

Análise do desempenho do consumo energético em edifícios

Caso de estudo edifícios de escritório

Carolina Sopas Costa

Dissertação para a obtenção de grau de Mestre em

Engenharia Civil

Orientadora: Professora Doutora Maria Cristina de Oliveira Matos Silva

Orientador: Professor Doutor Vítor Faria e Sousa

Júri

Presidente: Professor Doutor Jorge Manuel Caliço Lopes de Brito

Orientador: Professor Doutor Vítor Faria e Sousa

Vogal: Professora Doutora Inês Dos Santos Flores Barbosa Colen

Janeiro de 2021

Declaração

Declaro que o presente documento é um trabalho original da minha autoria e que cumpre todos os requisitos do Código de Conduta e Boas Práticas da Universidade de Lisboa.

Agradecimentos

Embora este trabalho seja individual não posso deixar de agradecer a várias pessoas que me ajudaram a concluir a dissertação.

Em primeiro lugar quero agradecer à professora Cristina Silva e ao professor Vitor Sousa por me orientarem e aconselharem na realização deste trabalho final, mas também pela disponibilidade e incentivo no decorrer da elaboração da tese.

À equipa da empresa EPD Distribuição, pela disponibilidade demonstrada, tanto no fornecimento dos dados como na ajudar a resolver dúvidas um muito obrigada, sem o vosso auxílio esta tese não poderia ser realizada.

Quero agradecer aos meus pais por me ajudarem a seguir o percurso académico que escolhi e conjuntamente com a minha irmã apoiarem e incentivarem-me sempre a nunca desistir e a dar o meu melhor. Quero agradecer em especial à minha mãe pela dedicação e conselhos que me deu neste percurso e a toda a família mais próxima.

Um agradecimento especial, devido a esta fase da pandemia, a um grupo de amigos que me ajudaram a manter-me sã, com o convívio online, que acaba por ser um boost para o dia seguinte.

Resumo

Os edifícios têm um consumo energético associado e o desenvolvimento da sociedade tem gerado o acréscimo deste consumo. Como a maioria da energia provém de fontes não renováveis, o impacto ambiental é grande.

Os estudos existentes são maioritariamente realizados em edifícios habitacionais, contudo os edifícios comerciais apresentam cada vez mais, percentagens expressivas no consumo energético total. Esta dissertação pretende contribuir para o conhecimento do consumo energético em escritório, através da análise de uma base de dados fornecida pela EDP Distribuição, numa amostra composta por 104 escritórios distribuídos por Portugal Continental e um caso de estudo específico de um escritório, com painéis fotovoltaicos.

Na análise geral da amostra procura-se perceber quais os edifícios com maiores consumos energéticos a nível distrital e que padrões de consumo possuem. Conclui-se que a média anual de consumo é de 94,4 kWh/m² e de 2500 kWh/colaborador e que entre os meses de novembro e abril o índice de consumo energético é superior à média da amostra.

A análise mais detalhada foi feita a um edifício, avaliou-se qual a contribuição da fonte renovável e como evoluiu ao longo dos anos o consumo energético, verificando-se uma diminuição, acentuando-se a partir das medidas de confinamento impostas pelo aparecimento da pandemia em Portugal.

Foram realizadas análises estatísticas de forma a perceber se variáveis como área útil, número de colaboradores, radiação solar, temperatura exterior, ... explicam os indicadores do consumo energético e qual o grau de correlação. Revelando-se o consumo energético diário o que detém uma maior correlação.

Palavras-chave: Consumo energético, padrões de consumo, escritórios, necessidades energéticas

Abstract

Buildings have associated an energy consumption and the development of society has generated the increase of this consumption. Since most of the energy comes from non-renewable sources, the environmental impact is substantial.

Current studies are mostly carried out on residential buildings, but the increase of total energy on offices buildings requires an appraisal. This master's thesis aims to contribute to the knowledge of energy consumption in commercial buildings, through the analysis of a database provided by EDP Distribuição with a sample of 104 offices distributed throughout Continental Portugal and a specific case study with photovoltaic panels.

In the general analysis of the sample, an evaluation is made of which buildings have the highest energy consumption at district level and the respective consumption patterns. It can be concluded that the annual average consumption is 94,4 kWh/m² and 2500 kWh/employee and it is estimated that between November and April the energy consumption index is higher than the sample average.

A more detailed analysis was made at one of the offices, where the contribution of the renewable energy source was assessed, as well as how energy consumption evolved over the years, a decrease is observed, accentuated by the containment measures imposed by the appearance of the pandemic in Portugal.

Statistical analyses were carried out to understand whether variables such as useful area, number of employees, solar radiation, outside temperature, ... explain the indicators of energy consumption and how strong the correlation is. The daily energy consumption is shown to have the highest correlation.

Keywords: Energy consumption, consumption patterns, offices, energy needs

Índice

1. Introdução	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Objetivos e metodologia	2
1.3. Organização da dissertação	2
2. Enquadramento do consumo energético em escritórios.....	4
2.1. Evolução do consumo energético e as necessidades energéticas no mundo	4
2.2. Fatores influenciadores do consumo energético em edifícios de escritório	10
2.3. Métodos de análise	14
3. Análise da amostra de edifícios.....	16
3.1. Apresentação e caracterização geral da amostra.....	16
3.2. Dimensionamento do consumo energético	22
3.2.1. Consumo energético por área útil	22
3.2.2. Consumo energético por colaborador	25
3.2.3. Evolução anual	27
3.3. Variáveis explicativas do consumo energético.....	29
3.3.1. Análise unidimensional	33
3.3.1. Análise multidimensional	36
3.4. Conclusões do Capítulo 3	39
4. Análise do edifício específico	41
4.1. Caracterização geral do Edifício073	41
4.2. Análise do consumo energético	44
4.2.1. Evolução mensal entre 2015 e 2019.....	44
4.2.2. Padrões de consumo no ano 2019.....	48
4.2.3. Consumo energético em 2020	52
4.2.4. Comparação entre a amostra e o Edifício073	56
4.2.5. Necessidades energéticas	57
4.3. Influência meteorológica no consumo energético	58

4.3.1.	Efeito da radiação solar	58
4.3.2.	Influência da temperatura exterior.....	60
4.4.	Análise estatística do caso de estudo	62
4.4.1.	Análise unidimensional	62
4.4.1.	Análise multidimensional	64
4.5.	Conclusões do Capítulo 4	68
5.	Considerações finais	71
5.1.	Conclusões e aspetos relevantes	71
5.2.	Desenvolvimentos futuros e limitações	73
	Referências bibliográficas.....	74
	Anexos.....	- 1 -
	Anexo A – Tabelas com informação do consumo, produção, autoconsumo e consumo de rede mensal, nos anos 2019, 2018, 2017 e 2016.....	- 1 -
	Anexo B – Variação do consumo energético numa semana de janeiro.....	- 2 -
	Anexo C – Índices de consumo diários do edifício073	- 3 -
	Anexo D – Comparação do consumo energético médio horário em cada mês dos anos 2020 e 2019, mas ao fim de semana.....	- 6 -

Índice de tabelas

Tabela 2.1 – Estudos do consumo energético em escritórios	11
Tabela 3.1 - Informação geral dos edifícios da amostra	17
Tabela 3.2 - Características da amostra	19
Tabela 3.3 - Quantificação da amostra através da divisão em grupos de NUTS II e zona climática ...	20
Tabela 3.4 - Quantificação percentual das combinações entre zonas climáticas de inverno, NUTS II e verão.....	21
Tabela 3.5 - Informação tendo em conta área dos edifícios em cada distrito	22
Tabela 3.6 - Informação tendo em conta o número de colaboradores dos edifícios por distrito	25
Tabela 3.7 - Comparação entre os índices de consumo médios mensais	27
Tabela 3.8 - Consumos energéticos anuais, nos anos de 2015, 2017 a 2019.....	27
Tabela 3.9 – Coeficientes de determinação e número de edifícios avaliados em cada grupo.....	31
Tabela 3.10 - Identificação de outliers	31
Tabela 3.11 – Coeficientes de determinação e número de edifícios avaliados em cada grupo sem os edifícios outliers.....	32
Tabela 3.12 - Comparação dos resultados das distribuições não paramétricas (caso amostra).....	34
Tabela 3.13 - Resultados da correlação não paramétrica (caso amostra).....	35
Tabela 3.14 - Desempenho dos modelos GLM e ANN (caso amostra).....	36
Tabela 3.15 - Modelo GLM (caso amostra).....	37
Tabela 3.16 - Estrutura de modelos ANN (caso amostra)	38
Tabela 4.1 - Informações gerais do Edifício073	42
Tabela 4.2 - Dados gerais do consumo energético do Edifício073.....	42
Tabela 4.3 - Indicadores de desempenho do certificado energético do edifício.....	43
Tabela 4.4 - Proposta de melhorias no certificado energético.....	43
Tabela 4.5 – Redução percentual anual e total (conjunto de 5 anos) do consumo energético de rede entre 2015 e 2019	45
Tabela 4.6 - Distribuição percentual do consumo de rede e autoconsumo em cada ano.....	46
Tabela 4.7 - Peso mensal do autoconsumo ao longo dos anos apos a sua instalação	47
Tabela 4.8 - Consumo energético de rede mensal nos anos 2019 e 2020 e respetiva variação.....	53

Tabela 4.9 - Informações do consumo energético mensal no ano 2020	54
Tabela 4.10 - Consumo energético total por área útil	57
Tabela 4.11 - Comparação dos resultados das distribuições não paramétricas (edifício)	63
Tabela 4.12 - Resultados da correlação não paramétrica (edifício)	64
Tabela 4.13 - Desempenho dos modelos GLM e ANN (caso edifício específico)	65
Tabela 4.14 - Modelo GLM (caso edifício específico)	66
Tabela 4.15 - Estrutura de modelos ANN (caso edifício específico)	66
Tabela A.1 - Informações do consumo energético mensal entre 2019 e 2016	- 1 -

Índice de figuras

Figura 2.1 - Evolução do consumo energético por setor nos EUA	4
Figura 2.2 - Diferentes utilizações energéticas dos diferentes tipos de edifícios nos EUA	5
Figura 2.3 Percentagem de consumo energético dos tipos de edifícios comerciais dos EUA em 2012.	6
Figura 2.4 - Evolução do consumo energético total por setor na UE	6
Figura 2.5 - Evolução do consumo energético elétrico por setor na UE.....	7
Figura 2.6 - Diferentes utilizações energéticas num edifício habitacional na União Europeia	7
Figura 2.7 - Evolução do consumo energético total em Portugal por setor	8
Figura 2.8 - Evolução do consumo energético elétrico em Portugal por setor	9
Figura 2.9 - Diferentes utilizações energéticas num edifício habitacional em Portugal.....	9
Figura 2.10 - Identificação dos climas segundo Köppen e Geiger, na zona do mediterrâneo	10
Figura 3.1 - Distribuição dos edifícios pelos distritos de Portugal e a sua quantificação	16
Figura 3.2 - Percentagem das combinações entre zonas climáticas e NUTS II.....	21
Figura 3.3 - Distribuição percentual do consumo energético por área útil nos distritos	23
Figura 3.4 - Índice de consumo ao longo do ano 2019 (consumo energético por área)	24
Figura 3.5 - Distribuição percentual do consumo energético por número de colaborador nos distritos	26
Figura 3.6 - Índice de consumo ao longo do ano 2019 (consumo energético por colaborador)	26
Figura 3.7 - Evolução do consumo energético ao longo dos anos 2015 a 2019.....	29
Figura 3.8 – Diagramas de dispersão e curvas de regressão das variáveis apresentadas	30
Figura 3.9 - Correlação entre variáveis sem os edifícios considerados outliers.....	32
Figura 3.10 - Importância relativa das variáveis independentes nos modelos GLM para o consumo diário (à esquerda) e para o consumo diário por área (à direita). (Caso amostra).....	38
Figura 4.1 - Foto do Edifício073	41
Figura 4.2 - Comparação do consumo de rede mensal entre os anos 2015 e 2019.....	44
Figura 4.3 - Autoconsumo e consumo de rede no ano 2019.....	46
Figura 4.4 - Autoconsumo ao longo dos anos 2019, 2018 e 2017	47
Figura 4.5 - Índice de consumo energético médio mensal, no ano 2019	48
Figura 4.6 - Índice de consumo diário no mês de janeiro	49
Figura 4.7 - Índice de consumo diário no mês de abril	49

Figura 4.8 - Índice do consumo médio diário, no ano 2019	50
Figura 4.9 - Índice de consumo médio diário ao longo de uma semana em 2019	50
Figura 4.10 – Tendência média do consumo energético horário ao longo de um dia	51
Figura 4.11 - Índice do consumo energético médio horário, tendo em conta o dia da semana (D.U-Dias úteis, FDS- Fim de semana).....	52
Figura 4.12 - Consumo energético mensal de rede ao longo do ano 2019 e 2020.....	53
Figura 4.13 - Evolução mensal do consumo energético por área entre 2015 e 2020	54
Figura 4.14 - Consumo energético médio horário do ano 2020 num dia útil	55
Figura 4.15 - Consumo energético médio horário do ano 2019 num dia útil	55
Figura 4.16 - Comparação entre o índice médio de consumo mensal da amostra no ano 2019 e o Edifício073 e respetivos valores.....	56
Figura 4.17 - Necessidades energéticas em 2015.....	57
Figura 4.18 - Variação da radiação solar e produção (kWh) obtido pelo PV de janeiro a abril	58
Figura 4.19 - Variação da radiação solar e produção (kWh) obtido pelo PV de maio a agosto	59
Figura 4.20 - Variação da radiação solar e produção (kWh) obtido pelo PV de setembro a dezembro	59
Figura 4.21 - Temperatura do ar mensal entre 2015 e 2019	60
Figura 4.22 - Comparação adimensional da evolução mensal entre a temperatura exterior e consumo energético em vários anos	61
Figura 4.23 - Importância relativa das variáveis independentes nos modelos GLM para o consumo diário (à esquerda) e para produção diária (à direita). (Caso edifício específico)	65
Figura 4.24 - Comparação de desempenho dos modelos GLM e ANN para o consumo (acima) e produção (em baixo).....	67
Figura 4.25 - Comparação de desempenho dos modelos de consumo GLM e ANN com o modelo GLM com interação	68
Figura B.1 - Variação do consumo energético de uma semana típica de trabalho, entre 7 e 13 de janeiro	- 2 -
Figura C.2 - Índice de consumo diário no mês de fevereiro	- 3 -
Figura C.3 - Índice de consumo diário no mês de março	- 3 -
Figura C.4 - Índice de consumo diário no mês de maio.....	- 3 -
Figura C.5 -Índice de consumo diário no mês de junho.....	- 3 -
Figura C.6 - Índice de consumo diário no mês de julho	- 4 -

Figura C.7 - Índice de consumo diário no mês de agosto.....	- 4 -
Figura C.8 - Índice de consumo diário no mês de setembro	- 4 -
Figura C.9 - Índice de consumo diário no mês de outubro	- 5 -
Figura C.10 - Índice de consumo diário no mês de novembro	- 5 -
Figura C.11 - Índice de consumo diário no mês de dezembro	- 5 -
Figura D.12 - Consumo energético médio horário, em cada mês do 2020, num dia de fim de semana. -	6 -
Figura D.13 - Consumo energético médio horário, em cada mês do 2019, num dia de fim de semana. -	6 -

Abreviaturas e símbolos

Abreviaturas

APREN	Associação Portuguesa de Energias Renováveis
ANN	Artificial Neural Network
AQS	Águas Quentes Sanitárias
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
CPE	Código Ponto de Entrega
CNNs	Convolution Neuronal Networks
DRL	Deep Reinforcement Learning
EDP	Energias de Portugal
EIA	Energy Information Administration
GLM	Generalized Linear Model
MLP	Multilayer Perceptron
nZEB	Nearly Zero Energy Building
PV	Painel fotovoltaico
SNIRH	Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídrico
VIF	Variance Inflation Factor

Símbolos

GD	Graus-Dias [°C]
g_v	Fator solar dos vidros [-]
kWh	Quilowatt-hora
m	Metro
R	Resistência térmica [$m^2 \cdot K/W$]
R^2	Coefficiente de determinação [-]
U	Coefficiente de transmissão térmica [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]

1. Introdução

1.1. Enquadramento

A evolução tecnológica tem a si associada um aumento do consumo energético, assim como, uma preocupação de controle deste consumo. Esta racionalidade está dependente de vários fatores, nomeadamente das escolhas das fontes de produção de energia, do comportamento dos consumidores e da otimização dos sistemas energéticos.

A produção e o consumo de energia são responsáveis diretamente e indiretamente por alguns custos e impactos negativos sobre o meio ambiente, nomeadamente os problemas associados às emissões de gases prejudiciais à atmosfera, como o dióxido de carbono, que provocam o efeito de estufa (Guerra, Ribeiro, Rodrigues 2019).

O setor industrial é dos setores que mais tem contribuído para o consumo de energia e consequentemente, o que mais contribui para o impacto ambiental. Contudo, com o desenvolvimento dos setores de transportes e comercial, passaram a fazer parte dos setores visados. Como se observa nos dados estatísticos disponíveis dos EUA (U.S. Energy Information, 2020) e da Europa (European Parliament 2019).

Para fazer face às necessidades energéticas existentes, pode-se recorrer a fontes do tipo não renováveis e renováveis. Até 2019, em Portugal Continental, mais de metade da energia necessária provinha de energias não renováveis, tendo sido alterado a partir do início deste mesmo ano, passando a haver maior contributo por parte de fontes renováveis (APREN 2019). O que promoveu para uma mudança positiva a nível ambiental, mas ainda implica um grande investimento económico.

Os problemas de ineficiência energética passaram a ser uma prioridade a nível global e geram uma insustentabilidade económica e ambiental, obrigando a criar uma norma estabelecida pela Diretiva Europeia sobre o desempenho energético dos edifícios. Surgiu então a necessidade de alcançar requisitos nZEB (Nearly Zero Energy Building), ou seja, edifícios com necessidades energéticas praticamente nulas ou com necessidades mínimas provenientes de fontes renováveis. Permitindo assim uma sociedade sustentável e que promova para boas práticas ambientais (Moodular Wood Building Systems 2020).

A perceção da variabilidade do consumo energético e das necessidades energéticas é um tipo de análise que tem sido realizada em edifício habitacionais, mas com o decurso do tempo estendeu-se a os outros tipos de edifícios, nomeadamente no setor comercial, mais especificamente, para o caso de edifício de escritórios, pois representam um dos grupos de edifícios que mais consome energia, neste setor.

Tendo como base este tema e de forma a contribuir para este conteúdo, a presente dissertação baseia-se na análise do desempenho energético de uma amostra de edifícios de escritório. O caso de estudo escolhido decorre de uma parceria com a EDP distribuição (Energias de Portugal), que disponibilizou

dados do portefólio de edifícios, para a realização do trabalho. Estes dados possuem a vantagem de se reportarem a energias não renováveis (eletricidade) e renováveis (painéis fotovoltaicos).

1.2. Objetivos e metodologia

Os objetivos da presente dissertação são caracterizar quantitativamente o consumo de energia elétrica e procurar identificar os fatores que o influenciam. A metodologia adotada é baseada na análise estatística do registo histórico de consumos em edifícios de escritórios cruzada com informação relevante ao nível do seu contexto (por exemplo o tipo de clima), número de colaboradores e área útil. A análise é efetuada a dois níveis: i) a uma amostra de edifícios distribuídos por Portugal Continental com dados a uma resolução macro (a resolução temporal dos registos é ao nível mensal); e ii) a um edifício específico com registo de consumo com uma resolução substancialmente mais refinadas de 15 em 15 minutos.

Para além da análise dos valores absolutos de consumo de energia, são ainda calculados um conjunto de indicadores de normalização, em função da dimensão e ocupação dos edifícios e da sazonalidade.

Com a aplicação do programa de modelação estatística SPSS foi possível uma análise da base de dados da amostra e de um escritório específico, com o intuito de encontrar as variáveis estaticamente significativas, as variáveis que se constituem mais relevantes para este estudo e perceber quais as correlações existentes e qual o grau entre elas. Foi realizada uma análise unidimensional e multidimensional, sendo esta última mais adequada ao caso de estudo específico (Edifício073), por possuir um número significativos de dados.

1.3. Organização da dissertação

O presente documento está dividido em cinco capítulos, sendo que os Capítulos 3 e 4 correspondem ao enfoque da dissertação.

No Capítulo 2 encontra-se o estado de arte, que justifica a pertinência do estudo do consumo energético em escritórios e mostra/resume as principais conclusões neste âmbito. Para além de apresentar qual a evolução do consumo energético por setor, em várias partes do mundo, analisou-se vários artigos de forma a perceber as necessidades energéticas mais comuns nos vários tipos de edifícios e que variáveis podem influenciar o consumo energético. Para finalizar é ainda indicado que métodos de análise são mais recorrentes na avaliação desta temática.

No Capítulo 3 são caracterizados e analisados, os consumos energéticos de uma amostra de escritório, fornecida pela entidade EDP. Procurou-se identificar as correlações entre variáveis, os indicadores explicativos do consumo energético e os padrões de consumo que permitam elucidar a variabilidade do consumo energético de edifícios de escritório em Portugal Continental. Também é feito um dimensionamento do consumo de forma a categorizar os vários edifícios em grupos, como localização e zona climática.

No Capítulo 4 é apresentado uma análise a um caso de estudo, onde é estudado em detalhe um edifício específico da amostra. É feita uma apresentação do edifício face aos dados disponíveis e identificados os pontos importantes do edifício, como por exemplo quando começou a haver contribuição da fonte renovável existente ou qual a certificação energética. É caracterizado o consumo energético em vários anos, nomeadamente o impacto que a pandemia teve sobre o este consumo, identificado os padrões de consumo e avaliadas as necessidades energéticas existentes neste escritório. Uma vez que este edifício possui painéis fotovoltaicos é realizado uma análise de dados, tendo em conta a produção de energia e o consumo energético, tanto de rede como de autoconsumo. Estudou-se ainda a influência meteorológica, tendo em conta a localização do edifício, assim como, quais as novas variáveis que explicam o consumo e a produção de energia, nomeadamente a temperatura exterior, precipitação, radiação solar, aparecimento da pandemia e a escala temporal.

O Capítulo 5 resume as conclusões e responde aos objetivos apontados neste documento. Indicando os pontos importantes adquiridos dos capítulos anteriores e referindo aspetos a aperfeiçoar para futuras análises neste âmbito.

Ao longo da apresentação desta dissertação poder-se-á encontrar junto das várias análises, várias figuras e tabelas resumo, como modo de clarificação e suporte científico das conclusões encontradas. Para além do acima exposto, no final do trabalho, verificar-se-á a bibliografia com as referências mencionadas e constará em anexo as tabelas e figuras gerais, como complemento.

2. Enquadramento do consumo energético em escritórios

2.1. Evolução do consumo energético e as necessidades energéticas no mundo

Esta tese tem como objeto de estudo o consumo energético em edifícios de escritório. Para perceber melhor este tema foi necessário estudar e avaliar o modo como o consumo energético tem evoluído no mundo ao longo dos anos, nomeadamente em escritórios.

Segundo Vance *et al.* (2015), o consumo energético aumenta com o crescimento da população mundial, sendo que, entre o ano de 1965 e 2012, o aumento foi de 232%. Afirmam ainda que com base na informação das Nações Unidas se prevê que a população mundial irá duplicar, entre 1977 e 2030, pelo que, as necessidades energéticas poderão aumentar 150%. Neste período, os mesmos autores referem que, cada vez mais, se procura utilizar tecnologias mais eficientes a nível energético. No entanto, neste momento, estas tecnologias representam mais energia consumida, uma vez que ao aprimorar para uma tecnologia mais eficiente pode sobrestimar o progresso de redução geral do consumo energético. Justificando assim a necessidade de procurar formas de equilibrar a evolução tecnológica e o consumo que incita.

Para perceber melhor o crescimento do consumo energético fez-se uma análise, através da base de dados com estatísticas independentes e análises dos Estados Unidos da América fornecida pela EIA (U.S. Energy Information, 2020). Na Figura 2.1 está ilustrada a evolução do consumo energético total (energia primária e elétrica) nos EUA entre 1949 e 2019, comparando os diferentes setores. Como se pode observar, verifica-se um aumento do consumo energético ao longo dos anos. O setor comercial e transportes apresenta maior aumento, na ordem do 43% e 54 % respetivamente, nos últimos 50 anos. Apesar do setor comercial estar abaixo das outras áreas, tem vindo a apresentar um aumento no consumo energético, ao longo dos anos.

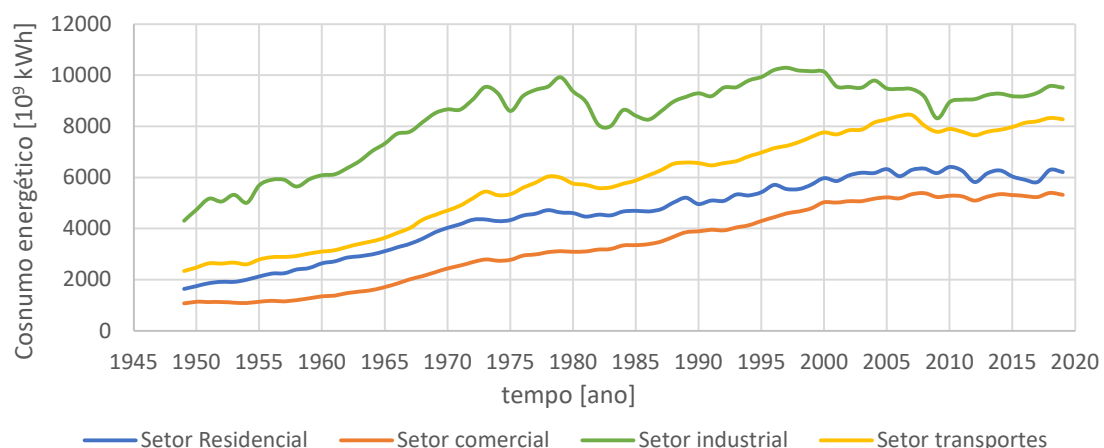


Figura 2.1 - Evolução do consumo energético por setor nos EUA (U.S. Energy Information, 2020)

Tal como se pode verificar na Figura 2.2, um edifício pode apresentar diferentes tipos de utilizações energéticas, tendo em conta o fim para qual foi projetado. Um edifício habitacional tem necessidades energéticas muito diferentes de um edifício comercial. Enquanto numa habitação o aquecimento, as AQS (Águas Quentes Sanitárias) e ar condicionado constituem-se como as necessidades energéticas que mais contribuem para o consumo energético, o mesmo não acontece num edifício comercial. No caso dos escritórios, há um maior consumo de energia elétrica em ventilação, ar condicionado e iluminação, apostando-se em condições que tornem este local de trabalho o mais confortável possível (tendo em consideração que uma das grandes razões para o aumento do consumo energético também se deve à evolução dos equipamentos eletrónicos nos escritórios, como o caso dos computadores). Assim, o foco para obter uma maior eficiência varia conforme a utilização do edifício. Nota-se que na Figura 2.2 os dados para os edifícios habitacionais são de 2015 enquanto os de escritórios são de 2012, por isso estes dados são para uma comparação visual e não direta.

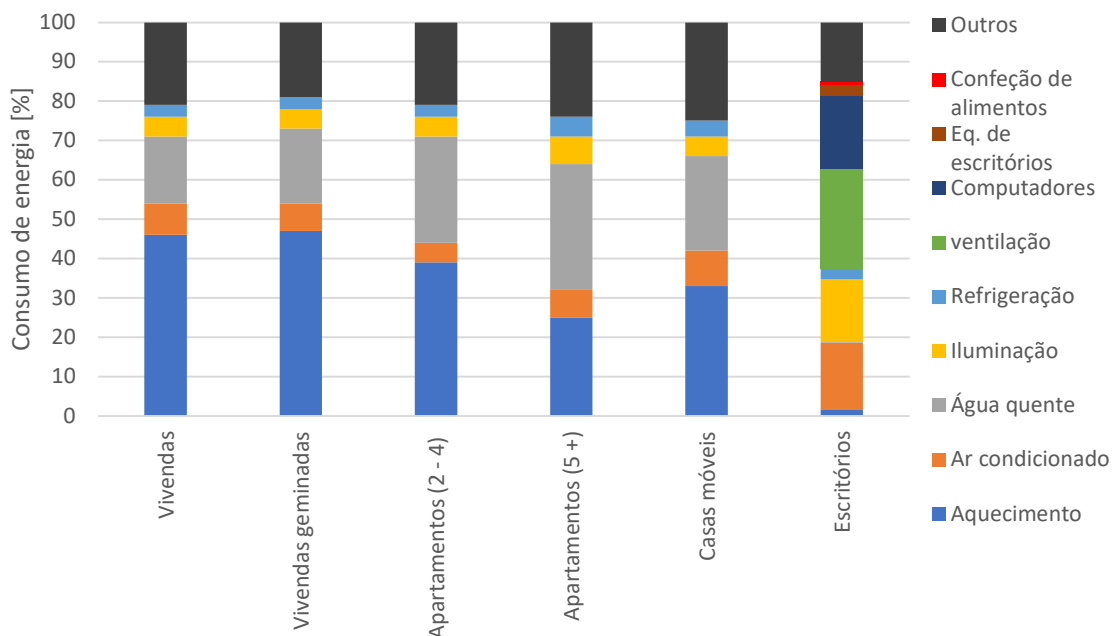


Figura 2.2 - Diferentes utilizações energéticas dos diferentes tipos de edifícios nos EUA (U.S. Energy Information, 2020)

Por outro lado, na Figura 2.3, consegue-se identificar, dentro dos tipos de edifícios comerciais, quais as suas percentagens de consumo energético. Conclui-se que os escritórios apresentam o maior consumo neste setor, destacando-se o consumo no ano 2012, em que os escritórios nos EUA representaram cerca de 18% do consumo energético total dos edifícios comerciais.

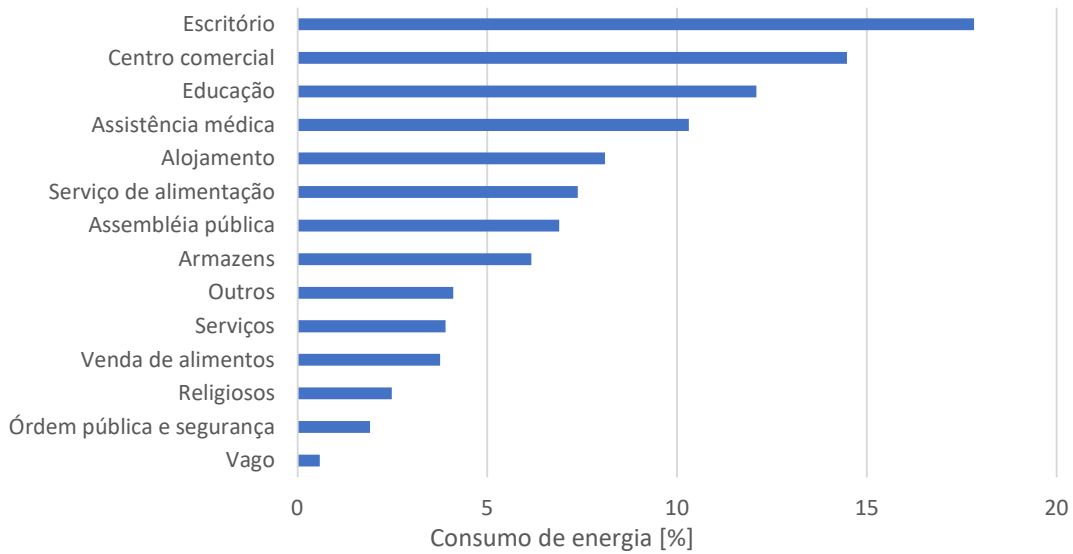


Figura 2.3 Percentagem de consumo energético dos tipos de edifícios comerciais dos EUA em 2012 (U.S. Energy Information, 2020)

Através do site oficial da Comissão Europeia (Comission 2018) obtiveram-se bases de dados que permitem avaliar os consumos energéticos na Europa, especificamente nos 27 países que compõe neste momento a União Europeia (U.E.).

Numa primeira avaliação e de forma a comparar a evolução do consumo energético com os EUA, considerou-se o consumo energético total. Na Figura 2.4 verifica-se que o setor que demonstra menos consumo energético é o comercial, os outros setores apresentam consumos energéticos com um padrão muito equivalente, no patamar entre os 2500×10^9 kWh e 3500×10^9 kWh. Na U.E. os setores que se destacam são os setores comercial e transportes, enquanto que nos EUA todos os setores apresentam um aumento do consumo energético total.

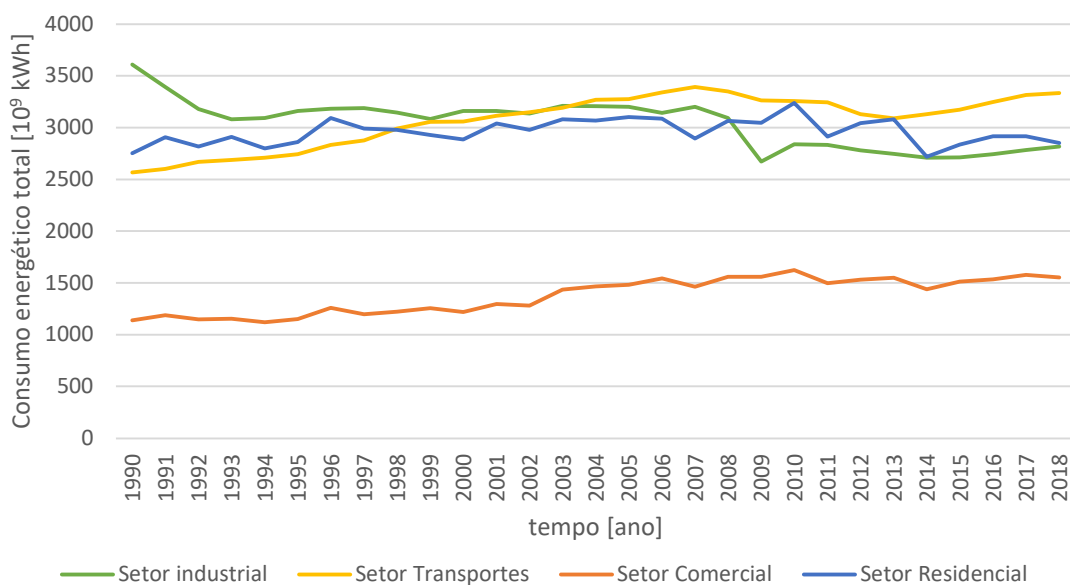


Figura 2.4 - Evolução do consumo energético total por setor na UE (Eurostat, 2020)

Focando apenas o consumo energético elétrico, na Figura 2.5, está representado a sua evolução na U.E. entre 1990 e 2018, nos diferentes setores. A não ser o setor dos transportes, durante este período, todos os outros apresentam uma alteração significativa no consumo, sendo que o setor comercial é o que demonstrar um maior crescimento com aumento na ordem dos 16%. O setor que apresenta maior consumo energético é o industrial e o menor o dos transportes.

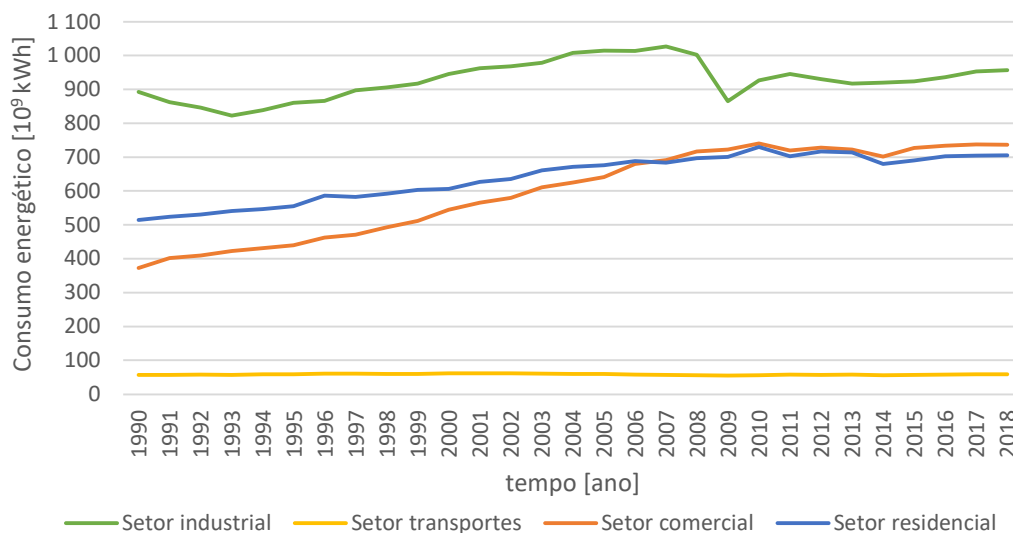


Figura 2.5 - Evolução do consumo energético elétrico por setor na UE (Eurostat, 2020)

Avaliando a Figura 2.6 e comparando com o estudado dos EUA, na Europa, num edifício habitacional o maior consumo energético corresponde à iluminação e só depois o aquecimento, com uma diferença expressiva de percentagens. Isto reforça a ideia que as necessidades energéticas variam da localização geográfica, pois no estudo dos EUA o tipo de utilização que apresenta maior consumo de energia é o aquecimento e só em 4º lugar aparece a iluminação. As AQS constituem uma das necessidades energéticas principais em ambos os casos, ocupando o terceiro lugar de consumo.

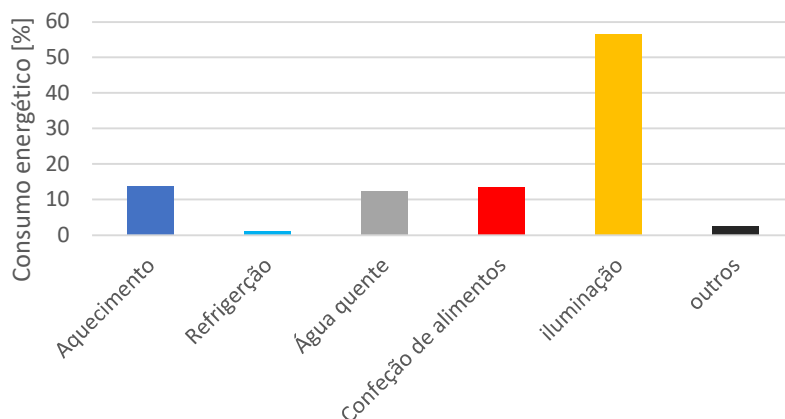


Figura 2.6 - Diferentes utilizações energéticas num edifício habitacional na União Europeia (European Parliament 2019)

A Comissão Europeia também refere que, tendo em conta a base de dados em 2013, o consumo energético anual em edifícios não residenciais é, em média, 40% superior ao de edifícios residenciais (250 kWh/m² comparando com 180 kWh/m²) e que do total de países pertencentes à União Europeia a média do consumo energético por m² anual, nos edifícios residenciais, é de 180 kWh/m², sendo Portugal um dos países que menos gasta, com uma média de 70 kWh/m² e a Roménia com o maior consumo de 300 kWh/m². Apesar de haver países com tipos de climas similares, podem existir diferenças decorrentes das condições climatéricas e das definições estatísticas usadas.

Seguindo para um estudo mais particular, em Portugal a tendência da evolução do consumo energético total é para aumentar, só o setor industrial é que apresenta um pequeno decréscimo de 2% de 1990 para 2018. Como se pode ver na Figura 2.7 o setor que neste momento apresenta um maior consumo é o setor dos transportes, mas desde 1990 o setor que apresentava um maior crescimento é o comercial com 74% face ao 44% do setor de transportes.

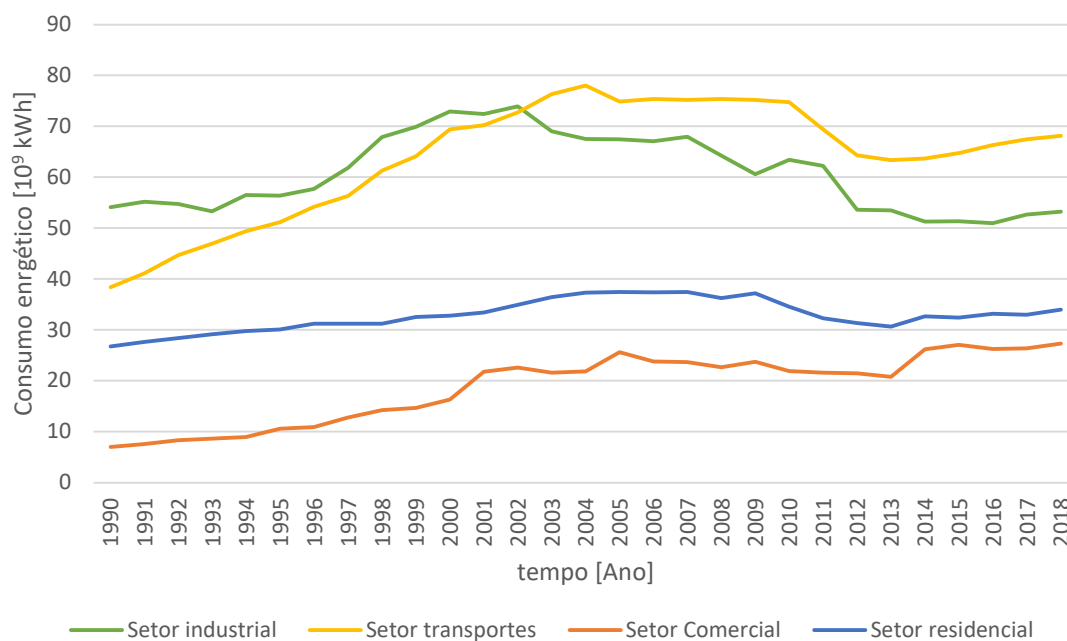


Figura 2.7 - Evolução do consumo energético total em Portugal por setor (Eurostat, 2020)

Ao longo dos anos analisados na Figura 2.8, Portugal apresenta um crescimento significativo do consumo energético elétrico em todos os setores menos no dos transportes, verificando-se, a partir de 2009, uma diminuição deste crescimento.

O setor comercial é o que demonstra o maior crescimento, na ordem dos 30%. Este desenvolvimento foi tanto que, a partir de 2013, este setor passou a ser o que mais consome energia. Esta constatação valida e reforça a pertinência deste estudo, como importante contributo para a otimização energética das empresas e para a redução do impacto ambiental do consumo energético.

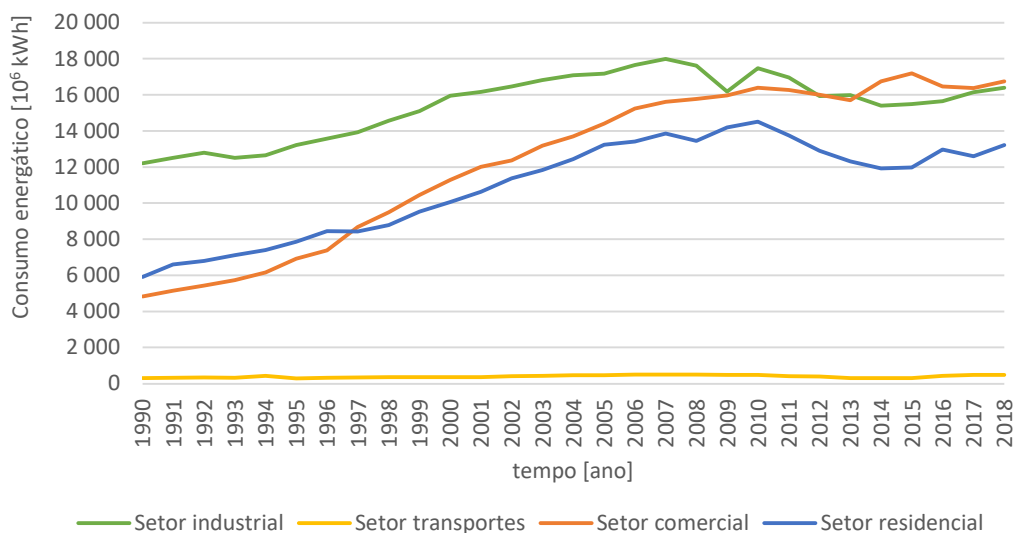


Figura 2.8 - Evolução do consumo energético elétrico em Portugal por setor (Eurostat, 2020)

Como se pode apurar pela Figura 2.9, as necessidades energéticas vão de encontro ao avaliado na Europa o que se verifica de diferente é que, o segundo principal uso da energia elétrica é sobre a confeção dos alimentos e não de aquecimento, mas de resto enquadra-se no que já demonstrado.

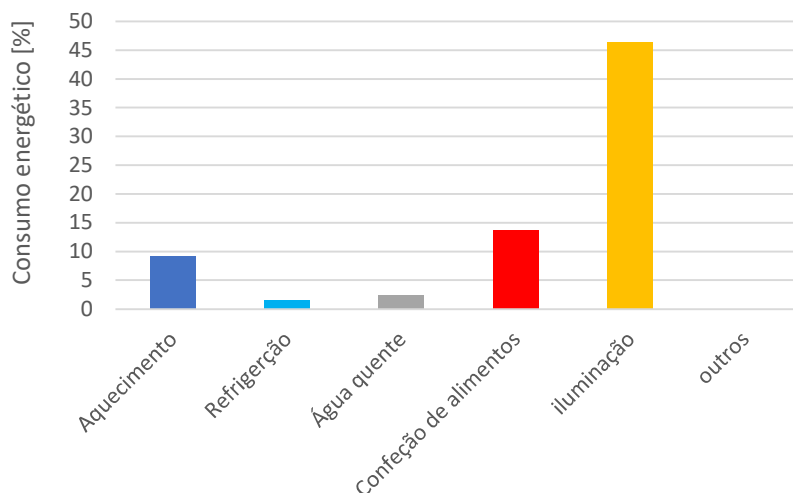


Figura 2.9 - Diferentes utilizações energéticas num edifício habitacional em Portugal (European Parliament 2019)

Na Europa verificou-se uma escassez de estudos sobre os consumos energéticos em escritórios, assim como, de uma base de dados específicos para este tipo de edifícios. Nos três casos apresentados estão todos em consonância que, apesar de o setor comercial não representar o setor com maior consumo energético é o setor que tem apresentado um maior crescimento.

Outro ponto a retirar destes estudos é que na avaliação dos edifícios habitacionais, a sua localização pode conferir necessidades energéticas diferenciadas, na União Europeia e em Portugal a maior necessidade energética incide na iluminação, já no caso dos EUA é no aquecimento.

2.2. Fatores influenciadores do consumo energético em edifícios de escritório

Conclui-se que há um crescimento do consumo energético principalmente no setor comercial e que é necessário avaliar e estudar que alterações podem ser feitas para combater este aumento. Categorizar padrões de consumo, perceber quais os hábitos energéticos existentes neste tipo de edifícios pode ser uma forma de chegar a conclusões que ajudam a perceber melhor o consumo energético nos escritórios e assim encontrar soluções ou melhorar as já existentes.

Procedeu-se a uma análise de vários artigos para compreender que variáveis podem influenciar o consumo energético e perceber melhor sobre este assunto.

Para se poder controlar o contexto climático, que afeta o consumo energético, um dos parâmetros considerados nos artigos estudados, é o clima, tendo como base a classificação de Köppen e Geiger (Figura 2.1).

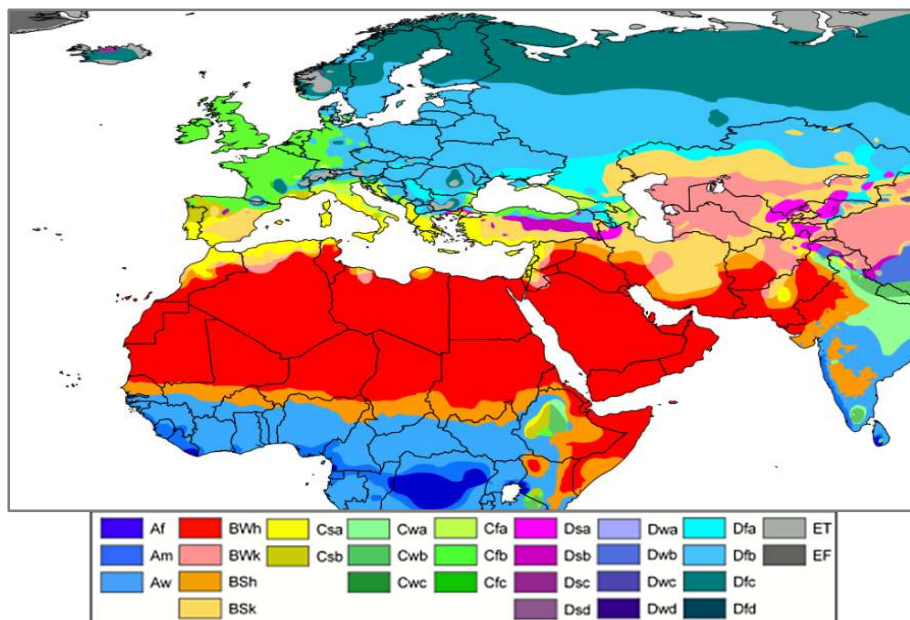


Figura 2.10 - Identificação dos climas segundo Köppen e Geiger, na zona do mediterrâneo. Adaptado de Peel, M. C., Finlayson, B. L., and McMahon (2016)

Há poucos estudos que apresentem os parâmetros mais relevantes para o consumo energético em edifícios de escritório. Neste trabalho identificaram-se 5 estudos com a classificação de um clima mediterrâneo e 7 com outro tipo de classificação. A Tabela 2.1 sintetiza as informações destes estudos.

Com base na análise dos artigos retém-se que para além do clima há outros fatores que influenciam o consumo como: comportamento humano; condições ambientes (temperaturas, humidade, etc.); envolvente dos edifícios (orientação da fachada e janela) e exposição solar (sombreamento, radiação solar, rácio de janelas/parede, entre outros). Estes fatores podem progredir para a existência de certas necessidades energéticas que conseqüentemente promovem para o aumento do consumo energético.

Tabela 2.1 – Estudos do consumo energético em escritórios

Autor	Ano	Caso de estudo		Fatores em estudo				**Método		Ferramenta utilizada	Variáveis estudadas	Influência sobre o consumo energético	Necessidades energéticas				
		Local	*Clima	Exposição solar	Condições ambiente	Comportamento humano	Envolvente edifício	E	F				Ventilação	Aquecimento	Arrefecimento	Iluminação	Equipamento
Antoniadou <i>et al.</i>	2017	Norte da Grécia	BSk		X	X		X		Regressão logística	Temperatura ar, humidade e nível de CO ₂	A ocupação, a alteração da temperatura no interior e a falta de ventilação promove para o aumento das necessidades energéticas, devido às exigências de conforto dos colaboradores.	X	X	X		X
Carletti <i>et al.</i>	2017	Florença (Itália)	Csa	X					X	EnergyPlus Relux	Radiação solar, sombreamento, g _v e uso de ar condicionado	Um fator solar reduzido permite a diminuição de necessidades energéticas de iluminação. Há uma otimização da utilização do AVAC devido á existência de sombreamento nas janelas (cortinas).		X	X	X	X
Castaño-Rosa <i>et al.</i>	2018	Sevilha (Espanha)	Csa		X		X		X	Lider-Calener	Temperatura no interior e uso do ar condicionado	A ventilação natural permitiu a redução significativa do uso do ar condicionado. Logo houve uma redução no consumo energético proveniente deste equipamento.			X		X
Friess <i>et al.</i>	2016	Dubai (EAU) Málaga (Espanha) El Dorado (EUA)	BWh Csa Cfa		X		X		X	EnergyPlus	Isolamento da fachada, temperatura no interior, relação janela/fachada e resistência térmica.	Se a relação janela/fachada for grande, há grande entrada de luz solar e menos necessidades de aquecimento. O aumento de isolamento é benéfico para temperaturas exteriores baixas. O aumento da resistência térmica das paredes, resultam de uma redução continua das necessidades de aquecimento.		X	X		
Giouri <i>et al.</i>	2020	Atenas (Grécia)	Csa	X			X		X	EnergyPlus	Relação janela/fachada, U, g _v e sombreamento	Edifícios compactos reduz as necessidades de arrefecimento. Fachadas e ganhos solares menores diminui as necessidades de arrefecimento. O sombreamento e orientação do edifício não representou grande influência.		X	X	X	X

*BWh: clima desértico quente; BSk: clima semiárido frio; Cfa: clima subtropical húmido; Cfb: clima oceânico; Csa: clima mediterrânico de verão quente; Csb: clima mediterrânico de verão fresco. **E: estatístico; F: Físico

Tabela 2.1 - Estudos do consumo energético em escritórios (continuação)

Autor	Ano	Caso de estudo		Fatores em estudo				**Método		Ferramenta utilizada	Variáveis estudadas	Influência sobre o consumo energético	Necessidades energéticas					
		Local	*Clima	Exposição solar	Condições ambiente	Comportamento humano	Envolvente edificio	E	F				Ventilação	Aquecimento	Arrefecimento	Iluminação	Equipamento	
Krstić-Furundžić <i>et al.</i>	2019	Belgrado (Sérvia)	Cfa				X		X	EnergyPlus	Sombreamento	O uso de sistemas de sombreamento ajuda a diminuir no geral o consumo energético, mas onde se verifica uma grande diminuição é nas necessidades de arrefecimento. Nas restantes necessidades aquecimento e iluminação houve um aumento do consumo energético.	X	X	X			
Naspi <i>et al.</i>	2018	Ancona (Itália)	Cfa	X	X	X		X		Goodness-of-fit (GOF)	Temperatura interior, iluminação e concentração CO ₂	A falta de luz obriga acender luzes e consequentemente o aumento do consumo. A temperatura no interior faz com que os utilizadores abram janelas e não o facto da concentração de CO ₂ existente no escritório. Os utilizadores são mais sensíveis às necessidades energéticas à entrada na hora do trabalho.	X	X	X			
Saridar S. e Elkadi H.	2002	Líbano	Csa	X				X		-	Relação janela/fachada	Há uma grande relação, neste tipo de clima, entre a configuração da fachada e o consumo energético elétrico.				X		
Wang W. e Arya C.	2020	Londres (Inglaterra) Hong Kong (China)	Cfb Cfa				X		X		TAS	Orientação fachada, U e g _v	Clima Cfb: fachadas com U inferiores, aumenta as necessidades energéticas; Clima Cfa: fachadas com U inferiores, reduz o ganho de calor o que diminui as necessidades energéticas; fachadas com g _v inferiores possui necessidades energéticas mais baixas e a variação de g _v apresenta efeitos maiores que o U;	X	X	X	X	

*BWh: clima desértico quente; BSk: clima semiárido frio; Cfa: clima subtropical húmido; Cfb: clima oceânico; Csa: clima mediterrânico de verão quente; Csb: clima mediterrânico de verão fresco. **E: estatístico; F: Físico

Após a análise dos vários artigos é possível indicar as cinco principais necessidades energéticas num escritório: ventilação, aquecimentos, arrefecimento, iluminação e equipamentos (ex.: AVAC). Estas necessidades são as que constituem a maior parte do consumo energético.

Tendo em conta a preferência do comportamento humano, Naspi *et al.* (2018) concluem que os utilizadores preferem a luz solar e no artigo de Antoniadou *et al.* (2017) verifica-se que a variação da temperatura interior do edifício também influencia o comportamento energético dos utilizadores e que esta variação poderá depender da orientação e utilização de sistemas de ar condicionado. Também é possível encontrar concentrações de CO₂ acima do recomendado, devido à falta de ventilação e à existência de muitos visitantes/utilizadores.

Num clima mediterrânico, o arrefecimento apresenta-se como uma grande necessidade energética, devido ao grau de exigência de conforto térmico dadas as elevadas temperaturas, principalmente no verão. Mas de acordo com os autores Castaño-Rosa *et al.* (2018) é possível diminuir este tipo de consumo através da ventilação natural. Note-se que este artigo utiliza um modelo semelhante ao modelo da regulamentação portuguesa.

Segundo Friess *et al.* (2017) há climas propícios a anti isolamento (isolamento excessivo que pode impedir perdas de calor pelas paredes), nomeadamente climas mediterrânicos, como é o caso de Portugal. Neste tipo de clima podem ocorrer dois tipos de situações: as temperaturas no exterior são tão baixas que há necessidade de manter o calor interno do edifício ou completamente o oposto. Estes autores observaram que a elevada radiação solar contribui para mais tempo de iluminação natural.

Quanto maior for os graus-dias de aquecimento (GD), maior será a energia necessária para aquecer o edifício. Segundo o artigo de Friess *et al.* (2017) também se verificou que, para valores baixos de GD, o consumo de energia é insensível ao aumento de isolamento e que para valores maiores de GD, o consumo energético diminui com o aumento de isolamento.

Outras variáveis estudadas que influenciam o consumo energético, é o rácio entre janela/parede e a orientação dos edifícios. Os autores Saridar, S. e Elkadi, H. (2002); Friess *et al.* (2017) e Giouri *et al.* (2020) analisaram esses parâmetros, para clima Csa, como o é caso do sul de Portugal. As fachadas com insuficiente ou excesso de dia de luz faz com que haja um acréscimo de consumo de energia. Uma relação WWR pequena é benéfica em climas muito quentes, uma vez que reduz a entrada de luz solar. Quando se verifica o contrário há grandes ganhos solares, sendo as necessidades de aquecimento menores.

Uma outra conclusão a que Giouri *et al.* (2020) chegaram é que janelas de maiores dimensões aumentam o fluxo de ventilação natural e possibilitam uma maior entrada de luz do dia, o que promove a diminuição da temperatura no interior do edifício e reduz as necessidades de luz artificial, respetivamente.

Dentro do que implica a exposição solar, o coeficiente térmico também é um dado importante a ser referido. Pelo artigo de Wang, W. e Arya, C. (2020) constataram que para o clima Cfb fachadas com baixos valores de U aumentam as necessidades energéticas anuais, já para o outro clima (Cfa) usar uma fachada com um baixo coeficiente térmico (U) reduz o ganho de calor, que promove na redução

das necessidades energéticas; Um escritório em Londres, no inverno, requer mais necessidades de arrefecimento a Sul do que a Norte; Em ambos casos: Fachadas com g_v inferiores promove para necessidades energéticas mais baixas. A variação de g_v apresenta efeitos maiores que o U;

Os autores Carletti *et al.*, (2017 e Giouri *et al.*, (2020) verificaram a influência do sombreamento e ganhos solares, pelo vidro. Um vidro com valores de transmitância solar menor apresenta melhores resultado no que toca ao controlo da entrada de luz, reduzindo mais as necessidades de iluminação artificial. Nos vidros com cortinas, obtém-se melhor desempenho a nível da necessidade de arrefecimento devido ao maior sombreamento. Em zonas de sombreamento são expectáveis a diminuição das necessidades de arrefecimento e o aumento da iluminação artificial. O controlo da luz solar promove a redução das necessidades de iluminação e conseqüentemente para um edifício de Energia Zero.

Os autores Krstić-Furundžić *et al.* (2019) também estudaram a utilização de sistemas de sombreamento para obter diminuição nos consumos energéticos e verificaram que o uso de sistemas de sombreamento ajudar a diminuir no geral o consumo energético (13 a 18%), mas onde se verifica maior diminuição foi nas necessidades de arrefecimento com uma diminuição entre 38-80%. Nas restantes necessidades houve um aumento: aquecimento 10 a 39% e na iluminação 4 a 35%.

Há um conjunto de variáveis que podem ser geridas para reduzir as necessidades energéticas e conseqüentemente a diminuir o consumo energético. A exposição solar e as condições climatéricas são as que mais contribuem para a otimização da energia, pela sua influência sobre o consumo. Mas, cada vez se tem estudado que o comportamento humano pode constituir uma variável influenciadora das necessidades energéticas, devido à procura de um ambiente confortável para se trabalhar.

2.3. Métodos de análise

O uso de programas, simuladores e métodos teóricos, ajudam a otimizar as análises já existentes. O modelo físico mais referido na Tabela 2.1 é o simulador EnergyPlus, que permite criar, de uma forma modular e flexível, uma simulação de um edifício, com vários input e outputs, possibilitando uma análise muito detalhada ou simples, pelo que constitui um modelo eficiente.

A análise de dados pode ser feita de duas formas: usando modelos estatísticos ou modelos físicos.

Os modelos estatísticos podem corresponder a análises estatísticas mais simples, nos quais se podem encontrar metodologias como regressões e modelos de algoritmos ou uma análise estatística mais complexa, como técnicas de inteligência artificial, que corresponde à técnica mais utilizada para perceber o consumo, nomeadamente para processar imagens e retirar informação delas, como se pode perceber pelos artigos dos autores seguidamente mencionados.

Os modelos físicos são utilizados em análise onde são aplicadas legislações ou uso de norma (ISO) mas também, como já foi referido e o mais utilizado, as análises feitas com recursos a simuladores.

Na grande maioria dos artigos apresentados, os simuladores são a ferramenta mais utilizada, para perceber o consumo energético, por isso, um dos modelos mais desenvolvidos, ao longo do tempo.

Pelo artigo de Wang, W. e Arya, C. (2020) foi utilizado um simulador que tem em conta a dinâmica dos fluídos, pelo que se classifica como um modelo físico mais complexo.

Outro modelo utilizado em várias análises, destes artigos, é o uso de técnicas de inteligência artificial, como se pode constatar pelos artigos de Meng *et al.* (2020), Liu *et al.* (2020) e Zhang *et al.* (2020).

Há uma preocupação em perceber quais os modelos mais adequados face às características dos problemas e o seu nível de eficiência, tanto de complexidade como de custos computacionais, conforme Liu *et al.* (2020) e Zhang *et al.* (2020) .

No artigo de Liu *et al.* (2020) é mencionado que uma forma de reduzir o consumo energético é através da previsão de certas ações e variações, que otimizam a tomada de decisões mais rápidas, fazendo com que se consiga diminuir a consumo energético. Chegaram à conclusão de que a utilização de modelos DRL (Deep Reinforcement learnig), comparativamente com métodos mais comuns de previsão, obtém melhores resultados na precisão de prever um certo acontecimento. Enquanto no segundo artigo, verificaram que quando foi aplicada a ferramenta de inteligência artificial ANN, houve uma redução de 40% no custo computacional, sem danificar os resultados.

Meng *et al.* (2020) utilizaram a técnica artificial Convolution Neuronal Networks (CNNs) para conseguir identificar as mudanças de temperatura no interior de um local e prever as alterações para um sistema AVAC, chegando à conclusão que contribuía para a redução do consumo energético.

Entende-se que a escolha de um dos vários tipos de modelos a utilizar irá depender do objetivo pretendido, seja para melhorar a forma de avaliar, diminuir o conjunto de variáveis a estudar ou para fazer uma avaliação mais eficiente. Os programas de simulação são cada vez mais usados, dado representarem uma ferramenta completa, quanto às necessidades e consumos energéticos. A escolha do método/programa também é influenciada pelo tempo computacional e o custo da avaliação.

3. Análise da amostra de edifícios

3.1. Apresentação e caracterização geral da amostra

A base de dados inicial, da entidade, é composta por vários edifícios identificados pelos CPE's (Códigos de Ponto de Entrega), sendo no total 166 CPE's, distribuídos por Portugal Continental.

Para efeitos desta análise foi extraída uma amostra de edifícios da base de dados. No processo de extração foi privilegiada a disponibilidade de registos de consumo de energia, foram eliminados edifícios com possibilidade de fecho breve e foram agrupados CPE's com a mesma morada.

A amostra final é composta por 104 edifícios distribuídos pelo território português, conforme Figura 3.1 e a informação geral destes edifícios encontram-se na Tabela 3.1.



Figura 3.1 - Distribuição dos edifícios pelos distritos de Portugal e a sua quantificação

A forma de adquirir os dados dos consumos energéticos pode ser por faturação ou medição do contador, a resolução temporal dos registos também apresenta diferenças, podendo ser adquiridos de três formas diferentes:

- Ao mês, por correspondência com a faturação dos consumos, estes registos foram efetuados manualmente e podem ser tratados como estimativas;
- Diário, leituras diretas dos contadores;
- De 15 em 15 minutos, em alguns edifícios recorre-se a sistemas de medição de consumos por telemetria, decorrente da instalação de painéis fotovoltaicas, o que veio disponibilizar registos por leitura automática substancialmente mais refinadas.

Tabela 3.1 - Informação geral dos edifícios da amostra

ID (identificação do edifício)	Distrito	Área útil [m ²]	Nº de colaboradores	Validade certificado energético	Classe energética	Zona climática		NUTS II
						Verão	Inverno	
Edifício001	Aveiro	2151,6	34	02/05/2025	C	V2	I2	Norte
Edifício002	Aveiro	-	-	-	-	V2	I2	Norte
Edifício003	Aveiro	-	-	-	-	V2	I2	Norte
Edifício004	Aveiro	271	32	30/01/2028	C	V2	I2	Norte
Edifício005	Aveiro	-	-	-	-	V2	I2	Norte
Edifício006	Aveiro	-	19	-	-	V2	I2	Norte
Edifício007	Aveiro	-	16	-	-	V2	I2	Norte
Edifício008	Aveiro	-	7	-	-	V2	I2	Norte
Edifício009	Aveiro	-	13	-	-	V2	I2	Norte
Edifício010	Beja	-	4	-	-	V3	I1	Alentejo
Edifício011	Beja	-	-	-	C	V3	I1	Alentejo
Edifício012	Beja	2598,67	71	-	-	V3	I1	Alentejo
Edifício013	Braga	-	-	-	-	V2	I2	Norte
Edifício014	Braga	2861,9	61	11/11/2024	C	V2	I2	Norte
Edifício015	Braga	-	-	-	-	V2	I2	Norte
Edifício016	Braga	-	4	-	-	V2	I2	Norte
Edifício017	Braga	1316,9	42	20/06/2027	C	V2	I2	Norte
Edifício018	Braga	-	76	-	-	V2	I2	Norte
Edifício019	Bragança	787	40	24/05/2021	C	V2	I3	Norte
Edifício020	Bragança	858	5	06/02/2022	F	V2	I3	Norte
Edifício021	Castelo Branco	177,4	7	21/02/2023	B-	V3	I1	Centro
Edifício022	Castelo Branco	276,7	-	09/07/2022	C	V3	I1	Centro
Edifício023	Castelo Branco	525,43	34	25/08/2025	B-	V3	I1	Centro
Edifício024	Coimbra	1757,1	16	-	-	V2	I2	Centro
Edifício025	Coimbra	-	-	-	-	V2	I2	Centro
Edifício026	Coimbra	-	-	-	-	V2	I2	Centro
Edifício027	Coimbra	-	-	-	-	V2	I2	Centro
Edifício028	Coimbra	-	-	-	-	V2	I2	Centro
Edifício029	Coimbra	1786,5	131	-	-	V2	I2	Centro
Edifício030	Coimbra	9465,4	204	31/05/2025	B-	V2	I2	Centro
Edifício031	Coimbra	131,44	5	-	-	V2	I2	Centro
Edifício032	Évora	545,2	-	16/09/2021	B-	V3	I1	Alentejo
Edifício033	Évora	-	-	-	-	V3	I1	Alentejo
Edifício034	Évora	-	-	-	-	V3	I1	Alentejo
Edifício035	Évora	1204,1	13	23/11/2019	C	V3	I1	Alentejo
Edifício036	Évora	445,5	36	25/05/2021	B-	V3	I1	Alentejo
Edifício037	Faro	962,7	39	16/09/2021	C	V3	I1	Algarve
Edifício038	Faro	4086,21	49	-	-	V3	I1	Algarve
Edifício039	Faro	-	-	-	-	V3	I1	Algarve
Edifício040	Faro	496	11	-	-	V3	I1	Algarve
Edifício041	Faro	-	-	-	-	V3	I1	Algarve
Edifício042	Faro	1348,3	35	28/11/2024	C	V3	I1	Algarve
Edifício043	Guarda	2814,1	-	12/05/2025	D	V2	I3	Norte
Edifício044	Guarda	8088,8	8	-	-	V2	I3	Norte
Edifício045	Guarda	3029,16	23	11/11/2024	C	V2	I3	Norte
Edifício046	Guarda	1025,06	51	20/07/2024	B	V2	I3	Norte
Edifício047	Leiria	548,7	-	-	-	V2	I2	Centro
Edifício048	Leiria	4408,4	65	23/06/2025	C	V2	I2	Centro
Edifício049	Leiria	509,2	16	19/03/2022	B-	V2	I2	Centro
Edifício050	Leiria	709,4	97	-	-	V2	I2	Centro

Tabela 3.1 - Informação geral dos edifícios da amostra (continuação)

ID (identificação do edifício)	Distrito	Área útil [m ²]	Nº de colab.	Validade certificado energético	Classe energética	Zona climática		NUTS II
						Verão	Inverno	
Edifício051	Lisboa	-	-	-	-	V2	V1	A.M Lisboa*
Edifício052	Lisboa	810,9	47	-	-	V2	I1	A.M Lisboa*
Edifício053	Lisboa	483,2	33	16/09/2021	C	V2	I1	A.M Lisboa*
Edifício054	Lisboa	-	-	-	-	V2	I1	A.M Lisboa*
Edifício055	Lisboa	4254,5	69	30/04/2027	D	V2	I1	A.M Lisboa*
Edifício056	Lisboa	-	-	-	-	V2	I1	A.M Lisboa*
Edifício057	Lisboa	-	-	-	-	V2	I1	A.M Lisboa*
Edifício058	Lisboa	2051,3	117	19/06/2025	B-	V2	I1	A.M Lisboa*
Edifício059	Lisboa	-	12	-	-	V2	I1	A.M Lisboa*
Edifício060	Lisboa	-	-	-	-	V2	I1	A.M Lisboa*
Edifício061	Lisboa	932,1	34	01/08/2021	B-	V2	I1	A.M Lisboa*
Edifício062	Lisboa	-	345	-	-	V2	I1	A.M Lisboa*
Edifício063	Lisboa	261,7	-	02/03/2022	C	V2	I1	A.M Lisboa*
Edifício064	Lisboa	-	-	-	-	V2	I1	A.M Lisboa*
Edifício065	Lisboa	282,4	5	19/03/2022	C	V2	I1	A.M Lisboa*
Edifício066	Lisboa	-	-	-	-	V2	I1	A.M Lisboa*
Edifício067	Portalegre	953,8	-	16/09/2021	B-	V3	I1	Alentejo
Edifício068	Portalegre	550	37	24/03/2027	A+	V3	I1	Alentejo
Edifício069	Porto	595,8	15	-	-	V2	I1	Norte
Edifício070	Porto	201,24	38	31/03/2021	F	V2	I1	Norte
Edifício071	Porto	-	-	-	-	V2	I1	Norte
Edifício072	Porto	2667	-	-	-	V2	I1	Norte
Edifício073	Porto	3147,9	101	02/05/2025	B-	V2	I1	Norte
Edifício074	Porto	1238,1	-	26/04/2025	C	V2	I1	Norte
Edifício075	Porto	-	-	-	-	V2	I1	Norte
Edifício076	Porto	-	-	-	-	V2	I1	Norte
Edifício077	Porto	1004	72	-	-	V2	I1	Norte
Edifício078	Porto	-	7	-	-	V2	I1	Norte
Edifício079	Santarém	331,3	43	-	-	V3	I1	Centro
Edifício080	Santarém	-	-	-	-	V3	I1	Centro
Edifício081	Santarém	-	-	-	-	V3	I1	Alentejo
Edifício082	Santarém	2702,1	40	31/05/2025	C	V3	I1	Alentejo
Edifício083	Santarém	150	-	31/07/2024	C	V3	I1	Centro
Edifício084	Santarém	272,7	17	19/03/2022	B-	V3	I1	Centro
Edifício085	Setúbal	-	-	-	-	V3	I1	Alentejo
Edifício086	Setúbal	-	-	-	-	V3	I1	A.M Lisboa*
Edifício087	Setúbal	-	-	-	-	V3	I1	A.M Lisboa*
Edifício088	Setúbal	1440,7	36	-	-	V3	I1	A.M Lisboa*
Edifício089	Setúbal	284,8	14	17/02/2022	C	V3	I1	Centro
Edifício090	Setúbal	284,89	-	07/02/2022	D	V3	I1	A.M Lisboa*
Edifício091	Setúbal	-	-	-	-	V3	I1	A.M Lisboa*
Edifício092	Setúbal	1948,7	108	05/06/2025	C	V3	I1	A.M Lisboa*
Edifício093	Setúbal	4041,3	-	30/03/2025	C	V3	I1	A.M Lisboa*
Edifício094	Viana do Castelo	1594,8	50	28/04/2025	C	V2	I2	Norte
Edifício095	Viana do Castelo	270,92	7	06/02/2022	G	V2	I2	Norte
Edifício096	Viana do Castelo	-	-	-	-	V2	I2	Norte
Edifício097	Vila Real	-	-	-	-	V3	I2	Norte
Edifício098	Vila Real	-	15	-	-	V3	I2	Norte
Edifício099	Vila Real	45,13	3	-	-	V3	I2	Norte
Edifício100	Vila Real	2317,7	59	29/06/2025	B-	V3	I2	Norte
Edifício101	Viseu	-	-	-	-	V2	I2	Centro
Edifício102	Viseu	-	-	-	-	V2	I2	Centro
Edifício103	Viseu	-	6	-	-	V2	I2	Norte
Edifício104	Viseu	3800	79	-	-	V2	I2	Centro

*Área Metropolitana de Lisboa

Para além dos registos do consumo energético (eletricidade), a informação obtida também comporta: i) a área útil; ii) o número de colaboradores; iii) as moradas dos CPE's; iv) as classes energéticas e as suas validades. Esta informação encontra-se discriminada na Tabela 3.1, menos as moradas que se deve à confidencialidade existente entre a parceria, de facto foram utilizadas para saber quais os agrupamentos de CPE's que permitiu chegar à amostra final apresentada.

Relativamente à informação fornecida, denota-se várias lacunas no que concerne à área útil, número de colaboradores e/ou certificados energéticos.

Na Tabela 3.2 encontra-se resumido a distribuição do número de edifícios e informações extra de características da amostra de forma a obter-se uma noção geral.

Tabela 3.2 - Características da amostra

	Quantidade de edifícios da amostra com informação de:	Forma de medição	Máximo	Mínimo	Média	Mediana	Desvio padrão
Área útil [m ²]	58	-	9465,40	45,13	1622,50	958,25	1824,42
Nº Colaboradores	59	-	345	3	45,31	34	54,77
Energia Anual 2015 [kWh]	41	Faturado	901530	1530	76952,02	41701	143674,58
Energia Anual 2017 [kWh]	6	Leitor	24858	91	6401,17	3428,5	9158,30
Energia Anual 2018 [kWh]	12	Leitor	41118	1356	11612,17	10673	10609,75
Energia Anual 2019 [kWh]	14	Leitor	55470	288	26028,96	24604,73	18644,06
Energia Anual 2019 [kWh]	96	Faturado	852921	6	81567,53	44565	124862,41
Certificado energético	42	-	A+	G	C	C	-

Grande parte da análise efetuada, neste Capítulo, corresponde aos consumos energéticos faturados em 2019, dado que nos outros anos não estão disponíveis dados significativos, como se pode constatar pela Tabela 3.2. Como se pode verificar pela tabela não se possui informação para todos os edifícios em todas as categorias em estudo.

Na Tabela 3.2 apresenta-se um número de edifícios com informação da área útil ou de colaboradores muito próxima, mas no total existem apenas 47 edifícios com informação simultânea da área útil e número de colaboradores.

É de referir que em Portugal, tendo em conta o tipo de classificação de Köppen e Geiger, o clima mais a norte é classificado como Csb e a Sul como Csa. Tendo como base estes dois tipos de clima é de prever uma grande radiação solar, ambiente ideal para a instalação painéis fotovoltaicos, possibilitando a redução do custo de produção de energia. Devido à distribuição dos edifícios da amostra, 70 edifícios enquadram-se na classificação Csb e os restantes 34 na classificação Csa.

Através do sistema hierárquico de divisão do território português em regiões, designado por NUTS ("Nomenclatura das Unidade Territoriais para Fins Estatísticos") procedeu-se a dois tipos de divisão da amostra:

- NUTS II, que agrupa os 308 municípios existente em 7 grupos (Norte, Centro, Área Metropolitana de Lisboa, Alentejo, Algarve, Região Autónoma dos Açores e da Madeira);

- Por zonas climáticas de inverno e verão, tendo como base as NUTS III que divide Portugal em 25 unidades territoriais (tabela 01 F). Uma vez sabendo a que NUTS III um determinado município pertence, através das tabelas 02 a 05 F, do Despacho nº15793/2013, consegue-se separar os edifícios da amostra nas zonas climáticas: I1, I2 e I3 para o critério de inverno e V1, V2 e V3 para o critério de verão.

Este zoneamento climático encontra-se dentro do regulamento do Decreto-Lei nº118/2013, que aprova o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviço.

Na Tabela 3.1, encontra-se discriminada a identificação da divisão na NUTS II e das zonas climáticas.

Numa primeira abordagem ao agrupar os edifícios da amostra e tendo como base a divisão pelas NUTS II, identifica-se que a maior parte dos edifícios se encontra no Norte de Portugal, comportando 39 estabelecimentos, seguindo-se o Centro e a Área Metropolitana de Lisboa ambos com 23 edifícios (Tabela 3.3).

Na mesma tabela conclui-se ainda que na zona climática de verão não se identificou nenhum estabelecimento na zona V1 e que praticamente os edifícios encontram-se na zona V2 com 66 edifícios, ou seja, maioritariamente situam-se numa zona em que a temperatura exterior de verão é entre os 20°C e os 22°C.

Tendo em conta as zonas climáticas de inverno, verifica-se que a maioria se situa na zona I1 com 60 edifícios, neste caso o critério é através do fator GD (Graus-Dias).

Tabela 3.3 - Quantificação da amostra através da divisão em grupos de NUTS II e zona climática

Divisão		Quantidade	
		Numérico	Percentual (%)
NUTS II	Norte	39	37,50
	Centro	23	22,12
	Alentejo	13	12,50
	Algarve	6	5,77
	Área Metropolitana de Lisboa	23	22,12
Zona climática	V2	66	63,46
	V3	38	36,54
	I1	60	57,69
	I2	38	36,54
	I3	6	5,77

Numa tentativa de combinar estes grupos, na Figura 3.2. apresenta-se a combinação da zona climática, tanto de inverno como verão, com a divisão pelas NUTS II.

Verifica-se que maioritariamente dos edifícios situam-se na zona Norte, em praticamente em todas as zonas climática, com a exceção da zona I1 e V3 em que a maioria se encontra na Área Metropolitana de Lisboa e no Alentejo, respetivamente.

Outro ponto relevante é que todos os edifícios categorizados na zona I3 encontram-se na zona Norte e que os escritórios incluídos na zona I2 dividem-se pelas zonas Norte e Centro, que correspondem a NUTS II vizinhas.

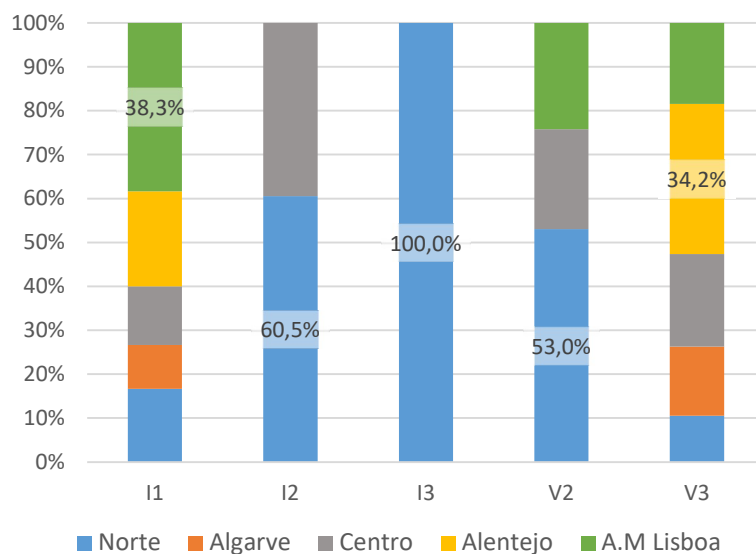


Figura 3.2 - Percentagem das combinações entre zonas climáticas e NUTS II

Uma vez combinado as zonas climáticas de inverno ou de verão com a divisão pelas NUTS II, fez-se uma combinação tendo em conta a NUTS II e um dos critérios climáticos e juntou-se ao outro critério climático. Na Tabela 3.4 expõe-se a percentagem das combinações tendo em conta a zona climática no inverno, na NUTS II e como se insere na zona climática de verão.

Conclui-se que há poucas combinações que conseguem abranger estas categorias simultaneamente num só edifício, mas é de salientar que no caso da zona de verão V2 a maior percentagem de edifícios da amostra, corresponde ao Norte de Portugal e à zona de inverno I2, com cerca de 29%. Ou seja, na amostra 29% dos edifícios situam-se a Norte, com fator de Graus-Dias mediano e com temperaturas exteriores de verão entre 20°C e 22°C.

Na zona de verão V3 a maior percentagem de edifícios da amostra, correspondem à zona do Alentejo e à zona de inverno I1, com cerca de 35%.

Tabela 3.4 - Quantificação percentual das combinações entre zonas climáticas de inverno, NUTS II e verão

	V2	V3
Norte_I1	15,2%	0,0%
Norte_I2	28,8%	10,5%
Norte_I3	9,1%	0,0%
Algarve_I1	0,0%	15,8%
Algarve_I2	0,0%	0,0%
Algarve_I3	0,0%	0,0%
Centro_I1	0,0%	21,1%
Centro_I2	22,7%	0,0%
Centro_I3	0,0%	0,0%
Alentejo_I1	0,0%	34,2%
Alentejo_I2	0,0%	0,0%
Alentejo_I3	0,0%	0,0%
A.M Lisboa_I1	24,2%	18,4%
A.M Lisboa_I2	0,0%	0,0%
A.M Lisboa_I3	0,0%	0,0%

3.2. Dimensionamento do consumo energético

Face aos dados que se possui procurou-se perceber como o consumo energético se dimensiona tendo em conta as áreas úteis da amostra, o número de colaboradores e como a este consumo evolui ao longo do tempo. Permitindo padronizar mensalmente e hierarquizar de forma a ter uma noção quantitativa do consumo energético da amostra.

3.2.1. Consumo energético por área útil

A amostra está distribuída por todo o território de Portugal Continental iniciando-se a análise por se perceber numa primeira instância onde se encontravam os escritórios com maior consumo energético.

A Tabela 3.5 apresenta os consumos energéticos de 2019 por área útil dos edifícios da amostra, por distrito. Apesar de a amostra ser composta por 104 edifícios só 58 é que têm informação das suas áreas uteis, o que complica a avaliação do consumo, por distrito.

Por exemplo, no distrito de Lisboa dos 16 edifícios só 7 é que tem informação da área útil, tornando-se mais complexo estabelecer comparações para a amostra total, mesmo tendo os consumos energéticos de praticamente todos os edifícios.

Tendo em conta a área útil total preenchida pela amostra, onde se verifica maior ocupação dos estabelecimentos no território português é nos distritos de Guarda e Coimbra, sendo os únicos distritos com percentagens de área útil superiores a 10% da área total da amostra.

Tabela 3.5 - Informação tendo em conta área dos edifícios em cada distrito

Distrito	Nº de edifícios por distrito	Edifícios com Área útil	Consumo energético por área [kWh/m ²] (anual)		Área útil [m ²]	
Aveiro	9	2	195,14	3,6%	2422,60	2,6%
Beja	3	1	220,698	4,1%	2598,67	2,8%
Braga	6	2	105,243	2,0%	4178,80	4,4%
Bragança	2	2	137,972	2,6%	1645,00	1,7%
Castelo Branco	3	3	343,232	6,4%	979,53	1,0%
Coimbra	8	4	540,444	10,0%	13140,44	14,0%
Évora	5	3	223,386	4,2%	2194,80	2,3%
Faro	6	4	243,336	4,5%	6893,21	7,3%
Guarda	4	4	175,625	3,3%	14957,12	15,9%
Leiria	4	4	272,057	5,1%	6175,70	6,6%
Lisboa	16	7	950,088	17,7%	9076,10	9,6%
Portalegre	2	1	81,2491	1,5%	1503,80	1,6%
Porto	10	7	861,163	16,0%	8854,04	9,4%
Santarém	6	4	260,52	4,8%	3456,10	3,7%
Setúbal	9	5	456,143	8,5%	8000,39	8,5%
Viana do Castelo	3	2	161,973	3,0%	1865,72	2,0%
Vila Real	4	2	142,158	2,6%	2362,83	2,5%
Viseu	4	1	8,22921	0,2%	3800,00	4,0%
Total	104	58	5378,66	100%	94104,85	100%

Na Figura 3.3 constata-se que os distritos que têm maior representatividade no consumo energético por área útil da amostra total são Lisboa (17,7%), Porto (16%) e Coimbra (10%).

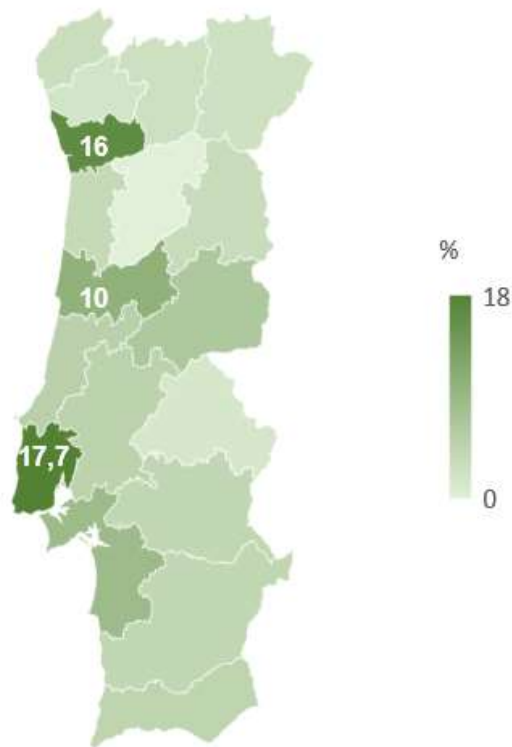


Figura 3.3 - Distribuição percentual do consumo energético por área útil nos distritos

Uma vez que se possui informação mensal do consumo energético no ano 2019, procurou-se perceber qual o padrão de consumo energético mensal por área da amostra. Para isso procedeu-se ao cálculo de índices de consumo, permitindo assim concluir quais os meses onde se avalia um consumo superior ao esperado pela média, esses índices estão representados por valores superiores a 1.

Ao longo do trabalho está apresentado vários índices de consumo, variando a dimensão do mesmo. O índice de consumo é calculado da seguinte forma: dividir o valor do consumo energético de um edifício pela média do consumo energético anual, mensal, diário ou horário, desse mesmo edifício, dependente da escala temporal pretendida.

Neste caso foi calculado o índice de consumo mensal e está representado por pontos no gráfico da Figura 3.4. É de ter em conta que o consumo energético mensal por área útil foi previamente dividido pelo número de dias, uma vez que os meses ao terem dias diferentes influência, nomeadamente o mês de fevereiro que ao apresentar menos dias consequentemente terá um consumo energético mensal inferior á partida e representaria um certo erro na avaliação.

Ao ter os índices de consumo para todos os edifícios possíveis da amostra, determinou-se a média mensal o que permitiu obter o índice de consumo ao longo do 2019, da amostra. Representado numa linha vermelha no gráfico da Figura 3.4. No gráfico não estão representados todos os pontos do mês de abril, pois como este estudo é feito tendo em conta consumos faturados houve alguns ajustes e estes pontos excepcionais representam acumulações de consumos dos meses anteriores.

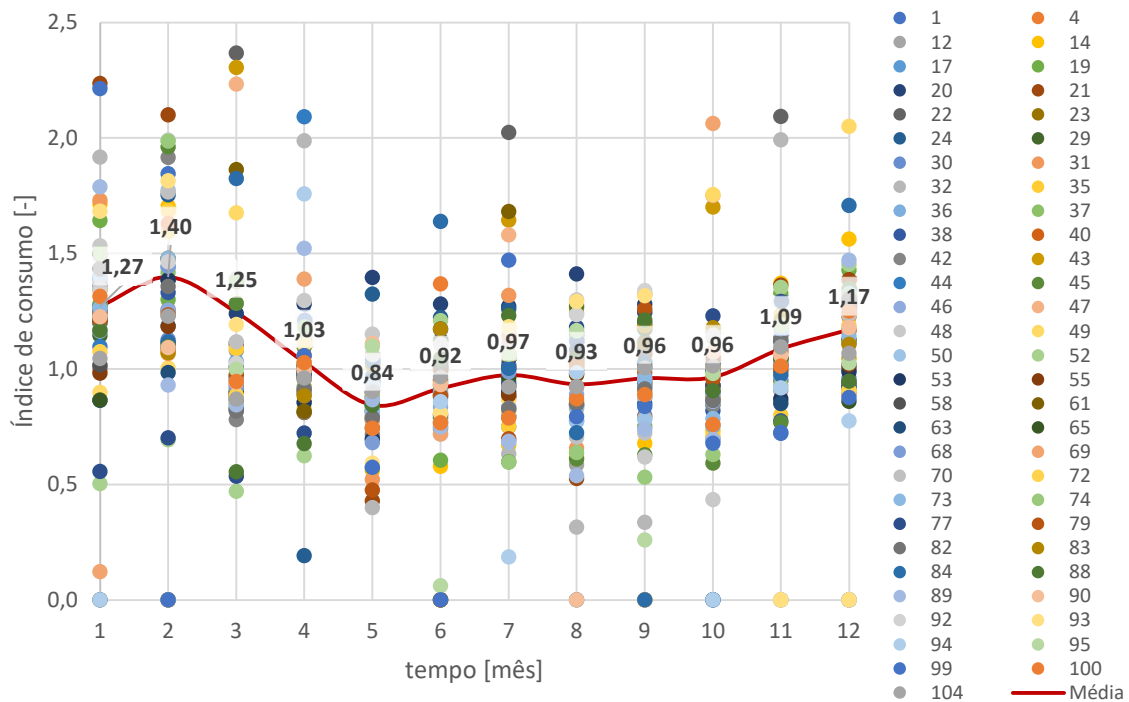


Figura 3.4 - Índice de consumo ao longo do ano 2019 (consumo energético por área)

Conclusões principais a reter:

- Os meses janeiro, fevereiro, março, abril, novembro e dezembro são os meses onde o consumo energético por área foi superior à medida do consumo da amostra;
- O mês que obteve um índice de maior consumo energético por área útil foi em fevereiro com 1,40 e o menor em maio com 0,84;
- Os meses que apresentam maiores índices de consumo correspondem a alturas do ano com temperaturas mais baixas e radiação solar inferiores, o que pode justificar a existência de maiores necessidades de aquecimento e iluminação, que por sua vez promove para existência de maior consumo energético;
- A nível dos índices de consumo de cada edifício, identifica-se dois pontos no mês de abril que representam altos índices de consumo face à média da amostra. Estes picos correspondem ao Edifício094 e ao Edifício032. A razão para este acontecimento é que se está a recorrer a consumos energéticos faturados e neste mês, em ambos edifícios, foram feitos ajustes, uma vez que não se cobrou nos meses anterior. Assim estes edifícios não representam grandes índices de consumo, mas tendo em conta a média mensal do consumo energético em 2019 do próprio edifício, o mês de abril exhibe valores significativamente acima.

3.2.2. Consumo energético por colaborador

Tendo em conta os consumos energéticos por colaborador apresentados na Tabela 3.6, os distritos que exibem maiores consumos energéticos em 2019 por colaborador correspondem a Lisboa, Braga e Faro, sendo os seus pesos, sobre o total de consumo, 17,9%, 12,4% e 9,1%, respetivamente.

Como se pode constatar, neste caso também não se possui todos os dados dos colaboradores, tendo só informação em 59 edifícios, em Lisboa é onde se verifica uma maior ausência de dados, de 8 edifícios.

Comparativamente aos resultados do consumo energético por área útil verifica-se que os distritos que representam maior consumos não correspondem aos mesmo, a não ser o caso de Lisboa.

Tabela 3.6 - Informação tendo em conta o número de colaboradores dos edifícios por distrito

Distrito	Nº de edifícios por distrito	Nº Ed com colaboradores	Consumo energético por colaborador (anual)	
Aveiro	9	6	10312,11	7,0%
Beja	3	2	1276,24	0,9%
Braga	6	4	18312,66	12,4%
Bragança	2	2	6688,03	4,5%
Castelo Branco	3	2	4968,98	3,4%
Coimbra	8	4	11418,65	7,7%
Évora	5	2	6609,92	4,5%
Faro	6	4	13388,85	9,1%
Guarda	4	3	10716,80	7,3%
Leiria	4	3	4872,80	3,3%
Lisboa	16	8	26352,02	17,9%
Portalegre	2	1	1207,76	0,8%
Porto	10	5	9040,61	6,1%
Santarém	6	3	4500,93	3,1%
Setúbal	9	3	7592,15	5,1%
Viana do Castelo	3	2	5588,94	3,8%
Vila Real	4	3	3690,97	2,5%
Viseu	4	2	980,34	0,7%
Total	104	59	147518,73	100,0%

Através da Figura 3.5 percebe-se nitidamente quais os distritos que apresentam grandes valores de consumo energético por colaborador.

O mesmo procedimento feito para encontrar o índice de consumo mensal no caso do consumo energético por área, também é aplicado para este caso (consumo energético por colaborador), estes dados encontram-se representados na Figura 3.6. Também houve uma redução da escala no eixo do índice de consumo pois havia o mesmo problema de acumulação de consumos no mês de abril, assim esta redução de escala permitiu visualizar com mais clareza onde houve mensalmente maiores e menores índices de consumos energéticos por colaborador ao longo de 2019.

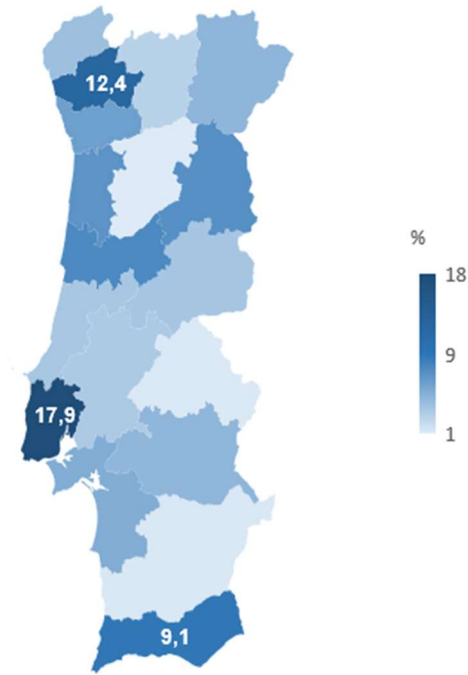


Figura 3.5 - Distribuição percentual do consumo energético por número de colaborador nos distritos

Neste caso também são os meses janeiro, fevereiro, março, abril, novembro e dezembro que correspondem aos meses com índices de consumo energético por colaborador superior à média da amostra.

O mês que obteve um índice de maior consumo energético por colaborador foi em fevereiro com 1,4 e o menor em maio com 0.90.

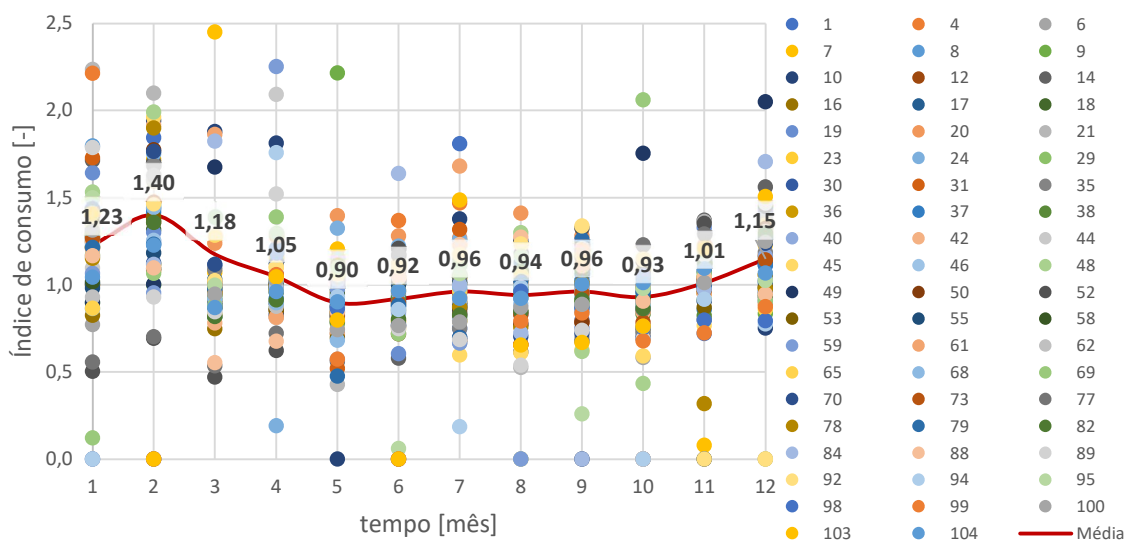


Figura 3.6 - Índice de consumo ao longo do ano 2019 (consumo energético por colaborador)

Através da Tabela 3.7, permite comparar a média dos índices de consumo ao longo dos meses do ano 2019.

Tabela 3.7 - Comparação entre os índices de consumo médios mensais

Consumo por	jan.	fev.	mar	abr.	mai.	jun.	jul.	ago.	set.	out.	nov.	dez.
Área útil	1,27	1,40	1,25	1,03	0,84	0,92	0,97	0,93	0,96	0,96	1,09	1,17
Colaboradores	1,23	1,40	1,18	1,05	0,90	0,92	0,97	0,95	0,96	0,93	1,01	1,15

Comparando os dois casos (consumo por área útil e consumo por colaborador) os valores dos índices são idênticos, as diferenças que existem podem dever-se ao facto de os edifícios que possuem informação da área útil não serem os mesmos que possuem informação do número de colaboradores.

3.2.3. Evolução anual

Dos edifícios da amostra, 10 deles possuem dados do consumo energético de pelo menos 3 anos diferentes, conforme Tabela 3.8. Também está representado em 2019 os consumos energéticos obtidos de duas formas diferentes, pela leitura do contador e outro pelas faturas.

Tabela 3.8 - Consumos energéticos anuais, nos anos de 2015, 2017 a 2019

ID	Consumo energético anual [kWh]				
	2015	2017	2018	2019L*	2019F*
Edificio002	4529	3627	4821		4332
Edificio012	52873		1356		88962
Edificio031		4280	16427	45195	13925
Edificio047	46554	91	41118	34339	34187
Edificio050	110959	2321	11307	10142	95415
Edificio057	14650		2706		11092
Edificio061	53413		16617	44649	44443
Edificio077	15656		10237	21157	189660
Edificio084	22114	24858	12662		25227
Edificio103	4107	3230	3196	3541,5	3507

*L-Leitura; F-Faturado

Na Tabela 3.8 verifica-se que os edifícios: edificio031, edificio050 e edificio077 apresentam em 2019 uma diferença significativa entre o consumo energético obtido pelo contador e pelas faturas. Por isso para se poder avaliar qual a tendência da evolução do consumo energético, ao longo destes anos, no caso 2019 opta-se ou pela média dos valores do contador e fatura ou admite-se o valor da fatura, conforme a disponibilidade de dados.

Tendo em conta as inclinações lineares apresentadas nos gráficos da Figura 3.7, consegue-se separar as tendências dos consumos energéticos em 3 grupos: i) praticamente constante; ii) aumento significativo e iii) diminuição significativa.

- Para os edifícios que se encontram dentro do grupo i) nomeadamente o Edifício002, Edifício084 e Edifício103, verifica-se que o consumo energético ao longo dos anos estudados não apresentam grandes alterações.

- No grupo ii) encontra-se o Edifício012, Edifício031 e o Edifício077:

O Edifício012 é composto por 7 CPE's, mas dos 3 anos apresentados só em 2019 é que se tem informação de todos eles, para o ano 2015 e 2018 tem-se informação de apenas 2 CPE's, sendo que um deles aponta para 0 consumo energético no final destes anos, por isso a discrepância de valores. No ano de 2018 estão disponíveis pouco dados do consumo no ano inteiro, reforçando a discrepância apresentada;

No caso do Edifício031 existe informação de todos os CPE's, no ano 2017 apresenta um valor mais baixo, mas deve-se ao facto de só se ter dados para 1 mês. Apesar deste facto o crescimento que se verifica de 2018 para 2019, não se consegue justificar uma vez que, não existiu grandes alterações significativas, é um edifício relativamente pequeno e não houve obras nem deslocações de colaboradores;

A razão para o aumento significativo no Edifício077 deve-se a alterações que sofreu, nomeadamente a um aumento grande de colaboradores. Também é importante referir que este edifício é composto por 3 CPE'S e para o ano de 2018 só se tem os valores de 1 deles, daí apresentar um consumo anual muito inferior aos outros dois anos.

- No caso do grupo iii) tem-se o Edifício047, Edifício050, Edifício057 e o Edifício061:

O Edifício047 não apresenta qualquer problema de falta de dados ou de CPE's como noutros casos apresentados, mas houve uma redução de colaboradores pois foram distribuídos para novas instalações (Edifício050);

No caso do Edifício050 chegou-se à conclusão que a divergência de valores depende de várias variáveis: a falta de dados nos anos 2015 (apenas 2 meses) e 2017 (aproximadamente 2 meses) e o facto de só no ano 2015 é que se tem informação dos 2 CPE's que compõem este edifício;

A evolução do consumo energéticos do Edifício057 e do Edifício061 pode ser explicada na mesma lógica. Ambos edifícios são compostos por um CPE, mas em ambos, no ano 2018, só se tem informação do consumo energético no máximo metade do ano e em 2019 para 10 meses. Assim dá ideia de um decréscimo de consumo o que na verdade significa escassez de valores.

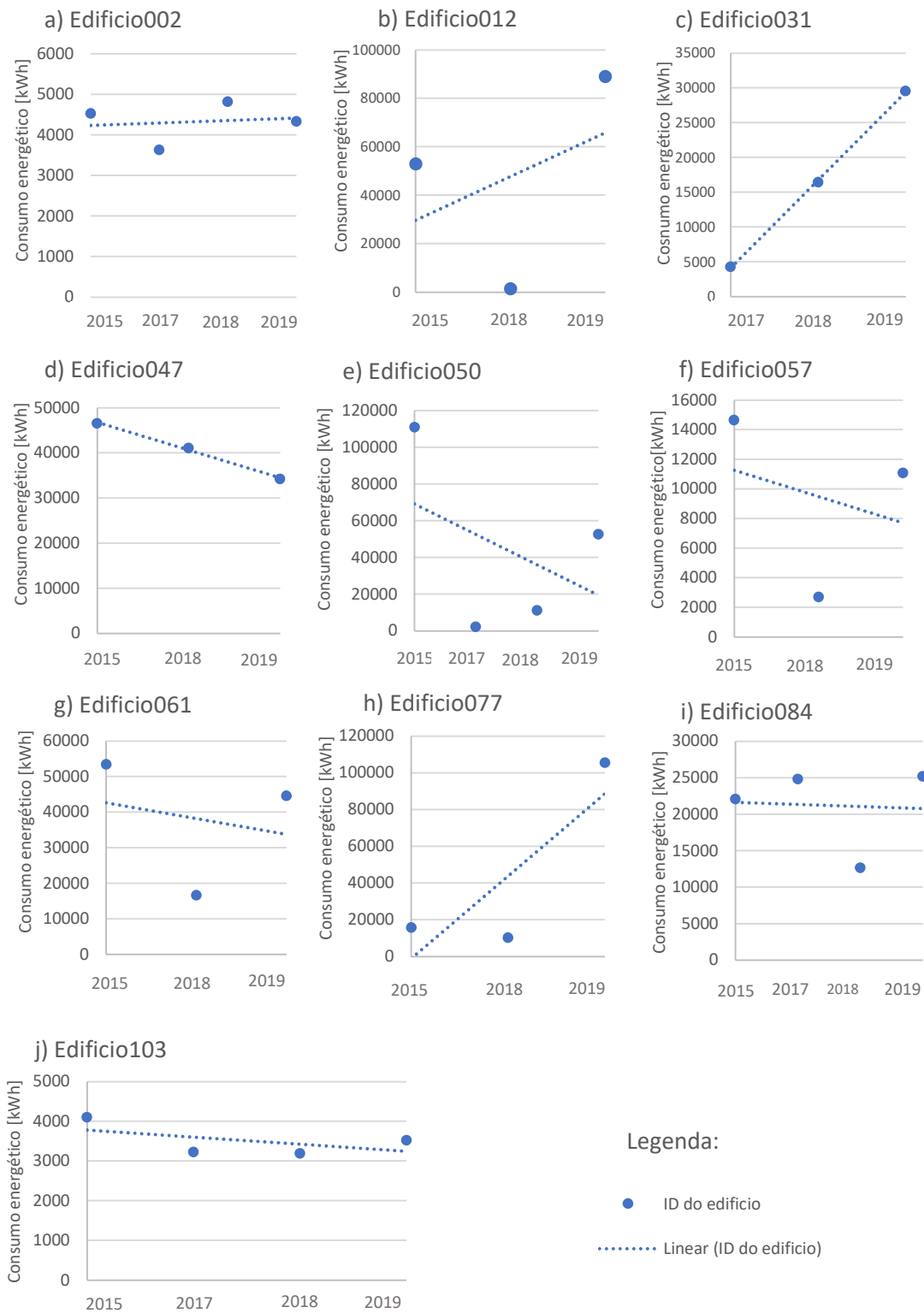


Figura 3.7 - Evolução do consumo energético ao longo dos anos 2015 a 2019

3.3. Variáveis explicativas do consumo energético

Foi possível realizar algumas análises que permitiram avaliar se existem variáveis explicativas do consumo energético e que correlação poderá haver entre elas.

Tendo em conta que a área e o número de colaboradores influencia de alguma forma o consumo energético, numa primeira análise tentou perceber-se qual a dispersão na amostra face a algumas variáveis como, área útil e número de colaboradores. Através das funcionalidades do Excel procurou-se perceber qual a melhor correlação tendo em conta o tipo de regressão escolhida, se corresponde a uma regressão linear ou uma regressão não linear (exponencial e logarítmica), como forma de validar os resultados. Ainda foi feito um estudo da relação entre consumo energético por área em função da área útil e consumo energético por colaborador em função do número de colaboradores, optando-se por não se fazer representar no gráfico, devido à correlação ser ínfima.

Através da Figura 3.8, pode-se concluir que os edifícios desta amostra têm maioritariamente gastos energéticos anuais inferiores a 400 MWh e que grande parte dos edifícios se encontram com um número de colaboradores inferior a 150 pessoas e áreas úteis inferiores a 4000 m². É de ter em conta que o número de edifícios nas três análises [Figura 3.8: a), b) e c)] não são os mesmos devido à falta de dados em simultâneo. Só foram representados os coeficientes de correlação iguais ou superior a 0,5 das regressões apresentadas, pois estes representam uma correlação forte.

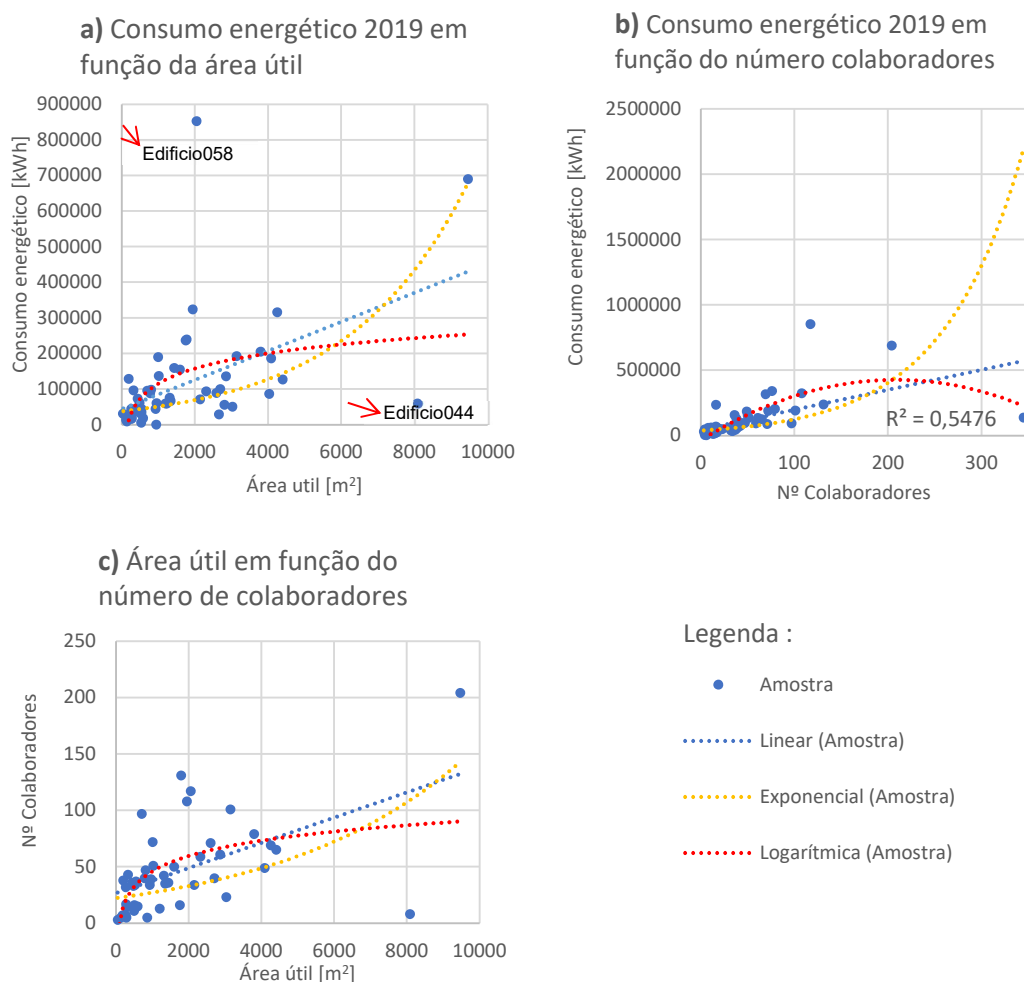


Figura 3.8 – Diagramas de dispersão e curvas de regressão das varáveis apresentadas

Na Figura 3.8 a) são estudados 57 edifícios, obteve-se uma correlação de 26% através da regressão linear, o que corresponde a uma correlação fraca. Destaca-se como exemplo, o caso do Edifício058 que tem um grande consumo energético face à área útil, e o caso contrário o Edifício044, grande área e pouco consumo energético. A razão destes dois destaques deve-se ao facto do Edifício058 corresponder ao edifício de despacho em Lisboa, que se encontra operacional 24h, em todos os dias do ano e possui imensos equipamentos ligados; para o caso do Edifício044 é composto por um compartimento mais pequeno que corresponde ao escritório e um armazém agregado de grandes dimensões.

Dos casos estudados foi o recurso à regressão não linear logarítmica que se obteve maiores correlações, sendo que entre o consumo energético e o número de colaboradores é onde se verifica a maior correlação de 55%, correspondendo a uma correlação forte, como se pode observar pela Tabela 3.9.

Tabela 3.9 – Coeficientes de determinação e número de edifícios avaliados em cada grupo

Grupos	Coeficientes de determinação (R ²)			Nº de edifícios em estudo
	Linear	Exponencial	Logarítmica	
C. E.* - A _{útil}	0,2573	0,214	0,2223	57
C. E. - Colaborador	0,3154	0,3528	0,5476	58
Colaborador - A _{útil}	0,301	0,1513	0,3203	47
C. E. por área - A _{útil}	0,0386	0,074	0,0526	57
C. E. por colaborador - Colaborador	0,0049	0,0265	0,023	58

*C.E.: Consumo energético

Tal como é observável, nos gráficos, há determinados edifícios que prejudicam esta avaliação, para se seleccionar os edifícios a retirar (outliers), recorreu-se ao Método de Tukey. Este método indica que um caso é um outlier, se tiver 1,5 vezes acima ou abaixo da distância entre o quartil 1 e 3, ou seja, a distância entre onde se encontra 25% da amostra e 75% da amostra. A Tabela 3.10 indica quais os edifícios podem ser eliminados para obter uma avaliação mais favorável. Constata-se pela Figura 3.9 que há uma melhoria na relação entre as variáveis, quando retirados os outliers obtidos pelo método de Tukey. Nesta figura também só foram apresentados os coeficientes de correlação para correlações fortes.

Tabela 3.10 - Identificação de outliers

Grupos	1º Quartil (25%)	2º Quartil (mediana)	3º Quartil (75%)	Método de Tukey	Outliers (nº ID)
Área útil	416,95	958,25	2387,94	5344,43	30, 44
Colaborador	13	34	59	128,00	29, 30, 62
Energia	18164,00	44565	93358,50	206150,25	18, 24, 29, 30, 55, 58, 92
Energia/m ²	47,20	65,04	106,71	195,97	12, 29, 58, 72
Energia/colaborador	1196,64	1982,14	2950,07	5580,23	16, 38, 44, 58, 65

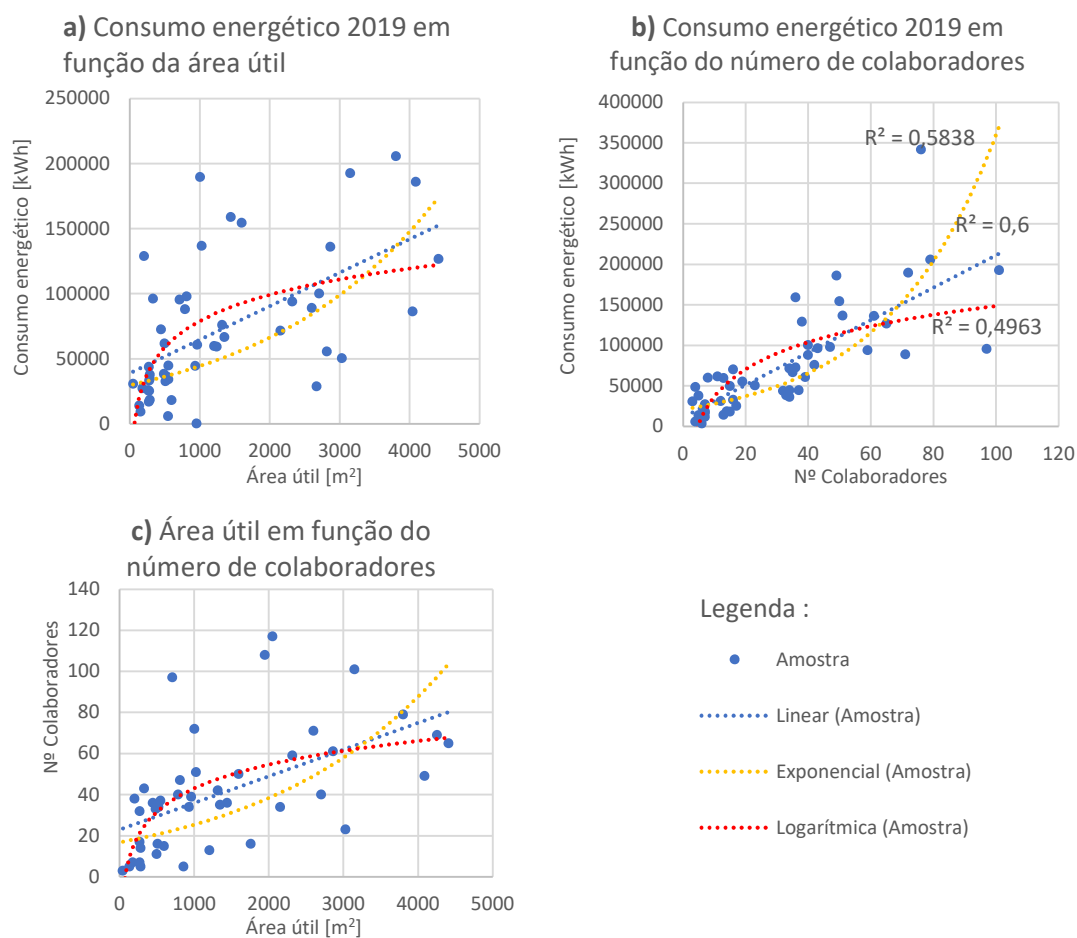


Figura 3.9 - Correlação entre variáveis sem os edifícios considerados outliers

Ao comparar novamente os erros quadráticos nas várias correlações estudadas constata-se um aumento da correlação entre variáveis sendo que, a que apresenta maior correlação é a estabelecida entre o consumo energético e o número de colaboradores, com o valor de 60%, através da regressão linear, tal como se observa na Tabela 3.11. Concomitantemente as maiores melhorias na relação entre variáveis foi no consumo energético em função do número de colaboradores com 28,5%. A aplicação do método Tukey promoveu para uma melhoria das correlações entre variáveis, no geral.

Tabela 3.11 – Coeficientes de determinação e número de edifícios avaliados em cada grupo sem os edifícios outliers

Grupos	Coeficientes de determinação sem outliers			Nº de edifícios em estudo	Nº de edifícios eliminados
	Linear	Exponencial	Logarítmica		
C. E.* - A _{útil}	0,3428	0,1983	0,338	50	7
C. E. - Colaborador	0,6	0,5838	0,4963	51	7
Colaborador - A _{útil}	0,3048	0,3087	0,369	44	3
C. E. por área - A _{útil}	0,2058	0,0906	0,2415	51	6
C. E. por colaborador - Colaborador	0,0004	0,0111	0,011	50	8

*C.E.: Consumo energético

De forma a obter uma avaliação estatística mais rigorosa recorreu-se ao programa SPSS para melhorar o estudo das relações entre variáveis explicativas do consumo energético, nomeadamente qual a correlação entre as variáveis e se são significativas.

No estudo foi considerado o consumo energético mensal do ano 2019, mas também outros indicadores de energia como o consumo energético por área útil e o consumo energético por colaborador. Uma vez que o número de dias em cada mês varia, também foram calculados indicadores adicionais, dividindo o consumo de energia pelo número de dias do mês correspondente (consumo por dia = consumo energético / número de dias do mês; consumo por dia por área = consumo energético / número de dias do mês / área útil; consumo por dia por colaborador = consumo energético / número de dias do mês / colaborador). Dado que o consumo energético varia significativamente entre os edifícios, também foram determinados consumos relativos (indicadores de consumo = consumo energético mensal / consumo médio mensal do ano). Estes indicadores são particularmente úteis para avaliar a sazonalidade do consumo de energia.

A análise estatística foi efetuada a dois níveis: i) análise unidimensional e ii) análise multidimensional.

3.3.1. Análise unidimensional

A análise unidimensional consistiu em testar as diferenças da distribuição do consumo energético entre as várias variáveis de categoria (mês, localização segundo as NUTS II, classificação energética e zona climática) e a correlação entre o consumo energético e as variáveis contínuas (área útil e número de colaboradores). Antes de se realizar a análise unidimensional é preciso reconhecer se devem ser utilizadas ferramentas paramétricas (t-test/ANOVA e Pearson) ou não paramétricas (Mann-Whitney/Kruskal-Wallis ou correlação tau de Spearman/Kendall), para efetuar esta identificação é necessário avaliar a homogeneidade das variações (teste de Levene) e se a variável tem ou não uma distribuição normal (teste Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk).

Através dos valores de significância obtidos dos testes Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk conclui-se que a maioria dos casos são significativos, logo os vários indicadores de consumo são distribuições não normais. Pela aplicação do teste de Levene confirma que a variação da maioria dos indicadores de consumo absoluto não é homogênea, mas para a maioria dos índices de consumo é homogênea. Assim sendo, foram utilizadas ferramentas não paramétricas.

Todos os indicadores de consumo energético, menos o consumo energético, tem estatísticas significantes entre os meses dos anos. Isto é mais evidente na análise aos índices de consumo, que são melhores métricas para avaliar as diferenças mensais, porque o efeito de disfarçar o consumo energético absoluto em cada edifício não existe. Através da Tabela 3.12 verifica-se a existência de variáveis estatisticamente significativas em maior parte dos casos.

Na avaliação das correlações entre variáveis é utilizado os testes Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk, ambos têm o mesmo propósito, mas uns cientistas afirmam que estatisticamente um teste avalia melhor que outros em certos casos e vice-versa, por isso analisou-se os dois testes.

Tabela 3.12 - Comparação dos resultados das distribuições não paramétricas (caso amostra)

Indicadores de consumo energético	Variáveis				
	Local	Classificação energética	Zona climática de verão	Zona climática de inverno	Clima
Consumo energético	S	S	S	S	S
Consumo energético diário	S	S	S	S	S
Consumo energético por área	S	S	S	S	S
Consumo energético diário por área	S	S	S	S	S
Consumo energético por colaborador	S	S	N	S	S
Consumo diário por colaborador	S	S	N	S	S

S – Estatisticamente significante; N – Estatisticamente não significante

Existem correlações estatisticamente significativas entre os vários indicadores de consumo energético e área útil e no número de colaboradores. Na Tabela 3.13 está indicado quais as correlações realizadas, quantos foram os coeficientes de correlação, qual o grau de significância obtido entre as variáveis e os indicadores estudados e o número de dados analisados. Como se pode constatar na tabela destacado a negrito, encontra-se as correlações entre as variáveis que não são significativas, como o caso entre o consumo energético por área e o número de colaboradores, mas também o caso entre o consumo energético diário por área e o número de colaboradores.

O teste de Spearman apresentou as melhores correlações. Para uma correlação ser estatisticamente significante o valor-p tem de ser inferior ao nível de significância escolhido, ou seja, a significância tem de ser igual ou inferior a 0,05.

Outro resultado relevante que se pode retirar dos resultados apresentados é a correlação entre as variáveis. As correlações que têm coeficientes de correlação positiva indicam que o aumento de uma das variáveis corresponde ao aumento da outra e no caso de apresentar coeficientes negativos, quando uma variável aumenta a outra diminui. Os coeficientes de correlação têm na maioria dos casos, valores baixos, o que pode ser explicado pela diversidade de funções e tipologias de edifícios da base de dados. Como por exemplo, existem alguns edifícios que têm uma funcionalidade mais operacional, enquanto que os outros mais administrativa.

As maiores correlações encontradas para cada caso das variáveis contínuas, foram entre o consumo energético diário e a área útil com 59% e entre o consumo energético diário e o número de colaboradores com 73,3% (ambas através do teste de Spearman).

Tabela 3.13 - Resultados da correlação não paramétrica (caso amostra)

			Área útil	Colaboradores
Kendall' s tau	Consumo energético	Coefficiente de correlação Significância (bilateral) N	0,421** 0,000 972	0,565** 0,000 989
	Consumo energético diário	Coefficiente de correlação Significância (bilateral) N	0,424** 0,000 967	0,567** 0,000 982
	Consumo energético por área	Coefficiente de correlação Significância (bilateral) N	-0,332** 0,000 967	-0,007 0,768 782
	Consumo energético diário por área	Coefficiente de correlação Significância (bilateral) N	-0,332** 0,000 967	-0,007 0,768 782
	Consumo energético por colaborador	Coefficiente de correlação Significância (bilateral) N	0,107** 0,000 782	-0,049* 0,025 982
	Consumo energético diário por colaborador	Coefficiente de correlação Significância (bilateral) N	0,107** 0,000 782	-0,049* 0,025 982
Spearman	Consumo energético	Coefficiente de correlação Significância (bilateral) N	0,585** 0,000 972	0,732** 0,000 989
	Consumo energético diário	Coefficiente de correlação Significância (bilateral) N	0,591** 0,000 967	0,733** 0,000 982
	Consumo energético por área	Coefficiente de correlação Significância (bilateral) N	-0,490** 0,000 967	0,000 0,994 782
	Consumo energético diário por área	Coefficiente de correlação Significância (bilateral) N	-0,490** 0,000 967	0,000 0,994 782
	Consumo energético por colaborador	Coefficiente de correlação Significância (bilateral) N	0,154** 0,000 782	-0,091** 0,004 982
	Consumo energético diário por colaborador	Coefficiente de correlação Significância (bilateral) N	,154** 0,000 782	-0,091** 0,004 982

** Correlação é significativa a um nível de significância de 0.01 (bilateral)

* Correlação é significativa a um nível de significância de 0.05 (bilateral)

3.3.1. Análise multidimensional

Na análise multidimensional, foram utilizados modelos lineares generalizados (GLM) e redes neurais artificiais (AAN). A GLM é uma generalização da regressão linear múltipla, enquanto a ANN pode ser interpretada como uma regressão não linear "não estruturada". As redes neuronais artificiais são uma categoria de ferramentas de inteligência artificial que são regressores ou classificadores universais. Uma das suas vantagens é que a forma matemática subjacente da regressão não precisa de ser definida previamente como na regressão tradicional não linear. Neste estudo, foram utilizadas uma rede neural Perceptron Multicamadas (PMC).

Para a análise multidimensional apenas os casos com o consumo dividido pelo número de dias do mês foram utilizados como variáveis independentes (consumo energético diário). As versões de índice desta variável são úteis para avaliar padrões temporais, mas não tanto para fins de previsão e, portanto, excluídos da análise multidimensional. O mês, o clima de verão, o clima de inverno, a combinação dos dois climas, a localização e a classe energética foram avaliados como potenciais variáveis explicativas categóricas e a área e número de trabalhadores como potenciais variáveis contínuas.

O desempenho e o tamanho da amostra dos modelos GLM e ANN desenvolvidos são apresentados na Tabela 3.14. As diferenças no tamanho da amostra devem-se ao facto de o comprimento dos registos de todas as variáveis não serem o mesmo. Consequentemente, dependendo das variáveis incluídas no modelo, a dimensão da amostra varia.

Para os modelos GLM, foi usada uma melhor abordagem de subconjuntos para selecionar as variáveis a incluir no modelo, juntamente com a remoção de outliers baseado na distância de Cook. A multicolinearidade também foi verificada utilizando o VIF (fator de insuflação de variação). Para os modelos ANN, todas as variáveis foram incluídas e o conjunto de dados divididos em formação e validação (70% e 30%, respetivamente). As variáveis foram padronizadas previamente e uma abordagem de validação cruzada de 10 vezes utilizada para o desenvolvimento do modelo. As funções hiperbólicas, sigmóides, softmax e de ativação de identidade foram testadas nas camadas ocultas e de resultado.

Tabela 3.14 - Desempenho dos modelos GLM e ANN (caso amostra)

Modelos	GLM			ANN		
	Variável Independente	Consumo energético diário	Consumo energético diário por área	Consumo energético diário por colaborador	Consumo energético diário	Consumo energético diário por área
R ²	0,475	0,403	0,117	0,963	0,941	0,787
Tamanho Amostra	1656	967	982	520	520	520

Para evitar uma repetição excessiva e considerando a baixa precisão dos modelos que utilizam o consumo médio diário por colaborador, apenas são apresentados os resultados para as outras variáveis

independentes. Os modelos GLM são detalhados na Tabela 3.15, e as variáveis com maior importância sobre os consumos, na Figura 3.10.

Os modelos são semelhantes, mas para a variável independente consumo energético diário por área, os condutores físicos do consumo de energia (classe energética do edifício e zona climática onde o edifício está localizado) apresentam maior peso em comparação com os condutores relacionados com o uso (número de trabalhadores e área útil). É interessante que a área e o número de colaboradores sejam variáveis estatisticamente significativas no modelo para o consumo energético diário por área, apesar do baixo valor do coeficiente (assinalado a verde). O sinal positivo dos coeficientes implica que o consumo de energia por área é maior em edifícios maiores/mais ocupados.

Tabela 3.15 - Modelo GLM (caso amostra)

Variável	Coeficiente	Erro padrão	t	Significância	Intervalo de confiança	
					Inferior	Superior
Consumo energético diário						
Interceção	17,47	22,481	0,777	0,437	-26,625	61,564
Nº Colaboradores	6,757	0,283	23,858	0	6,201	7,312
ClasseEnergética=9	-46,397	79,075	-0,587	0,557	-201,495	108,702
ClasseEnergética=1,5,8	-249,436	17,318	-14,403	0	-283,404	-215,467
ClasseEnergética=3,4,6	0 ^a					
Área útil	0,078	0,007	10,721	0	0,064	0,092
Localização=3	-2,769	16,294	-0,17	0,865	-34,728	29,19
Localização=2,4	70,91	19,013	3,73	0	33,618	108,203
Localização=1,5	-70,447	21,739	-3,241	0,001	-113,087	-27,808
Localização=3	0 ^a					
Mês=1,2	50,674	17,823	2,843	0,005	15,717	85,632
Mês=3-12	0 ^a					
Consumo energético diário por área						
Interceção	0,132	0,034	3,839	0	0,065	0,2
ClasseEnergética=9	0,992	0,061	16,214	0	0,872	1,112
ClasseEnergética=1,5,8	-0,032	0,026	-1,213	0,225	-0,083	0,02
ClasseEnergética=3,4,6	0	0	0	0	0	0
Clima=2-1	0,127	0,034	3,683	0	0,059	0,194
Clima=3-1	0,123	0,033	3,736	0	0,059	0,188
Clima=3-2	0,905	0,076	11,933	0	0,756	1,053
Clima=2-2, 2-3	0 ^a					
Área útil	0,0001	0	-9,269	0	0	0
Nº Colaboradores	0,004	0	8,68	0	0,003	0,005
Mês=1,2	0,088	0,022	3,934	0	0,044	0,132
Mês=3-12	0 ^a					
Localização=3	0,022	0,032	0,673	0,501	-0,041	0,084
Localização=2,4	-0,048	0,052	-0,922	0,357	-0,15	0,054
Localização=1,5	-0,126	0,045	-2,781	0,006	-0,215	-0,037
Localização=3	0 ^a					

^a. Este coeficiente está definido como zero porque é redundante

Nota: A classe energética é classificada da seguinte forma: A⁺=1; A=2; B=3; B⁻=4; C=5; D=6; E=7; F=8 e G=9 (não se possui nenhum edifício com classe energética A e E); a localização é segundo as NUTS II: Norte=1; Centro=2; Área Metropolitana de Lisboa=3; Algarve=4 e Alentejo=5; o clima é segundo o zonamento climático, sendo representado em primeiro a de verão e em segundo a de inverno, uma vez que foi conjugado as duas variáveis:

V2 e I1 =2-1; V3 e I1=3-1; V3 e I2 =3-2; V2 e I2 =2-2; V2 e I3 =2-3 (não se possui edifícios com classificação de V1).

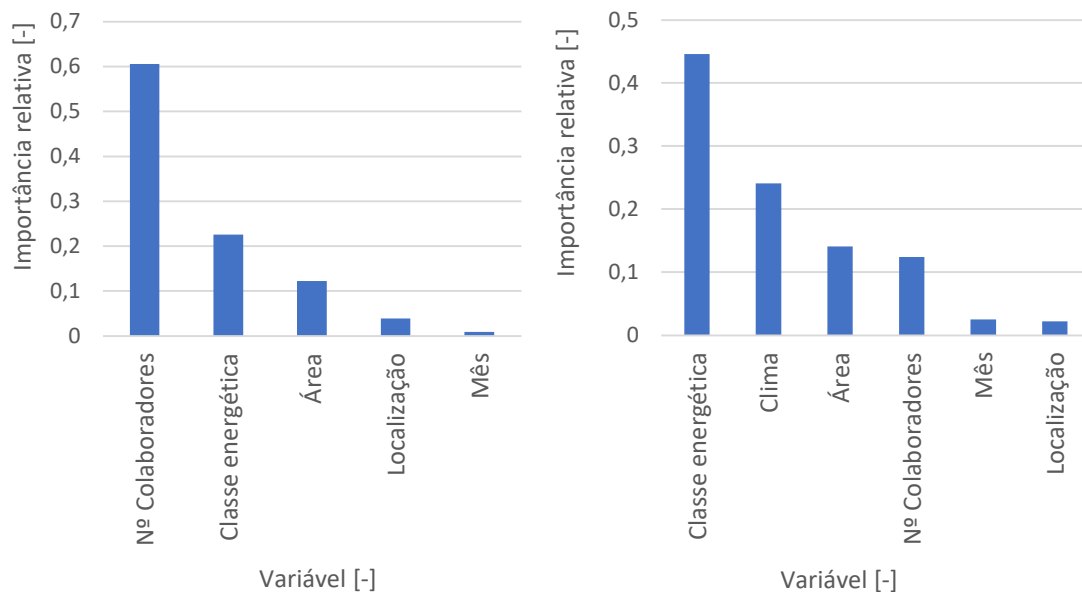


Figura 3.10 - Importância relativa das variáveis independentes nos modelos GLM para o consumo diário (à esquerda) e para o consumo diário por área (à direita). (Caso amostra)

O resultado de uma ANN é extremamente complexo, devido às múltiplas ligações na rede e transformações não lineares nos nós. A principal informação sobre a estrutura da rede está apresentada na Tabela 3.16.

Tabela 3.16 - Estrutura de modelos ANN (caso amostra)

Modelo		Consumo energético diário	Consumo energético diário por área
Camada oculta(s)	Número de camadas ocultas	1	1
	Número de unidades na 1ª camada oculta	8	7
	Função de ativação	Tangente hiperbólica	Tangente hiperbólica
Camada resultado	Número de unidades	1	1
	Método utilizado alterar escalas para escalas dependentes	Padronização	Padronização
	Função de ativação	Identidade	Identidade
	Função de erro	Soma dos quadrados	Soma dos quadrados

3.4. Conclusões do Capítulo 3

A amostra é composta por 104 edifícios em que 58 possuem informação da área útil e 59 com informação do número de colaboradores (47 apresentam ambas informações).

Ao repartir estes edifícios por grupos (divisão por NUTS II ou zona climática (NUTSIII)), de forma a perceber onde existe uma maior concentração de edifícios, conclui-se que:

- NUTS II: primeiro o Norte (37,5%), segundo o Cento e Área Metropolitana de Lisboa (22,12%), terceiro o Alentejo (12,5%) e em quinto lugar o Algarve (5,77%).

- Zona climática inverno: primeiro a I1 (57,69%), segundo a I2 (36,54%) e em terceiro a I3 (5,77%).

- Zona climática verão: primeiro a V2 (63,46%), segundo a V3 (36,54%) e a V1 (0%).

Todos os edifícios categorizados com zona climática I3 encontram-se no Norte e mais de 60% dos edifícios classificados com I2 também se encontram no Norte e que, 53% dos escritórios que se encontram na zona climática V2 localizam-se no Norte.

Agrupando estas três categorias, na zona climática V2 cerca de 28,8% dos edifícios encontram-se no Norte e com classificação de inverno I2. Para o caso dos edifícios com classificação na zona climática V3 verifica-se uma maior quantidade de escritórios no Alentejo e com classificação de inverno I1 (34,2%).

A nível do dimensionamento da amostra, tendo em conta o consumo energético pelos vários distritos verifica-se que, a nível do consumo energético por área útil a hierarquização é da seguinte forma: 1º Lisboa (17,7%), 2º Porto (16%) e 3º Coimbra (10%) e no caso do consumo energético por colaborador: 1º Lisboa (17,9%), 2º Braga (12,4%) e 3º Faro (9,1%).

Lisboa é sem dúvida o distrito com escritórios que mais consome energia, uma vez que tanto possui maior área útil com número de colaboradores, e mesmo assim em ambos casos (consumo energético por área e consumo energético por colaborador) ocupa o primeiro lugar.

Quanto ao distrito do Porto ser um dos que possui mais escritórios que mais consomem por área e não por número de colaborador, pode-se dever ao facto de apesar possuir muitos colaboradores a totalidade de área útil no distrito é inferior quando comparado com a área dos outros distritos, logo percentualmente o consumo energético por área é superior.

Outro caso a salientar é o de Coimbra, pois representa o segundo distrito com maior totalidade de área útil, mesmo assim aparece no terceiro lugar dos distritos com mais consumo energético por área.

Beja e Faro aparecem como os distritos com estabelecimentos que possui maior consumo energético por colaborador, não porque comparativamente com os outros distritos possui grandes consumos energéticos em 2019, mas sim porque o número de colaboradores é muito pequeno, o que faz com que o rácio entre consumo energético e o número de colaboradores seja grande.

Tendo em conta os padrões de consumo mensais no ano 2019 não há uma grande diferença entre o caso do consumo energético por área e do consumo energético por colaborador, mas identifica-se que os meses onde houve maior consumo relativamente à média da amostra foram entre novembro e abril,

que por sua vez pode estar associado a meses onde há maiores necessidades de aquecimento e iluminação devido às baixas temperatura e ao menor período de luz.

Na avaliação temporal dos consumos energéticos da amostra só foi feita esta análise para edifícios com informação do consumo energético com mais de 3 anos (inclusive). Constatou-se escassez de dados, quer nos edifícios compostos por vários CPE's, falta de dados em algum destes, a CPE's que não detém informação do consumo energético para todos os meses, o que faz com que o consumo energético num certo ano, apresente valores mais baixos. Constitui-se como exceção o Edifício077, em que a razão para o aumento ao longo dos anos 2015 a 2019 poder-se-á dever ao facto do grande aumento do número de colaboradores.

A análise unidimensional das relações entre variáveis permitiu aprofundar e trazer novos contributos a este estudo:

- O teste segundo Spearman apresentou as melhores correlações face ao teste Kendall's Tau;
- As correlações entre o consumo energético por área em função do número de colaboradores e o consumo energético diário em função do número de colaboradores são não significativas;
- O consumo energético por área em função da área e, o consumo energético por colaborador em função do número de colaboradores têm coeficientes de correlação negativos, isto quer dizer que quando uma variável aumenta a outra diminui. Este tipo relação também acontece entre consumo energético diário por área em função da área e o consumo energético diário por colaborador em função do número de colaboradores. Todas as outras correlações apresentam sinais positivos.
- A maior correlação encontrada é entre o consumo energético diário e o número de colaboradores com um coeficiente de correlação de 0,733 para um nível de significância de 1%, ou seja, uma correlação forte e significativa.

Quanto ao contributo da análise multidimensional, comporta especial relevância os conhecimentos seguintes:

- Comparado o desempenho dos modelos GLM e ANN, quanto às variáveis independentes, verifica-se que através dos valores dos coeficientes de determinação, o modelo rede neuronal explica melhor a variação dos dados destas variáveis.
- O GLM permitiu correlacionar as variáveis categóricas e contínuas com as variáveis independentes. Constatou-se que mesmo que a correlação apresente coeficientes baixos não quer dizer que não seja significativa. Tendo em conta a importância relativa sobre o modelo de GLM do consumo energético diário, a variável que apresentou maior relevância foi o número de colaboradores e para o modelo do consumo energético diário por área foi a classe energética.
- Após análise e comparação do desempenho dos modelos GLM e ANN, destaca-se o aumento significativo do desempenho dos modelos ANN. Este facto corrobora a existência de interação entre os preditores e a natureza não linear da relação, com o consumo de energia.

4. Análise do edifício específico

4.1. Caracterização geral do Edifício073

O escritório localiza-se em Vila Nova de Gaia, corresponde ao Edifício073 da amostra final, na Figura 4.1 encontra-se uma imagem da fachada principal. É um edifício que em planta possui um formato em L, na parte mais comprida do “L” o edifício é composto por 3 pisos e na outra parte é constituído por uma cave e 2 pisos, a área útil do estabelecimento é de 3197,07 m². É um edifício contruído em 1980 e que dispõe 2 AVAC automáticos.

Em 2013 implementou-se os carros elétricos e foram instalados 2 carregadores no exterior, cada um com duas tomadas Mennekes, cada tomada com 3,7 kW.

Em outubro de 2016 foram instalados painéis fotovoltaicos (PV), mas só em março de 2017 é que começaram a trabalhar. O certificado energético foi emitido em janeiro de 2016.

No exterior do edifício existe um parque de estacionamento com uma grande área, que alberga os pickets de baixa, média e alta tensão da zona do Porto.

A nível do staff é composto por 101 colaboradores, em que 40% corresponde a um grupo de trabalhadores que trata da parte da manutenção e de comunicações, que se dedica às monitorizações e intervenções remotas, os outros 60% corresponde aos colaboradores que asseguram o serviço de picket, o que implica estarem maioritariamente a trabalhar fora do edifício.

O horário de funcionamento do estabelecimento é das 8h00 às 19/20h, cerca de 12h, encontrando-se encerrado nos fins-de-semana e feriados.

Na Tabela 4.1 encontra-se o resumo das informações mais gerais do edifício.



Figura 4.1 - Foto do Edifício073

Tabela 4.1 - Informações gerais do Edifício073

Área [m²]	Útil	3197,07
	Devoluta	349
	Descoberta	3551
Potência [kWh/kVA]	Construção	3265
	Instalada	18,2
	Contratada	75
Nº de Colaboradores		101
Validade Certificado Energético		02/05/2025
Classe energética		B-

Da análise dos documentos do consumo energético retém-se quatro tipos de dados:

- Consumo, representa o consumo energético total;
- Produção, a energia produzida pelos painéis fotovoltaicos;
- Autoconsumo, corresponde à energia proveniente dos painéis fotovoltaicos, que é usada no consumo energético do edifício;
- Consumo de rede (é a energia proveniente da rede elétrica).

Com a instalação de painéis fotovoltaicos ainda se consegue ter mais um dado, que é a injeção (indica qual a quantidade de energia produzida pelos painéis fotovoltaicos que é devolvida à rede, neste tipo de edifícios a entidade não permite que isso aconteça).

Na Tabela 4.2 encontra-se resumido esta informação, tendo em conta o ano, o tipo de registo e que informações se retira. No anexo A encontram-se os dados dos consumos energético mensais, para estes anos.

Tabela 4.2 - Dados gerais do consumo energético do Edifício073

Anos	Tipo de registo		Informação retirada			
	Obtenção	Tempo	Consumo [kWh]	Produção [kWh]	Autoconsumo [kWh]	Consumo rede [kWh]
2019	Faturado	Mensal	X			
	Contador	15 em 15 min	X	X	X	X
2018	Contador	Diário	X	X	X	X
2017	Contador	Diário	X	X	X	X
2016	Contador	15 em 15 min	X			
2015	Contador	15 em 15 min	X			

O edifício em estudo localiza-se num espaço geográfico com uma altitude de 92 m, os graus-dias são de 1247, a temperatura média no exterior, no inverno, é de 9,9°C correspondendo a uma zona climática I1. No verão, a temperatura exterior em média é de 20,9°C e a zona climática V2.

O edifício está categorizado como classe energética B-, mas existe uma proposta de melhoria para a classe B, como se pode verificar na Tabela 4.4. Este certificado energético é válido até 2025.

Do certificado energético também se retira os indicadores de desempenho que permitem perceber melhor as necessidades energéticas do edifício, assim como, os seus pontos fortes e fracos (Tabela 4.3). Verifica-se que é necessário melhorar energeticamente o arrefecimento do ambiente e iluminação, no entanto as necessidades de arrefecimento deveria constituir prioridade, uma vez apresentar maior percentagem de ineficiência. Na Tabela 4.4 apresenta-se uma proposta de melhoria das necessidades de iluminação, apesar de não ser a que mais necessitava de melhoria.

Tabela 4.3 - Indicadores de desempenho do certificado energético do edifício

Aquecimento Ambiente			
Referência	6,6	kWh/m ² .ano	51% Mais eficiente que a referência
Edifício	11	kWh/m ² .ano	
Renovável	71	%	
Arrefecimento Ambiente			
Referência	6,2	kWh/m ² .ano	30% Menos eficiente que a referência
Edifício	8	kWh/m ² .ano	
Renovável	-	%	
Iluminação			
Referência	16	kWh/m ² .ano	4% Menos eficiente que a referência
Edifício	17	kWh/m ² .ano	
Renovável	-	%	
AQS - Água Quente Sanitária			
Referência	4,5	kWh/m ² .ano	44% Mais eficiente que a referência
Edifício	5,2	kWh/m ² .ano	
Renovável	52	%	

Tabela 4.4 - Proposta de melhorias no certificado energético

Nº da medida	Descrição	Custo estimado do investimento	Redução anual estimada da fatura energética	Classe energética (após medida)
1	Substituição das lâmpadas atuais e/ou instalação de LED's para iluminação	18600	Até 7790	B

4.2. Análise do consumo energético

Na amostra estudada encontra-se uma média de como seria as características de consumo neste conjunto de escritórios, o Edifício073 fazendo parte desta amostra apresenta características singulares, assim é feita uma análise de forma a perceber o que difere. Visto ser feita uma análise particular é possível verificar com mais detalhe a variação do consumo energético e introduzir novos indicadores como a produção de energia e autoconsumo.

4.2.1. Evolução mensal entre 2015 e 2019

A evolução do consumo energético ao longo destes anos tende a manter um padrão de consumo constante, tal como se pode verificar pela Figura 4.2, mas apresenta uma diminuição do consumo energético entre o ano 2015 e 2019. Através da média do consumo energético mensal constata-se um maior consumo entre novembro e março o que poderá dever-se ao facto do edifício se localizar a norte de Portugal, onde há maiores necessidades energéticas de aquecimento, por representarem épocas do ano com menores valores de temperaturas e presença de luz natural.

No ano 2019 verifica-se se dois tipos de obtenção do consumo energético (leitura do contador e faturado), informação mencionada anteriormente e comparando a evolução dessas duas curvas, observa-se diferenças entre elas, que poderá dever-se a ajustes feitos ao consumo energético faturado, ao longo do ano.

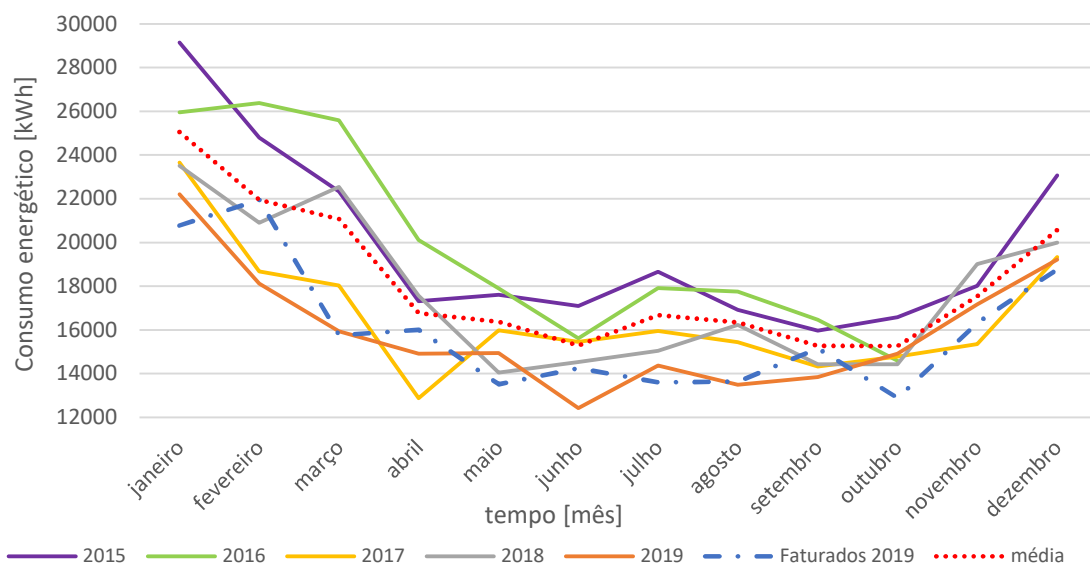


Figura 4.2 - Comparação do consumo de rede mensal entre os anos 2015 e 2019

Quantificando percentualmente a variabilidade do consumo energético de rede presente nestes anos, verifica-se que de 2015 a 2019, em média mensal, há uma redução de 20,6%, o que confirma o concluído anteriormente. Mas analisando ano a ano, nem sempre houve uma diminuição do consumo,

exemplo deste acontecimento detém-se entre os anos 2015 e 2016 e os anos 2017 e 2018, que em média apresentaram um aumento. Estas observações encontram-se quantificadas na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Redução percentual anual e total (conjunto de 5 anos) do consumo energético de rede entre 2015 e 2019

Meses	Variação entre os seguintes anos				
	2019	2018	2017	2016	2019
	2018	2017	2016	2015	2015
janeiro	5,2%	0,6%	9,2%	12,8%	27,9%
fevereiro	12,8%	-10,2%*	35,3%	-7,3%*	30,7%
março	31,7%	-21,6%*	36,2%	-15,5%*	30,7%
abril	16,0%	-28,3%*	43,7%	-16,9%*	14,4%
maio	-5,5%*	12,0%	11,9%	-1,8%*	16,5%
junho	14,0%	6,1%	1,1%	9,8%	31,0%
julho	4,1%	5,5%	12,0%	4,6%	26,2%
agosto	17,1%	-4,9%*	14,4%	-5,2%*	21,4%
setembro	3,9%	-0,6%*	14,2%	-3,3%*	14,2%
outubro	-3,3%*	2,4%	-1,2%*	13,2%	11,1%
novembro	10,6%	-21,1%*	-	-	4,9%
dezembro	3,8%	-3,3%*	-	-	18,9%
Máximo	31,7%	12,0%	43,7%	13,2%	31,0%
Mínimo	-5,5%*	-28,3%	-1,2%*	-16,9%*	4,9%
Média	9,2%	-5,3%*	17,7%	-1,0%*	20,6%

* estes valores representam um aumento de um ano para o outro ano

Relativamente aos anos de 2017 a 2019, possui-se dados provenientes dos sistemas de telemetria que permitem cinco tipo de informações, mas só são referidas quatro, uma vez não há injeção na rede e assim a produção será igual ao autoconsumo. As medições do consumo originários do sistema fotovoltaico só são possíveis de analisar a partir de março de 2017, data em que entrou em funcionamento.

Através da Figura 4.3, que apresenta o consumo de rede e autoconsumo do ano onde se obteve maior produção de energia, constata-se que grande parte da energia total provém do consumo de rede.

Para se perceber melhor a diferença entre estes dois tipos de consumo a Tabela 4.6 quantifica esta desigualdade. Verifica-se que há um subaproveitamento da energia produzida pelo painel fotovoltaico, uma vez que nos três anos conseguiram produzir apenas aproximadamente 2 a 4% do consumo total.

Comprova-se na Tabela 4.6 que não houve uma grande evolução da energia fornecida pela produção do painel fotovoltaico, uma vez que de 2017 para 2019 o aumento foi menos de 1%. Em 2017 apresenta

algumas irregularidades comparativamente aos valores dos 2 anos seguintes, pois foi neste ano que houve a instalação dos painéis fotovoltaicos e em abril a sua regularização.

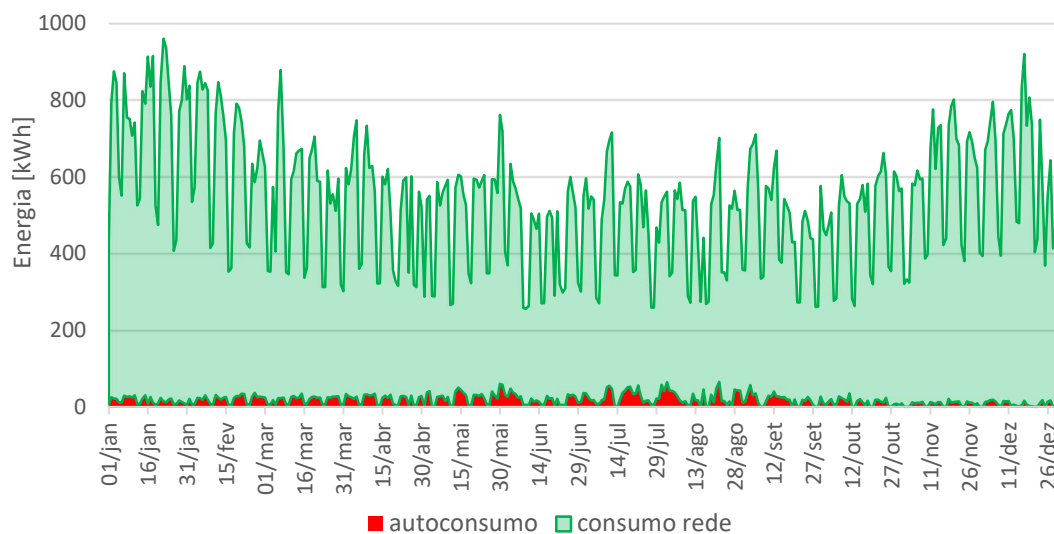


Figura 4.3 - Autoconsumo e consumo de rede no ano 2019

Tabela 4.6 - Distribuição percentual do consumo de rede e autoconsumo em cada ano

%	2019		2018		2017	
	Consumo Rede	Autoconsumo	Consumo Rede	Autoconsumo	Consumo Rede	Autoconsumo
janeiro	97,77	2,23	98,79	1,21	100	-
fevereiro	96,97	3,03	98,42	1,58	100	-
março	96,56	3,44	98,22	1,78	111,55*	-11,55*
abril	96,07	3,93	97,25	2,75	99,89	0,11
maio	95,02	4,98	95,81	4,19	99,57	0,43
junho	95,61	4,39	95,11	4,89	98,95	1,05
julho	94,45	5,55	95,68	4,32	94,67	5,33
agosto	94,58	5,42	93,61	6,39	94,89	5,11
setembro	96,10	3,90	94,70	5,30	95,80	4,20
outubro	97,66	2,34	95,43	4,57	96,38	3,62
novembro	98,65	1,35	97,86	2,14	97,93	2,07
dezembro	98,68	1,32	97,95	2,05	98,68	1,32
Média	96,51	3,49	96,57	3,43	98,83	2,58

*irregularidades

Focando só no autoconsumo do edifício, na Tabela 4.7 nos três anos verifica-se percentualmente que os maiores valores se encontram entre os meses maio e agosto, sendo que a produção energética e o autoconsumo são diretamente proporcionais, existe uma maior probabilidade de produção de energia nestes meses, isto pode dever-se a que nestes meses haja maior radiação solar e maior duração de luz solar. Calculada a média em cada mês, verifica-se que o mês com maior autoconsumo é o de agosto com 17,09% e o menos o mês de dezembro com 5,74%.

Tabela 4.7 - Peso mensal do autoconsumo ao longo dos anos após a sua instalação

%	Autoconsumo 2019	Autoconsumo 2018	Autoconsumo 2017
janeiro	7,64	4,11	-
fevereiro	8,52	4,77	-
março	8,54	5,84	-
abril	9,21	7,09	0,03
maio	11,81	8,77	1,94
junho	8,61	10,66	4,70
julho	12,73	9,69	25,73
agosto	11,66	15,80	23,82
setembro	8,47	11,50	17,98
outubro	5,39	9,84	15,91
novembro	3,54	5,94	9,31
dezembro	3,87	5,97	7,38
total	100	100	100

A média do autoconsumo dos anos apresentados na Figura 4.4 permite também verificar a tendência apresentada na Tabela 4.7 e concluir que os maiores valores absolutos de autoconsumo recaem nos meses de julho e agosto, com 800 e 900 kWh, respetivamente, do autoconsumo total do ano. Também se observa uma depressão na curva da média do autoconsumo nos meses de maio e junho, que se deve a que nestes meses no ano de 2017 a produção de energia ser baixa, porque se se comparar entre os meses de maio e abril nos anos 2018 e 2019 há um aumento e não o contrário.

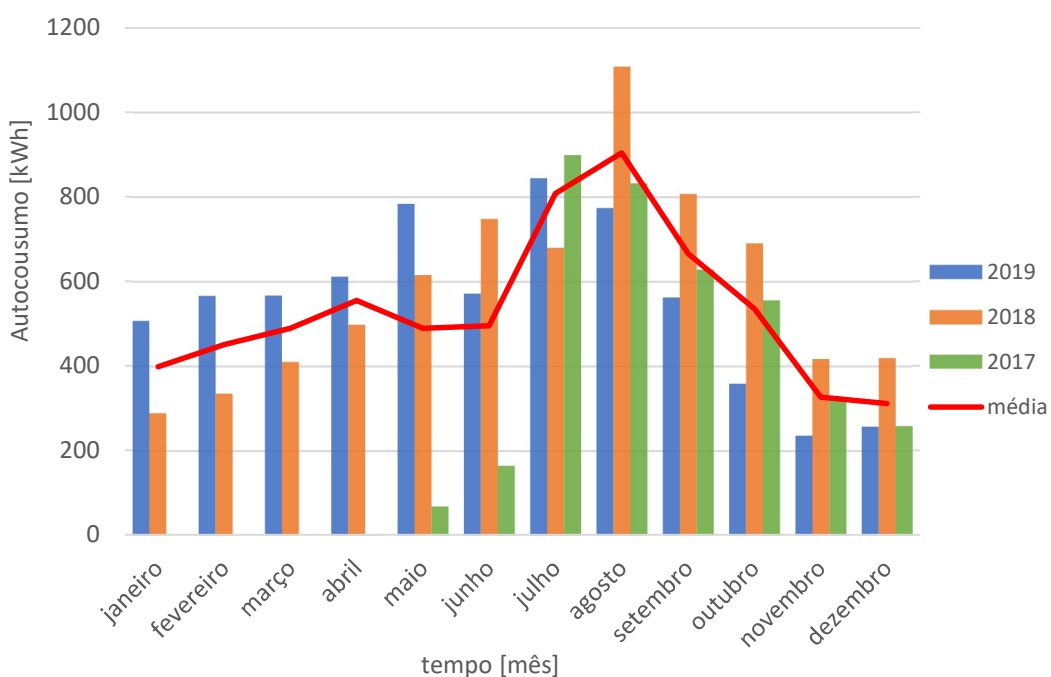


Figura 4.4 - Autoconsumo ao longo dos anos 2019, 2018 e 2017

4.2.2. Padrões de consumo no ano 2019

A cada edifício corresponde um perfil energético, sendo possível identificar padrões específicos, ao longo do ano, mês, etc. Como por exemplo, no anexo B, verifica-se nitidamente a diferença no consumo entre os dias úteis e os fins de semana e ainda as horas com maior consumo, que corresponde ao horário de trabalho entre a chegada e saída dos trabalhadores, resultando em picos de consumo entre as 8h e 19h.

Tendo como base o método usado no Capítulo 3, ao se dividir o consumo energético mensal pela média anual do edifício, consegue-se aferir quais os meses onde houve um maior consumo. A mesma metodologia se aplica para o índice diário e horário. Assim poder-se-á obter vários padrões de consumo.

No caso do índice de consumo energético mensal, representado na Figura 4.5., observa-se que o período onde de houve um consumo acima da média foram entre os meses novembro e fevereiro, que vem reforçar ideia de que num edifício em Portugal há maiores necessidades de aquecimento ou iluminação, uma vez que estes meses correspondem à estação do ano com temperaturas exteriores mais baixas e menores durações de dia de luz. Nos restantes meses houve um consumo energético abaixo da média, o mês que teve o menor índice de consumo foi o mês junho com 0,8.

De todos os meses o que apresenta uma maior diferença entre o índice mensal e a média anual é janeiro, com uma diferença de 0,35 e possui um peso 43,6%, sobre os todos os meses que consomem acima da média. No caso dos meses que consomem abaixo da média, como já foi referido, o que apresenta menor consumo é junho e apresenta um peso de 25,4%, sobre todos os meses que consomem abaixo da média.

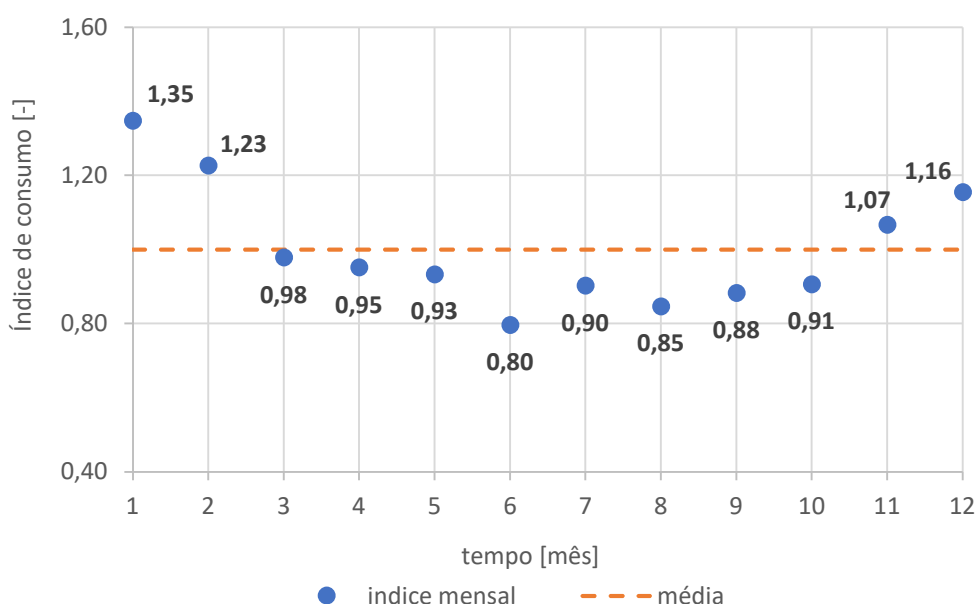


Figura 4.5 - Índice de consumo energético médio mensal, no ano 2019

A procura de um padrão de consumo diário, entre todos os meses, gera uma maior complexidade, uma vez que, por exemplo, o primeiro dia de cada mês pode ocorrer num dia útil, num fim de semana ou num feriado, o que corresponde a um perfil de consumo distinto.

Na Figura 4.6 e na Figura 4.7 observa-se a existência de picos de consumo energético repetitivos, nomeadamente nos índices de consumo diário abaixo da média, correspondendo aos fins de semana de cada mês e, como se pode verificar nestes dois meses, os fins de semana não correspondem aos mesmos dias. Também pode ser apurado nos restantes meses, no anexo C.

Para além dos picos inferiores aos fins de semana, encontraram-se outros picos com índice de consumo idênticos, estes dias apesar de serem dias úteis correspondem aos feriados (identificado nas figuras), daí apresentarem um índice de consumo baixo.

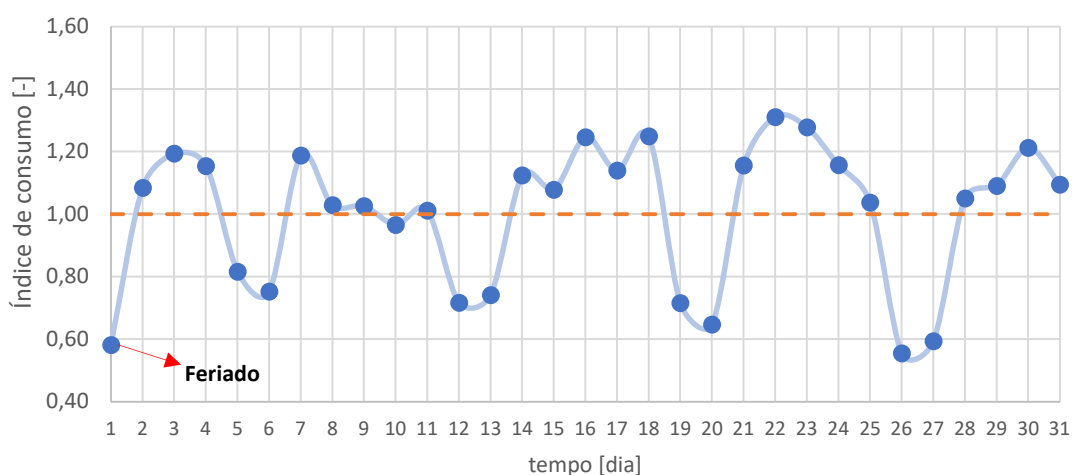


Figura 4.6 - Índice de consumo diário no mês de janeiro

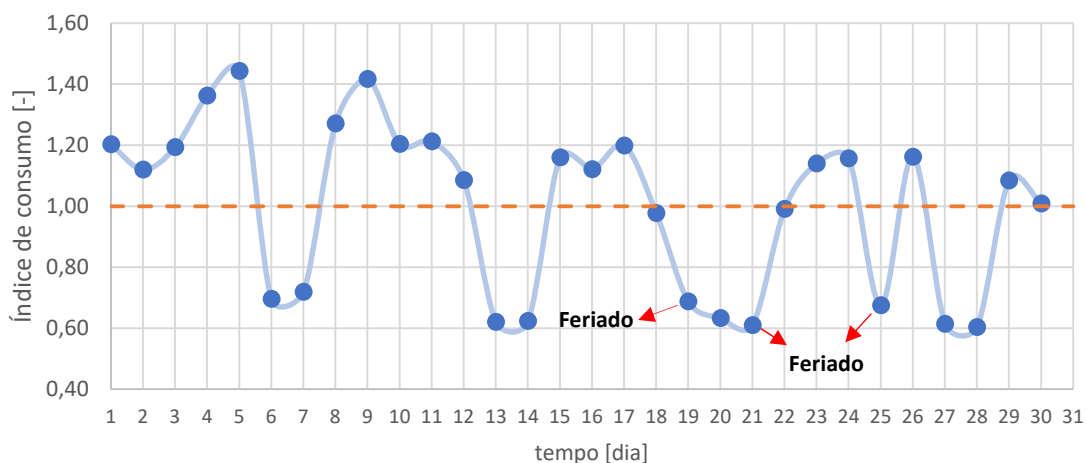


Figura 4.7 - Índice de consumo diário no mês de abril

Apesar de já se ter explicado que obter um padrão do índice médio de consumo diário implicava vários obstáculos, no ano de 2019 destacam-se o dia 1 com um índice menor de 0,91 e o dia 4 com um maior índice com 1,11, conforme a Figura 4.8.

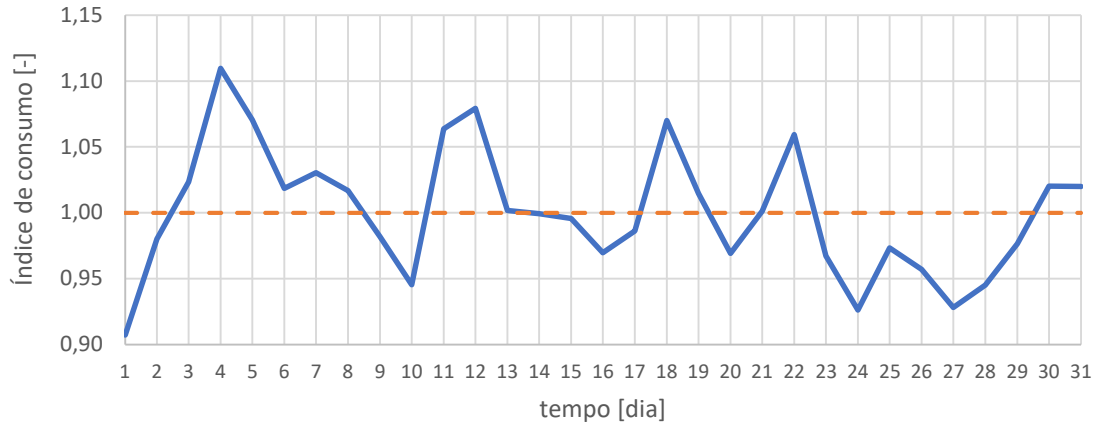


Figura 4.8 - Índice do consumo médio diário, no ano 2019

De forma a compreender melhor o índice de consumo diário fez-se uma análise semanal, tal como era esperado o índice de consumo diário ao fim de semana é bastante inferior aos outros 5 dias úteis, tal como se observa na Figura 4.9.

O dia que em média apresenta maior índice de consumo é na quarta-feira e o que apresenta um menor índice, para além dos fins de semana, é na sexta.

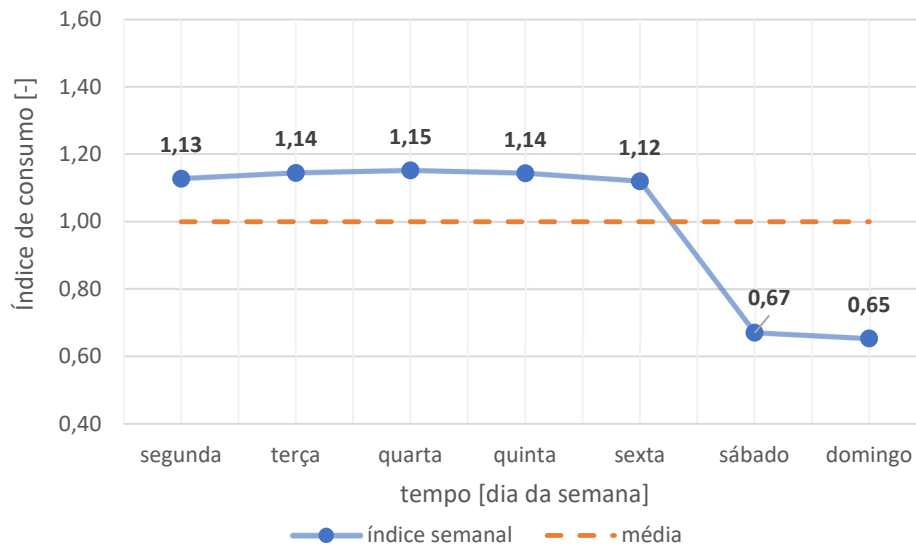


Figura 4.9 - Índice de consumo médio diário ao longo de uma semana em 2019

De seguida procedeu-se ao estudo do padrão de consumo diário nestes dois tipos de dias (dia útil e fim de semana/feriado), analisou-se a evolução do consumo energético horário chegando-se às curvas apresentadas na Figura 4.10.

Numa primeira avaliação é evidente qual o horário de trabalho, que corresponde entre as 8h e as 20h, o que comprova o que já foi referido no Capítulo 4.1.

A depressão que se verifica na linha do consumo energético horário num dia útil, corresponde ao tempo de almoço. Neste horário reduzem-se as necessidades energéticas para alimentação dos computadores, ar condicionado e até mesmo iluminação, dado que podem optar por comer fora do edifício. Considerando a média de todas as semanas e meses do ano 2019, os picos que correspondem a consumo energético mais altos ocorrem nos dias úteis, às 11 e 16 horas, com valor por volta do 37 kWh. Este edifício possui um grande número de colaboradores e áreas maioritariamente operacionais, e como maior parte das equipas não é tanto administrativa é normal que o comportamento não seja tão linear.

Quando o estabelecimento não está em horário de trabalho, continua a haver um gasto de energia, para manter alguns equipamentos necessários durante todo o tempo, mas onde se obteve um menor consumo corresponde ao fim de semana, variando entre 13 e 17 kWh. Denota-se que no suposto horário de trabalho (8h às 20h), no fim de semana, há um ligeiro decréscimo do consumo comparativamente às restantes horas do fim de semana. Este acontecimento pode ser explicado por o edifício ter um bar, o que faz com que haja sempre equipamentos de refrigeração ligados e que o estabelecimento possui iluminação exterior, que deve de ligar durante a noite.

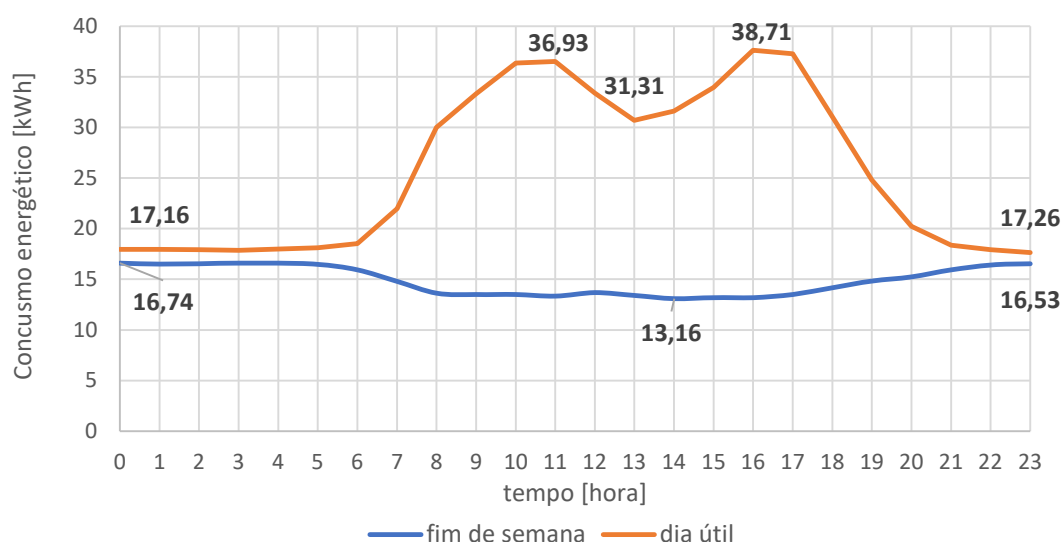


Figura 4.10 – Tendência média do consumo energético horário ao longo de um dia

Para se determinar anualmente quais as horas com um índice de consumo superior ou inferior à média dos índices de consumo horário, partiu-se do valor do consumo energético horário (tendo em conta cada dia da semana, em todos os meses do ano) e dividiu-se pela média horária do próprio dia.

A evolução do consumo energético representada na Figura 4.11 confirma que entre o período das 8h e 19h o índice de consumo médio horário é inferior às restantes horas do fim de semana.

Na comparação entre a média dos índices de consumo dos dias úteis e os índices horários obtido nestes dias, verifica-se que há um índice de maior consumo à sexta feira, no horário de trabalho (8h e 17h) e uma diminuição mais acentuada depois das 17 horas, comparativamente às dos outros dias da

semana, que provavelmente tem a ver com as rotinas dos trabalhadores, que antecedem o fim de semana, como desligar equipamentos mais rapidamente.

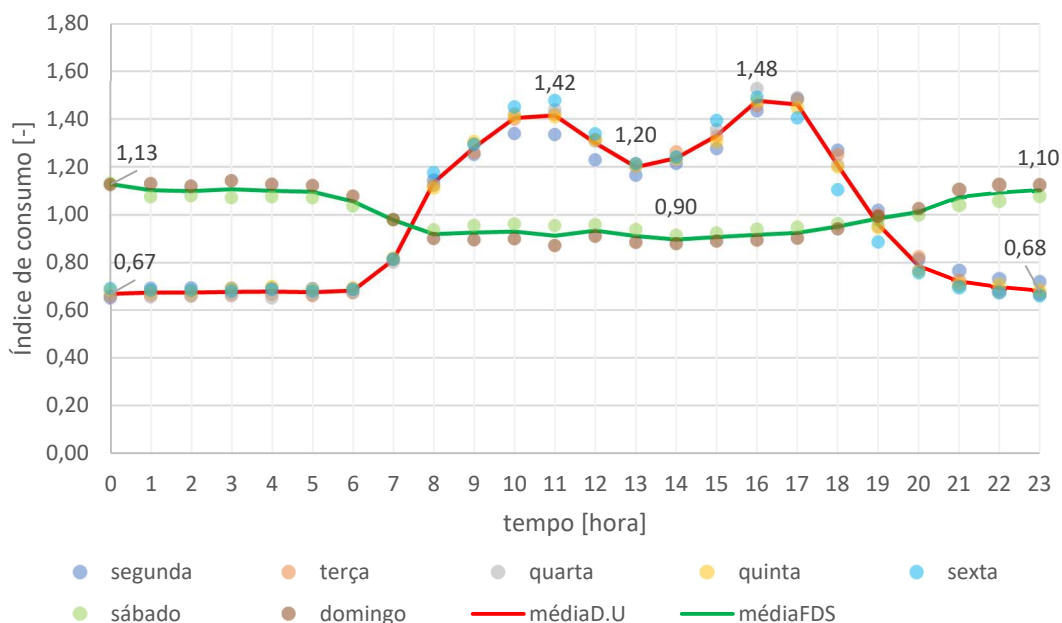


Figura 4.11 - Índice do consumo energético médio horário, tendo em conta o dia da semana (D.U-Dias úteis, FDS- Fim de semana)

4.2.3. Consumo energético em 2020

Este ano foi marcado pela pandemia o que provocou várias alterações a nível de comportamentos e diligências a encetar. O consumo energético não foi uma exceção, assim como, a alteração do tempo de funcionamento do estabelecimento, o número de colaboradores, entre outros, influenciou o consumo energético no edifício.

Como foi referido no Capítulo 4.2.1 já se tinha detetado uma redução do consumo energético entre 2015 e 2019 e ao comparar a média do consumo energético destes 5 anos com o ano 2020 iria-se observar diferenças que não teria haver com a COVID-19. Assim sendo começou-se por fazer um estudo dos consumos energéticos entre 2019 e 2020. Tal como esperado na Figura 4.12, comparando o consumo energético obtido em 2019 com o do ano 2020, verifica-se uma diminuição.

De facto, ao analisar a evolução das curvas verifica-se esta diminuição, mas verifica-se três patamares (na Tabela 4.8 está quantificada estas variações mensais):

- Nos meses janeiro, fevereiro e março a redução é pouco significativa tendo em conta algumas diminuições apuradas dos outros anos. No mês de março foi quando começou a registar-se casos de pessoas infetadas em Portugal que levaram a medidas de trabalho à distância;
- Entre os meses abril, maio, junho e julho há uma diminuição que ronda os 26%, esta variação já é representativa visto que só entre 2016 e 2017 é que se obteve valores desta ordem. Este decréscimo pode ser justificado com as restrições aplicadas ao país de forma a tentar conter o aparecimento de novos casos, nomeadamente o confinamento e a adesão ao teletrabalho;

- A maior redução do consumo energético é entre agosto e outubro, tendo em conta a evolução verificada nos outros anos, nestes meses, deveria de haver um aumento. A redução mais elevada é em outubro com um valor 92%. Não se conseguiu encontrar uma explicação para a razão deste decréscimo tão acentuado, houve uma diminuição do número de colabores a trabalhar no estabelecimento, mas nestes meses começou a haver uma adesão dos colaboradores a voltar a trabalhar no estabelecimento, não sendo então uma das razões para esta diminuição.

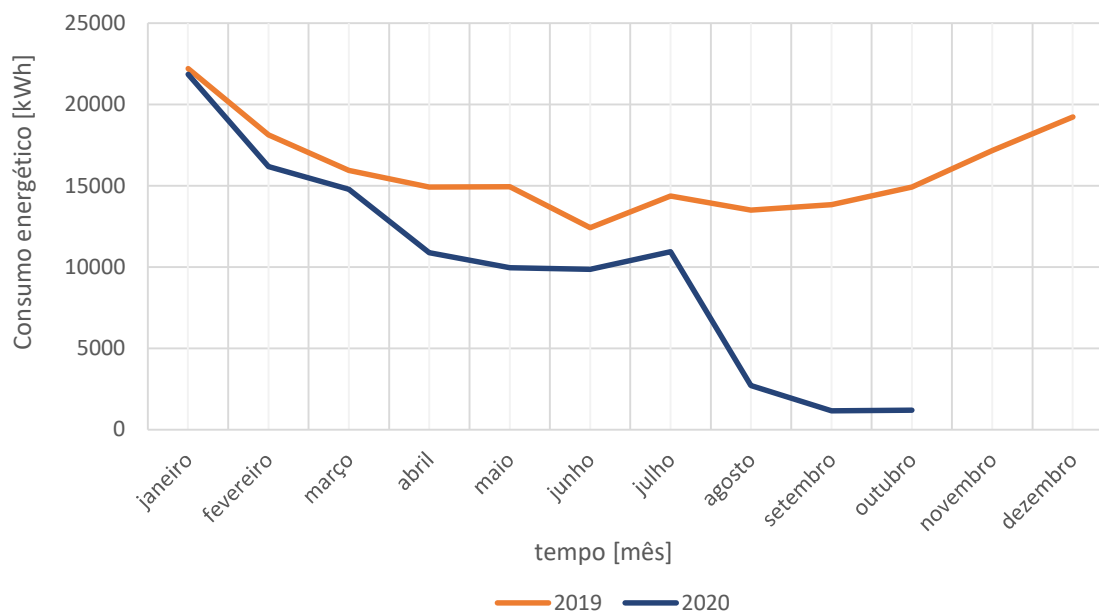


Figura 4.12 - Consumo energético mensal de rede ao longo do ano 2019 e 2020

Tabela 4.8 - Consumo energético de rede mensal nos anos 2019 e 2020 e respetiva variação

		2019	2020	redução
Consumo energético de rede [kWh]	janeiro	22215,6	21864,8	1,6%
	fevereiro	18117,6	16172,7	10,7%
	março	15932,9	14775,3	7,3%
	abril	14920	10877,7	27,1%
	maio	14948,4	9962,2	33,4%
	junho	12425,7	9864,5	20,6%
	julho	14372,2	10941,2	23,9%
	agosto	13499,9	2709,6	79,9%
	setembro	13842,8	1176,3	91,5%
	outubro	14917,8	1196,4	92,0%
	novembro	17168,6	-	-
	dezembro	19221,8	-	-

A divisão percentual do consumo total por autoconsumo e consumo de rede não apresenta grandes alterações, continua-se a verificar um aumento do consumo energético por parte da fonte renovável

(painéis fotovoltaicos) como está expresso na Tabela 4.9, sendo que em 2020 a contribuição da fonte renovável é cerca de 4%.

Na Tabela 4.9 está apresentada uma média mensal do consumo naquele ano, é feita esta divisão para se poder comparar numericamente entres os anos estudados, pois no caso do ano 2020 não se possui os dados dos meses de novembro e dezembro e conseqüentemente já iria exibir um consumo anual inferior aos dos outros anos. Conclui-se que do ano 2019 para o 2020 houve uma diminuição de cerca de 6000 kWh por mês.

Tabela 4.9 - Informações do consumo energético mensal no ano 2020

Ano *	Consumo total	Autoconsumo ou Produção		Consumo Rede	
	kWh/mês	kWh/mês	%	kWh/mês	%
2020	10339,54	385,47	3,73	9954,07	96,27
2019	16518,13	552,86	3,35	15965,28	96,65
2018	18271,70	584,37	3,20	17687,33	96,80
2017	16634,00	436,57	2,62	16197,44	97,38

*tem em conta o nº de meses com dados

Como a variável área útil não se alterou nestes 6 anos, ao contrário do número de colaboradores, realizou-se uma avaliação entre o consumo energético mensal por área útil entre 2015 e 2020. Na Figura 4.13 verifica-se o peso que o consumo energético em 2020 tem sobre a média dos últimos 6 anos, principalmente nos meses entre agosto e outubro. De janeiro a julho a diferença entre a média dos 6 meses e o consumo em 2020 varia entre 1,70 e 0,7 kWh/m², os meses de agostos, setembro e outubro apresentam um decréscimo significativo de aproximadamente 3,5 kWh/m².

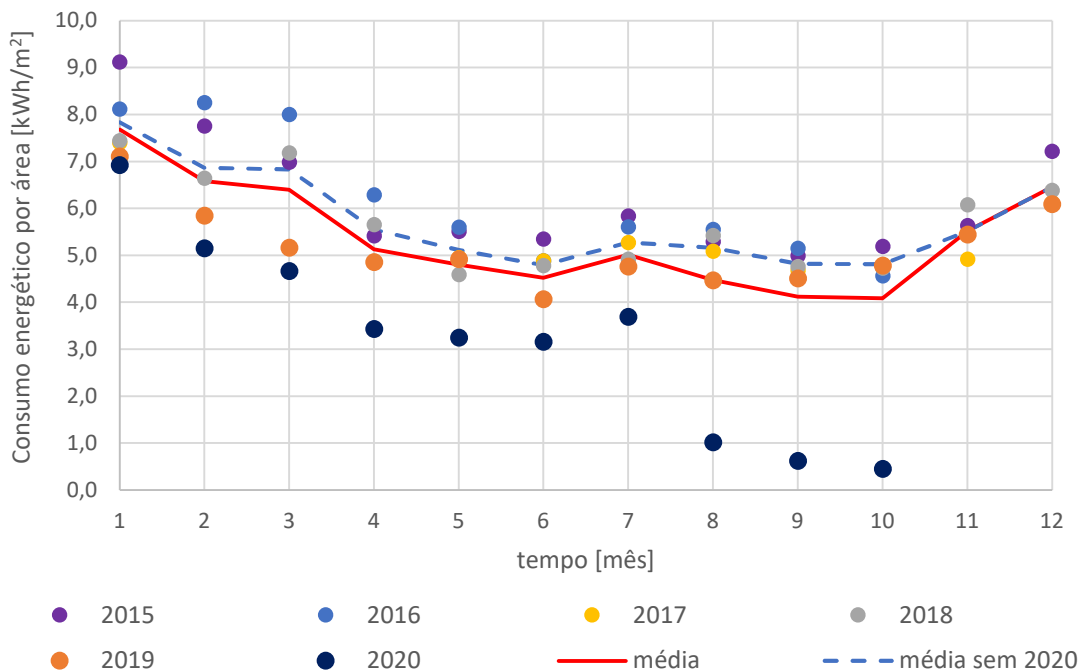


Figura 4.13 - Evolução mensal do consumo energético por área entre 2015 e 2020

Através da Figura 4.14 e Figura 4.15 constata-se que entre 2019 e 2020 há uma diminuição do consumo energético ao longo do dia, sendo que a média do consumo num dia útil em 2019 é entre 17 e 37 kWh e em 2020 desceu para valores entre 11 e 23 kWh. A evolução das curvas de consumo em todos os meses, tanto em 2019 como em 2020 apresentam o mesmo desenvolvimento, mas em 2020 apresenta um achatamento dos picos, aproximando a diferença entre o valor máximo e o valor mínimo.

Na Figura 4.14 verifica-se que para 2020 os meses de janeiro, fevereiro e março não variam muito dos valores apresentados no ano 2019, os meses onde se apura uma diferença significativa são em agosto, setembro e outubro. O mês que mostra a maior descida do consumo energético de 2019 para 2020 é o de outubro, cerca de 20 kWh, o que representa uma redução de 90%.

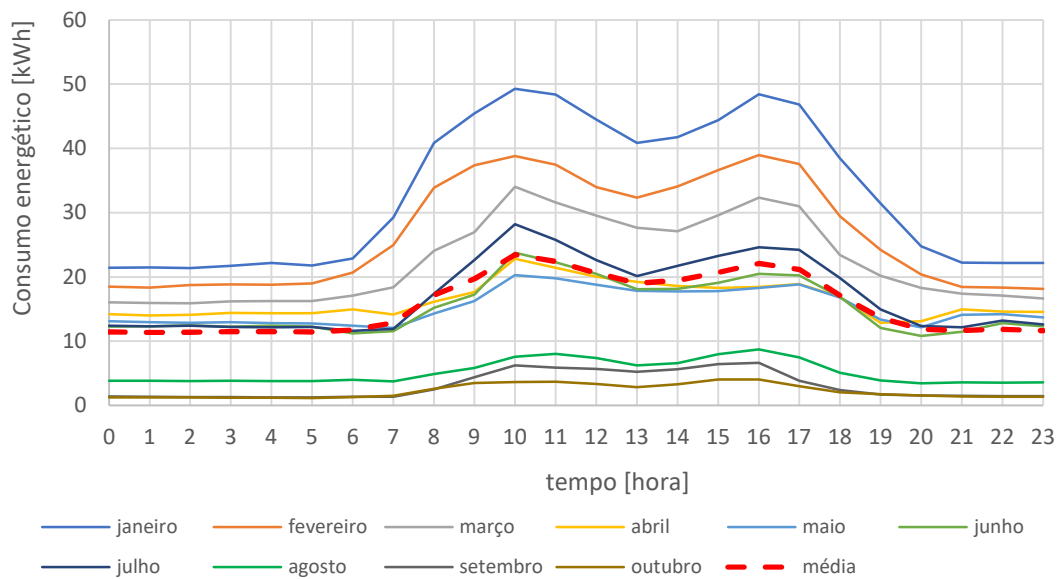


Figura 4.14 - Consumo energético médio horário do ano 2020 num dia útil

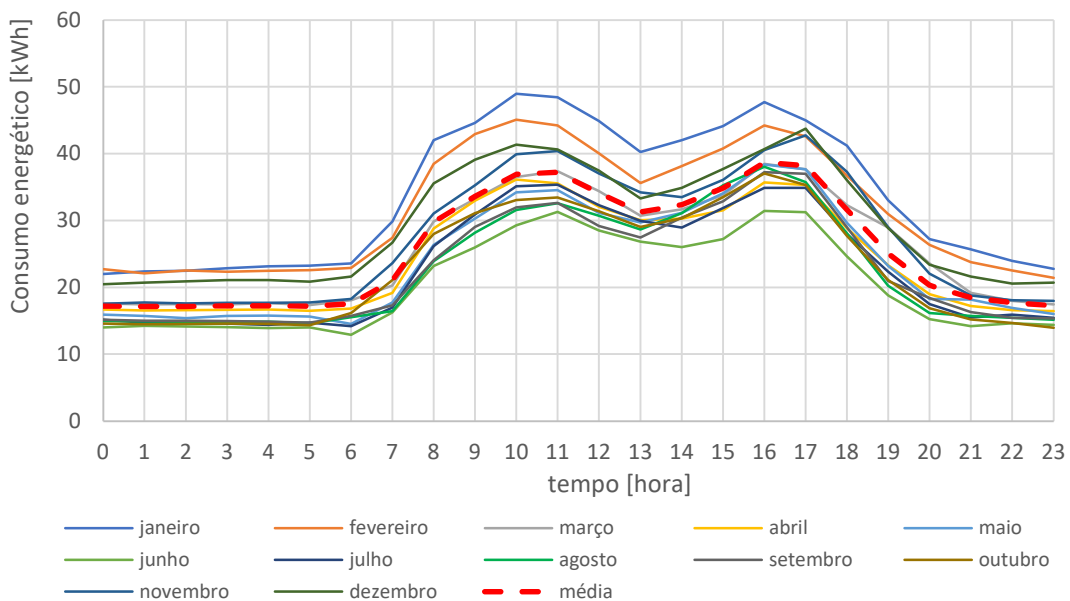


Figura 4.15 - Consumo energético médio horário do ano 2019 num dia útil

No anexo D encontra-se a mesma comparação, mas para um dia de fim de semana sendo os resultados idênticos. De 2019 para 2020 há uma diminuição de 5 kWh e são os meses de agosto, setembro e outubro que possuem valores muito baixos, o máximo de consumo energético horário de 3 kWh.

4.2.4. Comparação entre a amostra e o Edifício073

Tendo em conta os consumos energéticos por área útil e os consumos energético por número de colaboradores, o Edifício073 na amostra apresenta um peso de consumo total aproximadamente a meio da amostra, sendo que por área útil está em 35° (de um total de 58 edifícios) e por número de colaborador em 31° (de 59 edifícios).

Na amostra este edifício contribui para o consumo energético, mas não tem uma grande representatividade, mas todos os edifícios podem ser melhorados e fazem a diferença no consumo energético total e uma vez que o edifício é antigo há grandes possibilidades de melhoramento.

É um dos edifícios com maior área e número de colaboradores, ou seja, é o oitavo edifício com maior área e sexto com maior número de colaboradores, daí também ser uma das razões pela qual representa valores de consumo energético por área útil e por colaborador baixos, face aos valores do resto da amostra.

Tendo em conta o certificado energético tem uma classe energética B-, que corresponde a uma classe acima da média da amostra (média da mostra classe C).

Comparativamente aos índices de consumo mensal, como se por verificar pela Figura 4.16, maioritariamente o índice de consumo deste edifício está abaixo da média da amostra a não ser no mês de janeiro e maio. O que vai de encontro ao que já se tinha referido que este edifício não é dos grandes contribuintes para existência de maiores consumos energético na amostra.

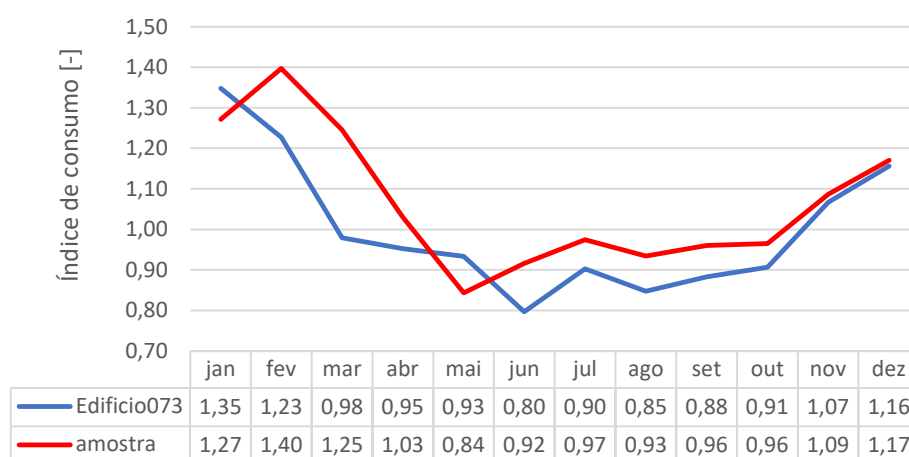


Figura 4.16 - Comparação entre o índice médio de consumo mensal da amostra no ano 2019 e o Edifício073 e respetivos valores

4.2.5. Necessidades energéticas

Através do certificado energético é possível identificar quais as necessidades energéticas no edifício, pelo menos na altura em que o certificado foi emitido. Através dos indicadores de desempenho apresentados no início deste capítulo consegue-se proceder a esta análise.

Identifica-se que a contribuição da energia renovável é direcionada para as necessidades de aquecimento e AQS.

Numa primeira análise, na Tabela 4.10, antes do edifício considerar a contribuição da energia renovável, o consumo total era superior ao de referência, o que faria que tivesse uma classe energética igual ou inferior a C. A contribuição da energia renovável possibilitou a passagem para um edifício de classe B-.

Tabela 4.10 - Consumo energético total por área útil

	Consumo energético por área [kWh/m ² .ano]
Referencia	33,30
Edifício s/renovável	41,20
Edifício c/renovável	30,69

Como se pode avaliar pela Figura 4.17, onde existe maiores necessidades energéticas é na iluminação com aproximadamente 50% das necessidades existentes neste escritório, apesar de só estar 4% menos eficiente da referência. O que vai de encontro com os outros edifícios da Europa.

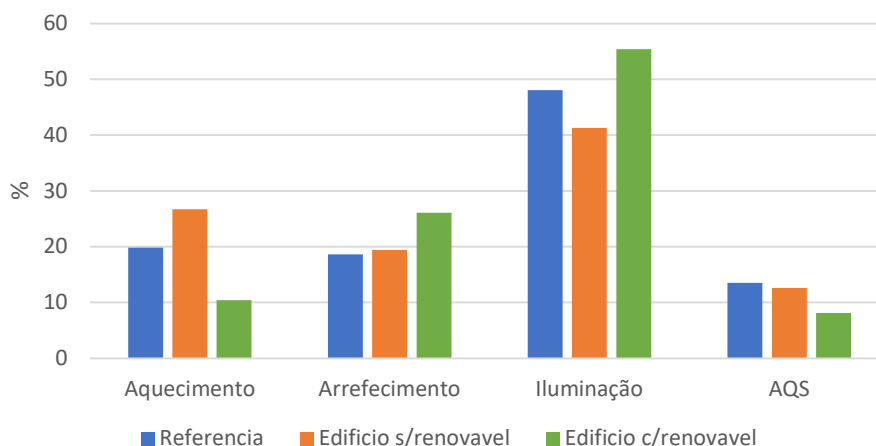


Figura 4.17 - Necessidades energéticas em 2015

A contribuição da energia renovável diminui o consumo energético das necessidades energéticas aquecimento e AQS. As AQS já representavam a minoria a nível de consumo, mas com esta contribuição, fez com que as necessidades de aquecimento ficassem abaixo do consumo energético por arrefecimento.

4.3. Influência meteorológica no consumo energético

É referido ao longo desta dissertação que possíveis variáveis que afetam o consumo energético são a temperatura exterior do ar e a radiação solar, pois estas variáveis estão associadas a certas necessidades energéticas como a iluminação, o arrefecimento e aquecimento devido à procura de um ambiente confortável para se trabalhar. Visto isto procurou-se perceber como estas variáveis variam e de que forma podem influenciar o consumo energético.

4.3.1. Efeito da radiação solar

Um painel fotovoltaico transforma a luz solar em energia elétrica, motivo pelo qual são muito importantes a localização e a inclinação da sua instalação, para a obtenção da máxima radiação solar possível. O sistema fotovoltaico é composto pelo painel solar, conversor de corrente (em corrente alternada), gerador e o quadro elétrico. É de esperar que em alturas do ano, com maior duração de luz solar, maior seja a produção de energia.

Para se poder comparar a evolução da radiação solar dada em kW/m^2 , obtida pelo site (SNIRH 2020) (Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos) da estação de rede Barragem de Castelo de Burgães e a produção energética de 2019, dada em kWh, fornecida pelos painéis fotovoltaicos, requereu transformar os dados em unidades adimensionais. Para esta análise dividiu-se os valores diários pela média diária do ano (Figura 4.18, Figura 4.19 e Figura 4.20).

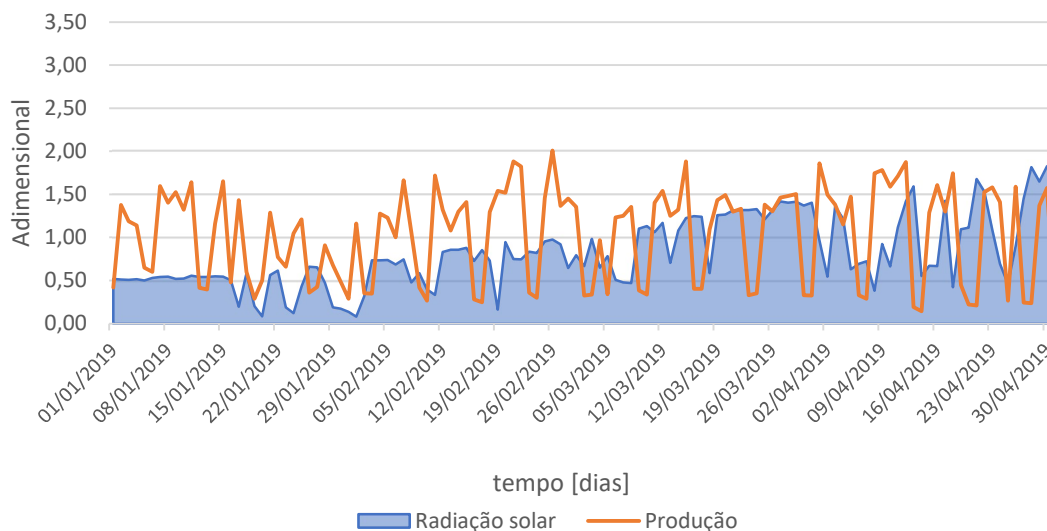


Figura 4.18 - Variação da radiação solar e produção (kWh) obtido pelo PV de janeiro a abril

Conclui-se que são os meses de maior radiação solar, maio a agosto, onde se constata um maior aproveitamento da produção de energia dos painéis fotovoltaicos, mas também se consegue perceber que a quantidade de radiação solar existente em cada dia, influencia a produção, como é o caso destacado a vermelho na Figura 4.19. Este intervalo de tempo corresponde a meses de maior radiação solar, contudo poderá ter ocorrido nebulosidade, o que não permitiu ao painel fotovoltaico produzir mais eletricidade.

A produção e o autoconsumo, neste caso, como já foi referido, estão interligados, uma vez, que só é necessário maior produção se houver maior consumo, logo maior autoconsumo. Daí verificar-se picos ascendentes e descendentes, na curva da produção, correspondendo a picos descendentes a necessidades energéticas inferiores, como é o caso dos feriados e fins de semana.

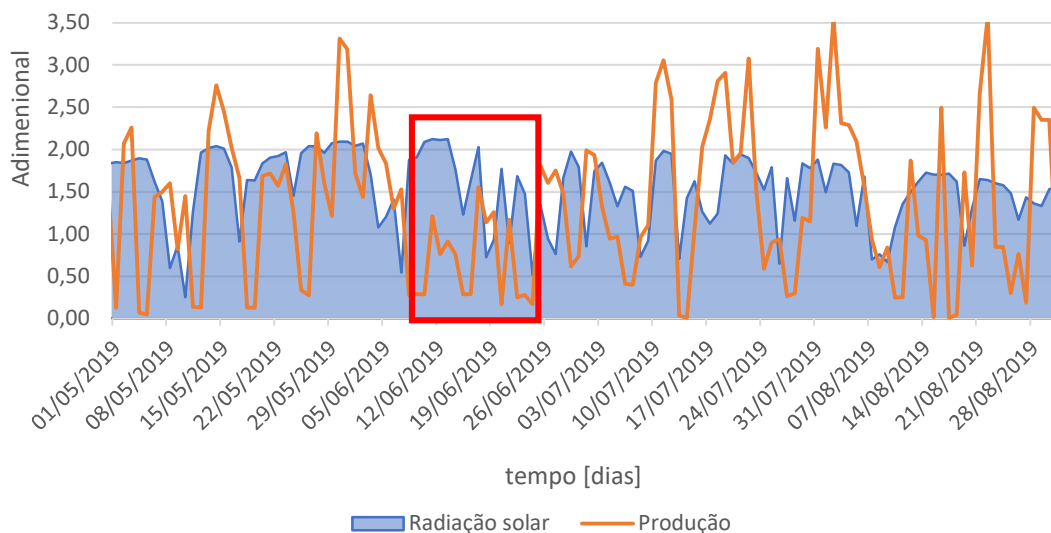


Figura 4.19 - Variação da radiação solar e produção (kWh) obtido pelo PV de maio a agosto

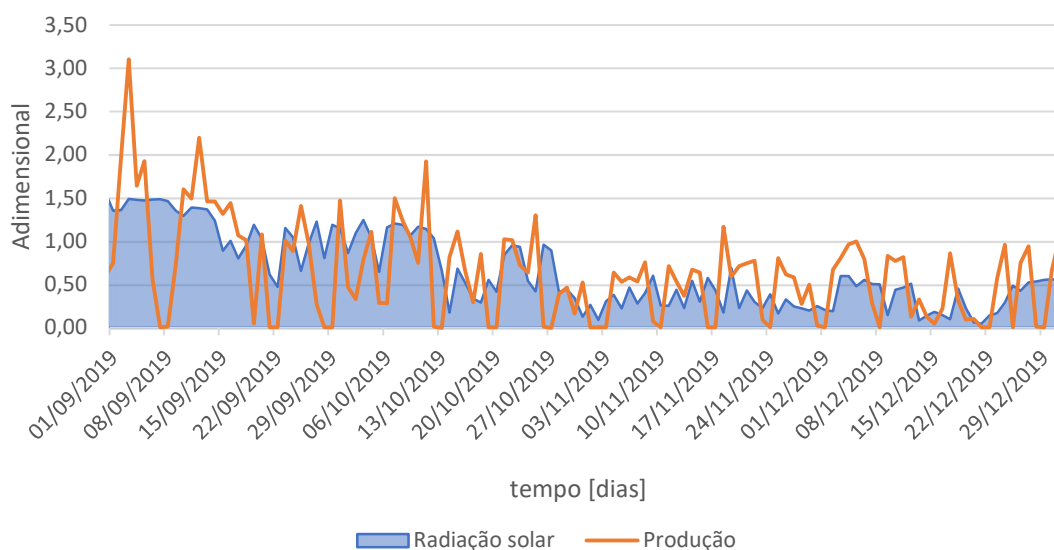


Figura 4.20 - Variação da radiação solar e produção (kWh) obtido pelo PV de setembro a dezembro

Outro fator a referir é que as instalações dos painéis fotovoltaicos não representaram uma proposta de melhoria no certificado energético, pelo que se deduz que esta instalação serviu para responder a uma necessidade de maior consumo energético, sem ter de aumentar a produção fornecida pela rede elétrica.

4.3.2. Influência da temperatura exterior

Um grau maior de conforto promove para um maior investimento por parte dos colaboradores, mas também para um maior consumo energético. As variáveis climáticas, como a radiação solar e a temperatura no exterior, influenciam muito a transferência de calor num edifício.

A temperatura do ar permite trocas de calor com o exterior e interior do edifício, sendo que no inverno, como a temperatura no exterior é mais baixa faz com que haja perdas de calor do interior do edifício e no verão o caso contrário, entradas de calor indesejadas. Estes dois acontecimentos contribuem para o aumento de necessidades energéticas.

Para verificar esta situação, através do site (SNIRH 2020) (Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos) procurou-se obter as temperaturas médias do ar perto da zona onde se localiza o Edifício073. A estação mais perto que possui esta informação, nos variados anos, corresponde à estação Barragem de Castelo Burgães (08G/01C).

Na Figura 4.21 encontra-se as temperaturas médias do ar desde 2015 e a vermelho está representado a temperatura média mensal ao longo de um ano. Chega-se à conclusão que num ano a temperatura varia entre aproximadamente 10°C e 20°C e que para os meses de inverno, nomeadamente janeiro, fevereiro, março e dezembro representam os meses com temperaturas exteriores mais baixas.

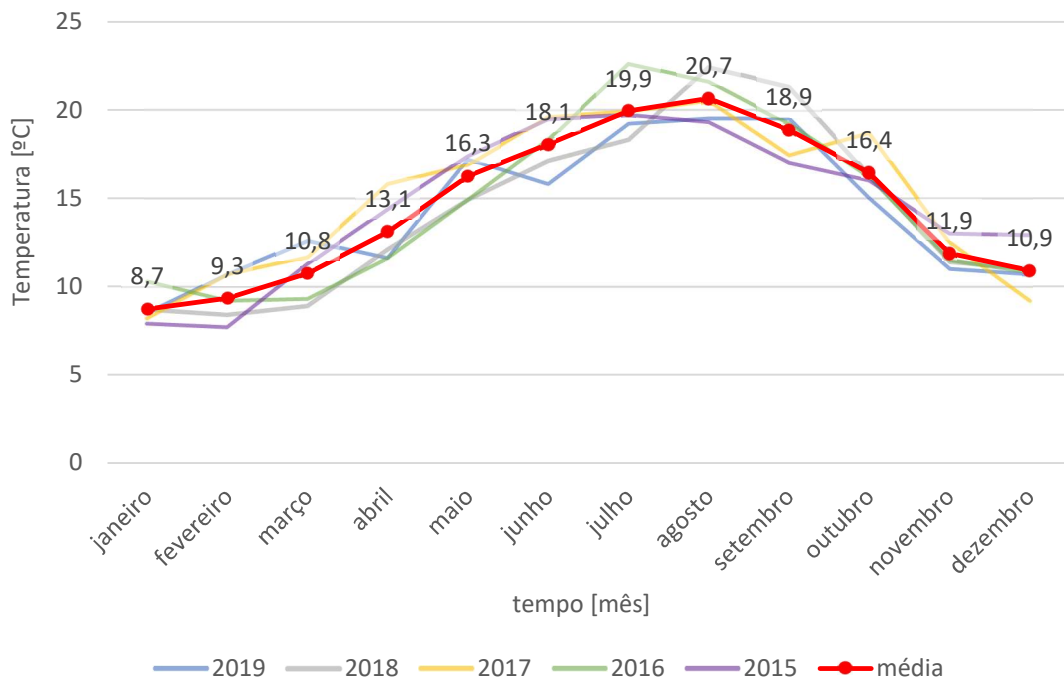


Figura 4.21 - Temperatura do ar mensal entre 2015 e 2019

Nos gráficos da Figura 4.22 apura-se um padrão entre o consumo energético e a temperatura exterior ao longo destes 5 anos. Para se poder fazer esta avaliação ambas variáveis tiveram de ser adimensionalizadas.

Verifica-se que perto dos meses abril e novembro à um cruzamento das duas curvas em estudo e que são o inverso uma da outra, o que permite retirar algumas conclusões.

Quando se está presente numa altura do ano com temperaturas exteriores mais baixas, o consumo energético é elevado e vice-versa, logo é provado que a temperatura de facto influencia o consumo energético. Esta circunstância contribuiu para que exista mais necessidades energéticas de aquecimento, uma vez que o consumo energético é elevado na altura do inverno, onde há baixas temperaturas.

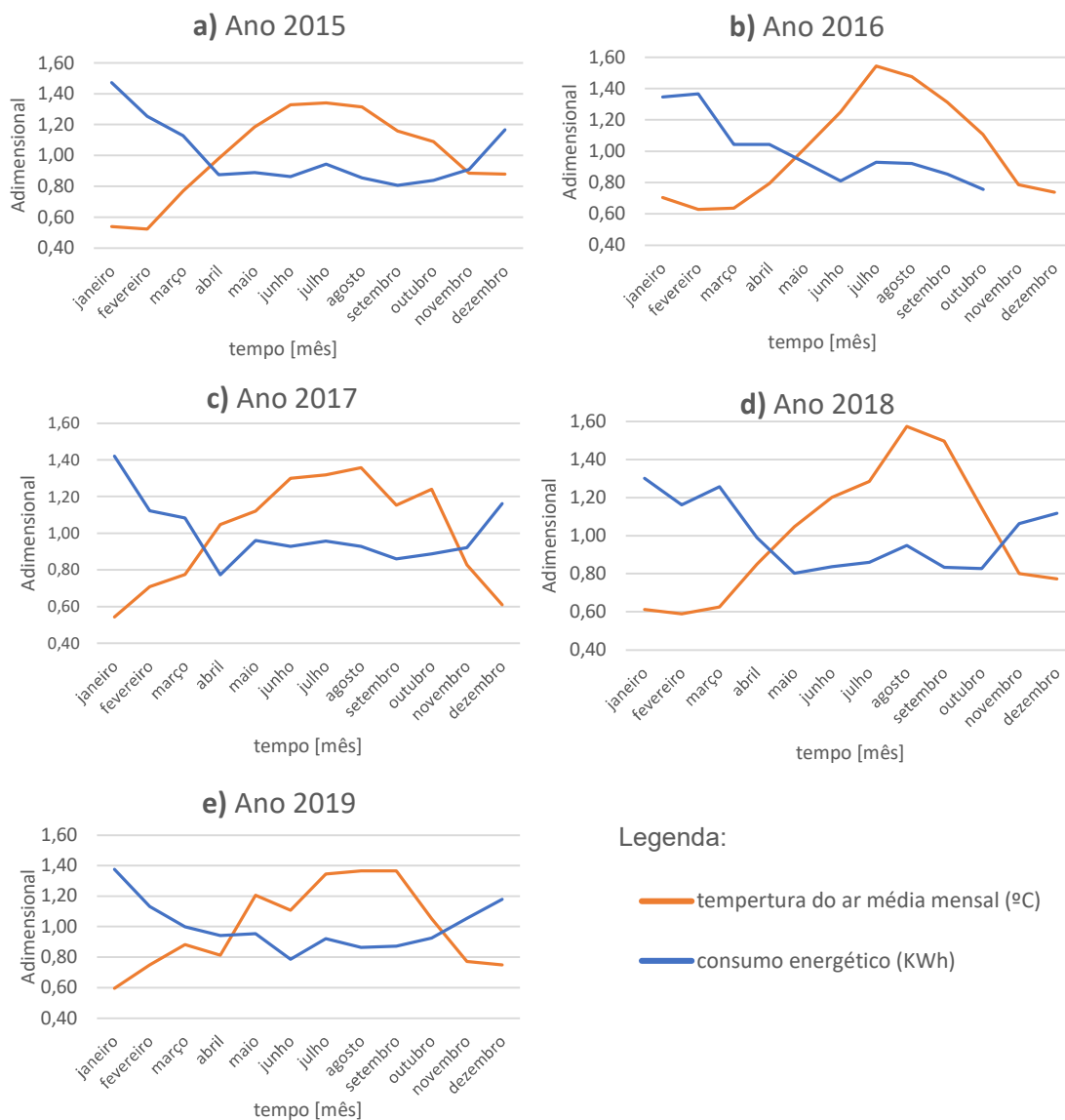


Figura 4.22 - Comparação adimensional da evolução mensal entre a temperatura exterior e consumo energético em vários anos

4.4. Análise estatística do caso de estudo

Na análise realizada ao edifício específico introduz-se novas variáveis, indicadores e índices, pelo que, foi igualmente aplicada uma análise estatística unidimensional e multidimensional para perceber as novas correlações possíveis.

Assim, para além do estudo do consumo energético também foi tido em conta a produção e alguns indicadores relativos. O consumo e a produção de energia relativas foram calculados dividindo o consumo e a produção de energia em cada dia pelo consumo diário médio do ano (índice anual de consumo e produção) e pelo consumo diário médio do mês (índice mensal de consumo e produção). Estes índices diminuem a influência do volume do consumo e da produção de energia entre meses e anos, permitindo uma melhor avaliação dos padrões mensais (com índices anuais) e dos padrões semanais (com os índices mensais).

4.4.1. Análise unidimensional

A análise unidimensional permitiu testar as diferenças das distribuições do consumo de energia entre as variáveis categóricas (ano, mês e dia da semana) e a correlação entre o consumo de energia e as variáveis contínuas (temperatura, precipitação e radiação solar). Além disso, o aparecimento da pandemia COVID-19 trouxe um novo paradigma de trabalho e esta variável foi observada como uma variável binomial tomando o valor de 0 quando corresponde a uma data antes de março de 2020 e tomando o valor de 1 depois desta data.

Tanto o teste Kolmogorov-Smirnov como o teste Shapiro-Wilk são significativos na maioria dos casos, o que implica que os vários indicadores de consumo de energia não são normalmente distribuídos. No caso do teste de Levene apenas a produção absoluta apresenta uma variação homogeneia. Devido a estes resultados foram utilizadas ferramentas não paramétricas.

Os índices mensais e anuais são adequados para comparar o consumo e a produção entre meses e anos, respetivamente. No entanto, são mais informativos quando comparam os meses tendo em conta os índices anuais e no caso dos dias da semana, os índices mensais.

Os resultados da comparação das distribuições são exibidos na Tabela 4.11, confirmando que existem diferenças estatisticamente significativas entre os indicadores de consumo ou produção e as variáveis: ano, meses, dias da semana e COVID-19. No entanto, não significa que para as variáveis, ano/meses/dias da semana, o consumo ou a produção de energia seja estatisticamente distinto de todos os outros, na verdade formam-se grupos, como é o caso dos dias úteis e dos fins de semana. Esta conclusão será mais bem explicitada na análise multidimensional.

Tabela 4.11 - Comparação dos resultados das distribuições não paramétricas (edifício)

Indicadores de consumo energético e produção de energia	Variáveis categóricas			
	Ano	Mês	Dias úteis	COVID-19
Consumo energético	S	S	S	S
Índice de consumo mensal	S	-	S	S
Índice de consumo anual	-	S	S	S
Produção de energia	S	S	S	S
Índice de produção mensal	S	-	S	S
Índice de produção anual	-	S	S	S

S – Estatisticamente significante; N – estatisticamente não significante

Existem também correlações estatisticamente significativas entre os vários indicadores de consumo de energia e os dados meteorológicos, todos os valores estão apresentados na Tabela 4.12.

O sinal negativo das correlações do consumo energético com a radiação e a temperatura pode ser explicado pela localização do edifício no Norte de Portugal e pela predominância das férias do trabalhador nos meses de verão. Por um lado, o clima mais frio leva a que seja necessária mais energia para aquecer do que arrefecer o edifício e, por outro, os colaboradores ao tirarem férias nos meses mais quentes, será necessária menos energia nesse período. No caso das correlações entre a produção de energia foram obtidos valores positivos, menos quando correlacionado com a precipitação, o que era de esperar face às condições necessárias para produzir energia. No entanto, uma vez que a produção é limitada pelo consumo de edifícios (a instalação é autorizada apenas para autoconsumo), a relação com o clima não é tão forte como se esperava.

Os maiores coeficientes de correlação encontrados obtiveram-se pela aplicação do teste de Spearman. Sendo que, as melhores correlações significativas para os três casos de variáveis contínuas corresponderam a correlações negativas. No caso da precipitação, todas as correlações significativas encontradas são negativas, a que apresenta um coeficiente maior corresponde à relação entre a produção e a precipitação, com um valor de -31,4%. Quanto à radiação a que apresenta um coeficiente maior corresponde à relação entre a consumo energético e a radiação, com um valor de -38,8% e no que diz respeito à temperatura exterior a que apresenta um coeficiente maior corresponde à relação entre a consumo energético e a temperatura, com um valor de -42,8%;

É importante indicar que as correlações com índices mensais, tanto para o consumo como para a produção, são apenas estatisticamente significativas com a precipitação. Isto indica que, à escala diária, a precipitação domina os padrões de consumo e de produção, mas a uma escala mensal o consumo é impulsionado pela temperatura e radiação solar.

Tabela 4.12 - Resultados da correlação não paramétrica (edifício)

			Precipitação	Radiação Solar	Temperatura exterior
Kendall' s tau	Consumo energético	Coeficiente de correlação Significância (bilateral) N	0,003 0,903 1035	-0,257** 0,000 1035	-,291** 0,000 1035
	Índice de consumo mensal	Coeficiente de correlação Significância (bilateral) N	-0,109** 0,000 1035	-0,028 0,179 1035	-0,002 0,906 1035
	Índice de consumo anual	Coeficiente de correlação Significância (bilateral) N	0,041 0,083 1035	-0,197** 0,000 1035	-0,279** 0,000 1035
	Produção de energia	Coeficiente de correlação Significância (bilateral) N	-0,238** 0,000 1035	0,172** 0,000 1035	0,189** 0,000 1035
	Índice de produção mensal	Coeficiente de correlação Significância (bilateral) N	-0,191** 0,000 1035	0,039 0,062 1035	0,030 0,144 1035
	Índice de produção anual	Coeficiente de correlação Significância (bilateral) N	-0,221** 0,000 1035	0,188** 0,000 1035	0,202** 0,000 1035
Spearman	Consumo energético	Coeficiente de correlação Significância (bilateral) N	0,006 0,852 1035	-0,388** 0,000 1035	-0,428** 0,000 1035
	Índice de consumo mensal	Coeficiente de correlação Significância (bilateral) N	-0,145** 0,000 1035	-0,043 0,165 1035	0,003 0,929 1035
	Índice de consumo anual	Coeficiente de correlação Significância (bilateral) N	0,057 0,067 1035	-0,305** 0,000 1035	-0,414** 0,000 1035
	Produção de energia	Coeficiente de correlação Significância (bilateral) N	-0,314** 0,000 1035	0,249** 0,000 1035	0,284** 0,000 1035
	Índice de produção mensal	Coeficiente de correlação Significância (bilateral) N	-0,252** 0,000 1035	0,057 0,066 1035	0,046 0,141 1035
	Índice de produção anual	Coeficiente de correlação Significância (bilateral) N	-0,293** 0,000 1035	0,274** 0,000 1035	0,303** 0,000 1035

** Correlação é significativa a um nível de significância de 0.01 (bilateral)

* Correlação é significativa a um nível de significância de 0.05 (bilateral)

4.4.1. Análise multidimensional

Para a análise multidimensional, recorreu-se aos mesmos modelos aplicados na análise geral: modelos lineares generalizados (GLM) e redes neuronais artificiais (ANN). Em ambos modelos foram utilizadas as mesmas abordagens do Capítulo 3.3.1.

Na análise multidimensional o ano, o mês, o dia da semana e a existência de COVID-19 foram avaliados como potenciais variáveis explicativas categóricas e a temperatura, a precipitação e a radiação solar como potenciais variáveis contínuas. Os meses não foram incluídos como preditores nos modelos para os índices anuais e os anos foram excluídos dos modelos para os índices mensais. O desempenho dos modelos GLM e ANN desenvolvidos são apresentados na Tabela 4.13.

Tabela 4.13 - Desempenho dos modelos GLM e ANN (caso edifício específico)

Variável Independente	R ²	
	GLM	ANN
Consumo energético	0,765	0,889
Índice de consumo anual	0,617	0,788
Índice de consumo mensal	0,621	0,727
Produção de energia	0,453	0,579
Índice de produção anual	0,400	0,557
Índice de produção mensal	0,394	0,525

Para não se verificar repetição excessiva nos modelos utilizados o consumo energético médio diário por colaborador não é apresentado aqui. Na Figura 4.23 está apresentado a importância relativa das variáveis independentes e na Tabela 4.14 está apresentado em detalhe os modelos GLM.

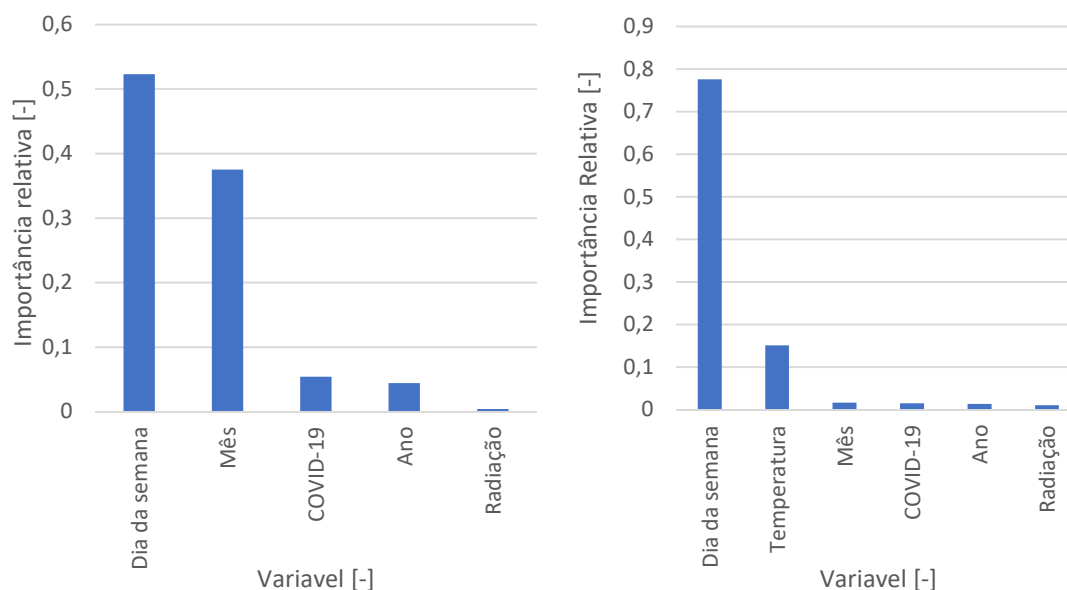


Figura 4.23 - Importância relativa das variáveis independentes nos modelos GLM para o consumo diário (à esquerda) e para produção diária (à direita). (Caso edifício específico)

Quanto à Tabela 4.14 é preciso referir: a variável dia da semana é apresentada de 1 a 5 como os dias úteis e de 6 a 7 como os fins de semana (sábado e domingo, respetivamente); COVID-19=1 contabiliza a existência da COVID.

Tabela 4.14 - Modelo GLM (caso edifício específico)

Variável	Coeficiente	Erro padrão	t	Significância	Intervalo de confiança	
					Inferior	Superior
Consumo energético diário						
Interceção	305,061	19,367	15,751	0,000	274,153	335,969
Dia da semana=6, 7	-223,5	-30,09	7,428	0,000	-238,076	-208,925
Dia da semana =1-5	0 ^a					
Mês=1, 2, 3, 12	254,604	15,113	16,846	0,000	221,546	287,661
Mês=4-11	64,029	4,616	13,87	0,000	36,812	91,247
Mês=2	168,114	11,807	14,238	0,000	140,174	196,054
Mês=3	-76,687	-7,905	9,701	0,000	-95,723	-57,65
Mês=4	141,601	10,976	12,901	0,000	116,286	166,917
Mês=5	0 ^a					
COVID19=0	177,489	9,714	18,271	0,000	141,636	213,342
COVID19=1	0 ^a					
Ano=2018	105,059	6,259	16,784	0,000	72,124	137,995
Ano=2019	45,293	2,705	16,745	0,007	12,434	78,152
Ano=2020	0 ^a					
Radiação Solar	0,006	2,505	0,002	0,012	0,001	0,011
Produção diária						
Interceção	2,327	0,831	2,802	0,406	-3,171	7,826
Dia da semana =0	-15,727	-18,649	0,843	0,000	-17,382	-14,072
Dia da semana =1	-2,122	-2,52	0,842	0,012	-3,775	-0,469
Dia da semana =2	0 ^a					
Temperatura	0,984	8,55	0,115	0,000	0,758	1,21
Mês =0	0,636	0,506	1,256	0,613	-1,828	3,1
Mês =1	3,23	2,768	1,167	0,006	0,94	5,52
Mês =2	0,258	0,186	1,385	0,852	-2,459	2,975
Mês =3	0 ^a					
COVID19=0	4,544	2,67	1,702	0,008	1,205	7,883
COVID19=1	0 ^a					
Ano =0	-4,044	-2,623	1,541	0,009	-7,068	-1,019
Ano =1	0 ^a					
Radiação Solar	0,001	2,302	0	0,022	0	0,001

^a. Este coeficiente está definido como zero porque é redundante

O resultado de uma ANN é extremamente complexo, devido às múltiplas ligações na rede e transformações não lineares nos nós, a principal informação sobre a estrutura da rede está apresentada na Tabela 4.15.

Tabela 4.15 - Estrutura de modelos ANN (caso edifício específico)

Modelo		Consumo energético diário	Consumo energético diário por área
Camada oculta(s)	Número de camadas ocultas	1	1
	Número de unidades na 1ª camada oculta	8	7
	Função de ativação	Tangente hiperbólica	Tangente hiperbólica
Camada resultado	Número de unidades	1	1
	Método utilizado alterar escalas para escalas dependentes	Padronização	Padronização
	Função de ativação	Identidade	Identidade
	Função de erro	Soma dos quadrados	Soma dos quadrados

A Figura 4.24 compara o desempenho dos modelos GLM e ANN, salientando que existe apenas um aumento marginal no desempenho dos modelos ANN. Isto sustenta que as variáveis são independentes ou altamente correlacionadas (por exemplo, as variáveis relacionadas com as condições meteorológicas) e que a relação entre elas e a variável dependente é próxima do linear.

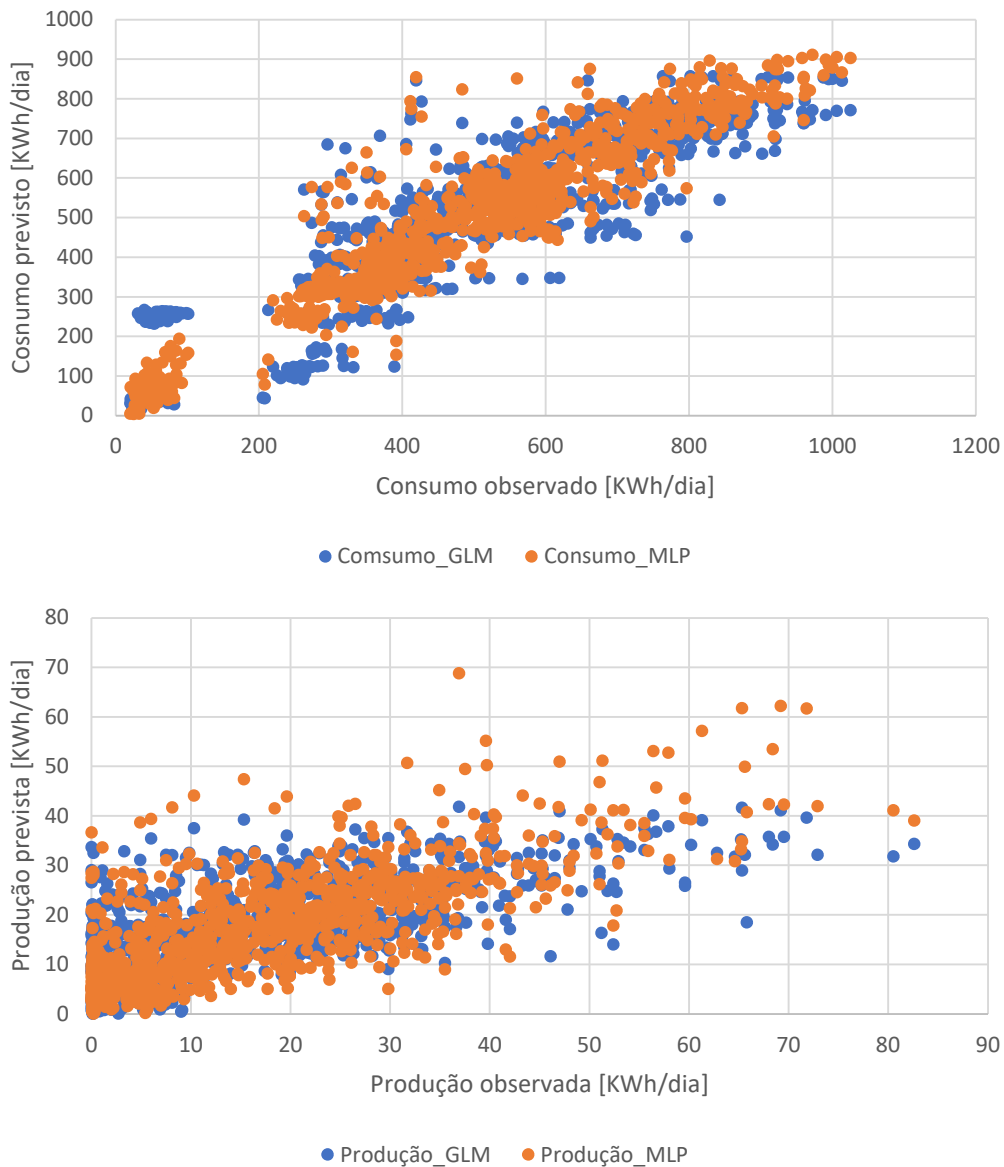


Figura 4.24 - Comparação de desempenho dos modelos GLM e ANN para o consumo (acima) e produção (em baixo)

A análise gráfica justifica considerar a existência de interação entre a variável COVID-19 e os meses e dias da semana. O desenvolvimento de um modelo GLM, incluindo estas interações, confirma que são estatisticamente significativos, produzindo um aumento do R^2 , obtendo-se um desempenho muito próximo do modelo ANN (Figura 4.25).

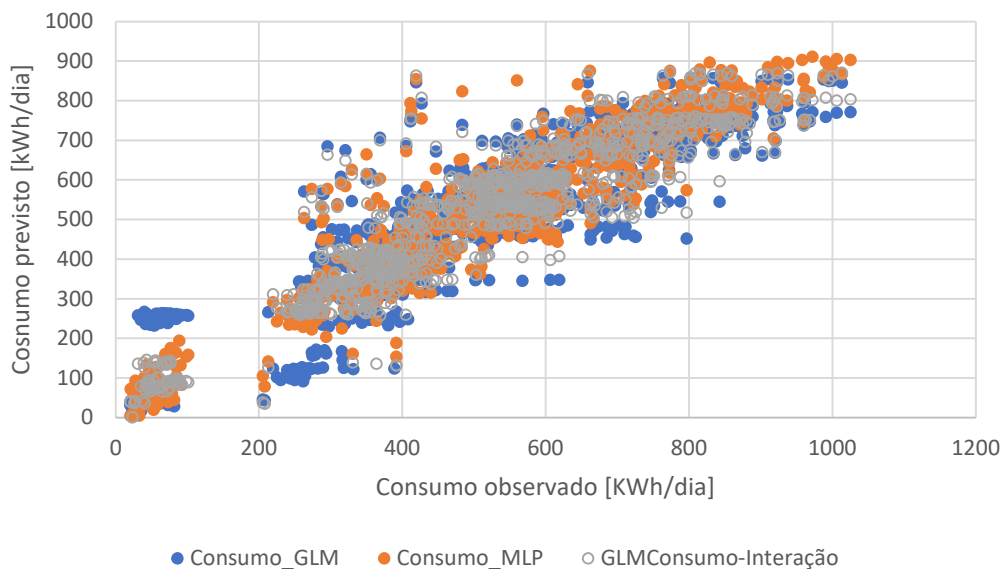


Figura 4.25 - Comparação de desempenho dos modelos de consumo GLM e ANN com o modelo GLM com interação

4.5. Conclusões do Capítulo 4

O Edifício073 é um edifício antigo que se situa no distrito do Porto, possui painéis fotovoltaicos e um estacionamento de grandes dimensões. Comporta num total 101 colaboradores (dados de 2019) no qual 60% são trabalhadores operacionais e os restantes a administração. O horário de funcionamento destes trabalhadores é entre as 8h e as 20h, encerrando ao fim de semana e feriados.

Avaliado a evolução do consumo energético de rede desde 2015 a 2019 verifica-se que o padrão de consumo se manteve muito perto de ser constante, em média 66,7 kWh/m².ano, sendo que o consumo energético mensal variou entre os 12500 kWh e os 30000 kWh. O ano que apresenta maior consumo anual é o de 2015 e o menor ano 2019.

Apesar de se constatar um decréscimo do consumo energético de 2015 para 2019, sendo que a redução média mensal destes 5 anos foi cerca de 20%, se avaliar-se ano a ano nem sempre representou um decréscimo, como são os casos entre os anos de 2015 para 2016 e de 2017 para 2018. A maior redução, em média mensal, do consumo energético foi entre o ano 2016 e 2017 (17,7%) e o maior aumento entre 2017 e 2018 (5,3%).

Uma vez que este edifício dispõe de painéis fotovoltaicos há uma produção de energia que é usada para o consumo energético total (autoconsumo), como se pôde confirmar ainda há uma contribuição muito baixa por parte desta energia renovável, sendo que no máximo consegue-se obter aproximadamente 4% desta contribuição, no ano 2019.

Os meses onde se verifica maior produção de energia é entre maio e agosto, que em média representou praticamente 50% de toda a produção no ano 2019. O que está em consonância com altura de maior radiação solar em Portugal.

Tendo em conta os padrões de consumo em 2019:

- Anualmente verifica-se um consumo energético maior nos meses janeiro, fevereiro, novembro e dezembro, sendo que em janeiro é onde se apresenta um maior consumo;
- Comparativamente aos índices de consumo mensal deste edifício e do índice da amostra constata-se, em praticamente todos os meses, que o índice deste edifício está abaixo do índice da amostra, a não ser nos meses de janeiro e maior;
- Avaliar o índice de consumo diário em cada mês acabou por ser uma avaliação complexa, uma vez que, sabe-se que o estabelecimento encerra aos fins de semana e feriados, criando vários picos de consumo. Mesmo assim ao averiguar a média dos consumos diários aferiu-se maiores consumo nos dias 4, 12, 18 e 22, o que corresponde maioritariamente a dias úteis;
- Analisado mês a mês, verifica-se nitidamente quando se encontra num dia que corresponde ao fim de semana ou feriado, visto que representam picos baixos de consumo energético;
- Feita a avaliação semanal conclui-se mais uma vez a diferença do consumo energético num dia útil de um fim de semana, sendo a diferença de 0.08 kWh/m²;
- Através da evolução horário do consumo energético ao longo de um dia pode-se constatar que:
 - Existe sempre consumo energético independente da hora do dia, mesmo fora do horário do trabalho, que se pode dever à presença de equipamentos de comunicação, mas também à existência de um bar que por sua vez possui equipamentos de refrigeração que têm de estar sempre ligados. Este consumo é aproximadamente 17 kWh;
 - Entre as 12h e as 15h verifica-se uma diminuição do consumo energético, num dia útil, pois corresponde à altura do almoço provocando um decréscimo de 7 kWh face ao pico daquele dia, 37 kWh;
 - Nota-se uma diminuição pouco significativa do consumo energético ao fim de semana no período entre as 21h e as 6h, era esperado um consumo constante, mas esta variação pode-se dever à existência de iluminação exterior que neste período é desligada.

Com o aparecimento da pandemia verifica-se uma alteração significativa do consumo energético em 2020 comparativamente aos outros anos estudados. Este ano atípico teve repercussões na diminuição significativa do consumo energético, localizando-se a maior redução nos meses agostos, setembro e outubro, sendo este último o que apresenta a maior redução, comparativamente com os valores do consumo do ano 2019, em cerca de 90%.

Quando avaliado o consumo energético ao longo de um dia útil ou um dia de fim de semana, constata-se que a partir do mês de março, existem alterações significativas no consumo energético comparativamente ao registado em 2019 correspondendo ao aparecimento da pandemia da COVID-19 em Portugal, e conseqüentemente à implementação de medidas, como foi o caso do teletrabalho que influenciou a descida das necessidades energéticas no edifício.

Este edifício está categorizado com classe B- e recaindo as maiores necessidades energéticas na iluminação com 48%, face às outras necessidades energéticas: aquecimento, arrefecimento e AQS

(dados antes da contribuição da energia renovável). Em segundo lugar aparece a necessidade energética de aquecimento, mas uma vez que a contribuição da energia renovável incide sobre as necessidades de aquecimento e AQS, é a necessidade de arrefecimento que passou a ter maior peso sobre a contribuição no consumo total.

Existe uma grande influência da meteorologia sobre o consumo energético, principalmente a temperatura do ar exterior e a radiação solar, pois ambas condicionam as necessidades energéticas presentes num edifício.

A radiação solar tem implicações nas necessidades energéticas de iluminação, devido ao tempo de luz natural, mas também sobre a produção de energia elétrica pelo painel fotovoltaico. Como se pode constatar ao longo dos anos, quando havia menos radiação solar a produção de energia era menor e que nos meses correspondentes à altura do verão existe maior radiação solar, daí verificar-se maiores autoconsumo nos meses entre maio e agosto.

A nível da temperatura o efeito que provoca sobre o consumo está diretamente ligado às necessidades de aquecimento e arrefecimento, neste caso apurou-se maiores necessidades de aquecimento. Ao comparar a variação da temperatura anual e o consumo energético, desse mesmo ano, conclui-se que quanto maior a temperatura menor o consumo energético e que esta variação se cruza nos meses de abril e setembro, sendo que entre estes meses constata-se grandes temperaturas e baixos consumos energéticos.

Com a realização da análise estatística unidimensional, pela aplicação do teste de Levene, conclui-se que só a produção de energia apresenta uma variação homogênea entre os vários anos, salientando que existem diferenças estatisticamente significativas entre os indicadores de consumo ou produção e as variáveis: ano, meses, dias úteis e COVID-19 e que, as melhores correlações entre as variáveis contínuas representaram coeficientes negativos. Para além disto verificou-se, como era esperado, uma correlação positiva entre os indicadores de produção e a radiação solar/temperatura exterior, visto que quanto maior forem os valores destas variáveis melhor serão as condições climáticas para a produção de energia pelos painéis fotovoltaicos.

Analisando o desempenho dos modelos GLM e ANN, as variáveis independentes pelo modelo rede neuronal explica melhor a variação das distribuições das variáveis, sendo que a que apresenta maior coeficiente de determinação (R^2) é o indicador consumo energético, com 88,9%. Tendo em conta o modelo GLM para o consumo energético diário, a variável que apresenta maior importância relativa é o dia da semana, seguida do mês e, para o caso da produção diária, é o dia da semana seguida da temperatura. Comparando o consumo previsto e o observado dos modelos GLM e ANN conclui-se que as variáveis independentes são altamente correlacionadas e que a variável dependente se aproxima de um comportamento linear.

5. Considerações finais

5.1. Conclusões e aspetos relevantes

A presente dissertação teve como principal objetivo analisar o consumo energético em edifícios de escritórios. No processo exploratório do tema percebeu-se que há uma carência de investigações e de bases de dados que sustentem este tipo de objeto de estudo. Esta tese constitui-se como um contributo científico no incremento do conhecimento neste tema. O crescimento do consumo energético é um facto irrefutável na sociedade atual, sendo que o setor comercial o que mais tem crescido nos últimos tempos.

A parceria com a empresa EDP Distribuição possibilitou a obtenção de dados, com o enfoque do objeto de estudo e, assim, conhecer e avaliar as variáveis que interferem no consumo energético em edifícios de escritórios, assim como perceber a evolução do consumo energético neste tipo de edifícios.

Ao analisar a amostra de 104 edifícios verifica-se que, segundo a divisão pelas NUTS II, mais de um terço dos estabelecimentos situa-se na zona Norte. Considerando a classificação, zoneamento climático (NUTS III), na zona Norte, mais de metade dos edifícios encontram-se classificados no inverno como I2 e no verão como V2, sendo esta última classificação a de praticamente todos os edifícios. Pelo que é espetável um consumo energético mais acentuado nos meses com temperaturas mais baixas.

Conclui-se que em média, a nível distrital, a amostra de 2019, revela um consumo anual de 94,4kWh/m² e 2500 kWh/colaborador, sendo que os distritos que mais contribuem para um maior consumo energético por área útil, de Lisboa, Porto e Coimbra, todavia se a análise for por colaborador, localizam-se nos distritos de Lisboa, Braga e Faro.

Quanto à análise temporal do consumo energético, a anual, constitui-se como menos fiável face a uma base de dados pouco consistente com omissões, o que poderia enviesar o estudo.

Foi a análise mensal a que maior contributo trouxe para avaliar o consumo energético da amostra, possibilitando determinar padrões de consumo, por área e por número de colaboradores; conhecer os meses que apresentam maiores índices de consumo energético, situando-se entre os meses de novembro e abril; e evidenciou ainda que em Portugal se denota uma tendência para maiores necessidades energéticas de aquecimento e iluminação, neste tipo de edifícios.

No estudo efetuado a um estabelecimento específico da amostra foi possível detalhar alguns estudos realizados na análise geral (a da amostra) e introduzir novas variáveis, como a produção de energia, autoconsumo, radiação solar, temperatura exterior e impacto das medidas da pandemia. Constata-se que o comportamento esperado no consumo energético, resultado do estudo da amostra, é igualmente verificável neste caso de estudo (Edifício073), exemplo disso é o acréscimo de consumo energético entre novembro e abril. No intervalo de tempo entre 2015 e 2019 verificou-se um decréscimo de consumo de cerca de 20% em média mensal, muito embora entre estes anos exista uma variabilidade interna, com oscilações tanto de decréscimo como de acréscimo de consumo.

Foi possível concluir que a contribuição de fontes renováveis (PV) é pouco expressiva, constatando-se que de 2017 a 2020 os valores máximos atingidos de 4%, constituindo um indicador relevante se no futuro se pretende obter edifícios sustentáveis.

Neste edifício, o padrão de consumo mensal é muito idêntico ao da amostra, todavia face à disponibilidade de dados foi possível progredir para uma avaliação mais detalhada. No índice de consumo médio diário, a variabilidade é notória consoante se trate de um dia útil ou de um fim de semana/ feriado, recaindo nos dias úteis os índices de consumo com maiores valores.

Relativamente ao consumo horário, o Edifício073, era esperado que ao fim de semana e fora do horário de trabalho o consumo energético fosse constante, independentemente da hora, contudo verifica-se uma diminuição de consumo entre as 6h e as 20 h, esta ocorrência poderá dever-se ao facto de neste período horário ser desligada a iluminação exterior.

Tendo em conta o certificado energético do edifício a maior necessidade energética apresentada e que conseqüentemente contribui para um maior consumo energético é a iluminação e depois com alguma diferença o aquecimento. A captação de energia da fonte renovável possibilitou a melhoria da sua classificação energética. Concluiu-se ainda que quanto maior for a radiação solar maior será a capacidade de o painel fotovoltaico produzir energia, diminuindo assim a necessidade de contribuição do consumo de rede.

A temperatura exterior, tal como a radiação, influencia as necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento. Na análise mensal nos anos de 2015 a 2019, as curvas das variáveis (temperatura exterior e consumo energético) são inversamente proporcionais, a um aumento da temperatura corresponde uma diminuição do consumo energético e vice-versa.

A pandemia da COVID-19 regulou um conjunto de medidas laborais, nomeadamente o teletrabalho e a permanência em casa, que conseqüentemente se repercutiram numa diminuição drástica do consumo energético no local de trabalho. A diminuição do número de colaboradores no edifício não tem uma relação assim tão linear com a diminuição de consumo energético, como era esperado, dado que de agosto a outubro, o número de colaboradores no edifício aumentou e verificou-se uma diminuição ainda mais acentuada do consumo energético.

O programa estatístico SPSS possibilitou uma análise das correlações entre variáveis mais rigorosa. Verificou-se na análise unidimensional que a maior parte das variáveis (localização, classificação energética, zona climática de verão, zona climática de inverno e clima) são estatisticamente significativas, só no caso do consumo por colaborador é que não apresenta uma relação significativa com a zona climática de verão. Foram estudadas as correlações para as novas variáveis do edifício específico e encontradas novas explicações para o consumo energético. Concluindo-se que existem diferenças estatisticamente significativas nas variáveis categóricas (ano, mês, dia da semana e existência de COVID-19), face ao consumo energético ou produção de energia e que grande parte da correlação dos indicadores de consumo ou produção relacionam-se negativamente com as variáveis contínuas (temperatura, radiação solar e precipitação).

Com a análise multidimensional realizada conseguiu-se providenciar modelos que podem ser utilizados para a previsão e revela que algumas variáveis que parecem ter alguma influência no estudo não têm, quando se compara apenas duas variáveis está-se a assumir que tudo o resto é igual e isso é falso, pelo que as conclusões que se tiram podem estar incorretas.

Comprova-se que as variáveis contínuas como a área útil, número de colaboradores, tempo, radiação solar, temperatura exterior, precipitação e o aparecimento da pandemia afetam o consumo energético e indicadores de consumo, nos edifícios de escritórios. O trabalho desenvolvido com base na análise da correlação entre as variáveis, possibilita apontar para um conjunto de explicações, na gestão sustentada do consumo energético.

5.2. Desenvolvimentos futuros e limitações

Este estudo indica que do ponto de vista empresarial é extremamente importante a existência de uma base de dados devidamente organizada, exaustiva e com uma plataforma de registo eficiente, para que se obtenha uma melhoria na gestão dos dados e tomada de decisões. Por outro lado, acresce o facto de se poder incorrer em deduções falseadas, pela inconsistência de dados disponíveis dos edifícios o que pode levar a soluções pouco rigorosas.

O aparecimento da pandemia COVID-19 em Portugal, no ano 2020, constituiu-se como fator influenciador do consumo energético em escritórios, representando para as empresas uma redução do consumo energético, dado o número de colaboradores em permanência nos edifícios. Muito embora esta análise só comporte dados até outubro de 2020, entende-se que seria interessante dar continuidade para os meses que ainda se estão a viver.

Após concluído este estudo aponta-se como pertinentes novas variáveis de análise para estudos futuros:

- A taxa de ocupação e a tipologia do trabalhador, nem todos os colaboradores exercem trabalhos administrativos, assim a informação que se tem do total de colaboradores poderá não corresponder à influência real do consumo energético do edifício face ao número de colaboradores.
- A avaliação da contribuição de fontes renováveis numa amostra.
- A certificação energética da amostra, de forma a estudar qual a influência da classe energética dos edifícios da amostra face ao consumo energético dos edifícios.

Constitui-se como uma limitação deste estudo, o aparecimento da pandemia impossibilitando a visita ao edifício específico que tornaria mais fácil a interpretação e justificação de algumas questões que foram surgindo.

Referências bibliográficas

Antoniadou, P., Kyriaki, E., Manoloudis, A. e Agis, M. (2017). Evaluation of Thermal Sensation in Office Buildings : A case study in the Mediterranean. *Procedia Environmental Sciences*, vol. 38, pp 28–35. doi :10.1016/j.proenv.2017.03.071.

APREN (2019) APREN - Produção. Disponível em: <https://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/producao> (Acedido: 15 de novembro de 2020).

Carletti, C., Cellai, G., Pierangioli, L., Sciarpi, F. e Secchi, S. (2017). The influence of daylighting in buildings with parameters nZEB: Application to the case study for an office in Tuscany Mediterranean area. *Energy Procedia*, vol. 140, pp 339–350. doi: 10.1016/j.egypro.2017.11.147.

Castaño-Rosa, R., Rodríguez-Jiménez, C. E. e Rubio-Bellido, C. (2018). Adaptive Thermal Comfort Potential in Mediterranean Office Buildings: A Case Study of Torre Sevilla. *Sustainability (Switzerland)*, vol. 10, nº 9. doi: 10.3390/su10093091.

Commision, European (2018) Energy use in buildings | Energy. Disponível em: https://ec.europa.eu/energy/eu-buildings-factsheets-topics-tree/energy-use-buildings_en (Acedido: 15 de novembro de 2020).

European Parliament, C. of the E. U. (2019) Statistics | Eurostat. Disponível em: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/NRG_D_HHQ__custom_197730/default/table?lang=en (Acedido: 15 de novembro de 2020).

Eurostat (2020) Eurostat - Data Explorer. Disponível em: https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_bal_c&lang=en (Acedido: 15 de novembro de 2020).

Friess, W. A., Rakhshan, K. e Davis, M. P. (2017). A global survey of adverse energetic effects of increased wall insulation in office buildings : degree day and climate zone indicators, pp. 97–116. doi: 10.1007/s12053-016-9441-z.

Giouri, E. D., Tenpierik, M. e Turrin, M. (2020). Energy & Buildings Zero energy potential of a high-rise office building in a Mediterranean climate : Using multi-objective optimization to understand the impact of design decisions towards zero-energy high-rise buildings, vol. 209. doi: 10.1016/j.enbuild.2019.109666.

Guerra, M. D., Ribeiro, R. e Rodrigues, S. (2019) Produção e consumo de energia: Relatório do Estado

do Ambiente. Disponível em: <https://rea.apambiente.pt/content/produção-e-consumo-de-energia> (Acedido: 10 de dezembro de 2020).

Krstić-Furundžić, A., Vujošević, M. e Petrovski, A. (2019). Energy and environmental performance of the office building facade scenarios. *Energy*, vol. 183, pp. 437–447. doi: 10.1016/j.energy.2019.05.231.

Liu, T., Tan, Z., Xu, C., Chen, H. e Li, Z. (2020). Energy & Buildings Study on deep reinforcement learning techniques for building energy consumption forecasting. *Energy & Buildings*, vol. 208, pp. 109675. doi: 10.1016/j.enbuild.2019.109675.

Meng, Y., Li, T., Liu, G., Xu, S. e Ji, T. (2020). Real-time dynamic estimation of occupancy load and an air-conditioning predictive control method based on image information fusion. *Building and Environment*, vol. 173, pp. 106741. doi: 10.1016/j.buildenv.2020.106741.

Moodular Wood Building Systems (2020) NZEB – Eficiência energética dos novos edifícios obrigatória a partir de 2021 | Moodular. Disponível em: <http://moodular.pt/blog/nzeb-eficiencia-energetica-dos-novos-edificios-obrigatoria-a-partir-de-2021/> (Acedido: 15 de novembro de 2020).

Naspi, F., Arnesano, M., Zampetti, L., Stazi, F., Revel, G. M. e D'Orazio, M. (2018). Experimental study on occupants' interaction with windows and lights in Mediterranean offices during the non-heating season. *Building and Environment*, vol. 127, pp. 221–238. doi: 10.1016/j.buildenv.2017.11.009.

Peel, M. C., Finlayson, B. L., and McMahon, T. A. (University of Melbourne) (2016) File:World Köppen Classification (without labels).svg - Wikimedia Commons. Disponível em: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:World_Köppen_Classification_\(without_labels\).svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:World_Köppen_Classification_(without_labels).svg) (Acedido: 15 de novembro de 2020).

Saridar, S. e Elkadi, H. (2002). The impact of applying recent facade technology on daylighting performance in buildings in eastern Mediterranean, vol. 37, pp. 1205–1212.

SNIRH (2020) SNIRH - Dados de Base. Disponível em: <https://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=2&idItem=1&objCover=920123704&objSite=920685506> (Acedido: 15 de novembro de 2020).

U.S. Energy Information (2020) Use of energy in explained - U.S. Energy Information Administration (EIA). Disponível em: <https://www.eia.gov/energyexplained/use-of-energy/> (Acedido: 15 de Novembro de 2020).

Vance, L., Eason, T. e Cabezas, H. (2015). Energy sustainability: Consumption, efficiency, and environmental impact. *Clean Technologies and Environmental Policy*, vol. 17, nº 7, pp. 1781–1792.

doi: 10.1007/s10098-015-0932-y.

Wang, W. e Arya, C. (2020). Effect of high-performance facades on heating/cooling loads in London, UK office buildings. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Engineering Sustainability*, vol. 173, n° 3, pp. 135–150. doi: 10.1680/jensu.19.00002.

Zhang, T., Liu, Y., Rao, Y., Li, X. e Zhao, Q. (2020). Optimal design of building environment with hybrid genetic algorithm, artificial neural network, multivariate regression analysis and fuzzy logic controller. *Building and Environment*, vol. 175, pp. 106810. doi: 10.1016/j.buildenv.2020.106810.

Anexos

Anexo A – Tabelas com informação do consumo, produção, autoconsumo e consumo de rede mensal, nos anos 2019, 2018, 2017 e 2016

Tabela A.1 - Informações do consumo energético mensal entre 2019 e 2016

Mês \ Ano	Faturados 2019	2019					
	Consumo [kWh]	Consumo [kWh]	Consumo/A _{útil} [kWh/m ²]	Consumo/colab. [kWh/colab.]	Produção [kWh]	Autoconsumo [kWh]	Consumo Rede [kWh]
janeiro	20787,00	22722,40	7,11	224,97	506,80	506,80	22215,60
fevereiro	21954,00	18683,10	5,84	184,98	565,50	565,50	18117,60
março	15767,00	16499,80	5,16	163,36	566,90	566,90	15932,90
abril	16012,00	15531,00	4,86	153,77	611,00	611,00	14920,00
maio	13524,00	15731,70	4,92	155,76	783,30	783,30	14948,40
junho	14256,00	12996,80	4,07	128,68	571,10	571,10	12425,70
julho	13611,00	15217,00	4,76	150,66	844,80	844,80	14372,20
agosto	13646,00	14273,30	4,46	141,32	773,40	773,40	13499,90
setembro	15165,00	14404,60	4,51	142,62	561,80	561,80	13842,80
outubro	12892,00	15275,70	4,78	151,24	357,90	357,90	14917,80
novembro	16336,00	17403,70	5,44	172,31	235,10	235,10	17168,60
dezembro	18776,00	19478,50	6,09	192,86	256,70	256,70	19221,80

Mês \ Ano	2018					
	Consumo [kWh]	Consumo/A _{útil} [kWh/m ²]	Consumo/colab. [kWh/colab.]	Produção [kWh]	Autoconsumo [kWh]	Consumo Rede [kWh]
janeiro	23798,20	7,44	235,63	288,50	288,50	23509,70
fevereiro	21240,75	6,64	210,30	334,70	334,70	20906,05
março	22953,60	7,18	227,26	409,60	409,60	22544,00
abril	18064,90	5,65	178,86	497,40	497,40	17567,50
maio	14674,00	4,59	145,29	615,30	615,30	14058,70
junho	15279,45	4,78	151,28	747,50	747,50	14531,95
julho	15717,90	4,92	155,62	679,30	679,30	15038,60
agosto	17336,20	5,42	171,65	1107,90	1107,90	16228,30
setembro	15229,90	4,76	150,79	806,60	806,60	14423,30
outubro	15114,40	4,73	149,65	690,10	690,10	14424,30
novembro	19432,80	6,08	192,40	416,80	416,80	19016,00
dezembro	20418,30	6,39	202,16	418,75	418,75	19999,55

Mês \ Ano	2017						2016
	Consumo [kWh]	Consumo/A _{útil} [kWh/m ²]	Consumo/colab. [kWh/colab.]	Produção [kWh]	Autoconsumo [kWh]	Consumo Rede [kWh]	Consumo [kWh]
janeiro	-	-	-	-	-	-	25952,50
fevereiro	-	-	-	-	-	-	26378,75
março	2052,13	0,64	20,32	2,33	-237,07	2289,20	20113,25
abril	845,20	0,26	8,37	0,90	0,90	844,30	20113,25
maio	15820,60	4,95	156,64	67,60	67,60	15753,00	17897,25
junho	15619,40	4,89	154,65	164,30	164,30	15455,10	15619,50
julho	16844,90	5,27	166,78	898,60	898,60	15946,30	17914,00
agosto	16276,30	5,09	161,15	831,90	831,90	15444,40	17749,75
setembro	14961,60	4,68	148,13	627,90	627,90	14333,70	16465,00
outubro	15351,30	4,80	151,99	555,50	555,50	14795,80	14596,00
novembro	15711,50	4,91	155,56	325,00	325,00	15386,50	7213*
dezembro	19589,10	6,13	193,95	257,90	257,90	19331,20	1700*

*Há falta de dados diários

Anexo B – Variação do consumo energético numa semana de janeiro

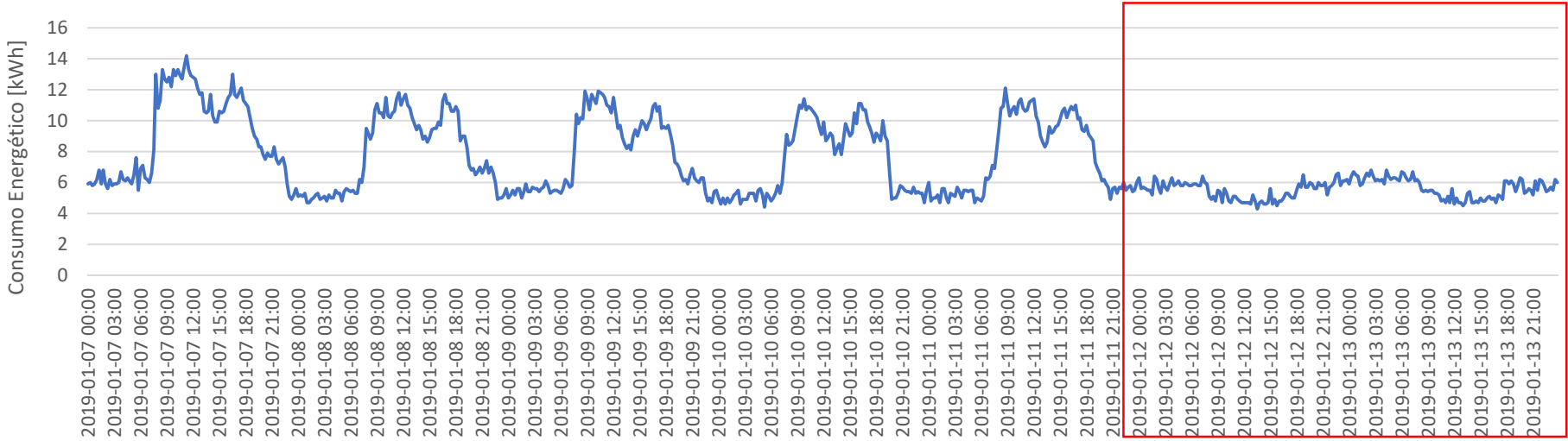


Figura B.1 - Variação do consumo energético de uma semana típica de trabalho, entre 7 e 13 de janeiro

Anexo C – Índices de consumo diários do edifício073

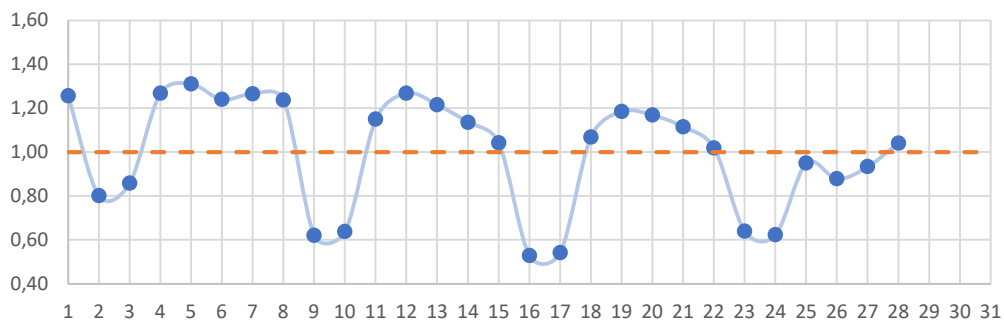


Figura C.2 - Índice de consumo diário no mês de fevereiro

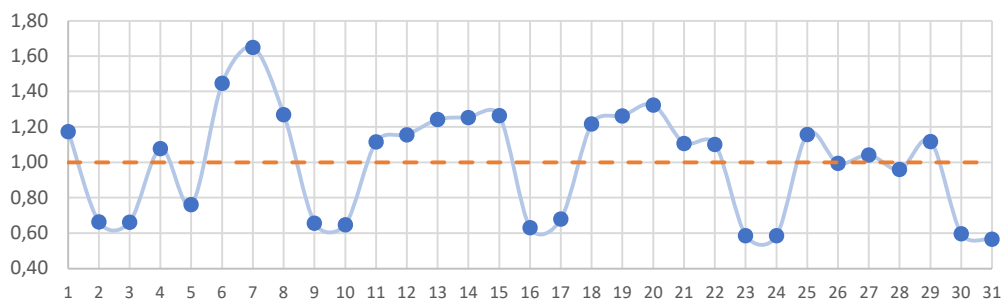


Figura C.3 - Índice de consumo diário no mês de março

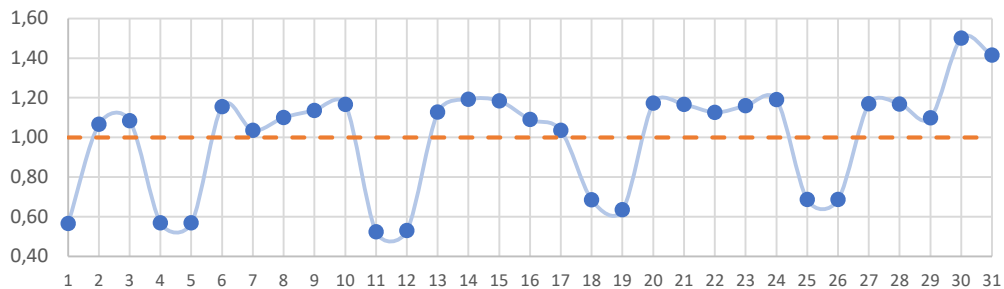


Figura C.4 - Índice de consumo diário no mês de maio

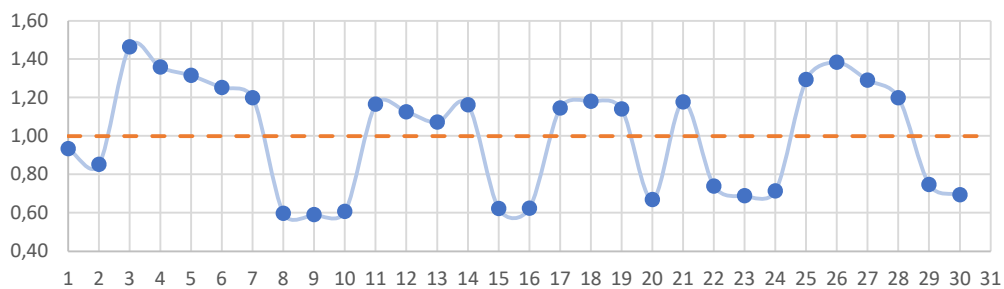


Figura C.5 - Índice de consumo diário no mês de junho

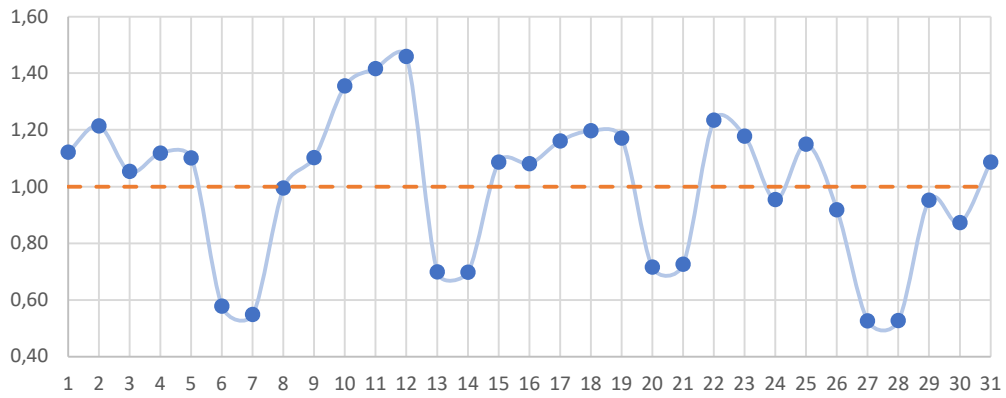


Figura C.6 - Índice de consumo diário no mês de julho

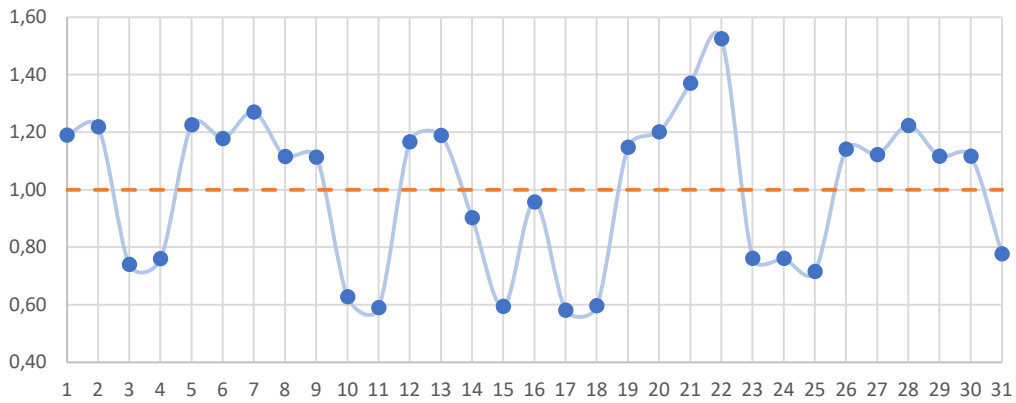


Figura C.7 - Índice de consumo diário no mês de agosto

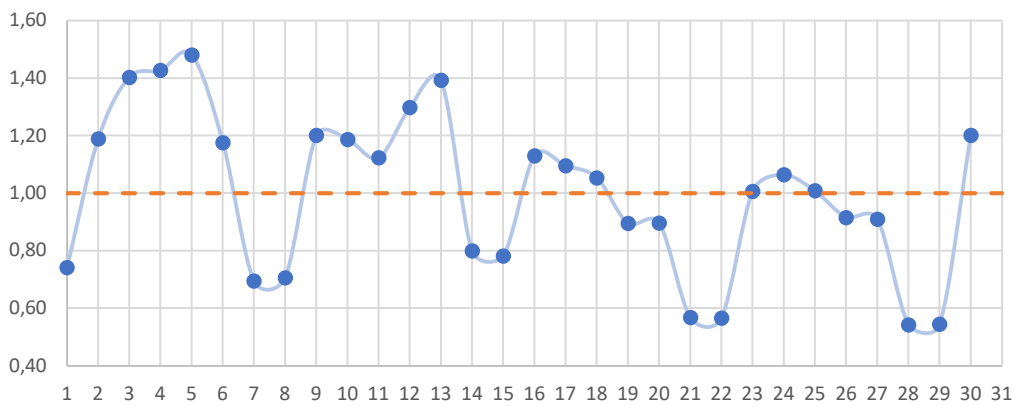


Figura C.8 - Índice de consumo diário no mês de setembro

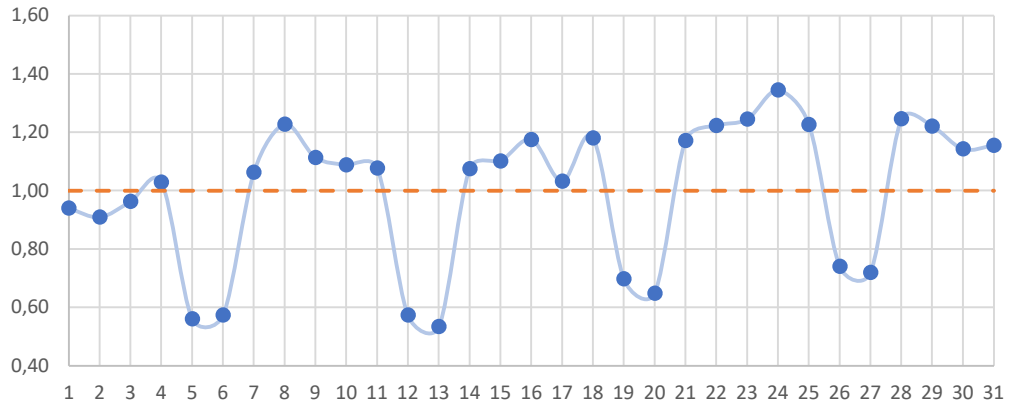


Figura C.9 - Índice de consumo diário no mês de outubro

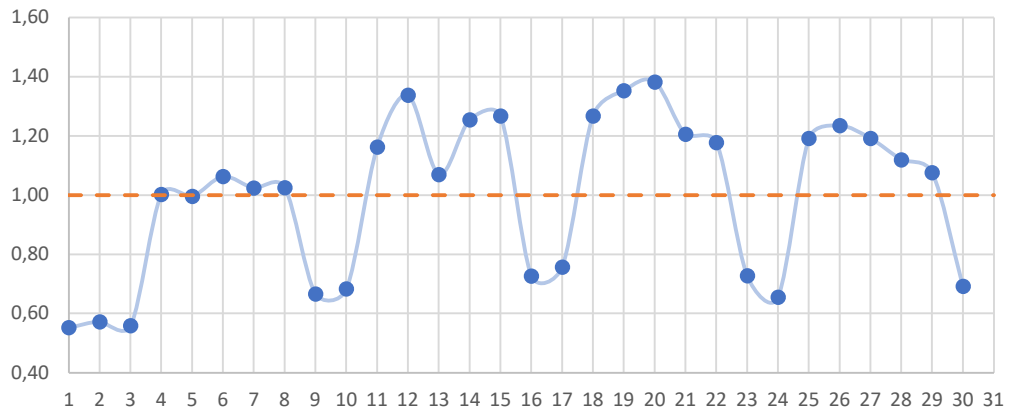


Figura C.10 - Índice de consumo diário no mês de novembro

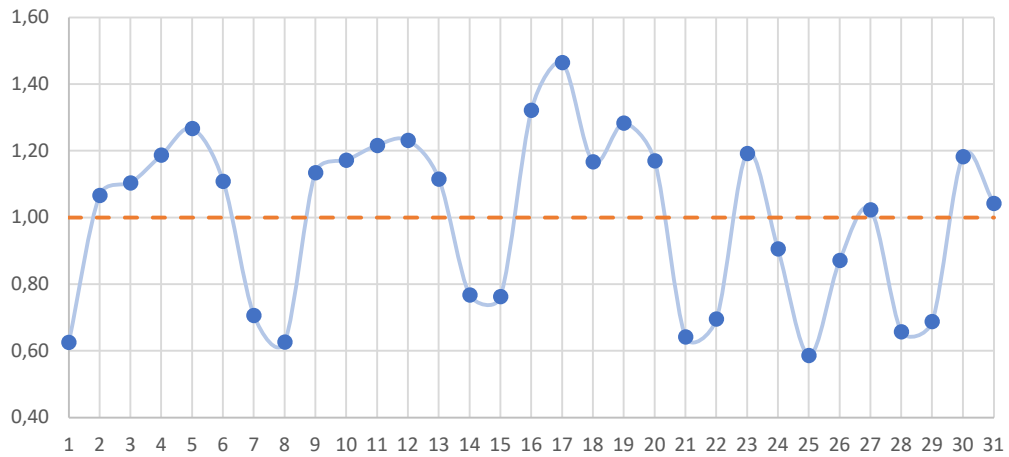


Figura C.11 - Índice de consumo diário no mês de dezembro

Anexo D – Comparação do consumo energético médio horário em cada mês dos anos 2020 e 2019, mas ao fim de semana

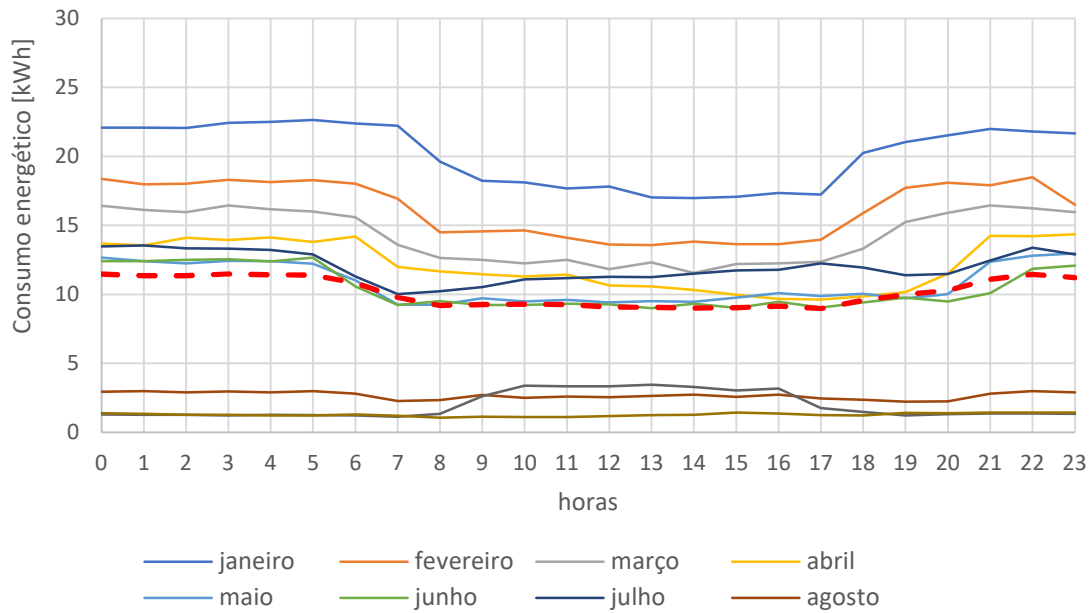


Figura D.12 - Consumo energético médio horário, em cada mês do 2020, num dia de fim de semana

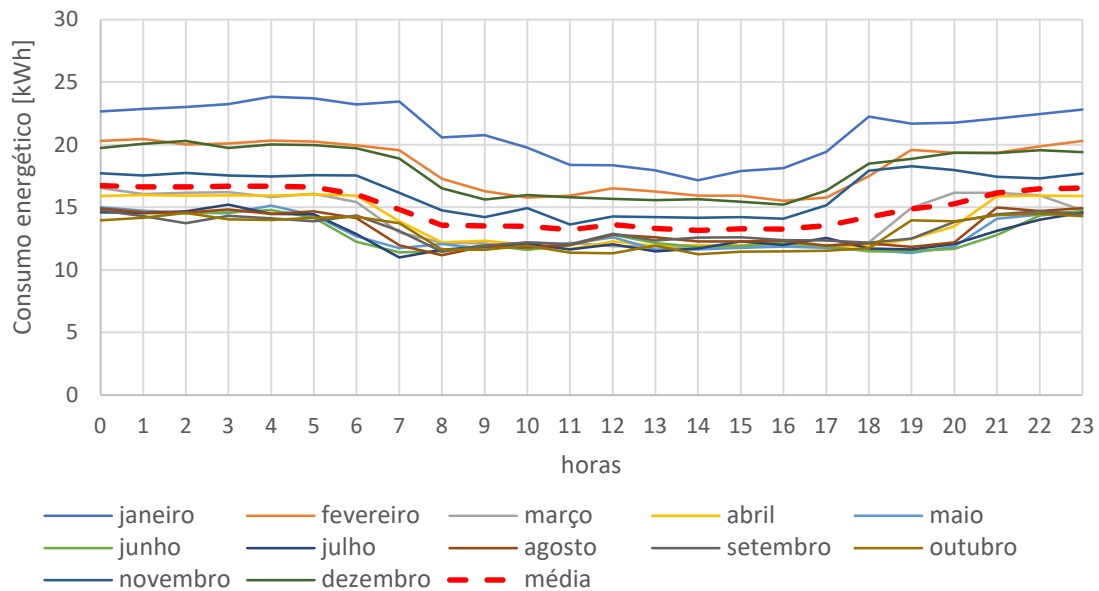


Figura D.13 - Consumo energético médio horário, em cada mês do 2019, num dia de fim de semana