresenta (Li et al., 2022).

Para que isso se torne uma realidade futura, atualmente, os edifícios são pensados e dimensionados com uma preocupação ambiental, desde a produção dos materiais até à utilização diária pelos seus ocupantes. Daí existir a necessidade cada vez maior de os edifícios serem NZEB (*Nearly Zero Energy Building*), ou Edifícios Carbono Zero, que são edifícios que produzem a mesma quantidade de energia que consomem, e com isso, se tornam autossuficientes (Adene, 2023).

## 1.2 Objetivos e metodologia

Com a presente dissertação pretende-se avaliar o potencial de desenvolvimento de soluções para a promoção da sustentabilidade e eficiência de recursos energéticos de uma unidade Industrial em Vila Real, Portugal.

Para a materialização deste objetivo central existe um conjunto de objetivos parciais que este trabalho terá de dar resposta e que correspondem ao seguinte:

1. Avaliar o consumo energético: realizar uma análise detalhada do consumo energético da unidade industrial, identificando as áreas de maior consumo e as possíveis fontes de desperdício. Isso pode incluir o uso de eletricidade, gás natural e outros combustíveis utilizados no processo produtivo;
2. Identificar oportunidades de eficiência energética: identificar oportunidades específicas para melhorar a eficiência energética na unidade industrial. Isso pode envolver a implementação de medidas como a otimização de processos, a utilização de equipamentos mais eficientes, a instalação de sistemas de monitorização e controle de energia, a implementação de sistemas de iluminação eficiente, entre outras soluções;
3. Explorar o potencial de integração de energias renováveis: analisar a viabilidade da utilização de energias renováveis na unidade industrial, tais como a instalação de painéis solares para geração de energia elétrica, a implementação de sistemas de aquecimento solar de água, o aproveitamento de biomassa ou a integração de sistemas eólicos. Essas soluções podem reduzir a dependência de fontes de energia convencionais e diminuir a pegada ambiental da unidade.

Em relação à avaliação do potencial de otimização dos consumos energéticos a metodologia passa por:

1. Caracterizar tecnicamente o existente;  
Fazer o levantamento da unidade industrial ao nível das envolventes e dos equipamentos que compõe a unidade industrial.
2. Realizar o diagnóstico e avaliar as necessidades e recursos;  
Fazer a modelação da unidade industrial no programa de simulação dinâmica do desempenho energético dos edifícios e analisar os consumos energéticos de cada setor.

3. Avaliar experimentalmente (*in situ*);  
Colocar pontos de monitorização de consumos para avaliar os consumos reais.
4. Efetuar simulações computacionais de diferentes cenários de intervenção;  
Elaborar cenários de melhoria no programa de simulação dinâmica do desempenho energético dos edifícios, com vista a reduzir os consumos energéticos.
5. Identificar medidas concretas de otimização dos recursos energéticos.  
Avaliar impactos dessas melhorias e analisar a viabilidade de cada cenário de melhoria.

### **1.3 Organização da dissertação**

A dissertação está estruturada em 6 capítulos. De seguida, é apresentado um pequeno resumo dos principais conteúdos abordados em cada capítulo.

No capítulo 1, é exposto o enquadramento do estudo a ser realizado, bem como os seus objetivos.

No capítulo 2, apresenta-se uma breve pesquisa bibliográfica sobre o contexto energético, tanto a nível mundial como a nível europeu e nacional. Desta forma, são apresentados estudos de avaliação energética de edifícios industriais, servindo como base para o presente trabalho. São também abordadas soluções para melhorar a eficiência energética em edifícios industriais, bem como as dificuldades, desafios e oportunidades que surgem num estudo desta natureza.

No capítulo 3, são definidas metodologias e métodos para avaliar o consumo energético de edifícios industriais.

No capítulo 4, é realizada uma apresentação do caso em estudo, onde são detalhadas todas as características da empresa, como os turnos, o número de trabalhadores, a operacionalidade e as características da unidade industrial da Continental Advanced Antenna, incluindo um levantamento das envolventes, máquinas, equipamentos e linhas de produção. Também é efetuada uma análise dos dados fornecidos pela empresa relativos ao histórico de consumos energéticos.

No capítulo 5, é efetuada a análise do desempenho energético. Para tal, procede-se à modelação da unidade industrial, ao cálculo dos indicadores de eficiência energética e, posteriormente, ao estudo de possíveis cenários de melhoria.

No capítulo 6, são apresentadas as conclusões do trabalho realizado com base nos cenários de melhoria estudados. Por fim, são sugeridas algumas ideias para trabalhos futuros, numa perspectiva de continuidade do estudo elaborado.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é feita uma recolha e discussão de conhecimentos e questões relevantes para o tema da presente dissertação, abordando assuntos chave para uma melhor compreensão da razão de se querer aumentar a eficiência energética e da influência que os diferentes elementos presentes numa unidade industrial, tais como: equipamentos de climatização, iluminação e soluções construtivas ao nível da envolvente, podem ter em termos dos consumos energéticos.

### 2.1 Contexto energético

O consumo de energia em edifícios industriais é de grande importância para a eficiência energética e a sustentabilidade do setor industrial em Portugal e em todo o mundo.

Com o Acordo de Paris (AP) de 2015, que reconhece explicitamente que só com a ajuda de todos será possível vencer a questão das alterações climáticas e travar o aquecimento global em apenas 2°C acima dos níveis pré-industriais, ocorre uma mudança de paradigma na sociedade (European Commission, 2020).

No atual panorama energético mundial, o consumo de energia é um importante indicador de desenvolvimento dos países (Costa et al., 2021). Estudos da Agência Internacional da Energia (AIE) preveem que o consumo mundial de energia primária em 2040 será 1,19 vezes superior ao de 2018 se as políticas forem as mesmas que as atuais (Otsuka, 2023).

#### 2.1.1 Contexto mundial e europeu

A necessidade mundial de energia tem vindo a aumentar ao longo dos tempos. De acordo com os dados fornecidos pela BP (*British Petroleum*), a quantidade total de energia primária consumida a nível mundial tem aumentado de forma constante desde 2009, registando um aumento total de 15,1% durante um período de dez anos (2009-2019) (Li et al., 2022).

A taxa de crescimento do consumo em 2017 aumentou durante dois anos consecutivos e ultrapassou a taxa de crescimento anual média dos dez anos anteriores, atingindo a taxa de crescimento mais elevada desde 2013 (Li et al., 2022).

A energia fóssil continua a ser predominante. Em 2019, 84,3% do consumo de energia era proveniente de combustíveis fósseis. Nos últimos dez anos, o crescimento estável a longo prazo do consumo de energia fóssil aumentou 16,9%, enquanto a percentagem do consumo total de energia primária diminuiu ano após ano desde 2011, atingindo o seu nível mais baixo nos dez anos posteriores (Li et al., 2022).

No resto da Europa o cenário já é um pouco diferente, a mudança no setor da energia começou mais cedo. As nações europeias estão agora conscientes da necessidade de utilização de energia proveniente de fontes renováveis resultado das duas crises petrolíferas. A UE começou a promover mudanças na política energética e climática na década de 1990. O primeiro e maior regime de comércio de licenças de emissão de carbono do mundo foi criado em 2003, e a transição energética produziu resultados impressionantes. Em comparação com 2008, a intensidade energética e a intensidade carbónica do consumo de energia nos 28 Estados-Membros da UE diminuíram 14,6% e 8,7%, respetivamente, e a redução das emissões de gases com efeito de estufa ultrapassou o objetivo para 2020.

Em particular, a utilização de carvão, a quota da UE no consumo de energia fóssil em 2017 foi inferior à média mundial. A transformação estrutural da energia a nível mundial está a ser liderada pela UE (Li et al., 2022).

A Comissão Europeia estabeleceu um objetivo a longo prazo de liderar a transição para uma economia com impacto neutro no clima até 2050, em conformidade com os objetivos do Acordo de Paris. Com base em compromissos internacionais, a UE adotou, em 2009, um vasto pacote legislativo que visa assegurar os seus objetivos em matéria de clima e energia para 2020 (Malinauskaite et al., 2020).

Após todos os objetivos alcançados para o ano 2020, a Comissão Europeia estabeleceu novos objetivos para o ano 2030, que se traduzem no seguinte (European Commission, 2020):

- Redução de pelo menos 55% das emissões de gases com efeito de estufa (em relação aos níveis de 1990);
- Utilização de 32% da energia consumida a partir de fontes renováveis e uma melhoria de 32,5% na eficiência energética

Tendo em conta que as necessidades energéticas dependem de vários fatores, tais como: o desenvolvimento económico, o estado atual da indústria, a aplicação de medidas de eficiência

energética e as condições meteorológicas, o consumo de energia primária irá flutuar ao longo dos anos (Malinauskaite et al., 2020).

As atividades industriais consomem uma parte substancial da energia a nível mundial, atingindo uma percentagem de 25% da energia total consumida a nível mundial em 2017, de acordo com dados da Agência Internacional da Energia (AIE) (Macedo et al., 2020). Este setor requer uma elevada quantidade de energia para a realização dos processos industriais, de forma a trabalhar e transformar as matérias-primas em produtos finais que satisfaçam as necessidades do Homem, tornando-o num dos mais importantes na economia global (Brodny et al., 2022).

Entre 1995 e 2019, a eficiência energética no setor industrial na UE registou uma melhoria de 12% como é visível na Figura 1: Evolução da energia final consumida no setor industrial por produto de energia. O consumo de energia proveniente de combustíveis fósseis sólidos e de petróleo e produtos petrolíferos diminuiu mais de 50% e verificou-se um aumento da utilização de mais de 60% de energia proveniente de fontes de energia renováveis (Brodny et al., 2022). No entanto, esta melhoria parece ser demasiado lenta para permitir atingir os objetivos que estão estabelecidos sendo urgente aumentar a eficiência energética.

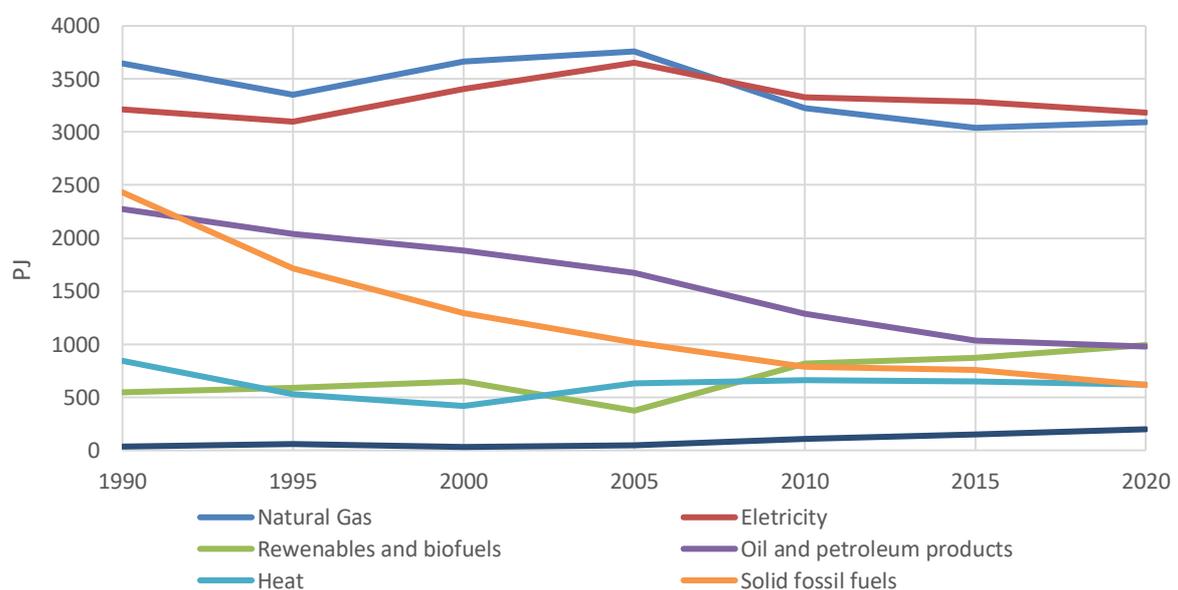


Figura 1: Evolução da energia final consumida no setor industrial por produto de energia (Petajoule) (Eurostats, 2020)

### 2.1.2 Contexto nacional

Uma das principais preocupações que a humanidade enfrenta no século XXI são as alterações climáticas, provocadas pelas emissões de gases com efeito de estufa. A necessidade de reduzir drasticamente as emissões de CO<sub>2</sub> tem sido amplamente aceite, visando uma redução de 80-95% das emissões até 2050 (Gerres et al., 2019).

Portugal está, atualmente, entre os principais produtores de energia renovável na Europa, em comparação com outros países, devido às medidas energéticas implementadas em 2005. A dependência energética diminuiu efetivamente desde 2005, embora continue a ser superior à da UE-19 e da UE-28 em 2015 (77,4% vs. 62,4% vs. 54,0%, respetivamente) (Miguel et al., 2018).

Como parte do processo do Acordo de Paris, muitas nações apresentaram Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs), que descrevem os seus compromissos para reduzir as emissões nacionais de gases com efeito de estufa. Os compromissos totais são insuficientes para cumprir o objetivo a longo prazo de manter o aumento da temperatura global muito abaixo dos 2°C em relação aos níveis pré-industriais (Blok et al., 2020).

Em Portugal, o setor da indústria é um dos setores com maior consumo de energia e forte dependência de recursos energéticos não renováveis.

O consumo de energia do setor industrial representa cerca de 30% do consumo final de energia do país (Adene, 2023), estando acima relativamente ao contexto europeu e mundial e essa diferença pode estar associada a vários fatores.

Em primeiro lugar, a economia portuguesa pode ter uma maior proporção de indústrias intensivas em energia do que outras nações, o que resulta num maior consumo de energia no sector industrial. Indústrias como a transformadora, maquinaria pesada e produção química tendem a ter maiores necessidades energéticas.

Além disso, as atividades económicas mais comuns em Portugal podem exigir uma maior utilização de energia nos processos de fabrico e produção, o que aumentaria o consumo total de energia industrial.

Depois o tipo de energia utilizada no sector industrial português pode ter um impacto na quantidade de energia consumida. Uma maior percentagem de consumo total pode resultar da forte dependência do sector industrial de fontes de energia menos eficientes ou mais intensivas em energia.

Também os níveis de consumo de energia são significativamente influenciados pelas medidas de eficiência energética utilizadas no sector industrial. As indústrias portuguesas podem consumir mais energia por terem sido mais lentas a implementar práticas ou tecnologias de poupança de energia, um exemplo disso é o problema já conhecido de que Portugal tem uma carência enorme no que toca às envolventes dos edifícios mais antigos.

Relativamente ao quadro regulamentar em Portugal poderá ter influenciado os padrões de utilização de energia no sector industrial. As diferentes nações têm diferentes leis e incentivos relacionados com a energia, o que pode afetar a quantidade de energia que as diferentes indústrias consomem.

Se o sector industrial português se tiver expandido rapidamente ao longo deste tempo, poderá haver um aumento das necessidades energéticas para suportar maiores produções e capacidades.

O clima e a localização geográfica também podem afetar a quantidade de energia utilizada. Por exemplo, as empresas podem utilizar mais energia para aquecimento, arrefecimento ou outras atividades em algumas zonas com condições meteorológicas adversas.

No entanto, há evidências de que o consumo de energia elétrica em edifícios industriais em Portugal pode ser reduzido por meio de práticas de eficiência energética. De acordo com um estudo publicado pelo Ministério do Ambiente e da Ação Climática, a implementação de medidas de eficiência energética em edifícios industriais poderia resultar numa economia anual de energia elétrica de cerca de 2,6 TWh, o que corresponde a uma redução de emissões de CO<sub>2</sub> de cerca de 1,5 milhões de toneladas (Ministério do Ambiente e da Ação Climática).

As medidas para a indústria que o Plano Nacional de Energia e Clima (PNEC 2030) considera essenciais para assegurar o cumprimento dos objetivos e metas para o país, em termos energéticos e climáticos, têm como principal objetivo a redução do consumo de energia primária e a promoção da inovação, visando a eficiência e a descarbonização (Pereira, 2021). Durante o período 2010-2020, o consumo no setor da indústria diminuiu 16%. Neste período, o consumo de produtos petrolíferos diminuiu de 19% para 12% e, em sentido contrário, o consumo de gás natural aumentou de 18% para 26%. O consumo de eletricidade manteve-se estável em termos absolutos, representando em 2020 cerca de 31% do consumo deste setor. A contribuição do calor proveniente da cogeração tem oscilado entre 24% e 29% (DGEG, 2022).

Na Tabela 1 estão representados os valores de 2021 relativos aos consumos de energia no setor industrial.

Tabela 1: Consumos de energia no setor industrial (Tonelada equivalente de petróleo (toe)) (DGEG, 2022)

Indústria (Portugal)	Combustíveis Fósseis Sólidos	Petróleo	Gás Natural	Eletricidade	Calor	Renováveis	Total
2021	9 967	810 509	1 221 051	1 449 676	1 160 244	231 345	4 971 585

De acordo com a Agência europeia do Ambiente, em 2021, 16,7% das emissões de gases com efeito de estufa provinham das indústrias energéticas e 4% dos processos industriais (European Environment Agency (EPA), 2023). Na Figura 2 é apresentada a quota de emissões de gases com efeito de estufa por setor em 2021 na UE.

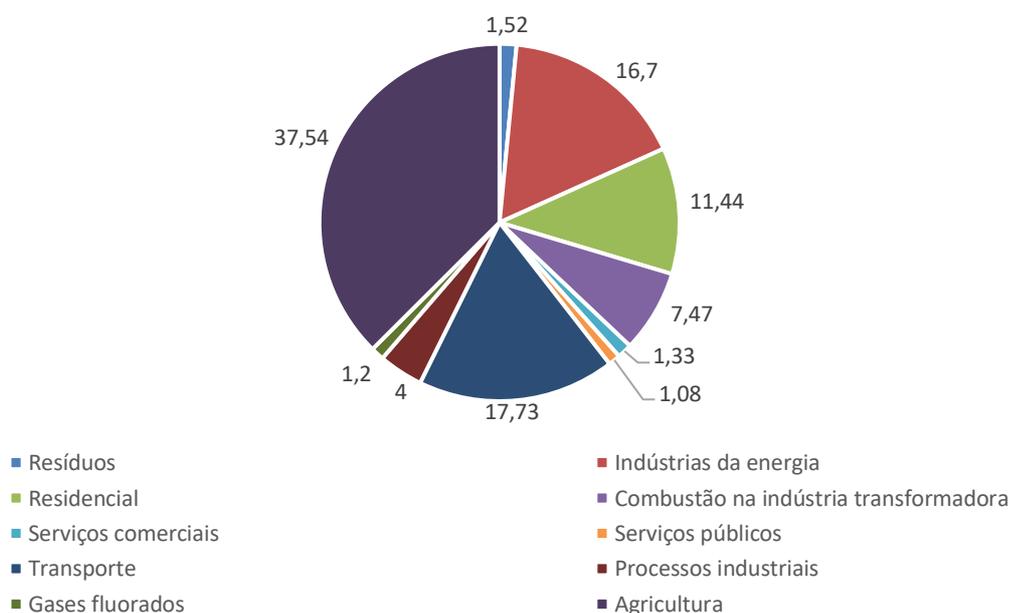


Figura 2: Quota de emissões de gases com efeito de estufa por setor em 2021 na UE (EPA, 2023)

As emissões da indústria estão ligadas à produção de cimento, metais, produtos químicos e outros bens essenciais necessários à economia nacional. Apesar de alguns destes processos serem difíceis de controlar totalmente, muitos deles são ineficientes e oferecem uma enorme margem para uma rápida redução das emissões (Lamb et al., 2021). Uma maior eficiência

energética no processo industrial está diretamente relacionada com uma menor dependência dos combustíveis fósseis, reduzindo assim significativamente as emissões de carbono (Sinha et al., 2019). Os processos industriais libertam grandes volumes de produtos químicos, hidrocarbonetos e compostos orgânicos para a atmosfera. Uma quantidade excessiva destes gases e partículas (PM) na atmosfera é responsável pelas atuais alterações climáticas (Munsif et al., 2021).

## **2.2 Estudos de avaliação energética de edifícios industriais**

Para permitir uma investigação adequada e desenvolver eficazmente políticas energéticas para o futuro, é crucial que toda a informação sobre energia consumida nos edifícios seja caracterizada.

As técnicas de eficiência energética têm sido um dos principais objetivos das políticas energéticas, que estabelecem novas leis de construção e sistemas de certificação que contêm agora normas mínimas devido ao crescimento do consumo de energia e das emissões de CO<sub>2</sub> no ambiente construído.

Os sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC) são atualmente responsáveis por cerca de metade da energia utilizada nos edifícios e entre 10% e 20% de toda a energia utilizada nos países industrializados, em resultado do aumento da procura de conforto térmico (Pérez et al., 2008).

Devido ao aumento de áreas novas construídas e das correspondentes necessidades energéticas, a tendência crescente do consumo de energia nos edifícios persistirá no futuro, desde que o esgotamento dos recursos e do ambiente ou uma recessão económica não o impeçam. Um futuro energético sustentável só será alcançado com a ajuda da iniciativa privada e da ação governamental, através da promoção da eficiência energética, de novas tecnologias para a produção de energia, da restrição do consumo de energia e da sensibilização da sociedade para a utilização racional da energia (Pérez et al., 2008).

A avaliação energética é uma técnica eficaz para detetar consumos de energia significativos. Sendo que a redução dos custos energéticos é essencial para aumentar a competitividade de uma empresa, a realização de uma auditoria energética de uma unidade industrial é,

simultaneamente, uma exigência específica imposta pelas diretivas europeias e uma verdadeira oportunidade de negócio (Dongellini et al., 2013).

Dongellini et al. (2013) fez uma auditoria energética de uma unidade de produção de veículos automóveis de luxo, que se limitou às instalações de aquecimento da fábrica. Foi demonstrado como a auditoria energética permite recolher dados muito úteis para a definição de um modelo energético da fábrica, que é utilizado para analisar o balanço energético do local.

O modelo de energia industrial pode ser utilizado para analisar os efeitos de potenciais melhorias no local, a fim de diminuir o impacto ambiental do local e reduzir as despesas de energia (Dongellini et al., 2013).

Foram discriminadas várias medidas potenciais de poupança de energia e o modelo de energia industrial foi utilizado para estimar as principais poupanças anuais de energia para cada medida. Todas as intervenções com um tempo de retorno superior a 6 anos foram consideradas inadequadas com base no cálculo do tempo de retorno associado a uma determinada ação (Dongellini et al., 2013).

A análise demonstrou que podem ser identificadas várias estratégias de poupança de energia, o aumento de isolamento térmico de paredes e telhados é possível reduzir o valor do U em cerca de 80-90%, tendo em consideração a instalação de uma espessura média da camada de isolamento térmico extra de cerca de 12-14 cm. Foi calculado um custo total de investimento de cerca de 200 000 € para esta ação. De acordo com o modelo energético da fábrica, o aumento do isolamento térmico dos componentes opacos da envolvente pode resultar numa poupança anual de energia primária de cerca de 225 000 kWh e numa redução da fatura energética da fábrica de cerca de 33 000 € (Dongellini et al., 2013).

A substituição de caldeiras obsoletas foi outro ponto de estudo da viabilidade. O custo total de investimento previsto para a substituição das caldeiras instaladas neste exemplo é de cerca de 280 000 € e a poupança anual de energia é de cerca de 355 000 kWh. Mais significativamente, espera-se que haja uma poupança anual de custos de cerca de 53 000 € relacionados com a fatura energética (Dongellini et al., 2013).

A utilização de unidades de recuperação de calor em sistemas AVAC foi outro dos pontos estudados. A auditoria energética industrial revelou o potencial de poupança de energia neste domínio através da utilização de dispositivos de recuperação de calor. Para cada sistema AVAC

instalado, a adoção de unidades de recuperação de calor pode resultar numa poupança total de energia primária de cerca de 95 000 kWh por ano, o que se traduz numa redução dos custos anuais de energia de cerca de 14 000 €, em comparação com um custo de capital de cerca de 85 000 €. O período de retorno do investimento desta ação é realmente interessante (inferior a 6 anos) (Dongellini et al., 2013).

Por último, mas não menos importante, a medição das temperaturas interiores, tanto em escritórios como linhas de produção, mostrou que estas são frequentemente muito superiores aos limites declarados (20°C para escritórios e 18°C para linhas de produção), por vezes até 5°C. As poupanças de energia associadas a uma redução do valor de referência da temperatura interior nos edifícios industriais foram avaliadas quantitativamente utilizando o modelo energético da fábrica. Dado que não há despesas de capital envolvidas, este comportamento é quase obrigatório a ser implementado. Prevê-se que a adoção de uma temperatura interior mais baixa resulte numa grande redução da energia primária (de cerca de 150 000 kWh por ano), o que equivale a uma poupança de custos de cerca de 23 000 € por ano (Dongellini et al., 2013).

Estas medidas podem resultar em poupanças anuais de cerca de 100 000 €, com um período de recuperação inferior a seis anos. A formulação do plano de poupança de energia da empresa para o futuro baseou-se nos resultados desta auditoria energética (Dongellini et al., 2013).

A auditoria energética é uma técnica eficaz para realizar economias de energia significativas. Uma vez que a redução dos custos energéticos é essencial para aumentar a competitividade de uma empresa, a realização de uma auditoria energética de uma unidade industrial é, simultaneamente, um requisito específico imposto pelas diretivas europeias e uma verdadeira oportunidade de negócio (Dongellini et al., 2013).

Todas estas medidas são medidas que podem facilmente ser implementadas noutros edifícios do mesmo estilo dependendo da análise de investimento por parte dos responsáveis do edifício industrial em questão, por isso é de extrema importância haver este tipo de estudos para se ficar a perceber que tipo de medidas têm maior impacto no edifício que se esteja a estudar com vista a otimizar ao máximo o desempenho energético.

## 2.3 Soluções de melhoria da eficiência energética em edifícios industriais

De acordo com Dubois et al. (2015) as melhores soluções para melhorar a eficiência energética são a utilização de tecnologias de energias renováveis, a implementação de sistemas avançados de monitorização e controlo e também revestimentos de edifícios de alta qualidade ao nível da envolvente.

Perante isto, na política de edifícios de energia zero (ZEB), as tecnologias utilizadas podem ser divididas em 3 tipos de sistemas. Podem ser sistemas passivos, sistemas de produção de energia ativa e por fim temos os sistemas energeticamente eficientes.

### 2.3.1 Sistemas passivos

As principais técnicas passivas incluem o armazenamento de energia térmica, que é um controlo térmico do edifício que depende principalmente da massa térmica ou dos materiais de mudança de fase do edifício para armazenar e libertar o calor latente, o aquecimento ou arrefecimento passivo utilizando o ganho de calor solar, a ventilação, o sombreamento e o arrefecimento do solo e a melhoria das envolventes dos edifícios (Kenisarin et al., 2016).

Raposo (2015), com o intuito de reduzir a quantidade de energia utilizada para o aquecimento de um edifício industrial, efetuou uma simulação com a temperatura de referência reduzida em 1°C, de 22°C para 21°C. O impacto desta modificação no conforto térmico pode ser significativo, mas a energia utilizada pelo sistema de aquecimento central seria reduzida em cerca de 48 kWh por semana no consumo energético.

Esta modificação não se mostrou ser a mais promissora e com maior potencial de redução de consumo anual, no entanto essa razão deve-se ao facto de o ensaio não ter ocorrido numa semana em que as condições de temperatura exterior não fossem as mais adversas. Perante isso, espera-se que em condições de temperatura exterior mais adversas, a redução do consumo seja muito maior.

Esta é uma técnica que poderá ser facilmente reproduzida no edifício industrial em estudo com vista a obter grandes reduções no consumo de energia, mas que acabou por não ser implementada.

### 2.3.2 Sistemas de produção de energia ativa

No que diz respeito aos sistemas de produção de energia ativa, a principal melhoria reside nas tecnologias de produção de energia renovável, que incluem não só a energia solar, mas também a energia eólica, hídrica, geotérmica e de biomassa. Como exemplo de algumas tecnologias de produção de energia renovável, no que diz respeito à energia solar, existem os painéis fotovoltaicos, que é a solução mais comum atualmente.

No setor da energia eólica, apesar de ser uma solução com dificuldade na previsibilidade da ação do vento, existem as mini-turbinas eólicas.

E, finalmente, no setor geotérmico, é possível instalar bombas de calor geotérmicas que utilizam a temperatura do solo para aquecimento e arrefecimento.

Amado (2018), executou um estudo para um edifício industrial com diferentes cenários de sistemas fotovoltaicos para autoconsumo de energia, desde um sistema de 40 kWp com cerca de 100% de autoconsumo até um limite máximo para a empresa em questão, ou seja, um sistema com 700 kWp. Os sistemas são adaptados ao horário de funcionamento da empresa, pelo que, uma vez que a produção fotovoltaica nunca seria superior ao consumo da instalação durante a semana, a produção excedentária só deveria ser adicionada à rede aos fins-de-semana. Essa medida estudada foi a que causou maior impacto na redução do consumo de energia e também na redução de custos. A energia solar pode reduzir significativamente o consumo no setor industrial, permitindo às empresas cumprir o Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (Amado, 2018).

Batista (2018), efetuou um estudo em que analisou várias medidas para reduzir o consumo de energia num edifício administrativo de uma empresa, analisando que efeitos teria a instalação de painéis fotovoltaicos ao nível dos consumos e se era viável esse investimento. Chegou então à conclusão de que a instalação de painéis fotovoltaicos corresponderia a uma redução de 16,6% do consumo total de energia e um tempo de retorno do investimento de cerca de 8 anos.

Este sistema poderia facilmente ser aplicado ao caso prático, dado que na aplicação dos painéis fotovoltaicos é garantido que usa energia grátis e limpa, reduzindo a quantidade de energia que é consumida da rede pública. Então os sistemas fotovoltaicos são uma solução que apenas depende do estudo de se o investimento inicial é viável ou não.

### 2.3.3 Sistemas energeticamente eficientes

Finalmente, nos sistemas de eficiência energética dos edifícios tais como, os equipamentos de AVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado), AQS (águas quentes sanitárias) e iluminação são dos que consomem mais energia, sem contar com os equipamentos de produção. Para inverter este elevado consumo de energia, é necessário efetuar uma manutenção periódica dos equipamentos de AVAC e AQS e substituí-los quando o seu desempenho não é satisfatório. Os sistemas de iluminação também têm um grande peso no consumo de energia, pelo que a correta utilização e substituição da iluminação convencional por iluminação LED terá um enorme impacto neste aspeto, devido à sua longa vida útil e à sua elevada capacidade e eficiência de iluminação (Cao et al., 2016) (Fernandes et al., 2021).

Amado (2018), fez um estudo para um edifício industrial de uma empresa para reduzir o consumo de energia que consistia na substituição da iluminação existente por iluminação LED e conclui que esta foi uma decisão de investimento sensata, uma vez que permitiu uma diminuição do consumo de energia de cerca de 8,2% em relação ao consumo de energia no ano de 2015. Com um retorno da despesa inicial de cerca de 5 anos e meio, esta técnica de eficiência energética prometia uma poupança de cerca de 21 000 €/ano.

Batista (2018), fez um estudo em que analisou várias medidas para reduzir o consumo de energia, chegando a conclusões como a introdução de uma UTA, que consiste numa unidade de tratamento de ar, de modo a introduzir ar exterior a uma temperatura mais baixa do que a temperatura interior de uma dada divisão, diminuindo o número horas de funcionamento do *chiller* (máquina frigorífica). Essa climatização do ar ambiente provocaria uma diminuição significativa que corresponde a uma redução de 14,8% do consumo total de energia e um VAL (valor atual líquido) de 66 612 € (Batista, 2018).

Batista (2018) conclui também no estudo que fez, que a substituição das lâmpadas exteriores para lâmpadas LED e aplicação de redutores de caudal nas torneiras das instalações sanitárias são vantajosas do ponto de vista de análise económica de investimento, pois apresentam *payback* de 0,5 e 0,9 anos e os valores da VAL (valor atual líquido) de 14 888 € e 66 612 €, respetivamente (Batista, 2018).

## 2.4 Dificuldades, desafios e oportunidades

Ao procurar a otimização energética em edifícios industriais, surgem alguns desafios e dificuldades que é necessário ter em atenção. Esses desafios vão desde a envolvente, sistemas técnicos, gestão de turnos, resíduos, mobilidade de colaboradores, gestão dos métodos de produção que incluem a receção e expedição de matérias-primas e produtos acabados.

### 2.4.1 Envolvente

O adequado controlo das trocas energéticas que se processam através da envolvente de um edifício que consiste na cobertura, nos elementos verticais, tais como, vãos envidraçados, paredes e portas, é crucial para a eficiência energética.

Garantir que a envolvente é construída e estruturada de forma a minimizar os ganhos e perdas de calor indesejáveis pode ser um problema, dado que é necessário garantir o equilíbrio com outros fatores relevantes, tais como o custo do edifício, a iluminação natural, entre outros.

Os edifícios industriais têm frequentemente grandes espaços e equipamentos que produzem muito calor no seu interior se o isolamento térmico não for adequadamente planeado os equipamentos de AVAC irão consumir muito mais energia para manter a temperatura pretendida no interior do edifício.

A utilização eficaz da luz natural pode resultar em economias de energia significativas. Para garantir que as atividades são seguras e eficazes, as instalações industriais necessitam frequentemente de muita iluminação artificial. A conceção da envolvente de forma a otimizar a entrada de luz natural e a utilização de sistemas de iluminação eficazes permitem realizar economias de energia significativas. Por outro lado, o desafio está nos ganhos de luz natural não se traduzirem num excessivo aquecimento do ar interior, em que mais uma vez os aparelhos AVAC irão consumir muito mais energia.

Para além destes desafios é fundamental ter em conta um coeficiente de transmissão de calor o mais baixo possível, com vista a reduzir as perdas de energia por transmissão térmica, mas cumprindo com o que se pretende em cada projeto.

#### 2.4.2 Sistemas de energia

Os sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC), a iluminação e a maquinaria industrial podem consumir muita energia.

Os custos iniciais mais elevados envolvidos na implementação de tecnologias e práticas de eficiência energética são um obstáculo frequente. Algumas soluções podem exigir investimentos iniciais consideráveis, que podem ser difíceis de ultrapassar para certas empresas. A análise das possíveis poupanças a longo prazo, tendo em conta a redução dos custos operacionais e os efeitos ambientais positivos, é crucial.

A maquinaria especializada utilizada em várias operações industriais consome muita energia. Pode ser dispendioso e difícil substituir o equipamento antigo por opções mais eficazes, especialmente quando se trata de atualizar as infraestruturas existentes.

Devido ao facto de existirem muitos sistemas e processos diferentes envolvidos, a gestão eficiente da energia em edifícios industriais é complicada. Para garantir que a energia é utilizada da forma mais eficiente possível, é necessário implementar sistemas modernos de monitorização e controlo.

A integração das energias renováveis nas estruturas industriais é simultaneamente uma oportunidade e uma dificuldade. A integração da energia solar, eólica ou de outras fontes renováveis é mais difícil num contexto industrial devido à sua natureza esporádica e à sua dependência das condições meteorológicas.

Algumas melhorias podem ser feitas utilizando tecnologia de poupança de energia, tais como: iluminação LED, controlos automáticos, sensores de ocupação, sistemas de recuperação de calor e equipamento energeticamente eficiente, sendo crucial conceber e operar estes sistemas corretamente.

#### 2.4.3 Gestão de turnos

A procura de energia em edifícios industriais pode variar significativamente dependendo do turno de trabalho. Algumas atividades, como a operação de máquinas ou processos industriais, podem consumir mais energia durante determinados períodos. Lidar com essa variação na procura, pode ser um desafio para garantir um fornecimento de energia adequado e eficiente.

Quando ocorre a sobreposição de diferentes turnos, o consumo de energia pode aumentar, pois a iluminação, a climatização e outros sistemas de suporte podem operar simultaneamente para atender às necessidades de dois ou mais grupos de trabalho. Gerir as sobreposições de turnos pode ajudar a reduzir o consumo de energia nessas situações.

A eficiência energética depende da colaboração dos funcionários. Sensibilizar os colaboradores sobre a importância de economizar energia durante seus turnos e incentivar a adotar práticas sustentáveis pode ser desafiador, mas é crucial para o sucesso da otimização energética.

É possível resolver este tipo de problemas, modificando os horários de produção para beneficiar dos preços reduzidos da energia durante os períodos de menor procura ou implementando sistemas de gestão de energia para monitorizar a utilização em tempo real.

#### 2.4.4 Gestão de resíduos

As indústrias geralmente produzem uma grande variedade de resíduos, incluindo materiais perigosos, orgânicos, recicláveis e não recicláveis. Lidar com a diversidade e o volume de resíduos pode ser um desafio logístico e operacional.

O tratamento adequado dos resíduos muitas vezes envolve custos significativos. Alocar recursos financeiros para implementar práticas de gestão de resíduos sustentáveis pode ser um desafio, especialmente para empresas com orçamentos limitados.

O sucesso da gestão de resíduos depende de todos os funcionários. Conscientizar os colaboradores sobre a importância da separação adequada dos resíduos e a adoção de práticas de reciclagem pode ser um desafio em algumas empresas.

A otimização da energia pode beneficiar de uma gestão adequada dos resíduos. A redução do consumo de energia e a minimização dos efeitos ambientais podem ser conseguidas através da implementação de práticas como a reciclagem, a compostagem e a recuperação de energia a partir do lixo.

A melhor forma de gerir resíduos é reduzir a sua geração desde a fonte. Isso pode ser alcançado através da adoção de práticas de produção mais limpas, uso eficiente de matéria-prima e minimização de desperdício.

#### 2.4.5 Mobilidade dos colaboradores

Muitos funcionários ainda dependem do transporte individual, como carros particulares, para chegar ao trabalho. Pode resultar em congestionamentos, emissões de gases de efeito estufa e aumento do consumo de combustíveis fósseis.

Os horários de trabalho e as rotas de transporte podem não ser compatíveis com os serviços de transporte público, o que pode limitar as opções de mobilidade sustentável para os funcionários.

A cultura organizacional pode influenciar a escolha de transporte dos colaboradores. Se a empresa não enfatiza a importância da mobilidade sustentável, os funcionários podem não se sentir incentivados a adotar práticas mais ecológicas.

A energia utilizada nas deslocamentos diários para o trabalho pode ser reduzida através do incentivo a formas sustentáveis de mobilidade para os trabalhadores, como a utilização de transportes públicos, partilha de automóveis, bicicletas ou automóveis elétricos.

#### 2.4.6 Gestão dos métodos de produção

Muitas indústrias ainda utilizam máquinas e equipamentos obsoletos que podem consumir mais energia do que os modelos modernos e eficientes. Substituir ou atualizar esses equipamentos pode ser um desafio devido ao investimento financeiro necessário.

Processos de produção ineficientes, como produção excessiva, estoques desnecessários e retrabalho, podem levar ao desperdício de energia e recursos.

A falta de conscientização e conhecimento sobre eficiência energética entre os gestores e funcionários pode resultar na ausência de ações para melhorar os métodos de produção e reduzir o consumo de energia.

A análise dos processos industriais pode identificar áreas onde a utilização de energia pode ser otimizada. Para reduzir o desperdício de energia durante a produção, tal implica a identificação de processos ineficientes, a utilização de tecnologias de produção mais limpas e mais eficientes do ponto de vista energético, bem como a implementação de mecanismos de monitorização e controlo.

A eficiência logística e a otimização das rotas de transporte podem reduzir os custos e o consumo de energia associados à receção e expedição de matérias-primas e produtos

acabados. Utilizar sistemas de gestão de frotas e implementar estratégias logísticas eficientes pode contribuir para a redução do consumo energético.

### 3. METODOLOGIAS E MÉTODOS PARA AVALIAR CONSUMOS

#### ENERGÉTICOS

A metodologia aborda o estudo e a discussão dos métodos utilizados num estudo ou pesquisa. Não se restringe a um método único, mas engloba um conjunto de princípios, teorias, diretrizes e abordagens que orientam a escolha e a aplicação dos métodos. A metodologia de um estudo, por exemplo, não só descreve os métodos de recolha de dados e análise estatística, mas também discute as razões por detrás da escolha desses métodos, considerações éticas, teorias subjacentes e o contexto mais amplo em que a pesquisa foi realizada (Kardasz, 2015) (Graeff et al., 2017).

Por outro lado, o método é uma técnica ou procedimento específico utilizado para realizar uma determinada tarefa ou investigação. Em contextos de pesquisa, refere-se aos diferentes conjuntos de abordagens, ferramentas ou estratégias utilizadas para recolher dados, conduzir experiências ou resolver problemas (Kardasz, 2015) (Graeff et al., 2017).

Assim, enquanto o método é uma técnica específica usada para uma tarefa particular, a metodologia abrange uma discussão mais ampla sobre como os métodos são selecionados, justificados e aplicados dentro de um estudo ou pesquisa (Kardasz, 2015) (Graeff et al., 2017).

#### 3.1 Metodologias para identificar o consumo de energia

É estritamente essencial identificar os consumos energéticos dos edifícios não residenciais de forma a melhorar a sua eficiência energética, promovendo uma conduta mais correta e segura no setor energético. Os modelos de parque edificado partem frequentemente de edifícios de referência, mas atualmente, existe uma grande discrepância a este nível nos edifícios não residenciais em relação aos edifícios residenciais (Buso et al., 2017). Os edifícios industriais têm, tipicamente, cargas térmicas, perdas por ventilação e requisitos de controlo da poluição mais elevados do que outras estruturas não residenciais que têm sido objeto de muita investigação (Dongellini et al., 2014).

As metodologias para identificar o consumo de energia podem ser divididas em duas abordagens diferentes, a abordagem *top-down* e a abordagem *bottom-up*.

### 3.1.1 Abordagem *Top-down* e abordagem *Bottom-up*

Uma abordagem *top-down* cria uma visão geral do sistema sem entrar em pormenores sobre os seus subsistemas. Os modelos *top-down* baseiam-se em modelos de desagregação estatística. Estes consistem na desagregação dos padrões de utilização de energia para identificar diferentes tipos de cargas. A diversidade é incluída de forma determinística nos dados medidos. Assim, cada setor de construção, como o setor residencial, é submetido a eles de forma independente. Utilizam estatísticas nacionais de energia para interpolar, por exemplo, o consumo de eletricidade de um edifício. Estes modelos começam frequentemente com a identificação da procura de energia passada ou presente numa área específica. As vantagens destes modelos incluem a sua simplicidade, a utilização de dados geralmente bem disponíveis e agregados e a capacidade de modelar um edifício utilizando os valores reais de consumo de eletricidade. No entanto, estes métodos não conseguem modelar os impactos de várias técnicas ou o aparecimento de novas utilizações finais que não tenham sido medidas, o que torna difícil identificar as áreas cruciais para a redução do consumo de energia. Além disso, pensa-se que são particularmente úteis para determinar as necessidades energéticas de uma zona a nível regional ou mesmo nacional (Buso et al., 2017), (Hong et al., 2013), (Kavgic et al., 2010).

Por outro lado, as abordagens *bottom-up* centram-se no contexto específico do edifício e procuram determinar a contribuição de cada utilizador final para o consumo global de energia do sistema. É utilizada uma hierarquia de dados desagregados dos componentes para construir abordagens *bottom-up*, que são depois integradas com base numa avaliação do impacto de cada componente no consumo de energia. Esta abordagem pode ajudar a estabelecer parâmetros de referência para o desempenho energético de um edifício com base numa análise teórica da estrutura que considere características particulares que as abordagens *top-down* podem não captar totalmente. Se o modelo for exato, os métodos *bottom-up* podem também ser utilizados para diagnosticar edifícios e encontrar potencial para melhorar a eficiência energética (Buso et al., 2017), (Kavgic et al., 2010), (Burman et al., 2014).

Em conclusão, a comparação das vantagens e desvantagens da utilização de abordagens *top-down* e *bottom-up* demonstrou que as várias abordagens não devem ser utilizadas

isoladamente, mas sim em combinação, para maximizar as vantagens na identificação e melhoria da eficiência energética de edifícios não residenciais.

Os métodos de aferição de desempenho *bottom-up* e *top-down* complementam-se mutuamente e dão à análise de desempenho uma caixa de ferramentas. As metodologias *top-down* comparam um edifício com uma amostra representativa de outras estruturas, o que pode ser um fator de eficiência energética. Por outro lado, os métodos *bottom-up* comparam o desempenho real de um edifício com o seu desempenho teórico e podem ser extremamente úteis para o diagnóstico e a melhoria do desempenho do sistema. Isto abre a porta à realização de investigação adicional para examinar a forma como as abordagens *top-down* e *bottom-up* podem ser integradas. Na Tabela 2 são apresentadas algumas vantagens e desvantagens destes dois métodos.

Tabela 2: Vantagens e desvantagens do método *top-down* e *bottom-up* (Suciu et al., 2019), (Hong et al., 2013), (Burma net al., 2014)

<b>Abordagem</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<i>Bottom-up</i>	Considera informações pormenorizadas sobre o edifício	Envolve muitos parâmetros
	Produzir estimativas precisas do desempenho energético	É necessário que todas as utilizações finais de energia não induzam em erro os resultados
	Analisar as causas profundas dos problemas de desempenho	Condições de funcionamento diferentes comparadas com as normas podem induzir em erro os cálculos de aferição
<i>Top-down</i>	Centrar-se na interação entre o setor económico e energético	Basear-se numa série de pressupostos
	Utilizar dados económicos agregados	Não são adequados para a avaliação de políticas tecnológicas
	Dados mínimos necessários por edifício	Apoiar-se nas interações históricas entre os setores energético e económico

Para além disso, os métodos podem ser de diagnóstico ou de prognóstico e orientados por leis ou por dados.

### 3.1.2 Modelos de diagnóstico ou de prognóstico

Os modelos de diagnóstico são utilizados para determinar a natureza ou a origem de um fenómeno. Dito de forma simples, podem ser aplicados a um sistema para compreender melhor as leis que o controlam. Por outro lado, os modelos de prognóstico são utilizados para prever o comportamento de um sistema com base num conjunto de leis bem estabelecidas que o regem (Coakley et al., 2014).

### 3.1.3 Modelos orientados por leis ou por dados

Os modelos orientados por leis (ou avançados) utilizam uma série de leis já estabelecidas (gravidade, transferência de calor/massa, etc.) que coordenam um sistema, com o objetivo de prever o seu comportamento em função das propriedades e condições aplicadas. Por outro lado, os modelos orientados por dados (ou inversos) fazem o contrário. Utilizam o comportamento conhecido do sistema para prever as suas propriedades. Por outras palavras, este modelo pode descrever um sistema com uma quantidade reduzida de informação. Os modelos orientados por leis, por outro lado, são frequentemente excessivamente parametrizados, exigindo mais entradas do que os dados fornecidos podem suportar. A vantagem dos modelos orientados por leis é, no entanto, o facto de permitirem a modelação do comportamento do sistema num conjunto de condições inéditas, ao passo que os modelos orientados por dados exigiriam a utilização de dados prévios para simular o comportamento (Coakley et al., 2014).

### 3.1.4 Método BECP

No contexto de edifícios de grande escala, como os edifícios industriais, a previsão do consumo de energia pode ser efetuada de acordo com o método BECP (*Building Energy Consumption Prediction*). Este método é uma iniciativa bem-sucedida para aumentar a eficiência energética dos edifícios e tem sido crucial no controlo da energia dos edifícios, na otimização da conceção dos edifícios, na avaliação da modernização dos edifícios, na

orientação do preço da energia e na prevenção e controlo da COVID-19. Ao ajudar os gestores de edifícios a tomar decisões mais sensatas, o BECP desempenha um papel significativo na melhoria da taxa de utilização de energia (Liu et al., 2023) (Li et al., 2017).

As abordagens BECP podem ser classificadas em três categorias: caixa branca, caixa negra e caixa cinzenta.

A primeira, também conhecida como modelo físico, é construída e analisada com base nos dados das características energéticas do edifício e nos princípios termodinâmicos. Este é o único método que pode prever com precisão o consumo de energia no setor dos edifícios sem quaisquer dados anteriores. Uma vez que está diretamente relacionado com as características físicas do edifício, do sistema e do ambiente, oferece uma plataforma para avaliar os efeitos das alterações a estes parâmetros. DOE-2, EnergyPlus, TRNSYS e ESP-r são algumas ferramentas que utilizam este tipo de abordagem. Estas ferramentas podem criar modelos de previsão do consumo de energia com base nos parâmetros estruturais específicos dos edifícios, nas condições climatéricas e na eficiência dos sistemas de ar condicionado (Coakley et al., 2014) (Liu et al., 2023) (Gassar et al., 2020).

A segunda, a abordagem de caixa negra, é também designada por método de dados orientados numa variedade de cenários práticos, devido à grande quantidade de dados e estruturas de algoritmos estatísticos utilizados. Esta abordagem é desenvolvida exclusivamente com base em dados históricos (grandes conjuntos de dados e algoritmos de aprendizagem automática) sem o conhecimento pormenorizado das informações físicas no local, ao contrário da abordagem de caixa branca. Este método utiliza algoritmos específicos para analisar os grandes conjuntos de dados recolhidos e explorar a lógica entre os dados para chegar a um planeamento estratégico autónomo. As abordagens de caixa negra mais populares são o modelo de regressão simples (SRM), a regressão linear múltipla (MLR), as árvores de decisão (DT), as redes neuronais artificiais (ANN) e a máquina de vetores de apoio (SVM) (Liu et al., 2023) (Tardioli et al., 2015). Por último, a abordagem de caixa cinzenta combina conhecimentos físicos anteriores com informações provenientes de fontes de dados (Liu et al., 2023) (Tardioli et al., 2015). Na Tabela 3 é feita uma comparação das vantagens e desvantagens de cada categoria.

Tabela 3: Vantagens e desvantagens por categoria (caixa branca, caixa negra, caixa cinzenta) (Coakley et al., 2014) (Gassar et al., 2020) (Wei et al., 2018)

Abordagem	Vantagens	Desvantagens
Caixa Negra	Elevada velocidade de funcionamento (exceto SVM)	É necessária uma grande quantidade de dados de treino
	As entradas para o modelo são um conjunto de dados e algoritmos de aprendizagem automática	Não há representação explícita das utilizações finais
	Inclusão dos efeitos macro socioeconómicos	Confiança nos dados históricos
Caixa Branca	Elevada precisão	A velocidade de deslocação é média
	Os resultados podem ser interpretados em termos físicos	Exigem muito tempo, esforço e conhecimentos especializados para o seu desenvolvimento
	As entradas para o modelo são informações físicas	Necessidade de verificação múltipla complexa
Caixa Cinzenta	As entradas para o modelo são informações físicas e dados históricos	Velocidade de funcionamento reduzida
	Precisão muito elevada	Só pode ser extrapolado para permitir uma potencial agregação ou simplificação dos parâmetros de entrada
	Inclusão dos efeitos macro socioeconómicos	É necessário um elevado nível de especialização em modelos de engenharia e modelos estatísticos

### 3.2 Metodologias utilizadas

Um dos métodos usados foi o *Bottom up* por se centrar no contexto específico do edifício e procurar determinar a contribuição de cada utilizador final para o consumo global de energia

do sistema. Como referido anteriormente, é utilizada uma hierarquia de dados desagregados dos componentes para construir abordagens *bottom-up*, que são depois integradas com base numa avaliação do impacto de cada componente no consumo de energia.

O outro método usado foi o da caixa branca por este ser o único método que pode prever com precisão o consumo de energia no setor dos edifícios sem quaisquer dados anteriores.

Como referido anteriormente e uma vez que está diretamente relacionado com as características físicas do edifício, do sistema e do ambiente, oferece uma plataforma para avaliar os efeitos das alterações a estes parâmetros. DOE-2 é a ferramenta que utiliza este tipo de abordagem no programa usado que no caso foi o eQUEST. Estas ferramentas podem criar modelos de previsão do consumo de energia com base nos parâmetros estruturais específicos dos edifícios, nas condições climáticas e na eficiência dos sistemas de ar condicionado.

Várias abordagens não devem ser utilizadas isoladamente, mas sim em combinação, para maximizar as vantagens na identificação e melhoria da eficiência energética de edifícios não residenciais.

### **3.3 Métodos de simulação do desempenho térmico**

Existem vários métodos de simulação para a avaliação térmica de edifícios industriais, incluindo simulações, análise experimental e monitorização em tempo real.

#### **3.3.1 Análise experimental**

Com o objetivo de aumentar a eficiência energética e reduzir os custos de funcionamento dos edifícios, a análise experimental para avaliação do desempenho energético de edifícios industriais é uma estratégia viável. Além disso, as falhas e anomalias do sistema podem ser detetadas através da análise experimental, o que permite aos gestores dos edifícios tomar medidas corretivas antes que surjam problemas mais graves.

Uma abordagem para avaliar a eficácia energética de edifícios industriais utilizando simulações dinâmicas e procedimentos experimentais é apresentada por Pisello et al. (2014). O documento conclui que esta abordagem é bem-sucedida na procura de oportunidades para aumentar a eficiência energética do edifício, reduzir as despesas de funcionamento e

melhorar o desempenho energético. Esta conclusão baseia-se nos dados recolhidos e nos estudos efetuados. A validação experimental do modelo de simulação aumenta a precisão e a fiabilidade da análise.

### 3.3.2 Simulações

A abordagem de simulação energética para edifícios industriais é um método de avaliação do desempenho energético de um edifício, com o objetivo de encontrar formas de aumentar a sua eficiência energética e poupar nas despesas de funcionamento. Para antecipar o consumo de energia do edifício em vários cenários operacionais e climáticos, esta abordagem requer a criação de um modelo informático da estrutura.

EnergyPlus, eQUEST, DesignBuilder e DOE-2 são apenas algumas das ferramentas informáticas disponíveis para a modelação energética de edifícios industriais. Estes programas reproduzem o desempenho energético do edifício através de técnicas de modelação matemática de ponta e oferecem resultados completos sobre a utilização de energia e as emissões de carbono.

A seleção do programa para o cálculo do consumo de energia foi considerada adequada por (Costa et al., 2018) utilizando o Design Builder nos ensaios, tendo-se confirmado que o erro relativo relacionado com as zonas caracterizadas do modelo era de cerca de 5%. Apesar de ter alguns inconvenientes, nomeadamente na construção das fachadas do edifício, a interface gráfica utilizada para a produção do modelo, o DesignBuilder, também se revelou uma boa decisão. Tanto o EnergyPlus, como o DesignBuilder, uma interface gráfica de utilizador, refletiram com exatidão as sugestões de outros utilizadores, tal como referido na revisão da literatura.

Além disso, (Costa et al., 2018) constatou que os testes de modelação incluem erros exatos e a superação de desafios que podem torná-los inviáveis. Os problemas mencionados neste e noutros artigos não devem, no entanto, dissuadir os potenciais utilizadores de os utilizarem. Estes métodos demonstraram ter potencialidades e permitem também a caracterização do espaço, sendo que os resultados refletem uma aproximação à realidade a um preço razoável.

### 3.3.3 Monitorização

A monitorização envolve geralmente a utilização de sensores e equipamentos de medição instalados em todo o edifício, tais como contadores de energia, sensores de temperatura e sensores de humidade. Estes equipamentos são ligados a um sistema central de gestão de energia que recolhe e analisa os dados recolhidos.

A partir da análise dos dados, é possível identificar oportunidades de melhoria, como a instalação de sistemas de iluminação mais eficientes, a otimização do sistema de AVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado), a instalação de painéis solares, entre outras medidas.

Além disso, a monitorização do consumo de energia em edifícios industriais pode também ajudar a identificar anomalias e falhas no sistema, permitindo a tomada de ações corretivas antes que ocorram problemas mais graves.

Amado et al. (2018), realizaram o levantamento e inventário dos equipamentos existentes de um edifício industrial, o registo das necessidades para cada setor e os requisitos impostos. Amado et al. (2018), mediu os consumos de forma a obter os perfis de carga de alguns equipamentos e conclui que a iluminação é uma escolha acertada de investimento, uma vez que pode reduzir o consumo de energia elétrica em cerca de 8,2% em relação aos consumos de 2015. Com um retorno da despesa inicial de cerca de 5 anos e meio, esta técnica de eficiência energética garante uma poupança de cerca de 21 000 €/ano.

### 3.3.4 Método de análise aplicado

Usou-se o método da simulação energética para edifícios industriais pois é o método de avaliação do desempenho energético de um edifício, que tem como objetivo encontrar formas de aumentar a sua eficiência energética e poupar em despesas de funcionamento. Para antecipar o consumo de energia do edifício em vários cenários operacionais e climáticos, esta abordagem requer a criação de um modelo informático da estrutura.

## 3.4 Software de simulação energética

Existem vários programas de simulação para avaliação energética de edifícios industriais, tais como: EnergyPlus, eQUEST, DesignBuilder, DOE-2, entre outros.

Cada programa tem as suas próprias características e vantagens, pelo que a escolha do programa adequado depende do objetivo da simulação e das necessidades do utilizador.

#### 3.4.1 EnergyPlus

O EnergyPlus é um software de simulação energética de edifícios desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos. Foi concebido para simular o desempenho energético de edifícios comerciais, residenciais e industriais.

O EnergyPlus é capaz de simular muitas variáveis diferentes, tais como sistemas AVAC, sistemas de iluminação, equipamentos, tem também a capacidade de modelar sistemas de geração de energia renovável, como painéis solares e turbinas eólicas, bem como sistemas de armazenamento de energia. Pode também simular as condições climáticas externas e as condições internas do edifício.

Não tem uma interface gráfica de utilizador fácil de usar, mas tem uma ampla variedade de opções de entrada e saída de dados para facilitar a integração com outras ferramentas de modelação, podendo fazer uma análise de desempenho energético em diferentes escalas, desde edifícios individuais até bairros inteiros (Rallapalli, S. (2017)).

#### 3.4.2 eQUEST

O programa eQUEST utiliza um modelo de simulação energética de edifícios baseado em componentes para avaliar o desempenho energético do edifício. Isto significa que pode simular muitas variáveis diferentes, tais como sistemas AVAC, iluminação, envolvente do edifício e equipamento elétrico e mecânico.

Sohrabkhani et al. (2017), comparou o desempenho do Equest com o EnergyPlus, dois programas de software de simulação energética em edifícios industriais. O eQUEST é outro software de simulação energética amplamente utilizado na indústria da construção. O estudo comparou as características de entrada, a exatidão dos resultados e a facilidade de utilização dos dois programas.

Os resultados da tese mostraram que ambos os programas são capazes de simular com precisão o desempenho energético de edifícios industriais. No entanto, o EnergyPlus foi

considerado mais exato e flexível, permitindo uma modelação mais detalhada dos sistemas energéticos dos edifícios.

No entanto, o eQUEST mostrou que os resultados podem ser extraídos mais rápida e facilmente, o que pode ajudar no processo de tomada de decisão durante o projeto de um edifício (Rallapalli, S. (2017)).

### 3.4.3 DOE-2

O DOE-2 é um programa baseado em linguagem de programação, o que significa que o utilizador precisa de criar um ficheiro de entrada com toda a informação necessária para a simulação. Este ficheiro pode ser criado manualmente ou com o auxílio de uma interface gráfica de utilizador.

O programa é capaz de modelar uma grande variedade de sistemas AVAC e de iluminação, bem como outros aspetos do desempenho energético de um edifício, como a envolvente, os equipamentos e a utilização de energia. Inclui também capacidades avançadas de análise, como a simulação de sistemas de controlo climático e a análise de cargas térmicas.

O DOE-2 é um programa muito flexível e pode ser utilizado para modelar diferentes tipos de edifícios, desde pequenas residências a grandes complexos comerciais. No entanto, como se baseia numa linguagem de programação, pode exigir um certo nível de conhecimentos técnicos para a sua utilização.

Apesar de ser uma ferramenta bastante antiga, o DOE-2 ainda é utilizado em alguns projetos de simulação do desempenho energético de edifícios, especialmente nos Estados Unidos. No entanto, o EnergyPlus tem vindo a ganhar popularidade devido à sua facilidade de utilização e maior capacidade de modelação (Maile et al., 2018). A Tabela 4 mostra as principais funcionalidades e diferenças entre o DOE-2 e o EnergyPlus.

Tabela 4: Funcionalidades e diferenças entre o DOE-2 e o EnergyPlus (Continua)  
(Maile et al., 2018)

<b>Funcionalidade/Ferramentas</b>	<b>DOE-2</b>	<b>EnergyPlus</b>
1) Método de cálculo da carga espacial	Método do fator de ponderação	Abordagem baseada no equilíbrio térmico
2) Complexidade da geometria	Geometria simplificada (transferência de calor 1-D)	Geometria 3-D simplificada (transferência de calor 1D)
3) Cargas e conectividade dos sistemas	Não há feedback do sistema	Simulação integrada de cargas e sistemas
4) Definições do sistema AVAC	Definições de sistema predefinidas	Sistemas AVAC baseados em componentes flexíveis Sistemas AVAC
5) Controlos AVAC	Representação simplificada dos controlos	Controlos mais flexíveis do sistema AVAC
6) Acréscimos específicos do utilizador	Funções definíveis pelo utilizador pontos de entrada de código limitados	Ligação ao SPARK (componentes SPARK definíveis pelo utilizador)
7) "Novas" tecnologias AVAC	Não existem verdadeiros sistemas de distribuição de ar sob o pavimento	Absorção e dessorção de humidade Componentes solares Ventilação natural Fluxo de ar interzonal (ar sob o pavimento e ventilação de deslocamento)
8) Interoperabilidade	Sem capacidades de intercâmbio de dados	Intercâmbio de dados via IFC e gbXML
9) Interconectividade com outras ferramentas	Nenhum	Ligações para COMIS e SPARK
10) Dimensionamento automático	Dimensionamento limitado com base nos dias de conceção	Dimensionamento automático de muitos parâmetros específicos de componentes com base nos dias de projeto

Tabela 4: Funcionalidades e diferenças entre o DOE-2 e o EnergyPlus (Conclusão)

(Maile et al., 2018)

<b>Funcionalidade/Ferramentas</b>	<b>DOE-2</b>	<b>EnergyPlus</b>
11) Tecnologias de software	Motor baseado na entrada e saída de texto	Motor baseado na entrada e saída de ficheiros de texto Abordagem modular
12) Carimbo de data/hora	Fixo 1 hora	Passo de tempo dinâmico do AVAC Mínimo: 1 minuto Máximo: 1 hora
13) Outros	Não representa explicitamente o processo real de controlo do sistema AVAC Não há alteração do desempenho dos componentes AVAC ao longo do tempo	

Uma das principais diferenças entre as duas ferramentas é a sua capacidade. O EnergyPlus tem uma gama mais alargada de funcionalidades e pode simular sistemas e tecnologias de construção mais complexos, tais como aquecimento e arrefecimento radiante, bombas de calor de origem subterrânea e energia fotovoltaica. O EnergyPlus também tem melhor suporte para modelação de sistemas AVAC, incluindo sistemas de volume de ar variável (VAV), que são normalmente utilizados em edifícios comerciais.

Outra diferença é a sua interface e usabilidade. O DOE-2 tem uma interface de utilizador relativamente simples e pode ser executado em hardware mais antigo, enquanto o EnergyPlus tem uma interface mais complexa e requer hardware mais potente. No entanto, o EnergyPlus foi concebido para ser mais fácil de utilizar e dispõe de uma série de interfaces gráficas de utilizador, como o OpenStudio e o DesignBuilder.

Em termos de interoperabilidade, o EnergyPlus foi concebido para ser mais interoperável com outros programas de simulação dinâmica do desempenho energético dos edifícios. Utiliza um formato de ficheiro padrão aberto, IDF (Input Data File), que permite aos utilizadores trocar dados com outros softwares e ferramentas.

Globalmente, embora o DOE-2 ainda seja utilizado para algumas aplicações, o EnergyPlus é geralmente considerado uma ferramenta de simulação energética de edifícios mais poderosa e versátil, com melhor suporte para sistemas e tecnologias de edifícios complexos, uma

interface mais fácil de utilizar e melhor interoperabilidade com outras ferramentas de software (Maile et al., 2018).

#### 3.4.4 DesignBuilder

O DesignBuilder é um software de simulação energética de edifícios comerciais que utiliza a técnica de modelação energética de edifícios baseada em sistemas. Tem uma interface gráfica de fácil utilização e é capaz de efetuar simulações detalhadas do consumo de energia, do conforto térmico e da qualidade do ar interior nos edifícios. O DesignBuilder dispõe de ferramentas para a modelação de sistemas de climatização, iluminação, envolvente do edifício, equipamento elétrico e mecânico, e permite também a simulação de estratégias de controlo de carga e de sistemas de energias renováveis (Maile et al., 2018).

Maile et al. (2018), salienta que, o EnergyPlus é o motor de calculo do DesignBuilder e assenta num modelo de simulação energética de edifícios baseado em sistemas, permitindo uma simulação mais precisa do desempenho energético dos edifícios. Além disso, tal como outros programas de simulação energética de edifícios, o DesignBuilder também tem a capacidade de interoperar com outros programas, o que permite uma simulação mais completa e precisa do desempenho energético do edifício ao longo do seu ciclo de vida (Maile et al., 2018).

Na Tabela 5 temos a comparação da funcionalidade do eQuest e do DesignBuilder.

Tabela 5: Comparação da funcionalidade do eQuest e do DesignBuilder (Continua)  
(Maile et al., 2018)

<b>Funcionalidade/Ferramentas</b>	<b>eQuest</b>	<b>Design Builder</b>
1) Motor	DOE-2.2	EnergyPlus
2) Formato do ficheiro meteorológico	BIN	EPW
3) Sistemas HVAC	Todos os sistemas DOE-2	Apenas sistemas AVAC básicos e compactos

Tabela 5: Comparação da funcionalidade do eQuest e do DesignBuilder (Maile et al., 2018) (conclusão)

4) Interoperabilidade / intercâmbio de dados	<p>Importação DXF (apenas uma pegada)</p> <p>Intercâmbio de dados gbXML (através da importação de ficheiros inp)</p>	<p>Importação de DXF (múltiplas pegadas)</p> <p>Sem importação de ficheiros IDF</p>
5) Características	<p>Suporta diferentes alternativas de conceção</p> <p>Assistentes de introdução</p> <p>Análise de conformidade com o Título 24</p>	<p>Modelos específicos de cada país ou região</p> <p>Janela de ajuda (informações de ajuda direta)</p>
6) Dimensionamento automático	<p>Utiliza as capacidades de dimensionamento do dia de projeto do DOE-2</p>	<p>Utiliza os cálculos de dimensionamento do dia de projeto do EnergyPlus</p>
7) Problemas de intercâmbio de dados	<p>Para gbXML: Superfícies de sombreamento incorretas</p> <p>Paredes em falta Paredes internas / externas</p>	<p>Não aplicável</p>

#### 3.4.5 Open Studio

Outra interface para o EnergyPlus desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Energias Renováveis para o Departamento de Energia dos EUA permite aos utilizadores construir e modificar a geometria do edifício para os ficheiros de entrada do EnergyPlus. Chama-se Open Studio Plug-in for Google Sketch Up. Os utilizadores também podem iniciar simulações no EnergyPlus e examinar os resultados utilizando este *plug-in* gratuito sem sair do Google Sketch Up 3D. O *plug-in* melhora o ambiente do Sketch Up com as capacidades de modelação energética de edifícios do EnergyPlus. Sem sair do Sketch Up, é possível iniciar uma simulação no EnergyPlus do modelo em que se está a trabalhar e examinar os resultados.

### 3.4.6 Programa de simulação energética escolhido

A software escolhido de entre todos os que foram apresentados foi o eQuest.

O eQuest é uma ferramenta de simulação energética amplamente reconhecida e amplamente utilizada na indústria da construção. A sua popularidade é atribuída a várias razões, sendo a gratuidade uma delas. O fato de o eQuest ser um software gratuito torna-o acessível a um amplo público, desde profissionais experientes até estudantes e investigadores, sem a necessidade de investir em licenças caras. Essa característica torna o eQuest particularmente atraente para orçamentos limitados e projetos com recursos financeiros restritos.

Outra razão que justifica esta escolha do eQuest é sua aptidão para diferentes tipos de simulação, incluindo este caso específico, conforme descrito no Manual SCE. Ele oferece uma ampla gama de recursos e opções para modelar diferentes sistemas e componentes de um edifício, permitindo uma análise abrangente e precisa. É particularmente adequado para casos específicos, como este, porque segue as diretrizes estabelecidas no Manual SCE. Isso significa que o software está alinhado com as normas e regulamentos relevantes da indústria, garantindo que as simulações sejam consistentes e confiáveis.

Além da sua gratuidade e adequação para o seu caso específico, o eQuest também possui uma comunidade de utilizadores ativa e suporte técnico disponível. Isso significa que se pode encontrar recursos adicionais, tutoriais e compartilhar experiências com outros profissionais que utilizam o eQuest. A disponibilidade de suporte técnico também é valiosa, pois pode-se obter assistência caso enfrente desafios técnicos ou tenha dúvidas durante o processo de simulação.

## 4. CASO DE ESTUDO

O caso de estudo tem como objetivo identificar medidas de melhoria de eficiência energética para reduzir e otimizar os consumos energéticos do edifício industrial da empresa Continental Advanced Antenna. Este edifício está localizado na zona Industrial de Constantim em Vila Real, Portugal.

Esta empresa é uma das principais especialistas e fabricantes de antenas para automóveis na Europa. Todos os anos, produz mais de 18 milhões de antenas, que são exportadas para todo o mundo. A Continental Advanced Antenna Portugal é um dos maiores empregadores privados na região de Vila Real, com cerca de 550 funcionários. O Grupo Continental emprega mais de 240 000 pessoas e está presente em 60 países, tendo como objetivo fornecer transporte inteligente e conectado (COTEC Portugal, 2023).

Uma das características distintivas é o facto de que a unidade industrial desta empresa ter sofrido várias remodelações e ampliações, visíveis na Figura 3, ao longo do tempo isto faz com que algumas áreas do edifício estejam mais otimizadas em relação aos consumos energéticos do que outras.

De acordo com os objetivos identificados, pretende-se identificar medidas de melhoria para reduzir os consumos energéticos de forma a otimizar o consumo e também, por outro lado, reduzir custos para a empresa.

Para tal, será necessário avaliar as instalações da Continental Advanced Antenna, analisando as suas soluções construtivas, consumos energéticos, equipamentos e sistemas presentes nas suas infraestruturas. Isto para analisar possíveis medidas de melhoria neste edifício industrial.



Figura 3: Instalações da Continental Advanced Antenna (COTEC Portugal, 2023)

## 4.1 Caracterização da unidade industrial

### 4.1.1 Descrição da unidade industrial

Este projeto foi realizado no complexo industrial Continental Advanced Antenna. Este complexo possui 4 pisos, rés-do-chão mais 3 pisos, 2 inferiores e 1 superior, sendo a sua área total de construção de aproximadamente 12 300 m<sup>2</sup> dos quais 9 696 m<sup>2</sup> são espaços úteis, ou seja, espaços com necessidades específicas de manutenção de condições de temperatura no seu interior.

De relembrar que o regulamento que foi seguido foi o RECS (Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços) por ser o que mais se aproxima dos edifícios industriais e por não haver ainda, pelo menos em Portugal, um regulamento próprio dos edifícios industriais

Dentro do contexto do RECS da ADENE (Agência para a Energia) espaços úteis são as áreas ou compartimentos nos edifícios de comércio e serviços que são utilizados para fins específicos relacionados com as atividades comerciais ou de prestação de serviços. Esses espaços englobam as áreas onde as atividades principais do edifício ocorrem e onde são desempenhadas as funções para as quais o edifício foi projetado (Adene, 2023).

Todo o complexo está interligado apesar da sua construção não ter sido realizada no mesmo período. Primeiramente, foi construído o edifício "principal", seguido de 3 ampliações ao longo dos anos, tal como é visível na Figura 4.

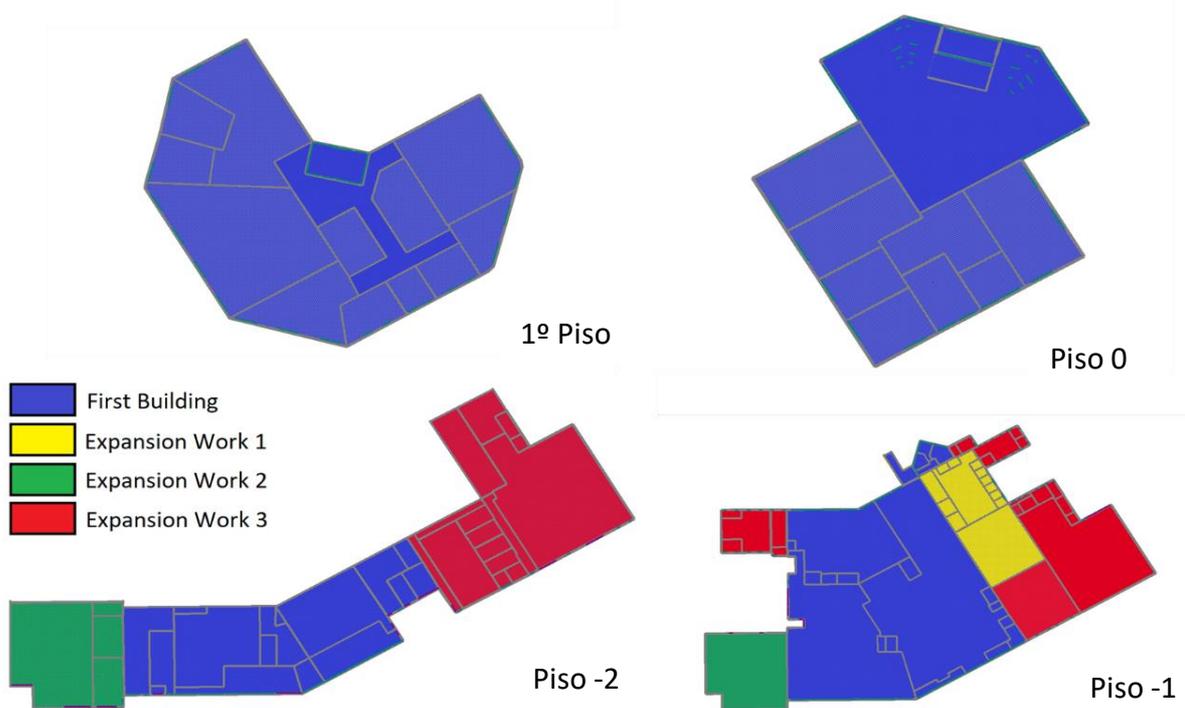


Figura 4: Expansões do edifício industrial

O complexo edificado pode ser dividido, principalmente, em 4 tipos de áreas: áreas de escritórios, áreas de produção, áreas de armazenamento e áreas comuns.

Na Figura 5 as áreas comuns, assinaladas a amarelo, são áreas tais como: corredores, escadas e átrios, as instalações sanitárias e a cantina. As áreas de escritório, assinaladas a azul, são constituídas por: gabinetes, salas de reuniões, salas de formação, recursos humanos e auditórios. Às zonas de produção, assinaladas a vermelho, correspondem: as linhas de produção, os laboratórios, as salas de máquinas e as oficinas. As zonas de armazenamento, marcadas a verde, são constituídas pelos armazéns de expedição, de receção e de embalagem.

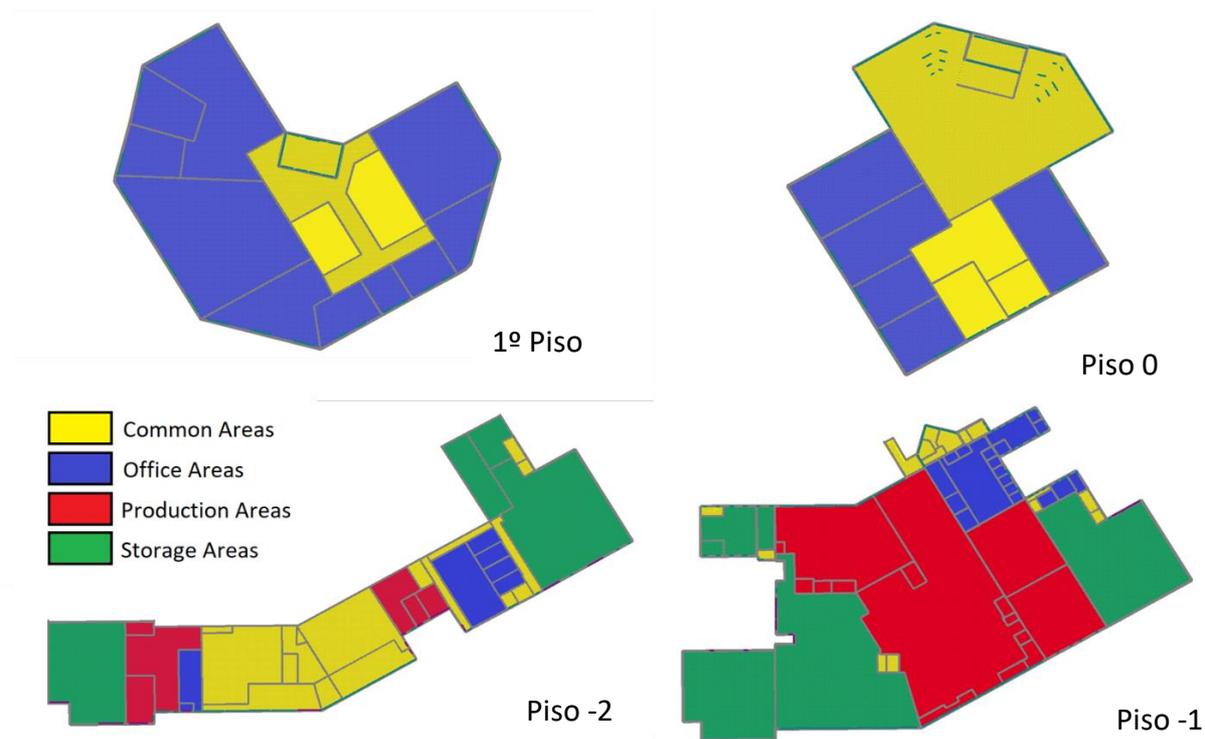


Figura 5: Tipologia das áreas

As zonas de produção e de armazenamento representam a maior parte da área do edifício como mostra a Tabela 6.

Tabela 6: Áreas do complexo por tipologia

Tipologia de Área	Área ( $m^2$ )	Área (%)
Áreas Comuns	1 572	18%
Áreas de Escritórios	2 228	19%
Áreas de Produção	3 598	31%
Áreas de Armazém	3 823	32%

#### 4.1.2 Descrição da atividade e funcionamento

Como referido anteriormente esta empresa é um dos principais especialistas e fabricantes de antenas para automóveis na Europa.

A unidade industrial funciona 24 horas por dia, durante 5 dias por semana, e emprega cerca de 540 trabalhadores. A Tabela 7 e a Tabela 8 mostram o número de trabalhadores por área de trabalho e o seu horário de trabalho. Para uma visão da distribuição dos trabalhadores por tipo de espaço mais pormenorizada, pode ser consultada no Apêndice I.

Tabela 7: Número de trabalhadores por área de trabalho

Área de trabalho	Número de trabalhadores
Administração / Escritório	92
Produção	410
Armazém	38

Tabela 8: Horários de trabalho por turnos

Categoria	Início	Fim
Turno 1	06:00	15:00
Turno 2	15:00	00:00
Turno 3	00:00	06:00
Normal 1	08:00	17:00
Normal 2	09:00	18:00
Flexível	09:00	A partir 16h
Isenção	Variável	Variável

#### 4.1.3 Requisitos mínimos dos espaços de trabalho – temperatura e humidade

Por se tratar de um edifício industrial, este possui uma grande quantidade de equipamentos, tais como, AVAC e equipamentos de produção, com elevadas taxas de consumo de energia. A atividade desenvolvida nesta indústria exige valores de temperatura e humidade que têm de ser mantidos em vários setores, o que acentua o consumo de energia. De forma a garantir as condições ideais para o bom funcionamento da produção, são instalados vários tipos de equipamentos, tais como: aparelhos de ar condicionado, refrigeradores, bombas de calor e unidades de tratamento de ar (UTA).

Nas áreas de produção, escritórios e armazém de recolha, são estabelecidos valores de temperatura e humidade relativa nos diferentes setores. Na Tabela 9, de acordo com os valores revelados na auditoria energética realizada no ano de referência de 2017, são apresentados os pontos de regulação para os diferentes setores onde existem requisitos mínimos relacionados com os intervalos de temperatura e de humidade.

Tabela 9: Exigências de temperatura e humidade relativa (Continua)

Espaço	Temperatura [°C]	Humidade relativa [%]
Escritórios	22	40
Produção SMT	24± 2	45 ± 5
Produção 1	21± 3	39

Tabela 9: Exigências de temperatura e humidade relativa (conclusão)

Espaço	Temperatura [°C]	Humidade relativa [%]
Produção 2	21± 3	39
Laboratório	23± 3	-
Armazém	19	-

Na Figura 6 é visível a dimensão e localização desses mesmos espaços com exigências de temperatura e humidade.



Figura 6: Localização dos espaços com exigências de temperatura e humidade

A exigência na zona de escritórios é assegurada por equipamentos de ar condicionado. A unidade de produção SMT (*Surface Mount Technology*) inclui o consumo elétrico com o funcionamento das linhas SMT, incluindo os vários robots de montagem, transporte, soldadura e inspeção e os fornos, bem como a máquina de lavagem de stencils de pasta de solda e vários dispositivos eletrónicos instalados na sala SMT. Nos fornos, os SMDs (*Surface Mount Device*) são submetidos a um programa de aquecimento até 240°C. A sala SMT é uma sala limpa com necessidades de controlo da temperatura e da humidade, realizadas por dois sistemas independentes: uma unidade integrada de controlo próximo e um conjunto de refrigeradores instalado no exterior. Em ambos os casos, a humidificação é realizada com

vapor produzido com resistências elétricas. A climatização das áreas de produção é feita com quatro unidades *rooftop* e um humidificador elétrico, a climatização do escritório é feita com uma unidade *rooftop* e um humidificador elétrico e a climatização do armazém de recolha é feita com unidades *split*. A climatização do Laboratório é efetuada através de duas unidades *split* que mantêm a temperatura nos 22°C.

Atualmente, as instalações da Continental Advanced Antenna possuem os equipamentos de climatização, identificados na Tabela 10, instalados e em funcionamento.

Tabela 10: Equipamentos climatização

Nº equipamentos	Tipo de equipamento
28	Ar condicionado - Mono e multi-split
2	Unidade de tratamento de ar (UTA)
8	Unidade de Rooftop
2	Ar condicionado - Bomba de Calor
8	Chiller
2	Unidade Close control
2	Humidificador

Relativamente aos equipamentos de produção, existem dois tipos de linhas de produção: uma destinada à montagem final dos produtos, e outra relativa à secção SMT. O principal processo da fábrica é a montagem de SMD em PCB (*Printed Circuit Board*) por SMT.

Este processo baseia-se na instalação dos SMD sem o encaixe ou perfuração do PCB, possibilitando a obtenção de placas mais compactas. Este processo realiza-se na secção SMT (Figura 7), que é basicamente uma sala com 4 linhas de produção com controlo de temperatura e humidade onde estão presentes máquinas constituídas por *robots* de colocação da massa de soldadura, fornos de soldadura *reflow* com atmosfera de azoto e aquecimento por resistências e, por fim, equipamentos de controlo de qualidade.

A massa é aplicada com recurso a *stencils* que, posteriormente, são lavados num equipamento de lavagem. Na Tabela 11, são apresentados os equipamentos e os valores dos consumos energéticos extraídos das suas fichas técnicas, que cada uma das linhas SMT possui.

Tabela 11: Equipamentos das linhas SMT

Linha SMT	
Equipamentos	Consumo energético (kWh)
Asys AES 03 D	0,26
Asys BCO 02	0,11
Asys BFS 01	0,10
Asys BLO 03	0,17
Asys BRS 03	0,20
Asys BBS 20	0,54
Ekra X4	1,10
Ekra X4	1,10
KOH KY9030	2,20
KOH KY9030	2,20
SMT L Plus N2	105
SMT L N2	75

À saída desta secção os SMD seguem para o armazém SMT antes de serem acabados no parque de máquinas. No parque de máquinas é finalizado o fabrico dos SMD. Nesta secção encontram-se várias máquinas de soldadura automática, de lacagem para proteção dos circuitos e fresadoras para garantir a geometria final às placas antes da montagem.

Nas linhas de montagem final chegam, do armazém de *picking*, diversos componentes como as bobinas de cabo e as carcaças das antenas, adquiridos a fornecedores externos, bem como os SMT produzidos na fábrica, realizando-se assim várias operações de preparação de componentes auxiliares: produção de pequenos componentes de plástico por injeção, corte e preparação do fio elétrico, entre outras operações.

Por fim, é realizada a montagem das antenas nas respetivas carcaças, sendo as antenas acabadas remetidas para o armazém de expedição. Para além das linhas de montagem final e SMT, existe também um laboratório denominado de FEPS, que é uma unidade de desenvolvimento e testes.

No laboratório existem vários computadores, 19 câmaras climáticas, um *shaker* (equipamento que sujeita amostras a programas de vibração, com simulação de condições climáticas numa câmara climática própria, para simular o ciclo de vida do produto), um *chiller* e um humidificador de apoio ao *shaker*. O *shaker* e seus equipamentos auxiliares realizam ensaios diários com a duração de 16h. As câmaras climáticas condicionam os equipamentos a temperaturas extremas, negativas ou positivas, dependendo da câmara, integrando para isso bombas de calor e circuitos de água fria.



Figura 7: Linhas SMT

Quanto à iluminação existente (Figura 8) foi realizado um levantamento do número de lâmpadas e respetivas características, instaladas em cada uma das divisões da fábrica, recorrendo às plantas de iluminação disponibilizadas pela Continental. Foram contabilizadas um total de 1 245 lâmpadas LED com um consumo unitário de 27 W. Por todas as lâmpadas da unidade industrial serem LED, essa melhoria ficou descartada.



Figura 8: Iluminação presente na fábrica

#### 4.1.4 Envolventes opacas exteriores dos edifícios da unidade industrial

Devido às várias obras de ampliação e reabilitação efetuadas em diferentes momentos, ao longo da sua existência, o complexo industrial apresenta diferentes soluções construtivas como mostra a Figura 9.



Figura 9: Complexo industrial Continental Advanced Antenna

Na Figura 10, está representado o modelo 3D do edifício, com as diferentes soluções construtivas assinaladas com cores diferentes, identificadas com números de acordo com a caracterização apresentada na Tabela 12.

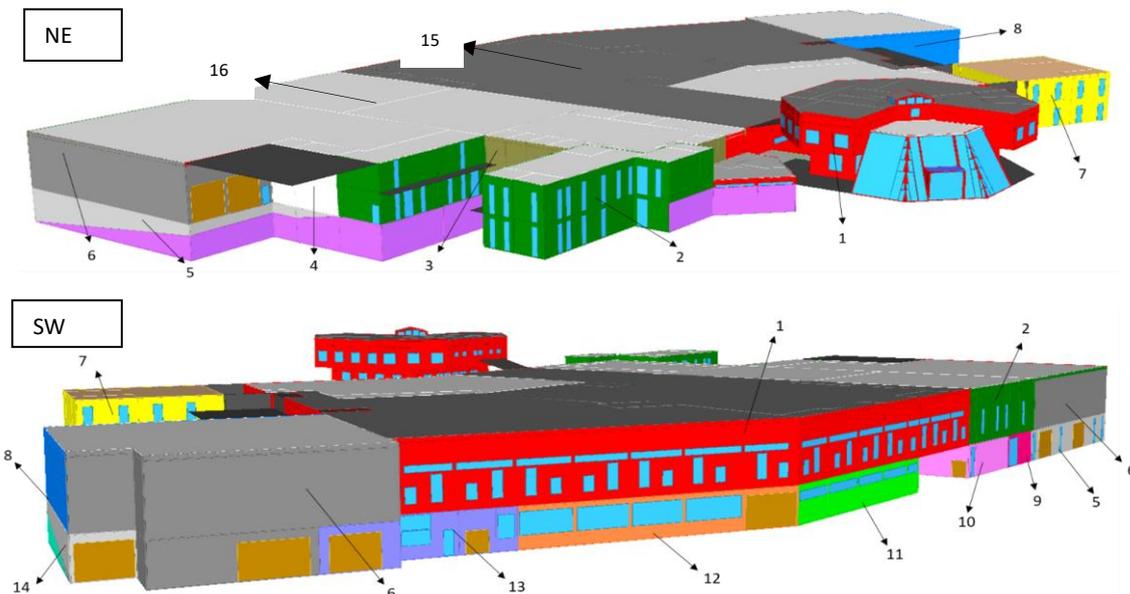


Figura 10: Modelo 3D do edifício – Vista NE e SW

Tabela 12: Soluções Construtivas (Continua)

ID	Solução construtiva	U (W/m <sup>2</sup> °C)
1	Reboco – 2 cm (Exterior) Tijolo – 15 cm Caixa de ar – 5 cm Tijolo – 11 cm Reboco – 2 cm (Interior)	0,95
2*	Aço – 0,6 cm XPS – 8 cm Reboco – 2 cm Tijolo – 22 cm Reboco – 2 cm	0,33
3*	Aço – 0,6 cm XPS – 6 cm Reboco – 2 cm Tijolo – 22 cm Reboco – 2 cm	0,40
4*	Aço – 0,6 cm XPS – 6 cm Reboco – 2 cm Betão Armado – 20 cm Reboco – 2 cm	0,51

Tabela 12: Soluções Construtivas (Conclusão)

ID	Solução construtiva	U (W/m <sup>2</sup> °C)
5	Betão Armado – 25 cm	3,40
6*	Aço – 0,6 cm XPS – 12 cm	0,27
7	Reboco – 2 cm XPS – 6 cm Tijolo – 22 cm Reboco – 2 cm	0,33
8*	Aço – 0,6 cm XPS – 12 cm Caixa de ar – 5 cm Betão Armado – 20 cm	0,26
9*	Betão Armado – 15 cm XPS – 6 cm Caixa de ar – 5 cm Tijolo – 15 cm Painel Cerâmico – 2 cm	0,40
10*	Betão Armado – 15 cm XPS – 6 cm Caixa de ar – 5 cm Tijolo – 15 cm Painel Acústico – 2 cm	0,32
11*	Reboco – 2 cm XPS – 6 cm Reboco – 2 cm Tijolo – 15 cm Reboco – 2 cm Painel Cerâmico – 2 cm	0,43
12*	Painel Cerâmico – 2 cm Reboco – 2 cm Tijolo – 15 cm Caixa de ar – 2 cm Tijolo – 11 cm Reboco – 2 cm	0,94
13*	Reboco – 2 cm XPS – 6 cm Reboco – 2 cm Tijolo – 22 cm Reboco – 2 cm	0,38
14	Betão Armado – 20 cm	3,70
15	Cobertura Fibrocimento	3,72
16	Painel Sandwich 10mm	0,20

O "U" ou coeficiente de transmissão térmica é a medida que quantifica a taxa de transferência de calor através de um material ou uma estrutura, como uma parede, janela, teto ou pavimento. Por outras palavras, o coeficiente de transmissão térmica indica quão eficientemente um material ou conjunto de materiais conduz o calor.

Para calcular o "U" basta fazer o inverso da resistência térmica. Para calcular a resistência térmica faz-se o somatório de todas as resistências térmicas dos materiais da solução que se pretende analisar e essas resistências térmicas podem ser consultadas em fichas técnicas. De salientar que a resistência térmica também pode ser calculada pela divisão da espessura pela condutibilidade térmica do material.

Traduz-se então na seguinte equação 1.

$$U = \frac{1}{R_{total}} \quad (1)$$

Onde:

U [W/(m<sup>2</sup>.°C)] - Coeficiente de transmissão térmica

R<sub>total</sub> [m<sup>2</sup>.°C /W] - Somatório das resistências térmicas dos materiais da solução

As soluções construtivas assinaladas com "\*" na Tabela 12 foram obtidas por aproximação devido à falta de informação fornecida por parte dos responsáveis da unidade industrial. Nas visitas efetuadas às instalações da Continental em Vila Real, efetuou-se o levantamento o mais aproximado possível, não se conseguindo, contudo, validar a solução construtiva real. Foram assumidas soluções construtivas que se se entende estarem coerentes com a época construtiva e com as soluções adotadas nos restantes elementos da unidade industrial.

Para consultar com mais detalhe cada uma das soluções ver Apêndice I.

As soluções de 1 a 14 são relativas a paredes, sendo as soluções 15 e 16 relativos às coberturas visíveis na Figura 11. A área da cobertura possui uma área aproximada de 7 400 m<sup>2</sup>, sendo que cerca de 3 150 m<sup>2</sup> da cobertura são constituídos por telhas de fibrocimento (vermelho) e os restantes 4 250 m<sup>2</sup> de área são painéis sandwich com isolamento (verde).

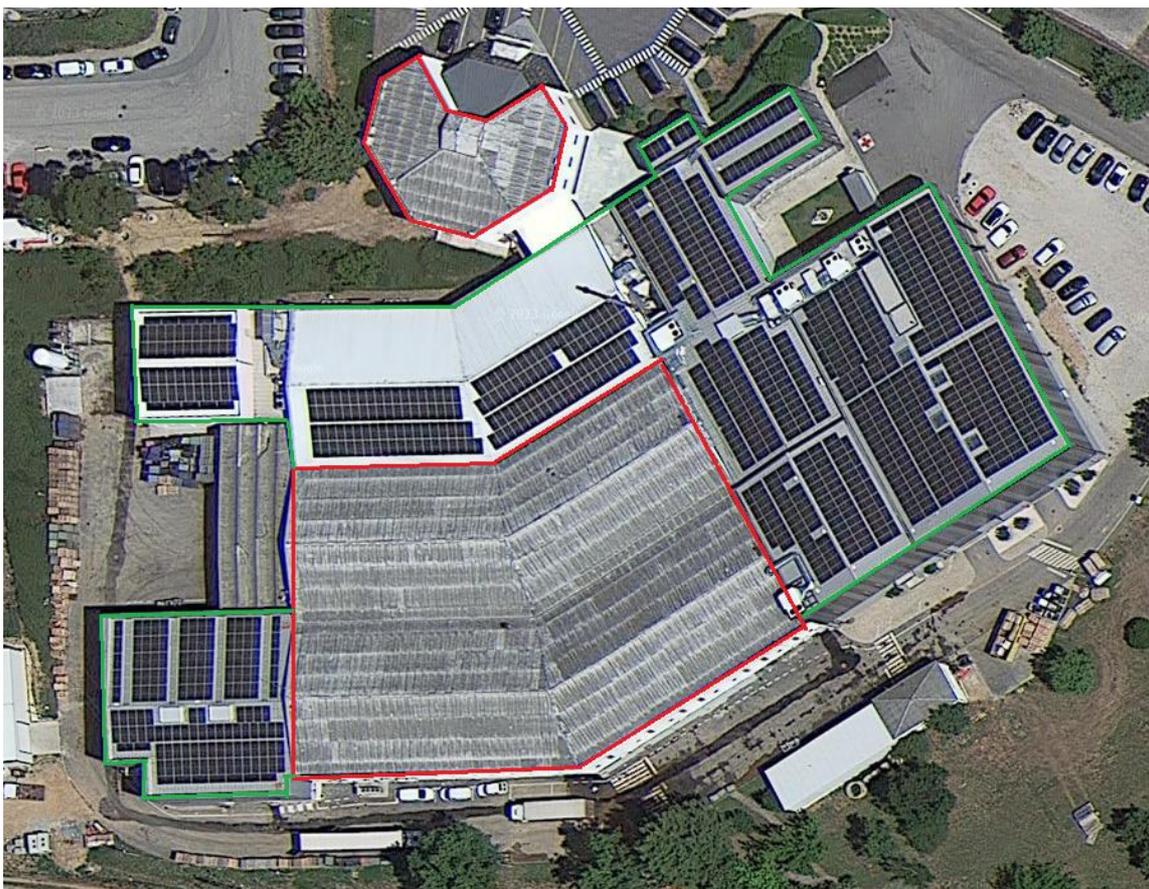


Figura 11: Cobertura do complexo industrial

Já em relação aos pavimentos não se assumiu qualquer solução por este estar em contacto com o solo, para além de não ter sido fornecida nenhuma informação por parte da empresa. Devido à geometria do modelo ter alguns defeitos ao nível do pavimento também não seria possível definir as soluções construtivas dessa envolvente.

#### 4.1.5 Envoltentes envidraçadas exteriores dos edifícios da unidade industrial

No que diz respeito aos vãos envidraçados dos edifícios, estes podem ser divididos em três tipos diferentes: envidraçados simples com caixilharia de alumínio sem corte térmico; envidraçados simples refletores com caixilharia de alumínio sem corte térmico; envidraçados duplos refletores com caixilharia de alumínio e com corte térmico (Figura 12).



Figura 12: Tipos de envidraçados existentes tal como indicado na Tabela 13

A Tabela 13 apresenta os coeficientes de transmissão térmica dos diferentes tipos de envidraçados. Estes valores foram obtidos através de uma ficha técnica e dos valores de referência do ITE50, pois não foi fornecida nenhuma informação sobre os materiais instalados no local. Esses valores podem ser consultados no Anexo I.

Tabela 13: Tipo de vidro

Tipo de vidro	U – Valor ( $W/m^2\text{°C}$ )
Vidros simples (a)	5,9
Vidros simples refletores (b)	5,9
Vidros duplos refletores (c)	1,1

Tal como já foi referido para algumas soluções construtivas das envolventes dos elementos opacos, também no caso dos vãos envidraçados, na ausência de informação sobre o existente, foram assumidas soluções o mais equivalente ao que se encontra instalado no local.

## 4.2 Caracterização do consumo de energia da unidade industrial

Foram analisados os diferentes valores de consumo energético mensal da unidade industrial entre o ano de 2012 e o ano de 2022, tendo sido estes dados fornecidos pela empresa.

Com estes dados foi possível efetuar uma análise da variação e evolução do consumo total de energia utilizada no funcionamento da unidade industrial elaborando assim o gráfico da Figura 13.

Analisando os dados relativos ao consumo total de energia (Figura 13), é possível observar um aumento desde o ano de 2012 até ao ano de 2020, seguido de uma quebra nesta tendência e um decréscimo sucessivo nos anos de 2021 e 2022.

No entanto, ao longo deste período, foram realizadas algumas modificações e implementadas medidas de melhoria no complexo industrial refletindo estes consumos totais de energia. No ano de 2020, foi implementada uma nova linha de SMT, com uma maior capacidade do que as existentes, aumentando em cerca de 41% o consumo das linhas SMT. Foram instaladas 8 câmaras climáticas no laboratório da fábrica em 2020, duplicando o consumo por parte dos laboratórios FEPS e, por fim, devido à pandemia de Covid 19, a circulação de ar novo no sistema de AVAC aumentou dos 30% para os 80%. Outro fator resultante no aumento do consumo total de energia da unidade industrial, passa pelo aumento da produção da fábrica (Figura 13), especialmente aquando da aquisição desta pelo grupo Continental no início do ano de 2019.

De modo a contrariar este aumento contínuo do consumo energético da unidade industrial, no ano de 2018, foram instaladas 350 lâmpadas LED com um consumo de 27 W, substituindo as lâmpadas antigas com um consumo de 108 W.

Em 2021, foram instalados 1 057 módulos fotovoltaicos de 585 W de potência perfazendo um total de 565,5 kW de potência.

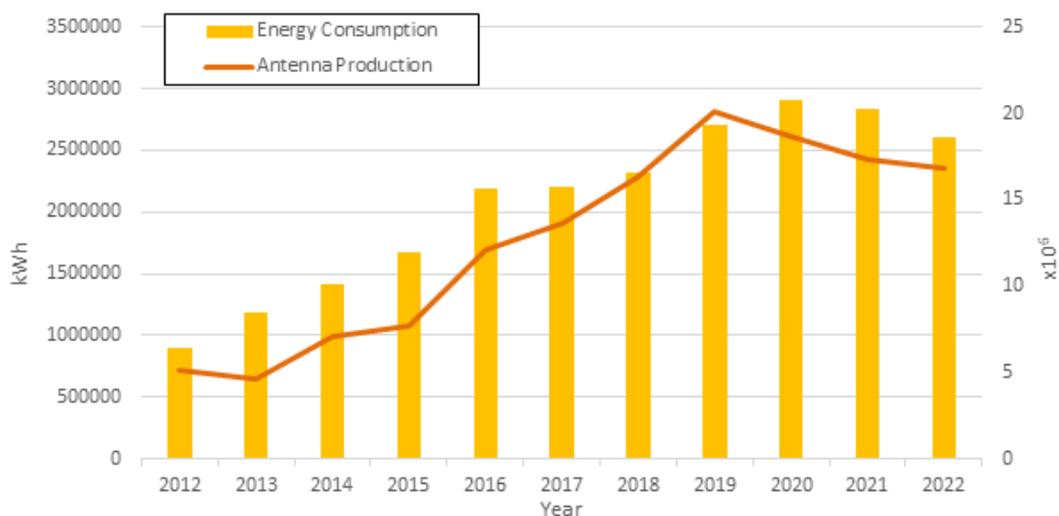


Figura 13: Consumo total de energia e produção de antenas

Outro fator que resultou num aumento do consumo total de energia da fábrica foi o aumento da produção da fábrica (Figura 14), especialmente quando o Grupo Continental assumiu o controlo da Unidade Industrial no início de 2019.

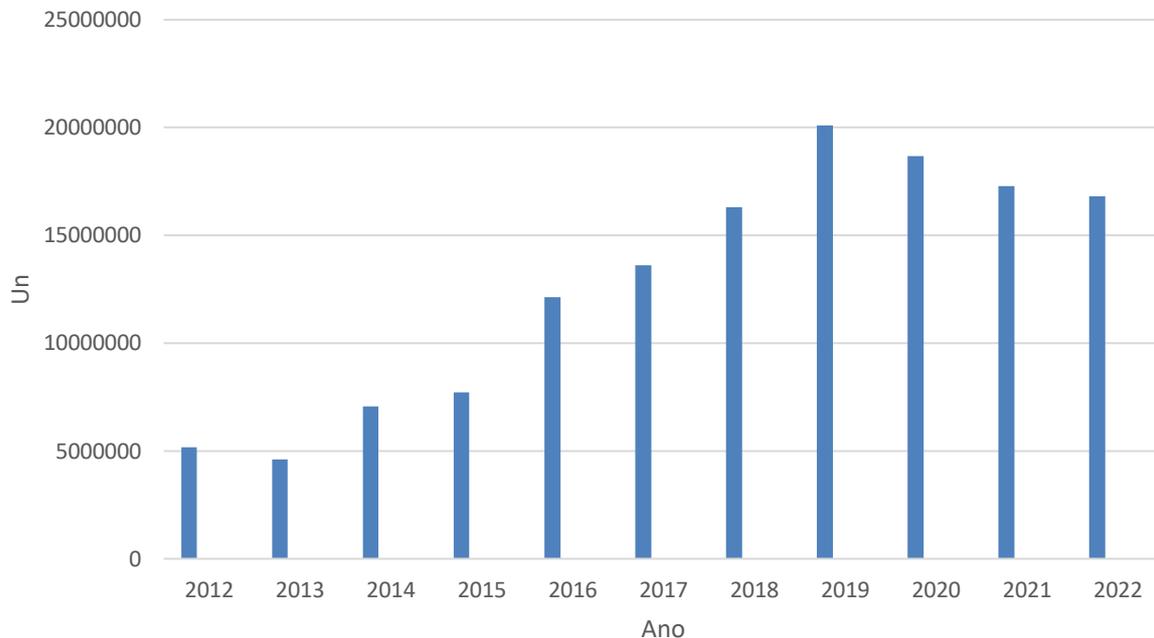


Figura 14: Produção desde 2012 (kWh)

A Figura 15 mostra a evolução da quantidade de energia utilizada para produzir uma antena. Analisando os valores de produção de antenas (Figura 14), e comparando-os com a energia consumida por antena durante o período entre 2014 e 2019 (Figura 15), verifica-se um aumento da eficiência produtiva, com um aumento do número de antenas produzidas e uma diminuição do consumo de energia por antena.

No entanto, este comportamento não se repetiu em 2020. O motivo esteve relacionado com o surto da pandemia COVID 19, obrigando a um aumento da renovação de ar na fábrica, resultando num aumento da energia consumida e devido às restrições aplicadas houve uma diminuição da produção.

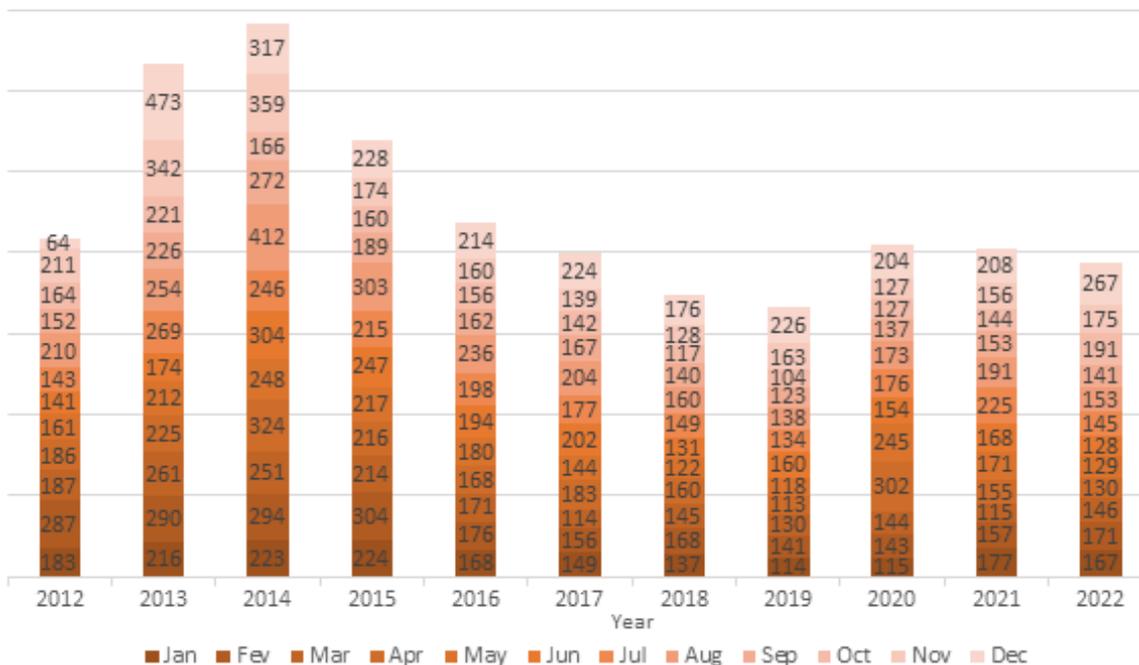


Figura 15: Consumo de energia por antena por mês desde 2012 (W/h)

Na Figura 16 é possível observar a evolução dos consumos energéticos da fábrica desde o ano 2012.

Globalmente, verifica-se um aumento geral do consumo energético ao longo dos anos, existindo várias oscilações pontuais que podem ser explicadas com alguns episódios específicos que ocorreram, tanto a nível interno, como por exemplo, a variação da produção, a instalação e manutenção de equipamentos, instalação dos painéis fotovoltaicos, entre outros, ou a nível externo, como por exemplo, o aparecimento da pandemia da Covid-19.

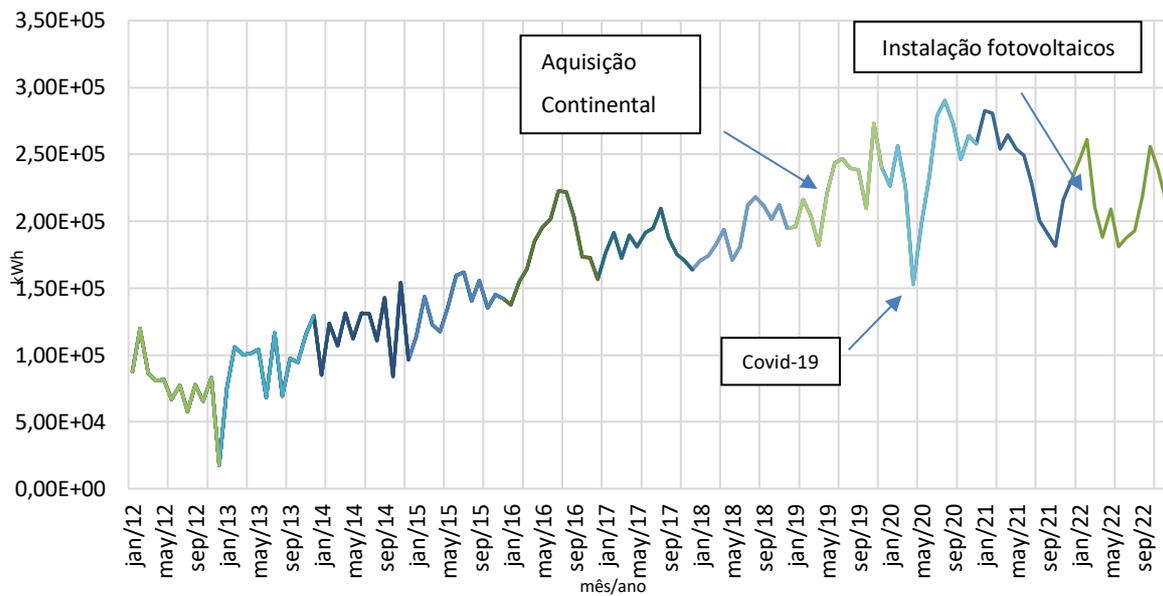


Figura 16: Evolução do consumo total de energia desde 2012

Analisando a Figura 17 relativa ao ano de 2022, verifica-se que quase metade (50%) da energia consumida se destina aos serviços auxiliares (AVAC, iluminação, ar comprimido e extração), seguido da produção que consome cerca de 25% da energia total necessária. A restante parte do consumo de energético é dividido pelas Linhas SMT (9%), pelas Zonas Administrativas e Apoio (6%), pelo Laboratório FEPS (7%), e por fim 3% da energia é consumida noutras aplicações.

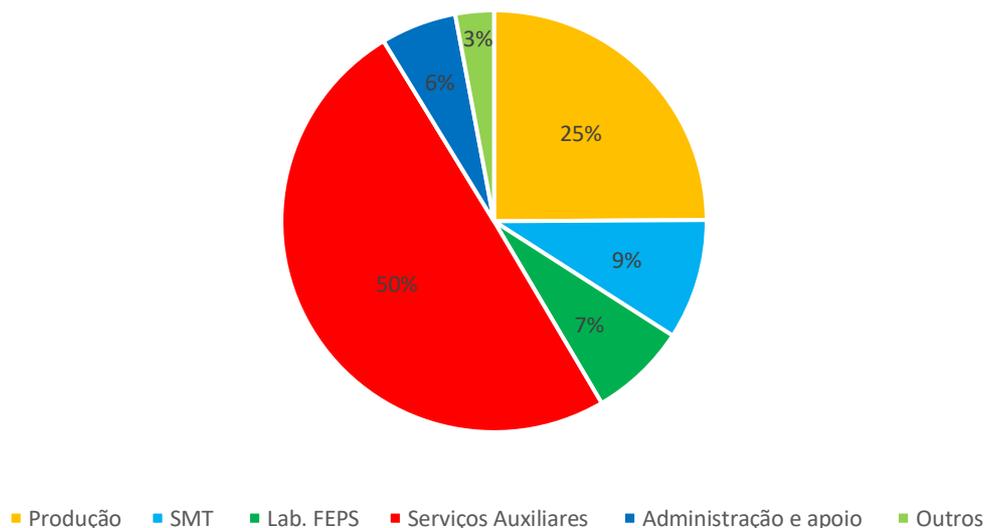


Figura 17: Percentagem de uso de energia por áreas da fábrica

De salientar que os painéis fotovoltaicos instalados em 2021, começaram apenas a produzir a partir do mês de março de 2022, produzindo um total de 516 252 kWh, tendo sido julho de 2022 atingido o pico de produção mensal, correspondente a 94 240 kWh.

## 5. ANÁLISE DO DESEMPENHO ENERGÉTICO

### 5.1 Simulação eQuest

Com base nos dados identificados no Capítulo anterior, foram efetuadas as simulações energéticas com recurso ao programa de simulação dinâmica do desempenho energético dos edifícios (eQuest). Para tal, foi necessária a validação do modelo tendo em conta os valores reais fornecidos pela Continental e os valores calculados pelo programa de simulação dinâmica do desempenho energético dos edifícios, recorrendo às equações MBE (*Mean Bias Error*) e CvRMSE (*Coefficient of variation of the root-mean-squared error*), de acordo com as equações 2 e 3, respetivamente.

$$MBE = \frac{\sum_{\text{período}} (S - A)_{\text{intervalo}}}{\sum_{\text{período}} A_{\text{intervalo}}} \quad (2)$$

$$C_vRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{\text{período}} (S - A)_{\text{intervalo}}^2}}{\frac{1}{N} (\sum_{\text{período}} A_{\text{intervalo}})} \quad (3)$$

Onde:

S – Valores mensais simulados pelo software eQuest

A – Valores reais mensais

N – Número de meses do período comparado

Após a realizada a primeira simulação foram calculados os valores mensais identificados na Tabela 14.

Tabela 14: Valores mensais simulados (kWh\*1000)

Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
235,5	212,1	249,4	223,3	247,5	311,2	333,1	376,9	297,1	232,8	211,89	232,2

Na Tabela 15 são apresentados os valores mensais reais relativo ao ano de 2022.

Tabela 15: Valores reais mensais (kWh\*1000)

Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
245,4	261,3	253,4	241,7	272,2	259,3	281,8	270,0	265,2	292,7	254,5	223,6

Segundo a bibliografia existente, os valores aceitáveis recomendados para a calibração mensal dos dois índices estatísticos MBE e CvRSME, neste tipo de modelos, são  $\pm 5\%$  e  $15\%$ , respectivamente. Neste caso de estudo, os valores calculados do MBE e CvRSME são  $1,33\%$  e  $0,022\%$ , respectivamente.

Analisando os valores calculados comparativamente com os valores reais (Figura 18), é possível verificar uma pequena discrepância em alguns dos valores mensais.

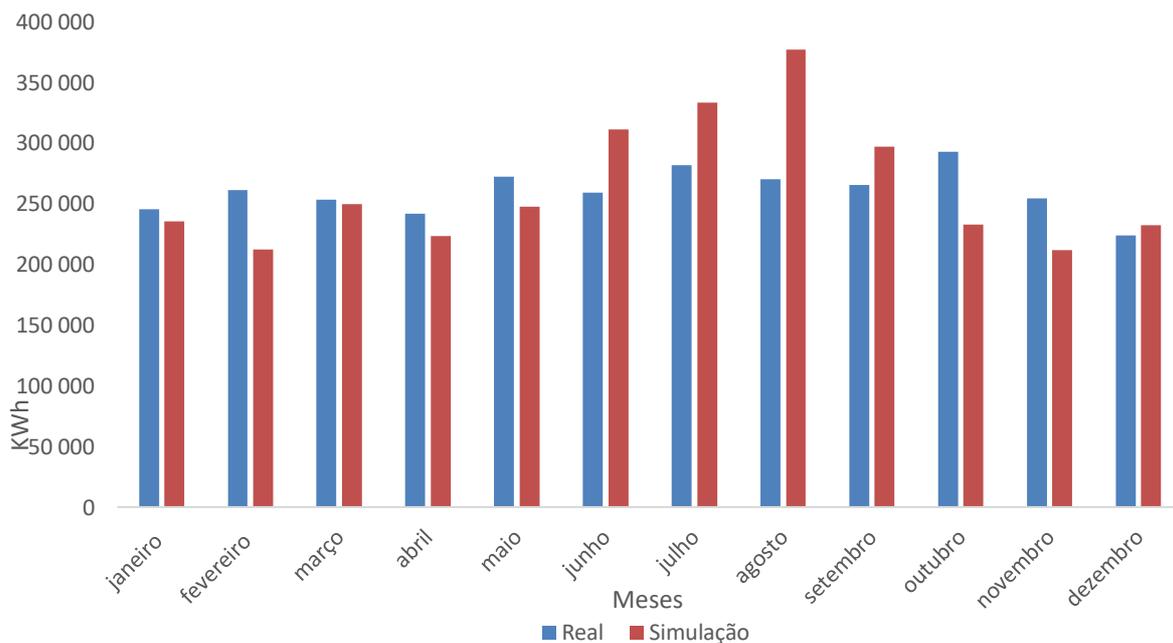


Figura 18: Valores simulados vs Valores reais

Esta discrepância pode ser explicada por distintos fatores. Um deles pode estar relacionado com a variação do nível de produção, ou seja, o programa assume uma produção constante mensal, não existindo uma diferença no consumo dos equipamentos de produção mensal.

Outro fator pode estar relacionado com as condições climatéricas, dado que os relatórios são fornecidos pelas estações climatéricas respetivas ao local de uma forma geral (Vila Real), o que não tem uma correspondência exata com o que se verifica no local da unidade industrial podendo ter um impacto tanto nos consumos energéticos como na produção dos painéis fotovoltaicos.

Outra possível causa passa pelos perfis de utilização dos trabalhadores, ou seja, tendo em conta que vários sistemas instalados na unidade industrial não são centralizados, como por exemplo, os dispositivos de ar condicionado, aquecedores, iluminação, equipamentos de escritórios, entre outros, o seu uso simulado pelo programa pode não ser o seu uso real, tal como acontece com os equipamentos de produção.

Contudo, tal como pode ser observado pelos valores de calibração obtidos, o ajuste do modelo à realidade pode ser considerado válido.

## 5.2 Cenário base

Após a validação do modelo, a simulação inicial passa a ser a simulação base dos consumos energéticos do complexo industrial. Na Figura 19 e na Figura 20 são apresentados os valores da simulação base.

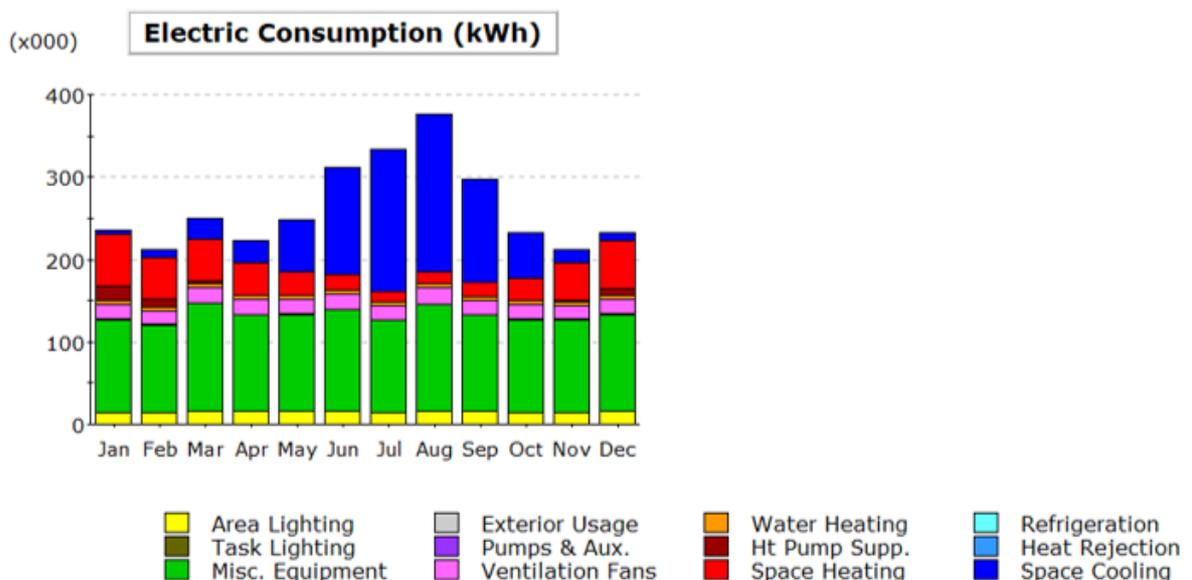


Figura 19: Gráfico dos consumos energéticos por equipamentos do cenário base

**Electric Consumption (kWh x000)**

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Space Cool	5,1	9,5	25,5	27,6	62,9	130,1	171,6	192,3	124,8	56,2	15,9	8,7	830,1
Heat Reject.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Refrigeration	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Space Heat	62,4	50,1	49,2	39,1	27,9	18,1	12,3	14,3	16,7	27,2	45,1	58,4	421,0
HP Supp.	17,8	10,5	3,4	0,4	-	-	-	-	-	-	1,9	8,0	42,1
Hot Water	4,8	4,4	4,9	4,7	4,9	4,8	5,0	5,0	4,7	4,7	4,6	4,8	57,2
Vent. Fans	17,2	16,2	19,3	17,8	18,0	18,5	17,2	19,3	17,8	17,3	17,1	17,9	213,8
Pumps & Aux.	1,2	0,8	0,7	0,5	0,2	-	-	-	-	0,2	0,6	1,0	5,0
Ext. Usage	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Misc. Equip.	112,6	107,0	129,7	118,0	118,5	123,9	112,6	129,5	118,0	112,8	112,4	118,2	1 413,4
Task Lights	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Area Lights	14,4	13,7	16,6	15,1	15,1	15,8	14,4	16,5	15,1	14,4	14,4	15,1	180,5
<b>Total</b>	<b>235,5</b>	<b>212,1</b>	<b>249,4</b>	<b>223,3</b>	<b>247,5</b>	<b>311,2</b>	<b>333,1</b>	<b>376,9</b>	<b>297,1</b>	<b>232,8</b>	<b>211,9</b>	<b>232,2</b>	<b>3 162,9</b>

Figura 20: Resultados dos consumos energéticos por equipamentos do cenário base

Observando os resultados da simulação e calculando a percentagem de cada um dos usos finais da energia consumida (Figura 19 e Figura 20), é facilmente perceptível que a maioria da energia é consumida pelos diversos equipamentos instalados na fábrica que não destinados a climatização e ventilação, como por exemplo: equipamentos de produção e SMT, câmaras climáticas, computadores, entre outros. A segunda maior parcela passa pelo arrefecimento dos espaços, pois grande parte do calor no interior da fábrica é gerado pelos grandes equipamentos existentes nas linhas de produção e SMT, provocando uma significativa necessidade de arrefecimento para a produção em condições específicas de temperatura e humidade e também para garantir o conforto dos trabalhadores nesses espaços. A terceira fração com maior relevância é referente ao aquecimento. Também este, tal como já foi referido para o arrefecimento, está relacionado com os requisitos da produção, num ambiente específico e controlado, e também para o conforto dos trabalhadores. As parcelas HP. Supp, Hot Water, Vent. Fans e Pumps & Aux estão associadas aos equipamentos. Por fim, a última fração é a destinada à iluminação interior da fábrica. Importa referir que os valores da produção dos painéis fotovoltaicos não estão apresentados na Figura 21, sendo que estes são apresentados noutra tipo de relatório gerado pelo software utilizado.

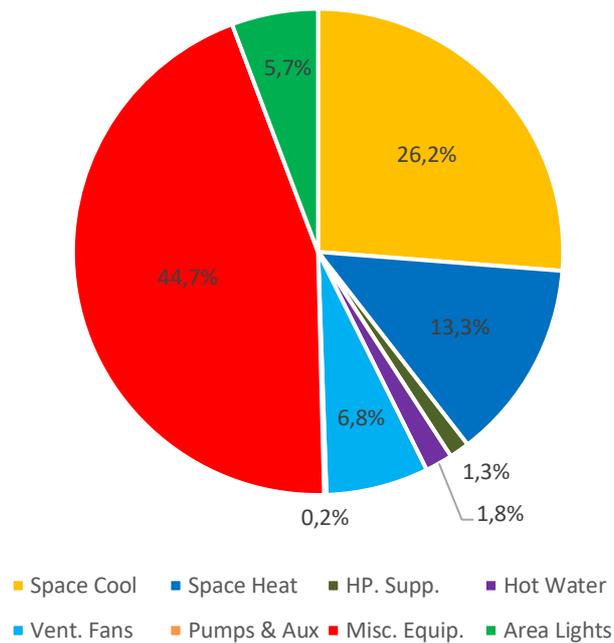


Figura 21: % de usos da energia por equipamentos

Depois de gerado e analisado o cenário de base, foram estudados diferentes cenários para permitir analisar o potencial de diferentes formas de otimização dos consumos energéticos, com reflexo direto na sustentabilidade ambiental e eficiência de recursos da unidade industrial.

Usualmente, o desempenho energético de edifícios baseia-se na comparação do balanço de energia previsto para o mesmo, com o balanço de energia de referência, sendo que no cenário previsto são contabilizados os consumos de energia para aquecimento, arrefecimento, ventilação, preparação de águas quentes sanitárias, iluminação, elevadores, escadas e tapetes rolantes e ainda o contributo de sistemas renováveis.

No cenário de referência o procedimento é análogo, porém, considera-se a inexistência de sistemas renováveis e de sistemas de ventilação exclusivamente natural. Os balanços de energia são determinados em condições nominais, considerando-se uma temperatura interior de 20°C na estação de aquecimento e de 25°C na estação de arrefecimento.

O desempenho energético não habitacional é calculado através da comparação do seu Indicador de Eficiência Energética (IEE) com o de um edifício de referência. O IEE é calculado pelo somatório de todos os consumos do edifício transformados em energia primária por

unidade de área subtraindo a produção de origem renovável, igualmente convertida, conforme Equação 4 (equação 1 da Portaria n.º 349-D/2013).

$$IEE = IEE_S + IEE_T - IEE_{REN} \left[ \frac{kWh_{EP}}{m^2 \cdot ano} \right] \quad (4)$$

Estes consumos são divididos em 2 tipos: consumos tipo “IEES” e “IEET”, sendo que para o cálculo da classe energética apenas são contabilizados apenas os consumos tipo “IEES”. Estes estão identificados na Tabela 16.

Tabela 16: Consumos no IEES e IEET  
(Tabela I.01 da Portaria n.º 349-D/2013).

Consumos IEES	Consumos IEET
Aquecimento e arrefecimento ambiente, incluído humidificação e desumidificação	Ventilação e bombagem não associada ao controlo de carga térmica
Ventilação e bombagem em sistemas de climatização	Equipamentos de frio
Aquecimento de águas sanitárias e de piscinas	Iluminação dedicada e de utilização pontual
Iluminação interior	Elevadores, escadas e tapetes rolantes (até 31 de dezembro de 2015)
Elevadores, escadas e tapetes rolantes (a partir de 1 janeiro de 2016)	Iluminação exterior (até 31 dezembro de 2015)
Iluminação exterior (a partir de 1 janeiro de 2016)	Todos os restantes equipamentos e sistemas não incluídos em IEES

Para efeitos de avaliação das condições em cada um dos cenários estudados com este trabalho foi adotado o procedimento identificado na Figura 22 e que consiste em primeiro lugar fazer uma avaliação energética do edifício com base nas condições reais, ou seja, recolher dados do consumo real da unidade industrial, detetar padrões de consumo de energia em diferentes horários e por outro lado analisar a eficiência dos sistemas de AVAC, iluminação entre outros.

Depois foi preciso calibrar o modelo de simulação no software eQuest de forma a ficar o mais próximo possível da realidade.

Perante a calibração finalizada determinou-se os Indicadores de eficiência energética prevista e posteriormente os indicadores de eficiência energética de referência. A primeira caracteriza-se maioritariamente nas condições de projeto ou reais (Prevista) enquanto a segunda baseia-se no mesmo edifício, com os mesmos perfis de utilização, mas com soluções de referência definidas na legislação da Portaria n.º 349-D/2013.

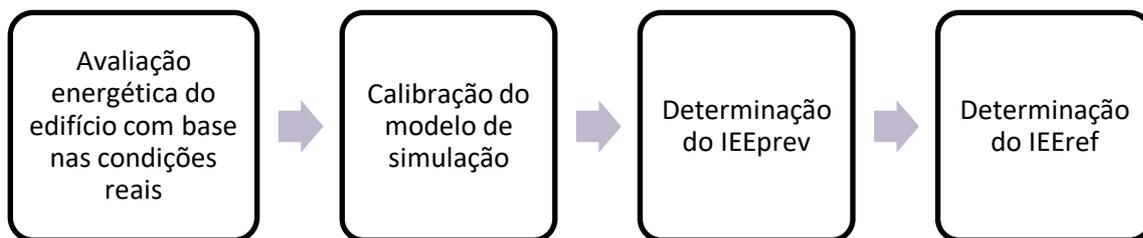


Figura 22: Procedimento utilizado

Na Figura 23 e Figura 24 são apresentados os resultados da simulação de referência tendo em conta todos os pressupostos a considerar segundo o Guia SCE – Indicadores de desempenho energético (RECS) tendo como base a Portaria n.º 349-D/2013.

Este guia apenas é aplicado a edifícios de comércio e serviços, mas como não existe legislação igualmente para os edifícios industriais decidiu-se aplicar este guia por ser o mais próximo de um edifício industrial.

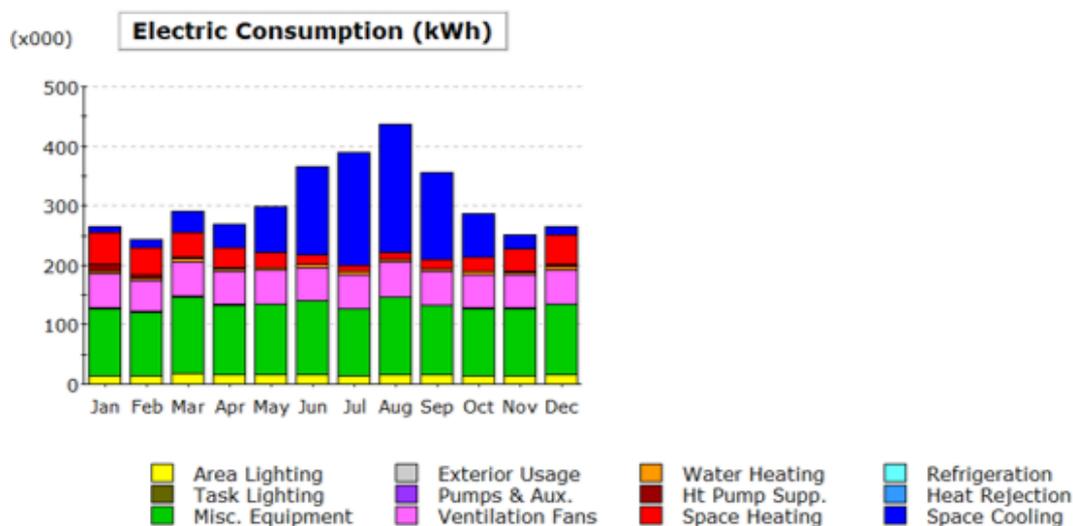


Figura 23: Gráfico dos consumos energéticos por equipamentos segundo os indicadores de referência

Electric Consumption (kWh x000)														
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total	
Space Cool	9,1	13,9	35,3	38,9	76,8	149,1	189,2	213,8	146,7	72,9	24,0	13,4	983,1	
Heat Reject.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Refrigeration	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Space Heat	54,5	43,7	42,5	34,0	24,4	15,8	10,4	12,1	14,7	23,6	38,7	49,9	364,4	
HP Supp.	10,6	6,8	2,3	0,3	-	-	-	-	-	-	1,2	4,8	26,0	
Hot Water	4,8	4,4	4,9	4,7	4,9	4,7	4,8	4,9	4,7	4,8	4,6	4,8	57,1	
Vent. Fans	56,7	51,9	58,8	56,0	57,4	56,7	56,7	58,8	56,0	56,8	55,3	57,4	678,5	
Pumps & Aux.	1,3	0,8	0,7	0,5	0,2	-	-	-	-	0,2	0,7	1,1	5,4	
Ext. Usage	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Misc. Equip.	112,6	107,0	129,7	118,0	118,5	123,9	112,6	129,5	118,0	112,8	112,4	118,2	1 413,4	
Task Lights	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Area Lights	14,6	13,9	16,8	15,3	15,4	16,0	14,6	16,8	15,3	14,6	14,6	15,3	183,2	
<b>Total</b>	<b>264,3</b>	<b>242,3</b>	<b>291,0</b>	<b>267,9</b>	<b>297,5</b>	<b>366,3</b>	<b>388,4</b>	<b>435,8</b>	<b>355,3</b>	<b>285,7</b>	<b>251,4</b>	<b>265,1</b>	<b>3 711,0</b>	

Figura 24: Resultados dos consumos energéticos por equipamentos segundo os indicadores de referência

Na Tabela 17 são apresentados os valores calculados dos indicadores de eficiência energética, bem como a classe energética da fábrica e as emissões de carbono. Todos estes indicadores foram calculados com base nas fórmulas e tabelas do Guia SCE – Indicadores de desempenho energético (RECS), Portaria n.º 349-D/2013 e o Despacho n.º 15 793-J/2013, isto porque a legislação á data deste trabalho recorre á legislação antiga nesta questão.

Tabela 17: Indicadores de eficiência energética (Continua)

Indicadores de eficiência energética	
IEE <sub>pr,S</sub> = 180 kWh/(m <sup>2</sup> .ano)	IEE <sub>ref,S</sub> = 237 kWh/( m <sup>2</sup> .ano)
IEE <sub>pr,T</sub> = 146 kWh/( m <sup>2</sup> .ano)	IEE <sub>ref,T</sub> = 146 kWh/( m <sup>2</sup> .ano)
IEEREN = 57 kWh/( m <sup>2</sup> .ano)	-
IEE <sub>pr</sub> = 269 kWh/( m <sup>2</sup> .ano)	IEE <sub>ref</sub> = 383 kWh/( m <sup>2</sup> .ano)

Tabela 17: Indicadores de eficiência energética (Conclusão)

Indicadores de eficiência energética
RIEE = 0,52
Classe Energética - B
Emissões = 375 tonCO <sub>2</sub> /ano

Para determinar o IEE<sub>pr,S</sub>, soma-se todos os consumos do tipo “IEES” (já convertidos em energia primária) e divide-se pela área interior útil de pavimento. O IEE<sub>pr,T</sub>, soma-se todos os consumos do tipo “IEET” (já convertidos em energia primária) e divide-se pela área interior útil de pavimento.

Para determinar o IEEREN, soma-se todos os consumos do tipo renovável e divide-se pela área interior útil de pavimento.

O IEE<sub>pr</sub> foi determinado tendo como base a equação 5.

$$IEE_{pr} = IEE_{pr,S} + IEE_{pr,T} - IEEREN \quad (5)$$

Para obter os valores de IEER<sub>ref,S</sub> e IEER<sub>ref,T</sub>, calcula-se da mesma maneira que o IEE<sub>pr,S</sub>, e o IEE<sub>pr,T</sub>, mas desta vez usa-se os valores dos consumos da simulação de referência.

A determinação do RIEE é efetuada de acordo com a equação 6, constante no Despacho n.º 15 793-J/2013, onde:

$$RIEE = \frac{IEE_{pr,S} - IEEREN}{IEER_{ref,S}} \quad (6)$$

Depois de obter o RIEE foi obtido consultando o Despacho n.º 15 793-J/2013 Tabela 03 e determinou-se a classe energética através da Tabela 18.

Tabela 18: Determinação da classe energética (Continua)  
(Despacho n.º 15 793-J/2013 do Tabela 03)

Classe Energética	Valor de RIEE
A +	RIEE ≤ 0,25
A	0,26 ≤ RIEE ≤ 0,50
B	0,51 ≤ RIEE ≤ 0,75
B -	0,76 ≤ RIEE ≤ 1,00

Tabela 18: Determinação da classe energética (Conclusão)  
(Despacho nº 15 793-J/2013 da tabela 03)

Classe Energética	Valor de RIEE
C	$1,01 \leq RIEE \leq 1,50$
D	$1,51 \leq RIEE \leq 2,00$
E	$2,01 \leq RIEE \leq 2,50$
F	$RIEE \geq 2,51$

Perante esta tabela verificou-se então que a classe energética é B.

As emissões de CO<sub>2</sub> são determinadas recorrendo aos consumos em energia primária previstos e aos fatores de conversão constantes no Despacho n.º 15 793-D/2013. Neste caso o fator de conversão usado foi de 0,144 kg CO<sub>2</sub>/kWhEP.

### 5.3 Cenário 1 – alteração das envolventes

No primeiro cenário foi realizado um estudo sobre o impacto da envolvente da fábrica no cálculo final do consumo energético. Numa primeira fase, de acordo com a legislação existente para este tipo de edifícios (industriais), foram determinadas as zonas climáticas que irão definir os valores máximos permitidos para os elementos da envolvente do edifício. Mais uma vez, estes valores correspondem a valores de edifícios de comércio e serviços, sendo a legislação que está a ser seguida.

Os valores englobam coeficientes de transmissão térmica dos elementos da envolvente opaca verticais e horizontais ( $U_{máx}$ ), os coeficientes de transmissão térmica dos elementos da envolvente envidraçada ( $U_{w,máx}$ ) e por fim os fatores solares admissíveis de vãos envidraçados ( $g_{tot,máx}$ ). Desta forma, foi determinada a zona climática de inverno e de verão (Tabela 19) nas quais o complexo industrial se enquadra.

Tabela 19: Zonas Climáticas

Zona Climáticas			
Inverno	1 744,4	$1\ 300\ ^\circ\text{C} < GD \leq 1\ 800\ ^\circ\text{C}$	I2
Verão	22,8	$\Theta_{ext,v} > 22\ ^\circ\text{C}$	V3

Após a definição das zonas climáticas, os valores máximos para os diferentes parâmetros foram identificados na Portaria n.º 1381/2021 e apresentados na Tabela 20, podendo ser consultados no Anexo I.

O fator solar máximo ( $g_{tot,máx}$ ), que consiste na determinação dos ganhos solares através de uma superfície transparente e que quantifica a fração da radiação solar incidente que é transmitida de forma direta ou indireta para o interior do edifício, foi obtido também na Portaria n.º 1381/2021.

Tabela 20: Valores máximos parâmetros

Parâmetro	Valores estipulados
Umáx verticais	0,6 W/ m <sup>2</sup> .°C
Umáx horizontais	0,45 W/ m <sup>2</sup> .°C
Uw,máx	3,3 W/ m <sup>2</sup> .°C
$g_{tot,máx}$	0,56

Em seguida, foi realizada uma avaliação dos diferentes sistemas construtivos existentes na envolvente opaca do edifício com o objetivo de perceber quais destes apresentavam um isolamento “fraco” ou até mesmo inexistente. De todas as soluções incorporadas no programa de simulação dinâmica do desempenho energético dos edifícios, apenas 5 não cumpriam os requisitos mínimos estipulados pela Portaria, sendo estas as soluções construtivas 1, 5, 12, 14 e 15 (Tabela 21).

No caso das soluções 1 e 5 (paredes duplas sem isolamento) foi considerado como possível medida de melhoria a aplicação de um sistema ETICS com 4 cm de XPS e 2 cm de reboco como camada final.

Nas soluções 12 e 14 (parede de betão 20/25 cm) foi escolhido também um sistema ETICS como possível medida de melhoria, mas ao contrário dos 4 cm de XPS, foram necessários 6 cm para o cumprimento dos requisitos mínimos.

Quanto à solução construtiva 15 (cobertura de fibrocimento), a solução de melhoria escolhida foi a sua substituição por um painel sandwich com 10 mm de isolamento térmico.

Na Tabela 21 são apresentados os novos coeficientes de transmissão térmico (U) das soluções de melhoria.

Tabela 21: Soluções de melhoria da envolvente opaca

Solução	U atual [W/ m <sup>2</sup> .°C]	U novo [W/ m <sup>2</sup> .°C]
1	0,95	0,45
5	3,4	0,51
12	0,94	0,45
14	3,7	0,51
15	3,72	0,2

Depois da envolvente opaca, foi realizada a mesma análise à envolvente envidraçada. Apenas as obras de ampliação e uma pequena parte do edifício base apresentavam uma envolvente envidraçada que cumprem os requisitos mínimos definidos na legislação em vigor. Posto isto, como possível medida de melhoria foi adotada substituição de todos os envidraçados simples sem corte térmico, por envidraçados duplos com caixilharia com corte térmico. Na Tabela 22 são apresentadas as propriedades do vidro antigo e da sua melhoria adotada. Estes valores foram todos retirados do ITE50.

Tabela 22: Soluções de melhoria da envolvente envidraçada

Tipo de Vidro	g <sub>tot</sub>	U <sub>w</sub>
Vidro simples S/CT	0,87	5,8
Vidro duplo C/CT	0,49	0,85

De seguida, após a inserção das melhorias no modelo, foi efetuada uma nova simulação (Figura 25 e Figura 26) com o objetivo de analisar e concluir que tipo de impacto é que estas medidas adotadas vão provocar no sistema.

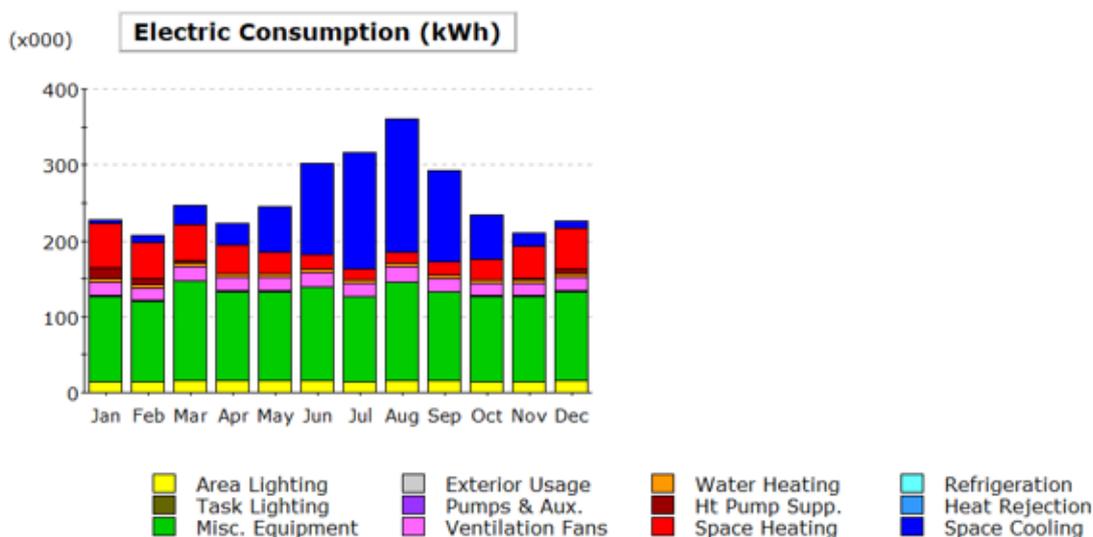


Figura 25: Gráfico dos consumos energéticos por equipamentos segundo o cenário de melhoria 1

Electric Consumption (kWh x000)													
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Space Cool	5,3	9,7	26,4	28,8	60,4	120,7	154,0	175,7	119,4	57,6	16,8	9,0	783,7
Heat Reject.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Refrigeration	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Space Heat	58,7	47,0	46,7	37,8	27,8	18,7	13,2	15,2	17,3	26,4	42,3	54,0	405,0
HP Supp.	13,7	8,2	2,8	0,4	-	-	-	-	-	-	1,4	5,9	32,4
Hot Water	4,8	4,4	4,9	4,7	4,9	4,7	4,8	4,9	4,7	4,8	4,6	4,8	57,1
Vent. Fans	17,2	16,2	19,3	17,7	17,9	18,5	17,2	19,3	17,7	17,2	17,1	17,9	213,2
Pumps & Aux.	1,2	0,8	0,7	0,5	0,2	-	-	-	-	0,2	0,7	1,0	5,2
Ext. Usage	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Misc. Equip.	112,6	107,0	129,7	118,0	118,5	123,9	112,6	129,5	118,0	112,8	112,4	118,2	1 413,4
Task Lights	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Area Lights	14,4	13,7	16,6	15,1	15,1	15,8	14,4	16,5	15,1	14,4	14,4	15,1	180,5
<b>Total</b>	<b>228,0</b>	<b>207,0</b>	<b>247,2</b>	<b>223,1</b>	<b>244,7</b>	<b>302,3</b>	<b>316,2</b>	<b>361,1</b>	<b>292,1</b>	<b>233,4</b>	<b>209,6</b>	<b>226,0</b>	<b>3 090,5</b>

Figura 26: Resultados dos consumos energéticos por equipamentos segundo o cenário de melhoria 1

Após a simulação do cenário 1 e comparando com o cenário base (Tabela 23), a diferença total do consumo anual foi de 2%, estando esta variação associada às necessidades de aquecimento e arrefecimento dos espaços. Esta medida de melhoria simulada no cenário 1 apresenta uma variação muito pequena devido à elevada quantidade de calor gerado pelos equipamentos utilizados nas diferentes linhas da produção no interior do edifício. Esta melhoria como "obstrui" ainda mais as trocas de calor no interior do edifício para o exterior acaba por não ajudar nesse sentido.

Tabela 23: Comparação cenário base vs cenário 1

(kWh)	Area Lights	Misc Equip.	Space Heating	Space Cooling	Pumps & Aux	Vent. Fans	Dom Ht Wtr	Total
Base	180 538	1 413 357	420 958	830 112	4 986	213 752	57 174	3 162 937
Cenário 1	180 538	1 413 357	405 036	783 651	5 227	213 156	57 120	3 090 523
Variação	0 (0%)	0 (0%)	15 922 (4%)	46 461 (6%)	-241 (-5%)	596 (0%)	54 (0%)	72 414 (2%)

Sendo assim, o que se conclui sobre as medidas estudadas com o cenário 1, é que é pouco eficaz por ter uma variação de apenas 2%. Para além disso é expectável que tenha custos elevados para a "pouca" redução do consumo de energia que se consegue. Para tal, foi então efetuada uma breve análise do custo inicial e do respetivo tempo de retorno que se poderia ter, (Tabela 24). Estes custos tiveram como referência o gerador de preços da CYPE Ingenieros, S.A. Foi admitido um preço igual para toda a envolvente opaca e o mesmo para a envolvente envidraçada. Podia ser realizado um estudo mais aprofundado, mas com estes cálculos já se conseguiu concluir que irá ter um grande tempo de retorno, assim como o seu investimento, também será elevado.

Tabela 24: Análise de custos e tempo de retorno cenário 1

Envolvente opaca	m <sup>2</sup>	Preço (€) / m <sup>2</sup>	Preço (€)	Investimento Total (€)	Tempo de retorno (anos)
	1 615	43	69 445		
Envolvente envidraçada	Envidraçados (un)	Preço (€) / envidraçado	Preço (€)	123 085	12
	149	360	53 640		

Com um investimento total entre os 100 000 € e os 150 000 € calculou-se o tempo de retorno tendo em conta 72 414 kWh de poupança de energia por ano e um custo de 0,14 €/kWh sendo o preço de aquisição da energia elétrica à rede assumido dado que não foi fornecida essa informação por parte da empresa.

Como seria de esperar obteve-se um investimento inicial demasiado elevado e um tempo de retorno elevado. Sendo que neste tipo de empresas, normalmente, os seus responsáveis só estão dispostos a investir em melhorias que tenham um tempo de retorno máximo entre 6 e 10 anos, deste modo este cenário está descartado. De referir que o investimento e respetivo tempo de retorno são obtidos tendo como base as considerações apresentadas.

#### 5.4 Cenário 2 – reforço do sistema de fotovoltaicos

No cenário 2, a medida de melhoria adotada foi a colocação de mais painéis fotovoltaicos na cobertura da fábrica. Atualmente, a Continental Advanced Antenna tem instalados 1 057 módulos Jinko Solar Tiger Pro 72HC (Figura 27) e 8 inversores trifásicos Huawei 60 KTL, com uma potência instalada de 535 kWp e produção estimada destes é de 721 MWh.



Figura 27: Fotovoltaicos instalados

Os painéis estão instalados na cobertura do complexo industrial e na cobertura do parque de estacionamento à entrada do edifício, e o seu funcionamento começou a ser contabilizado a partir de março de 2022. Na Tabela 25 são apresentados os valores reais de produção dos painéis fotovoltaicos em 2022.

Tabela 25: Valores reais de produção dos painéis fotovoltaicos

<b>2022</b>	
<b>Produção dos Painéis (kWh)</b>	
<b>Período</b>	<b>Energia</b>
Jan	0
Fev	0
Mar	42 647
Abr	53 645
Mai	63 240
Jun	78 250
Jul	94 240
Ago	76 950
Set	46 560
Out	36 680
Nov	15 130
Dez	8 910
<b>Total</b>	<b>516 252</b>

No cenário 1, verificou-se que os valores simulados da produção dos painéis fotovoltaicos se encontravam abaixo dos valores reais disponibilizados variando em cerca de 15% no valor total de produção (excluindo os meses de janeiro e fevereiro). Este erro pode ser explicado pelo facto de o programa não ter em conta todos os fatores externos à fábrica, como por exemplo, os dados relativos às condições climatéricas.

Na Tabela 26 são apresentados os resultados dos valores da produção de energia pelos painéis fotovoltaicos, gerados pelo software eQuest.

Tabela 26: Valores da produção fotovoltaicos - simulação

<b>Simulação 2022</b>	
<b>Produção dos Painéis (kWh)</b>	
<b>Período</b>	<b>Energia</b>
Janeiro	(17 172)
Fevereiro	(24 389)
Março	39 301
Abril	48 790
Maiο	56 726
Junho	66 293
Julho	60 140
Agosto	63 142
Setembro	43 253
Outubro	29 114
Novembro	19 448
Dezembro	12 717
<b>Total</b>	<b>438 923*</b>

(Valor final sem os meses de janeiro e fevereiro\*)

De forma a avaliar a quantidade de painéis a adicionar nas áreas restantes da cobertura disponíveis, foi realizado um levantamento das áreas das coberturas (Figura 28) recorrendo à ferramenta AutoCad e ao Google Earth.



Tabela 27: Simulação fotovoltaicos cenário 2 (Conclusão)

<b>Simulação Cenário 2</b>	
<b>Produção dos Painéis (kWh)</b>	
<b>Período</b>	<b>Energia</b>
Maio	86 642
Junho	98 996
Julho	89 256
Agosto	95 130
Setembro	68 297
Outubro	49 885
Novembro	36 221
Dezembro	25 890
<b>Total</b>	<b>758 530</b>

Na Tabela 28 são comparados os resultados do cenário 2 com valores do cenário base.

Tabela 28: Comparação cenário base vs cenário 2

<b>Cenário</b>	<b>Número de painéis fotovoltaicos</b>	<b>Produção (kWh)</b>
Base	1 057	480 484
2	1 966 (+ 85%)	758 530 (+ 58%)

Fazendo uma rápida análise do custo inicial e do respetivo tempo de retorno obtiveram-se os resultados apresentados na Tabela 29. Estes custos tiveram como referência o mesmo modelo de painel fotovoltaico já aplicado nos primeiros 1 057 painéis colocados inicialmente. Foi admitido um preço médio igual para todos os módulos. Poderia se fazer um estudo mais aprofundado, mas com estes simples cálculos já dá para ter uma ideia do benefício que seria investir neste cenário tendo em conta o tempo de retorno aceitável e o grande aumento de produção de energia.

Tabela 29: Análise de custos e tempo de retorno cenário 2

<b>Produção de cada painel / ano (kwh)</b>	<b>Nº painéis</b>	<b>Produção total / ano (kwh)</b>	<b>Poupança (€)</b>	<b>Custo de cada painel (€)</b>	<b>Investimento (€)</b>	<b>Retorno (anos)</b>
526	909	478 366	66 971	700	636 300	10

Perante este cálculo de custo de investimento inicial e o seu retorno, pode-se concluir que seria uma possível melhoria a ter em atenção visto que o tempo de retorno de 10 anos estará aceitável para esta empresa, enquadrado nos tempos de retorno máximos entre 6 a 10 anos, como referido anteriormente. Para calcular o retorno teve-se em conta um investimento entre os 600 000€ e 650 000€, uma produção total anual por ano de 478 366 kWh e um custo de 0,14€/kWh por ano que é o preço de aquisição da energia elétrica à rede assumido dado que não foi fornecida essa informação por parte da empresa. Para além disso, esta solução traria uma redução de consumo energético da unidade industrial em torno dos 15%, o que é bastante significativo. De referir que o investimento e respetivo tempo de retorno são obtidos tendo como base as considerações apresentadas.

### **5.5 Cenário 3 – instalação de sistema eólico**

No cenário 3 a medida de melhoria que foi adota foi a instalação de um sistema eólico no complexo industrial. Como a contribuição deste tipo de equipamentos não pode ser calculada através do software em uso (eQuest), por limitação do próprio programa, optou-se por calcular de uma outra forma, tendo em conta a velocidade média do vento no local e a capacidade de produção da turbina eólica.

Esta melhoria surge porque os painéis fotovoltaicos só conseguem produzir energia de dia, dependendo das condições climáticas podem ter limitações de produção, enquanto as turbinas eólicas podem produzir tanto de dia como de noite, contribuindo assim para uma produção continua, quer de dia quer de noite. Inicialmente, esta parece ser uma solução promissora, visto que o Portugal é conhecido por ser ventoso, o que é uma mais-valia para este tipo de sistemas.

A turbina escolhida (Figura 29) para esta análise foi a TESUP ATLAS 7, que pode gerar energia até 7 kWh e tem uma grande vantagem que é captar o vento em qualquer direção.



Figura 29: Turbina eólica  
(Tesup, 2023)

De forma a avaliar a quantidade de turbinas eólicas a adicionar nas coberturas do complexo industrial, foi realizado um levantamento de possíveis locais (Figura 30) recorrendo à ferramenta AutoCad e ao Google Earth.

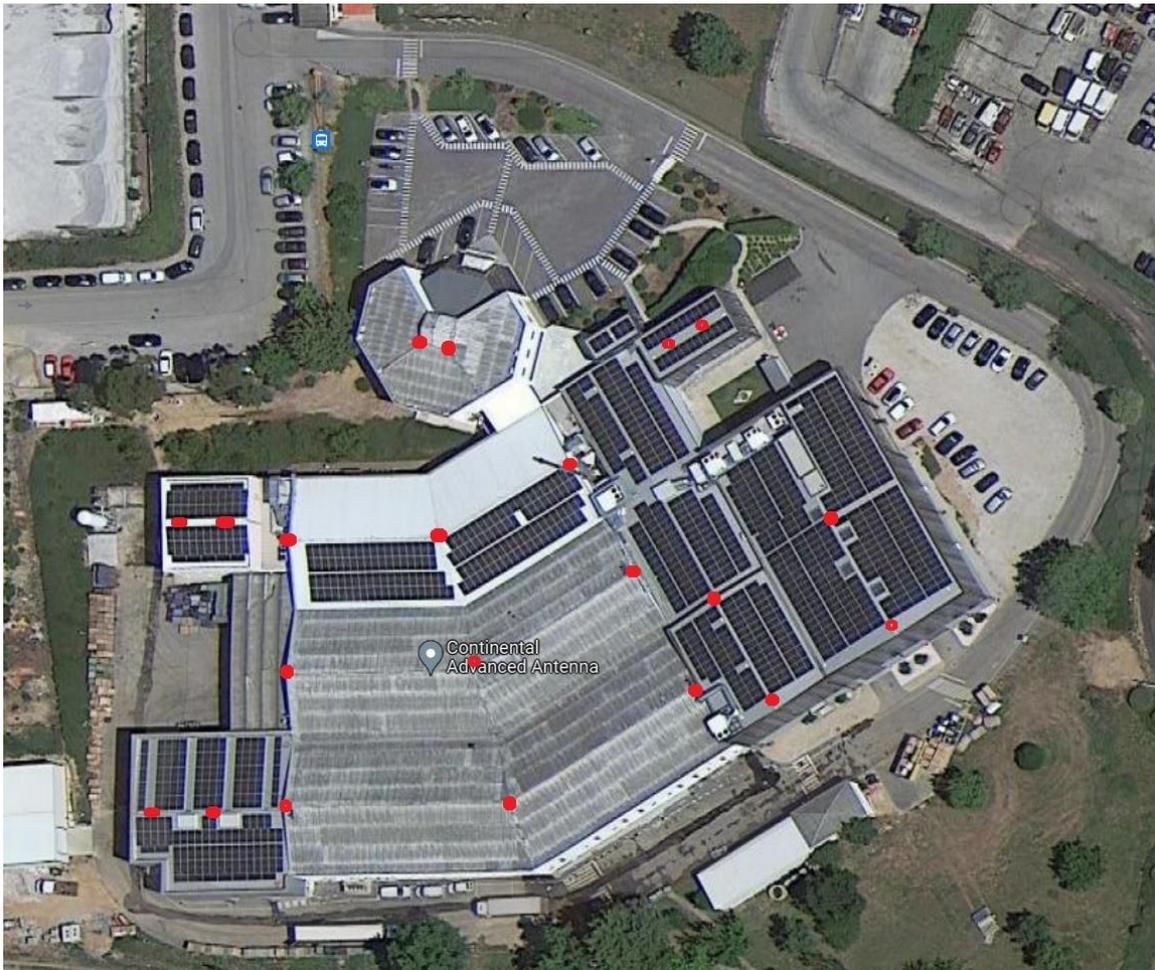


Figura 30: Levantamento de possíveis locais

Concluído o levantamento feito, foram identificados 21 locais para a colocação das turbinas eólicas. O critério de escolha foi maioritariamente cumeeiras da cobertura do complexo, por serem os locais com maior ganho de vento devido a serem os pontos mais altos do complexo. Com isto o cenário de melhoria 3 passa por aplicar 21 turbinas eólicas.

De forma a estimar a produção de energia que as turbinas eólicas podem vir a ter recorreu-se ao histórico de dados de uma estação meteorológica sobre o vento daquela zona. A estação fica no aeródromo de vila real, local que fica apenas a 1 km do complexo industrial da Continental e que nos permite ter dados praticamente reais. Os dados recolhidos baseiam-se na velocidade média do vento por mês no período entre 2009 e 2022 (Windfinder, 2023) segundo a Tabela 30.

Tabela 30: Velocidade média do vento  
(Windfinder, 2023)

Período	Vento (m/s)
Janeiro	4,5
Fevereiro	5,5
Março	5,0
Abril	5,0
Maio	4,5
Junho	4,5
Julho	4,5
Agosto	4,5
Setembro	4,5
Outubro	4,5
Novembro	4,5
Dezembro	4,5

Depois a partir da curva da potência da turbina eólica (Figura 31) TESUP ATLAS 7 conseguiu-se estimar a produção de cada eólica (Tabela 31).

A partir da Tabela 30 e da Figura 31 , conclui-se que a zona onde se encontra a unidade industrial não é particularmente ventosa por só ter uma velocidade média anual de vento de aproximadamente 5 m/s, não permitindo tirar o máximo de partido do sistema.

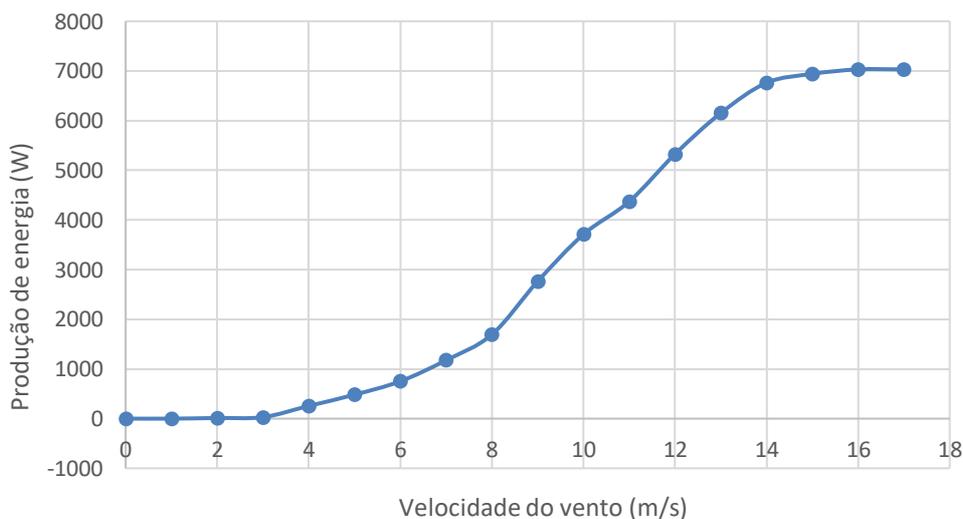


Figura 31: Curva da potência da turbina eólica

Tabela 31: Produção de energia total por mês

Número de eólicas	Velocidade do vento (m/s)	Produção / eólica (kWh)	Produção Total / mês (kWh)
21	4,5	0,369	5 579
	5,0	0,482	7 288
	5,5	0,617	9 329

Obtendo assim a produção de energia total por ano (Tabela 32).

Tabela 32: Produção de energia por mês e por ano das turbinas eólicas

Período	Energia (kWh)
Janeiro	5 579
Fevereiro	9 329
Março	7 288
Abril	7 288
Maio	5 579
Junho	5 579
Julho	5 579
Agosto	5 579
Setembro	5 579
Outubro	5 579
Novembro	5 579
Dezembro	5 579
<b>Total</b>	<b>74 118</b>

Na Tabela 33, fazendo uma pequena análise do custo inicial e respetivo tempo de retorno, conclui-se que é um cenário a ter bastante em conta, visto que tem um tempo de retorno de apenas 3 anos. Nos cálculos considerou-se um custo de 0,14€ por kWh sendo o preço de aquisição da energia elétrica à rede assumido dado que não foi fornecida essa informação por parte da empresa.

Contudo, esta solução é uma solução que apenas tem um impacto de cerca de 2% na redução total do consumo energético anual da fábrica. De referir que o investimento e respetivo tempo de retorno são obtidos tendo como base as considerações apresentadas.

Tabela 33: Análise de custos e tempo de retorno cenário 3

<b>Produção total / ano (kwh)</b>	<b>Poupança / ano (€)</b>	<b>Custo de cada eólica (€)</b>	<b>Investimento (€)</b>	<b>Retorno (anos)</b>
74 118	10 377	1 630	34 230	3

## 5.6 Cenário 4 – instalação de baterias de armazenamento de energia

No cenário 4 a medida de melhoria que foi adota foi a instalação de baterias para armazenar a energia no complexo industrial. Esta melhoria poderia ser desconsiderada, porque a energia que é produzida pelos painéis fotovoltaicos não é suficiente para cobrir a energia que é consumida pela unidade industrial durante os 5 dias de produção semanais. Perante isto, sobram 2 dias por semana em que a energia que é produzida pelos painéis fotovoltaicos é desperdiçada pelo facto de a empresa não estar a produzir, ou seja, não está a consumir energia ou praticamente nenhuma relativamente aos restantes dias da semana. Como a contribuição deste tipo de equipamentos não pode ser calculada através do programa de simulação dinâmica do desempenho energético dos edifícios (eQuest), por limitação do próprio programa, optou-se por calcular de uma outra forma, tendo em conta a capacidade de armazenamento das baterias e a produção dos painéis fotovoltaicos já instalados.

As baterias escolhidas foram as baterias Sonnen sB10P com 22 kWh de capacidade de armazenamento de energia (Figura 32).



Figura 32: Bateria sonnen sB10P 22 kWh

Como a energia acumulada pelas baterias vai ser unicamente a que é produzida pelos painéis fotovoltaicos aos sábados e domingos contabilizou-se a energia que é produzida nesses dias (Tabela 34) de forma a verificar a quantidade de energia que se consegue armazenar.

Tabela 34: Energia produzida ao fim de semana por dia

<b>Período</b>	<b>Energia produzida / dia (kWh)</b>
Janeiro	554
Fevereiro	871
Março	1 376
Abril	1 788
Maio	2 040
Junho	2 608
Julho	3 040
Agosto	2 482
Setembro	1 552
Outubro	1 183
Novembro	504
Dezembro	287

Na Tabela 35 é feita a contabilização da energia que é possível armazenar por mês tendo em conta que se considerou um número total de 25 baterias de 22 kWh. A escolha da quantidade de baterias recaiu sobre a análise de energia que se conseguiria armazenar nos meses com menor produção de energia por parte dos painéis fotovoltaicos. De referir que se assumiu um valor residual de consumo de energia ao fim de semana de 5% da energia produzida pelos painéis fotovoltaicos durante esse mesmo período.

Tabela 35: Energia produzida ao fim de semana por mês

<b>Período</b>	<b>Número de baterias</b>	<b>Capacidade de armazenamento de cada bateria (kWh)</b>	<b>Armazenamento / dia (kWh)</b>	<b>Armazenamento / mês (kWh)</b>
Janeiro	25	550	526	4 208
Fevereiro			550	4 400
Março			550	4 400
Abril			550	4 400
Maio			550	4 400
Junho			550	4 400
Julho			550	4 400
Agosto			550	4 400
Setembro			550	4 400
Outubro			550	4 400
Novembro			479	3 832
Dezembro			273	2 184

Fazendo uma análise de investimento e respetivo tempo de retorno (Tabela 36), tendo em conta o preço de 0,14 €/kWh sendo o preço de aquisição da energia elétrica à rede assumido dado que não foi fornecida essa informação por parte da empresa, obtém-se um investimento entre 350 000€ e 400 000€ e um tempo de retorno em torno dos 50 anos. Contudo, esta solução é uma solução que apenas tem um impacto de cerca de 1,6% na redução total do consumo energético anual da unidade industrial.

Tabela 36: Análise de investimento e retorno do cenário 4

<b>Armazenamento total / ano (kWh)</b>	<b>Poupança (€)</b>	<b>Investimento (€)</b>	<b>Retorno (anos)</b>
49 824	6 975	370 400	53

Conclui-se então que o cenário 4, não é um cenário viável, visto que tem um tempo de retorno demasiado grande, para além de um investimento também muito alto. De referir que o investimento e respetivo tempo de retorno são obtidos tendo como base as considerações apresentadas.

## 6. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo são apresentadas as principais conclusões da presente dissertação, relativamente aos cenários de melhoria analisados. Para além disso, são apresentadas algumas ideias relativas aos desenvolvimentos futuros do trabalho realizado.

### 6.1 Conclusões

O trabalho realizado baseou-se, essencialmente, na modelação e estudo de cenários de melhoria com vista à otimização de consumos de energia das instalações da unidade industrial da Continental Advanced Antenna.

Numa fase inicial deste estudo, foi realizada a modelação dimensional da unidade industrial no programa de simulação dinâmica do desempenho energético dos edifícios (eQuest). Depois numa segunda fase foi feita a caracterização de toda a unidade industrial e inserida no programa de simulação dinâmica do desempenho energético dos edifícios relativamente à envolvente e todos os sistemas presentes na unidade para ajustar o modelo o mais próximo possível da realidade. Deste modo foi feita a análise do modelo, obtendo conclusões como o erro admissível da simulação, onde é consumida a maioria da energia, análise do desempenho energético mais precisamente os indicadores de eficiência energética.

Conclui-se que a maioria da energia é consumida pelos diversos equipamentos instalados na fábrica que não destinados a climatização e ventilação, como por exemplo: equipamentos de produção e SMT, câmaras climáticas, computadores, entre outros, verificou-se que quase metade (50%) da energia consumida se destina aos serviços auxiliares (AVAC, iluminação, ar comprimido e extração). Relativamente às margens de erro, os valores calculados do MBE e CvRSME foram de 1,33% e 0,022%, respetivamente. Com a determinação dos indicadores de eficiência energética foi possível obter a classe energética B e um valor de emissões de CO<sub>2</sub> de 375 tonCO<sub>2</sub>/ano.

Na fase seguinte analisaram-se possíveis melhorias para reduzir o consumo de energia e o respetivo custo associado.

O primeiro cenário de melhoria em estudo, foi a alteração das envolventes da unidade industrial para umas com menores valores do coeficiente de transmissão térmica de forma a

reduzir as trocas de calor através da envolvente. Foi possível concluir que seria uma solução pouco viável por ter um tempo de retorno do investimento de 12 anos, um investimento alto e apenas 2% de redução de consumo energético. Contudo, defende-se que esta solução possa ser implementada à medida que vão sendo efetuadas as sucessivas intervenções de reabilitação das envolventes da unidade industrial.

No segundo cenário, estudou-se a aplicação de mais painéis fotovoltaicos, para além dos existentes, de forma a ter maior produção de energia e assim recorrer menos à energia da rede pública e com isso ter menos custos. Esse cenário revelou-se ser adequado por ter um tempo de retorno do investimento de 10 anos, o que estará quase no limite daquilo que os investidores acham viável investir. Isto permitirá ainda reduzir cerca 15% nos consumos energéticos da unidade industrial, o que é bastante significativo. O único aspeto menos positivo é o elevado investimento que tem de ser feito, pelo que será fundamental a empresa estar atenta a oportunidade de financiamento e de participação a fundo perdido decorrentes das medidas públicas de apoio aos processos de descarbonização da economia.

O terceiro cenário baseou-se em aplicar sistemas eólicos para produção de energia e, uma vez mais, reduzir custos. Este cenário revelou ser muito promissor por ter um tempo de retorno de apenas 3 anos e baixo investimento para a dimensão da empresa em questão. Mas por outro lado, tem um impacto de apenas 2% no que toca à redução dos consumos de energia anuais da empresa.

Por fim, o cenário 4 consistiu na aplicação de baterias para armazenamento de energia. Este cenário permite “guardar” energia produzida pelos painéis fotovoltaicos existentes que possa estar a ser desperdiçada pela empresa e injetada na rede pública. Teria então um tempo de retorno de 53 anos e uma redução anual no consumo energético da unidade industrial em cerca de 1,6%. Esta medida, atualmente, tem o problema do custo de investimento que é muito elevado.

Em conclusão, o cenário 3 revelou ser o mais promissor por ter um tempo de retorno muito baixo, seguido do cenário 2 que permite uma grande redução no consumo de energia (15%). O cenário 4 foi o cenário menos promissor por ter um tempo de retorno desadequado (53 anos) e pouco impacto na redução dos consumos energéticos (1,6%), assim como o cenário 1 que também demonstrou ter um tempo de retorno de 12 anos e uma redução nos consumos energéticos da unidade industrial em torno dos 2%.

## 6.2 Trabalhos Futuros

Os desenvolvimentos futuros passam pelo estudo de novos cenários de melhoria adaptados à unidade industrial visto que a evolução de novas tecnologias está constantemente a ocorrer. Ainda assim este trabalho serve de exemplo ou guia para estudos de outras unidades industriais.

No entanto, antes de aplicar o modelo em novos cenários, é crucial melhorar a calibração do modelo com melhor ajuste à realidade construída. Isso envolve a recolha de dados de consumo de energia e de variáveis nas instalações industriais para aprimorar a precisão do modelo. A calibração precisa é essencial para garantir que as previsões do modelo reflitam com precisão o desempenho real da fábrica em termos de consumo de energia.

Outra etapa fundamental para avançar na gestão da eficiência energética é a sensorização da fábrica e a colocação de pontos de medição de consumos em locais estratégicos. Isso implica a instalação de sensores em pontos-chave da unidade industrial, permitindo a recolha de dados em tempo real sobre o consumo de energia, temperatura, pressão, humidade e outros parâmetros relevantes. Esses dados podem ser integrados no modelo de simulação energética dinâmica, fornecendo informações em tempo real sobre o desempenho energético da fábrica. Além disso, a informação em tempo real dos consumos permite a implementação de medidas corretivas imediatas. No entanto, essas medidas devem ser cuidadosamente planeadas para garantir a eficácia. Portanto, a próxima etapa seria desenvolver um sistema de programação de medidas a adotar. Esse sistema utilizaria os dados em tempo real e as previsões do modelo para identificar oportunidades de economia de energia e propor ações específicas, como ajustes de equipamentos, otimização de processos ou alterações na produção.

Por fim, outro trabalho que poderia ser realizado, é o estudo dos mesmos cenários, mas com preços mais competitivos ou com equipamentos mais eficientes, conseguindo-se assim obter melhores resultados na otimização dos consumos energéticos e melhores oportunidades de investimento.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] - dos Santos Costa, J., & de Andrade Junior, L. M. L. (2021). Eficiência energética aplicada ao consumo de eletricidade: Um estudo de revisão bibliográfica. *Research, Society and Development*, 10(4), e26210414085-e26210414085.
- [2] - Malinauskaite, J., Jouhara, H., Egilegor, B., Al-Mansour, F., Ahmad, L., & Pusnik, M. (2020). Energy efficiency in the industrial setor in the EU, Slovenia, and Spain. *Energy*, 208, 118398.
- [3]-European Commission. Climate and Energy Framework 2030. [https://Climate.Ec.Europa.Eu/Eu-Action/Climate-Strategies-Targets/2030-Climate-Energy-Framework\\_en](https://Climate.Ec.Europa.Eu/Eu-Action/Climate-Strategies-Targets/2030-Climate-Energy-Framework_en).
- [4] - de Macedo, A., Cantore, N., Barbier, L., Matteini, M., & Pasqualetto, G. (2020). The impact of industrial energy efficiency on economic and social indicators.
- [5] - Brodny, J., & Tutak, M. (2022). Analysis of the efficiency and structure of energy consumption in the industrial setor in the European Union countries between 1995 and 2019. *Science of The Total Environment*, 808, 152052. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152052>
- [6] Adene
- [7] - Pereira, M. A. F. A. (2021). Estudo de medidas de eficiência energética na indústria ao abrigo do regulamento do SGCIE (Doctoral dissertation).
- [8] - Otsuka, A. (2023). Industrial electricity consumption efficiency and energy policy in Japan. *Utilities Policy*, 81, 101519. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2023.101519>
- [9] - DGEG, ADENE, & Observatório da Energia. (2022). *Energia em Números - Edição 2022*.
- [10] - Buso, T., & Corgnati, S. P. (2017). A customized modelling approach for multi-functional buildings – Application to an Italian Reference Hotel. *Applied Energy*, 190, 1302–1315. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.01.042>
- [11] - Dongellini, M., Marinosci, C., & Morini, G. L. (2014). Energy Audit of an Industrial Site: A Case Study. *Energy Procedia*, 45, 424–433. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.01.046>
- [12] - Hong, S.-M., Paterson, G., Burman, E., Steadman, P., & Mumovic, D. (2013). A comparative study of benchmarking approaches for non-domestic buildings: Part 1 – Top-down approach. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 2(2), 119–130. <https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2014.04.001>

- [13] - Kavgic, M., Mavrogianni, A., Mumovic, D., Summerfield, A., Stevanovic, Z., & Djurovic-Petrovic, M. (2010). A review of bottom-up building stock models for energy consumption in the residential sector. *Building and Environment*, 45(7), 1683–1697. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.01.021>
- [14] - Burman, E., Hong, S.-M., Paterson, G., Kimpian, J., & Mumovic, D. (2014). A comparative study of benchmarking approaches for non-domestic buildings: Part 2 – Bottom-up approach. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 3(2), 247–261. <https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2014.12.001>
- [15] - Suciu, R., Kantor, I., Bütün, H., & Maréchal, F. (2019). Geographically Parameterized Residential Sector Energy and Service Profile. *Frontiers in Energy Research*, 7. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2019.00069>
- [16] - Coakley, D., Raftery, P., & Keane, M. (2014). A review of methods to match building energy simulation models to measured data. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 37, 123–141. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.007>
- [17] - Liu, H., Liang, J., Liu, Y., & Wu, H. (2023). A Review of Data-Driven Building Energy Prediction. *Buildings*, 13(2), 532. <https://doi.org/10.3390/buildings13020532>
- [18] - Li, C., Ding, Z., Zhao, D., Yi, J., & Zhang, G. (2017). Building Energy Consumption Prediction: An Extreme Deep Learning Approach. *Energies*, 10(10), 1525. <https://doi.org/10.3390/en10101525>
- [19] - Tardioli, G., Kerrigan, R., Oates, M., O'Donnell, J., & Finn, D. (2015). Data Driven Approaches for Prediction of Building Energy Consumption at Urban Level. *Energy Procedia*, 78, 3378–3383. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.754>
- [20] - Gassar, A. A. A., & Cha, S. H. (2020). Energy prediction techniques for large-scale buildings towards a sustainable built environment: A review. *Energy and Buildings*, 224, 110238. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110238>
- [21] - Wei, Y., Zhang, X., Shi, Y., Xia, L., Pan, S., Wu, J., Han, M., & Zhao, X. (2018). A review of data-driven approaches for prediction and classification of building energy consumption. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 1027–1047. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.108>

- [22] - Blok, K., Afanador, A., van der Hoorn, I., Berg, T., Edelenbosch, O. Y., & van Vuuren, D. P. (2020). Assessment of Setoral Greenhouse Gas Emission Reduction Potentials for 2030. *Energies*, 13(4), 943. <https://doi.org/10.3390/en13040943>
- [23] - Environmental Protection Agency (EPA). (n.d.). Latest Emissions Data. Retrieved April 10, 2023, from <https://www.epa.ie/our-services/monitoring--assessment/climate-change/ghg/latest-emissions-data/>
- [24] - Lamb, W. F., Wiedmann, T., Pongratz, J., Andrew, R., Crippa, M., Olivier, J. G. J., Wiedenhofer, D., Mattioli, G., Khourdajie, A. al, House, J., Pachauri, S., Figueroa, M., Saheb, Y., Slade, R., Hubacek, K., Sun, L., Ribeiro, S. K., Khennas, S., de la Rue du Can, S., ... Minx, J. (2021). A review of trends and drivers of greenhouse gas emissions by setor from 1990 to 2018. *Environmental Research Letters*, 16(7), 073005. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abee4e>
- [25] - Sinha, R. K., & Chaturvedi, N. D. (2019). A review on carbon emission reduction in industries and planning emission limits. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 114, 109304. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109304>
- [26] - Gerres, T., Chaves Ávila, J. P., Llamas, P. L., & San Román, T. G. (2019). A review of cross-setor decarbonisation potentials in the European energy intensive industry. *Journal of Cleaner Production*, 210, 585–601. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.036>
- [27] - Munsif, R., Zubair, M., Aziz, A., & Nadeem Zafar, M. (2021). Industrial Air Emission Pollution: Potential Sources and Sustainable Mitigation. In *Environmental Emissions*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.93104>
- [28] - Dubois, M.-C., Bisegna, F., Gentile, N., Knoop, M., Matusiak, B., Osterhaus, W., & Tetri, E. (2015). Retrofitting the Electric Lighting and Daylighting Systems to Reduce Energy Use in Buildings: A Literature Review. *Energy Research Journal*, 6(1), 25–41. <https://doi.org/10.3844/erjsp.2015.25.41>
- [29] - Cao, X., Dai, X., & Liu, J. (2016). Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade. *Energy and Buildings*, 128, 198–213. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.089>
- [30] - Fernandes, J., Santos, M. C., & Castro, R. (2021). Introductory Review of Energy Efficiency in Buildings Retrofits. *Energies*, 14(23), 8100. <https://doi.org/10.3390/en14238100>

- [31] - Kenisarin, M., & Mahkamov, K. (2016). Passive thermal control in residential buildings using phase change materials. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 371–398. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.128>
- [32] - ADENE. (2023, April 12). O que é a ADENE. . <https://www.adene.pt/Quem-Somos/o-Que-e-a-Adene/>.
- [33] - ADENE. (2015). RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (3ª ed.). Recuperado em 12 de abril de 2023, de <https://www.adene.pt/wp-content/uploads/2021/05/RCCTE-3a-edicao.pdf>
- [34] - ADENE. (s.d.). Eficiência Energética na Arquitetura e Construção. Recuperado em 12 de abril de 2023, de <https://www.adene.pt/eficiencia-energetica-na-arquitetura-e-construcao/>
- [35] - ADENE. (2021). Eficiência Energética em Edifícios. Recuperado em 12 de abril de 2023, de <https://www.adene.pt/eficiencia-energetica-em-edificios/>
- [36] - ADENE. (2015). RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (3ª ed.). Recuperado em 12 de abril de 2023, de <https://www.adene.pt/wp-content/uploads/2021/05/RCCTE-3a-edicao.pdf>
- [37] - ADENE. (s.d.). Ventilação. Recuperado em 12 de abril de 2023, de <https://www.adene.pt/eficiencia-energetica/em-casa/ventilacao/>
- [38] - ADENE. (s.d.). Climatização. Recuperado em 12 de abril de 2023, de <https://www.adene.pt/eficiencia-energetica/em-casa/climatizacao/>
- [39] - ADENE. (s.d.). Água Quente Sanitária (AQS). Recuperado em 12 de abril de 2023, de <https://www.adene.pt/eficiencia-energetica/em-casa/aqs/>
- [40] - ADENE. (s.d.). Iluminação. Recuperado em 12 de abril de 2023, de <https://www.adene.pt/eficiencia-energetica/em-casa/iluminacao/>
- [41] - ADENE. (s.d.). Equipamentos. Recuperado em 12 de abril de 2023, de <https://www.adene.pt/eficiencia-energetica/em-casa/equipamentos/>
- [42] - ADENE. (s.d.). Ocupação. Recuperado em 12 de abril de 2023, de <https://www.adene.pt/eficiencia-energetica/em-casa/ocupacao/>
- [43] - Pisello, A. L., Goretti, M., & Cotana, F. (2014). A method for assessing buildings' energy efficiency by dynamic simulation and experimental activity. *Energy and Buildings*, 72, 184-194. doi: 10.1016/j.enbuild.2013.12.034

- [44] - Costa, A. (2018). Modelação de Consumos Energéticos no Pavilhão de IST-TagusPark e Definição de Medidas de Racionalização dos Consumos Energéticos. (Tese de mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal).
- [45] - Amado, L. F. Q. (2018). Medidas de Eficiência Energética no Setor Industrial. (Tese de mestrado). Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra, Portugal.
- [46] - Rallapalli, S. (2017). A Comparison of EnergyPlus and eQUEST (Tese de mestrado, Universidade Estadual do Arizona).
- [47] - Maile, T., Fischer, M., & Bazjanac, V. (2018). Building Energy Performance Simulation Tools - a Life-Cycle and Interoperable Perspective. *Journal of Building Engineering*, 19, 448-455.
- [48] - Raposo, C. M. V. (2015). Modelação de Consumos Energéticos no Pavilhão de IST-TagusPark e Definição de Medidas de Racionalização dos Consumos Energéticos [Dissertação de mestrado, Instituto Superior Técnico]. Repositório Institucional da Universidade de Lisboa.
- [49] - Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., & Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, 40(3), 394-398. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.03.007>
- [50] - Dongellini, M., Marinosci, C., & Morini, G. L. (2013). Energy audit of an industrial site: A case study. *Energy Procedia*, 45, 461-470. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.12.051>
- [51] - Li, L., Lin, J., Wu, N., Xie, S., Meng, C., Zheng, Y., Wang, X., & Zhao, Y. (2022). Review and outlook on the international renewable energy development. In *Energy and Built Environment* (Vol. 3, Issue 2, pp. 139–157). KeAi Communications Co. <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2020.12.002>
- [52] - Miguel, C. v., Mendes, A., & Madeira, L. M. (2018). An overview of the Portuguese energy sector and perspectives for power-to-gas implementation. *Energies*, 11(12). <https://doi.org/10.3390/en11123259>
- [53] - António, F., & Batista, B. (n.d.). ESTUDO DE MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA UM EDIFÍCIO DE SERVIÇOS.
- [54] - Kardasz, S. (2015). Methodology vs. Method: How to Choose? *Journal of Physics Conference Series*. [In press].
- [55] - Graeff, A. C. S., & Souza, P. L. de. (2017). Metodologia e método: conceitos e aplicações em pesquisa. *Revista Metodologia de Ensino de Ciências*, 1(1), 23-37

# ANEXO I

Us dos envidraçados para a simulação

SGG CLIMAPLUS® SOLAR CONTROL com SGG COOL-LITE® K											
VIDRO DUPLO						VIDRO DUPLO					
Aspecto estético em reflexão exterior	NEUTRO				ARGENT	AZUL	VERDE			ROSA	
		SGG COOL-LITE					SGG COOL-LITE				
Vidro exterior	KN 069	KN 169	KN 155	KS 147		KB 159	KN 469	KN 455	KS 447	KN 555	KS 547
Vidro interior	SGG DIAMANT					SGG PLANILUX					
Composição mm	6(15)6	6(15)6	6(15)6	6(15)6		6(15)6	6(15)6	6(15)6	6(15)6	6(15)6	6(15)6
Posição da capa: de controlo solar e baixo emissivo	2	2	2	2		2	2	2	2	2	2
Factores luminosos											
$T_l$	%	65	61	49	43	53	50	41	36	39	34
$R_l/E$	%	17	16	15	43	27	12	11	31	11	29
$R_l/I$	%	11	11	11	39	14	10	11	38	11	38
UV $T_{UV}$	%	37	18	20	11	19	7	7	4	8	5
Factores energéticos											
$T_e$	%	47	38	32	24	35	24	20	16	26	19
$R_{eE}$	%	32	24	21	44	26	10	9	18	20	40
$A_{e1}$	%	20	33	43	29	34	64	69	65	50	29
$A_{e2}$	%	1	5	4	3	5	2	2	1	4	2
Factor solar											
$g$ EN 410		0.49	0.44	0.38	0.28	0.41	0.30	0.26	0.20	0.32	0.23
$g$ ISO 9050 M1		0.47	0.42	0.36	0.26	0.39	0.28	0.24	0.19	0.31	0.22
Coef. de sombreamento		0.57	0.51	0.44	0.32	0.48	0.34	0.30	0.22	0.37	0.27
Coeficiente U 12 mm Argon	W/(m².K)	1.2	1.2	1.3	1.1	1.3	1.2	1.3	1.1	1.3	1.1
Coeficiente U 12 mm Ar <sup>(1)</sup>	W/(m².K)	1.7	1.7	1.8	1.6	1.8	1.7	1.8	1.6	1.8	1.6

(1) Coeficiente U dado para uma composição 6 (ar 12) 6mm

**Tabela 4 — Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos dos elementos da envolvente opaca dos edifícios de comércio e serviços,  $U_{máx}$  [W/(m².°C)]**

Portugal Continental e Regiões Autónomas			Zona Climática		
Tipo de elemento		Condição fronteira	I1	I2	I3
Zona corrente da envolvente	Verticais . . . . .	Exterior ou interior com $b_{zu} > 0,7$ . . . . .	0,70	0,60	0,50
	Horizontais . . . . .	Exterior ou interior com $b_{zu} > 0,7$ . . . . .	0,50	0,45	0,40
Zona de PTP . . . . .	Verticais . . . . .	Exterior . . . . .	0,90		
		Interior com $b_{zu} > 0,7$ . . . . .	1,75	1,60	1,45
	Horizontais . . . . .	Exterior . . . . .	0,90		
		Interior com $b_{zu} > 0,7$ . . . . .	1,25	1,00	0,90

b) Os edifícios de habitação encontram-se isentos do cumprimento dos requisitos relativos aos coeficientes de transmissão térmica superficiais da zona corrente da envolvente opaca previstos na alínea anterior, desde que seja garantido o cumprimento dos requisitos de conforto térmico previstos na alínea a) do n.º 9 do artigo 6.º do Decreto-Lei n.º 101-D/2020, de 7 de dezembro;

**Tabela 6 — Coeficientes de transmissão térmica superficiais máximos dos elementos da envolvente envidraçada,  $U_{w,máx}$  [W/(m<sup>2</sup>.°C)]**

	Zona Climática		
	I1	I2	I3
Portugal Continental:			
Edifícios de habitação .....	2,80	2,40	2,20
Edifícios de comércio e serviços .....	3,30	3,30	3,30
Região Autónoma da Madeira:			
Edifícios de habitação .....	2,80	2,40	2,20
Edifícios de comércio e serviços .....	3,30	3,30	3,30
Região Autónoma dos Açores:			
Edifícios de habitação .....	2,90	2,60	2,40
Edifícios de comércio e serviços .....	3,30	3,30	3,30

**Tabela 8 — Fatores solares máximos admissíveis de vãos envidraçados com condição fronteira exterior ou interior com ganhos solares,  $g_{tot,máx}$**

Tipo de edifício	Inércia do espaço	Zona Climática		
		V1	V2	V3
Edifícios de habitação .....	Fraca .....	0,15	0,10	0,10
	Média ou forte .....	0,56	0,56	0,50
Edifícios de comércio e serviços .....	Fraca, média ou forte .....	0,56	0,56	0,50

## APÊNDICE I

Distribuição dos trabalhadores por tipo de espaço.

Local	Tipo de área	Norma/Flex.	1º Turno	2º Turno	3º Turno
Laboratório	Produção	4	-	-	-
Administração	Admin./Escrit.	2	-	-	-
Análise	Produção	4	1	1	-
B-Samples	Produção	1	-	-	-
Building	Produção	1	-	-	-
Cabos, Robots, RaioX	Produção	-	18	18	15
Compras	Admin./Escrit.	3	-	-	-
Financeiro	Admin./Escrit.	8	-	-	-
Função Central	Produção	4	-	-	-
Incoming	Produção	-	2	2	-
IT	Admin./Escrit.	9	-	-	-
Logística	Admin./Escrit.	16	-	-	-
Manutenção	Produção	2	5	4	4
Melhoria Contínua	Admin./Escrit.	3	-	-	-
Op. Polivalente	Produção	-	2	2	3
Processo	Admin./Escrit.	16	-	-	-
Prod. Geral	Produção	9	5	3	2
Prod. Montagem	Produção	-	100	81	61
Prod. Parque Máquinas	Produção	-	5	5	4
Projeto	Admin./Escrit.	6	-	-	-
Qualidade	Admin./Escrit.	9	-	-	-
RD EE	Admin./Escrit.	5	-	-	-
RD ME	Admin./Escrit.	2	-	-	-
Rec. Humanos	Admin./Escrit.	6	-	-	-
Rework	Produção	-	3	1	1
Segurança e Ambiente	Admin./Escrit.	2	-	-	-
Prod. SMT	Produção	-	11	7	11
Supplier Quality	Admin./Escrit.	5	-	-	-
VQ	Produção	1	3	2	2
Armz. Materia Flow	Armazém	1	6	6	4
Armz. Receção	Armazém	3	3	3	1
Armz. Expedição	Armazém	2	4	5	-
Total	-	124	168	140	108

Soluções da envolvente opaca (Continua).

Nomenclatura Parede	Material	Dimensão (cm)	Rt(m <sup>2</sup> ·C/W)	U(W/ m <sup>2</sup> ·C)
Parede Exterior Entrada	Reboco	2	0,015	0,95
	Tijolo	15	0,42	
	Caixa de ar	5	0,18	
	Tijolo	11	0,29	
	Reboco	2	0,015	
Parede Ext. Ampli. SMT	Reboco	2	0,015	0,33
	XPS	8	2,29	
	Tijolo	22	0,61	
	Reboco	2	0,015	
Parede de Betão Armado				
Parede Ext. -2 Auditorio	Betão	15	0,08	0,32
	XPS	6	1,71	
	Caixa de ar	25	0,18	
	Tijolo	15	0,42	
	Painel Acus.	4	0,62	
Parede Ext. -2 WC Audit.	Betão	15	0,19	0,40
	XPS	6	1,71	
	Caixa de ar	5	0,18	
	Tijolo	15	0,42	
	Ceramico	2	0,024	
Parede Ext. -2 Laboratório	Reboco	2	0,015	0,38
	XPS	6	1,71	
	Reboco	2	0,015	
	Tijolo	22	0,61	
	Reboco	2	0,15	
Parede Esc/Ele. Camionist.	Aço	0,6	9,6E-05	0,51
	XPS	6	1,71	
	Reboco	2	0,015	
	Betão	20	0,10	
	Reboco	2	0,015	
Parede Ampliação 3	Aço	0,6	9,61538E-05	0,33
	XPS	8	2,29	
	Reboco	2	0,015	
	Tijolo	22	0,61	
	Reboco	2	0,015	
Parede Frente Ar. Jardinada	Aço	0,6	9,61538E-05	0,40
	XPS	6	1,71	
	Reboco	2	0,015	
	Tijolo	22	0,61	

Soluções da envolvente opaca (Continuação).

	Reboco	2	0,015	
Parede cantina	Ceramico	2	0,015	0,94
	Reboco	2	0,015	
	Tijolo	15	0,42	
	Caixa de ar	3	0,18	
	Tijolo	11	0,29	
	Reboco	2	0,015	
Parede Balneários	Reboco	2	0,015	0,43
	XPS	6	1,71	
	Reboco	2	0,015	
	Tijolo	15	0,42	
	Reboco	2	0,015	
	Ceramico	2	0,015	
Laje Cobertura SMT	Geotêxtil	-		0,2
	XPS	0,06		
	Betão	0,2		
	Gesso carto.	0,1025		