

**Caracterização e modelação do consumo elétrico em  
edifícios de serviços**

O caso de estudo do edifício NOS

**Nuno Ricardo Martins Andrade**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

**Engenharia Mecânica**

Orientadores: Dr<sup>a</sup> Diana Pereira Neves

Prof. Carlos Augusto Santos Silva

**Júri**

Presidente: Prof. Edgar Caetano Fernandes

Orientadora: Dr<sup>a</sup> Diana Pereira Neves

Vogal: Prof. Paulo José da Costa Branco

**Novembro 2017**



## **Agradecimentos**

A realização desta dissertação só foi possível graças à ajuda e suporte de várias pessoas e entidades, às quais gostaria de manifestar os meus agradecimentos

A toda a minha família, mas em especial aos meus pais que sempre fizeram com que eu não desistisse. Obrigado, pela educação, paciência e dedicação. Obrigado pelo apoio, confiança, calma, compreensão e força transmitida ao longo de toda a vida académica.

À Raquel, irmã, pelo apoio e paciência, sendo uma parte importante na realização deste trabalho.

À Solange, companheira no verdadeiro sentido da palavra, fazendo deste trabalho também seu.

Agradeço à GALP Energia, que me deu a oportunidade de integrar o projeto GALP 21, que me enriqueceu muito profissionalmente e pessoalmente.

Agradeço à NOS Comunicações, a todos os colaboradores que me receberam e integraram tão bem na equipa de trabalho. Um agradecimento especial ao Eng.º David Salgueiro pela sua disponibilidade e apoio.

Aos meus orientadores, o Professor Carlos Silva e em especial a Doutora Diana Neves por toda a confiança, pelo apoio, pelas aprendizagens que me proporcionaram, permitindo que eu encerrasse este ciclo com sucesso.

Por fim, aos meus amigos e colegas por todo o apoio, incentivo, espírito de ajuda e amizade ao longo deste percurso.

## Resumo

Os conceitos de sustentabilidade e eficiência energética assumem, cada vez mais, uma importância fulcral ao nível económico e social, impondo-se a necessidade de reduzir o consumo de energia em todos os setores económicos. O setor dos serviços, maioritariamente representado pelo setor dos edifícios de serviço, é responsável por cerca de 13% do consumo de energia final tanto na Europa como em Portugal.

As auditorias energéticas são a base para definir estratégias de eficiência energética e de medidas de otimização energética em edifícios, sendo a sua maior dificuldade a obtenção de dados dos equipamentos ou da ocupação do edifício.

Pretende-se com este trabalho identificar um indicador de intensidade energética por unidade de área e por posto de trabalho, de modo a definir de forma sistemática a energia consumida por tipo de espaço normalizado, num edifício de serviços. Assim, através deste indicador, é possível estimar o consumo energético de um edifício de serviços ainda na sua fase de projeto.

O desenvolvimento, validação e aplicação do modelo teve como caso de estudo dois edifícios da NOS: a sede e o edifício América, ambos localizados em Lisboa.

Inicialmente verificaram-se erros, no entanto após calibrações, nas quais se parametrizaram os consumos dos equipamentos e ajustaram a ocupação teórica com a ocupação real do edifício, revelou-se um modelo altamente fiável. Verificou-se ainda, quais os espaços que por área ou posto de trabalho consomem mais.

Por fim, o modelo foi aplicado ao edifício que a NOS irá construir num futuro próximo estando ainda em fase de projeto.

Palavras-Chave: Eficiência energética, Auditoria energética, Indicador energético, Edifício de serviços



## **Abstract**

Since sustainability and energy efficiency are becoming increasingly significant as economic and social concepts, it is important, more than ever, to reduce energy consumption in every economic sector.

The service sector, mainly represented by the service building sector, is responsible for about 13% of the final energy consumption in Europe as in Portugal.

Energy audits are the foundational factor to establish a good set of measures that allow energy optimization in this kind of buildings. The main obstacle to this procedure is to obtain all the data that is need, set as the occupancy and the equipment details.

This work focuses specifically on identifying an indicator of energetic intensity by area and occupant, to systematically define the consumed energy by standard type of working area on a service building. For that, an indicator of energy intensity was created which allows to model the energy demand of a service building in its design phase.

For this work, the study models were two buildings which belong to NOS, the head office (placed in Campo Grande) and “Edifício América”.

At first, the developed model had a significant percentage of error. However, after calibration, which consisted in adjusting the equipment consumption and estimate the theoric occupancy with the real occupancy of the building, the model revealed to be highly reliable. With this study is was possible to recognize which spaces consume more either by area or by occupancy,

Finally, the model was applied to the future NOS building, which is yet in project phase.

Key words: Energy Efficiency, Energy Audit, Energy Indicator, Services Building



## Índice

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	iv
Abstract.....	vi
Índice de figuras .....	x
Índice de tabelas .....	xii
Índice de ilustrações .....	xiii
Simbologia.....	xiv
Acrónimos.....	xv
1. Introdução .....	1
1.1. Motivação.....	1
1.2. Objetivo .....	5
1.3. Organização do documento.....	6
2. Revisão de Literatura .....	7
2.1. Métodos de avaliação de consumo energético em edifícios .....	7
2.1.1. Auditorias energéticas.....	7
2.1.2. Benchmarking.....	7
2.1.3. Modelos de previsão .....	8
2.1.4. Modelos Top-Down.....	8
2.1.5. Modelos Bottom-Up.....	9
2.1.5.1. Modelo de Richardson et al. [20].....	10
2.1.5.2. Modelo de Buso et al. [15].....	12
3. Metodologia .....	14
3.1. Criação do modelo .....	14
3.2. Validação.....	18
3.3. Projeção para o novo edifício .....	18
4. Caso de estudo .....	20
4.1. Caracterização dos edifícios.....	20
4.1.1. Edifício do Campo Grande.....	20
4.1.2. Edifício América.....	21
4.2. Caracterização de espaços.....	21



4.3.	Perfis de ocupação.....	26
4.4.	Perfil de Consumo .....	27
4.5.	Gestão Técnica Centralizada.....	28
4.6.	Consumos elétricos.....	28
5.	Resultados e discussão .....	32
5.1.	Cálculo do indicador energético .....	32
5.2.	Validação do modelo.....	38
5.2.1.	Validação.....	38
5.2.1.1.	Piso 4 Nascente do Campo Grande.....	39
5.2.1.2.	Sala Lima do edifício América .....	40
5.2.1.3.	Cantina do Campo Grande .....	41
5.2.2.	Calibração.....	42
5.2.2.1.	Piso 4 Nascente do Campo Grande.....	42
5.2.2.2.	Sala Lima do edifício América .....	44
5.2.2.3.	Cantina do Campo Grande .....	45
5.2.2.4.	Análise geral da calibração.....	47
5.3.	Projeção elétrica para o novo edifício .....	51
6.	Conclusões e trabalhos futuros .....	54
6.1.	Contribuições do trabalho realizado .....	54
6.2.	Perspetivas de desenvolvimentos futuros .....	54

## Índice de figuras

Figura 1 - Consumo mundial de energia primária (Tep) [4] .....	2
Figura 2 - Consumo de energia final total e por setores na Europa 28 (tep) [6].....	3
Figura 3 - Evolução do Consumo de Energia Final total e por setor de atividade em Portugal (tep) [6].....	4
Figura 4 - Comparação do consumo total de energia por setor de atividade entre 2006 e 2015 [7] .....	5
Figura 5 - Classificação proposta dos modelos proposta por Grandjean et al [9].....	8
Figura 6 - Metodologia da presente dissertação.....	14
Figura 7 - Recolha de dados do modelo .....	18
Figura 8 - Percentagem de ocupação dos espaços representativo nos dias úteis.....	27
Figura 9 - Perfil de consumo elétrico em percentagem da cantina num dia útil [29]Error! Bookmark not defined.	
Figura 10 - Consumo elétrico do piso 4 Nascente do Campo Grande do dia 10 ao dia 14 de maio de 2017 .....	28
Figura 11 - Consumo elétrico da Cantina do Campo Grande do dia 11 ao dia 15 de maio de 2017 .....	29
Figura 12 - Consumo elétrico (kWh) de Verão vs Consumo de Inverno no edifício do Campo Grande .....	30
Figura 13 - Consumo elétrico (kWh) de Verão vs Consumo de Inverno no edifício América .....	30
Figura 14 - Consumo elétrico (kWh) do Piso 4 Nascente vs Piso 4 Poente do Campo Grande .....	31
Figura 15 - Consumo teórico em kWh do Open Space.....	35
Figura 16 - Consumo teórico em kWh do Call Center .....	35
Figura 17 - Consumo teórico da sala de reunião em kWh num dia útil .....	35
Figura 18 - Consumo teórico da Facility Corner em kWh num dia útil.....	35
Figura 19 - Consumo teórico da copa em kWh num dia útil .....	36
Figura 20 - Consumo teórico do Gabinete em kWh num dia útil.....	36
Figura 21 - Consumo teórico do Polo Técnico em kWh num dia útil.....	36
Figura 22 - Consumo teórico da copa em kWh num dia não útil .....	36
Figura 23 - Consumo teórico da cantina em kWh num dia útil .....	37
Figura 24 - Indicador energético por área dos tipos de espaços representativos em kWh/m2.....	37
Figura 25 - Indicador energético por capacidade de ocupação dos tipos de espaço representativos em kWh/Ocupação .....	38
Figura 26 - Consumo real vs consumo teórico do Piso 4 Nascente do Campo Grande (kWh) .....	39

Figura 27 - Percentagem de erro horária do Piso 4 Nascente do Campo Grande .....	39
Figura 28 - Consumo real vs consumo teórico da sala Lima do edifício América .....	40
Figura 29 - Percentagem de erro horária da Sala Lima do edifício América.....	40
Figura 30 - Consumo real vs consumo teórico da cantina do edifício do Campo Grande (kWh) .....	41
Figura 31 - Percentagem de erro horária da Cantina do Campo Grande .....	41
Figura 32 - Consumo real vs consumo teórico do Piso 4 Nascente do Campo Grande após calibração .....	43
Figura 33 - Percentagem de erro por hora do Piso 4 Nascente do Campo Grande após calibração .....	44
Figura 34 - Consumo real vs consumo teórico da sala Lima do América após calibração.....	44
Figura 35 - Percentagem de erro na Sala lima do América após calibração.....	45
Figura 36 - Consumo real vs consumo teórico da cantina do Campo Grande após calibração .....	46
Figura 37 - Percentagem de erro da cantina do Campo Grande .....	46
Figura 38 - Percentagem de erro diária do modelo antes e depois da calibração .....	47
Figura 39 - Indicador energético por área dos tipos de espaços representativos em kWh/m2.....	47
Figura 40 - Indicador energético por área dos tipos de espaços representativos em percentagem.....	48
Figura 41 - Indicador energético por posto e trabalho dos tipos de espaços representativos em kWh/Ocupação .....	48
Figura 42 - Indicador energético por posto de trabalho dos tipos de espaços representativos em percentagem	49
Figura 43 - Consumo diário dos vários tipos de espaço representativos no novo edifício da NOS em percentagem .....	53

## Índice de tabelas

Tabela 1 - Perfil de ocupação do RECS para escritórios. [21] .....	16
Tabela 2 - Dados referentes ao Piso 4 Nascente .....	23
Tabela 3 - Dados referentes à Sala Call Center .....	24
Tabela 4 - Dados referentes à Cantina do Campo Grande.....	25
Tabela 5 - Consumo horário nos vários espaços representativos presentes no Piso 4 Nascente .....	32
Tabela 6 - Consumo horário na Sala Lima do América .....	33
Tabela 7 - Consumo horário na Cantina do Campo Grande .....	34
Tabela 8 - Áreas dos vários espaços representativos do edifício do Campo Grande (m <sup>2</sup> ).....	50
Tabela 9 - Consumo do edifício do Campo Grande (kWh) .....	51
Tabela 10 - Áreas dos espaços representativos no novo edifício (m <sup>2</sup> ) .....	51
Tabela 11 - Consumo do novo edifício num dia útil em kWh.....	52

## Índice de ilustrações

Ilustração 1 - Edifício do Campo Grande.....	20
Ilustração 2 - Edifício América.....	21
Ilustração 3 - Planta do Piso 4 Nascente do Campo Grande.....	22
Ilustração 4 - Planta da cantina do Campo Grande.....	22
Ilustração 5 - Planta da sala Lima do edifício América.....	22
Ilustração 6 - Esquema de cores do indicador por área nos espaços representativos.....	50

## Simbologia

<b>A</b>	Área (m <sup>2</sup> )
<b>Δt</b>	Tempo de consumo elétrico efetivo, calculado em percentagem de utilização máxima numa hora, ou seja, considerando exploração máxima dessa máquina numa hora (%)
<b>%C</b>	Percentagem de consumo (%)
<b>Ch<sub>real</sub></b>	Consumo horário real (kWh)
<b>Ch<sub>teórico</sub></b>	Consumo horário teórico (kWh)
<b>E<sub>eq</sub></b>	Consumo horário teórico por tipo de equipamento (kWh)
<b>E<sub>es</sub></b>	Consumo horário teórico por tipo de espaço considerando ocupação máxima (kWh)
<b>E<sub>h</sub></b>	Erro horário (%)
<b>E<sub>td</sub></b>	Consumo diário teórico (kWh)
<b>E<sub>fixo</sub></b>	Energia consumida teórica numa hora que não depende da ocupação (kWh)
<b>E<sub>th</sub></b>	Consumo horário teórico (kWh)
<b>E<sub>tvar</sub></b>	Energia consumida teórica numa hora que depende da ocupação (kWh)
<b>I<sub>a</sub></b>	Indicador energético diário por área (kWh/m <sup>2</sup> )
<b>I<sub>ocup</sub></b>	Indicador energético diário por capacidade de ocupação do espaço (kWh/Ocupação)
<b>Ocup</b>	Capacidade de ocupação
<b>%Ocup</b>	Percentagem de ocupação (%)
<b>P</b>	Potência (kW)

## Acrónimos

<b>AVAC</b>	Aquecimento, ventilação e ar condicionado
<b>GTC</b>	Gestão Técnica Centralizada
<b>RSECE</b>	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
<b>RECS</b>	Regulamento de Desempenho dos Edifícios de Comércio e Serviços
<b>SCE</b>	Sistema de Certificação Energética
<b>UE</b>	União Europeia
<b>UTA</b>	Unidade de tratamento de ar
<b>VC</b>	Ventiloconvector





# 1. Introdução

## 1.1. Motivação

A energia tem uma grande importância no crescimento económico, progresso e desenvolvimento de uma sociedade, bem como na erradicação da pobreza e na segurança de abastecimento de uma nação. O acesso e fornecimento ininterrupto de energia é por isso um requisito vital para todos os países desenvolvidos, sendo o consumo de energia *per capita* um dos índices de medição de riqueza de um país [1].

O crescimento económico futuro depende fortemente da disponibilidade de energia a longo prazo de fontes acessíveis, económicas e ecológicas, de modo a travar as alterações climáticas.

A procura de energia primária tem vindo a aumentar em todo o mundo (figura 1), e estima-se que a tendência de crescimento irá acentuar-se, considerando a ascensão de novas potências económicas (os designados BRICS – Brasil, Rússia, Índia, China, África do Sul) [2].

O crescente uso mundial de energia já aumentou a preocupação com as dificuldades de abastecimento, o esgotamento dos recursos energéticos e os impactos ambientais pesados (deterioração da camada de ozono, aquecimento global, mudanças climáticas, entre outros). A contribuição global dos edifícios para o consumo de energia, tanto residencial como comercial, tem vindo a aumentar, atingindo números entre 20% e 40% nos países desenvolvidos, tendo ultrapassado os demais setores principais: industrial e de transporte [3].

A maior parte dos países depende dos combustíveis fósseis (petróleo, gás e carvão) para responder às suas necessidades básicas de energia. Estes combustíveis são uma preocupação para o mundo atual e futuro, pois não são renováveis, são poluentes e são responsáveis pelo aquecimento global, devido à queima desses combustíveis [2].

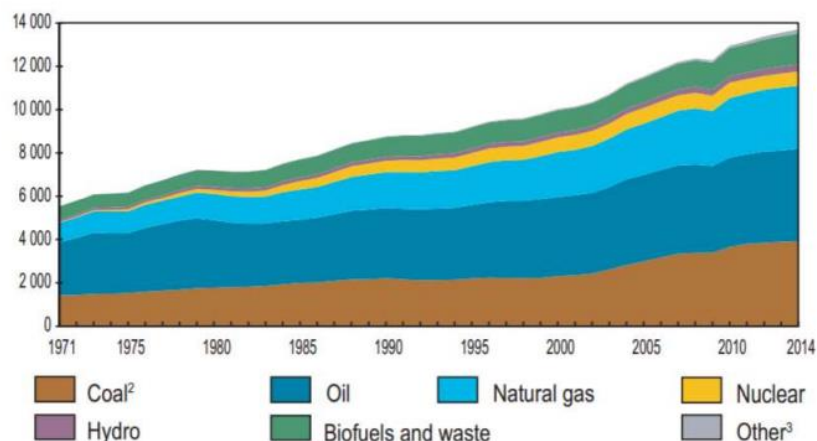


Figura 1 - Consumo mundial de energia primária (Tep) [4]

Na União Europeia (UE), o recurso a energias de origem fóssil, é um problema que há muito tempo requer uma solução. Apesar dos níveis de dependência energética dos combustíveis de origem fóssil terem vindo a diminuir levemente, em 2015, a UE-28 tinha uma dependência energética na ordem dos 72,5% [5].

A eficiência energética está por isso na ordem do dia da UE, e com isso surgiu a Estratégia Europa 2020 com três prioridades: crescimento sustentável, inteligente e inclusivo [5]. Nesta estratégia, um dos objetivos é precisamente a sustentabilidade energética. Este consiste na prática em:

- Reduzir as emissões de gases com efeitos de estufa em 20% relativamente aos níveis de 1990;
- Aumentar para 20% a percentagem de energias renováveis no consumo energético final;
- Obter um aumento de 20% em eficiência energética.

Na Figura 2, verifica-se um constante aumento de consumo de energia final entre 1990 e 2005. No entanto, nota-se uma diminuição e estabilização do consumo energético a partir de 2005.

Atualmente já se encontra em vigor o Pacto Clima 2030, semelhante à Estratégia Europa 2020, onde as metas são alteradas, sendo agora 40%, 27% e 27%.

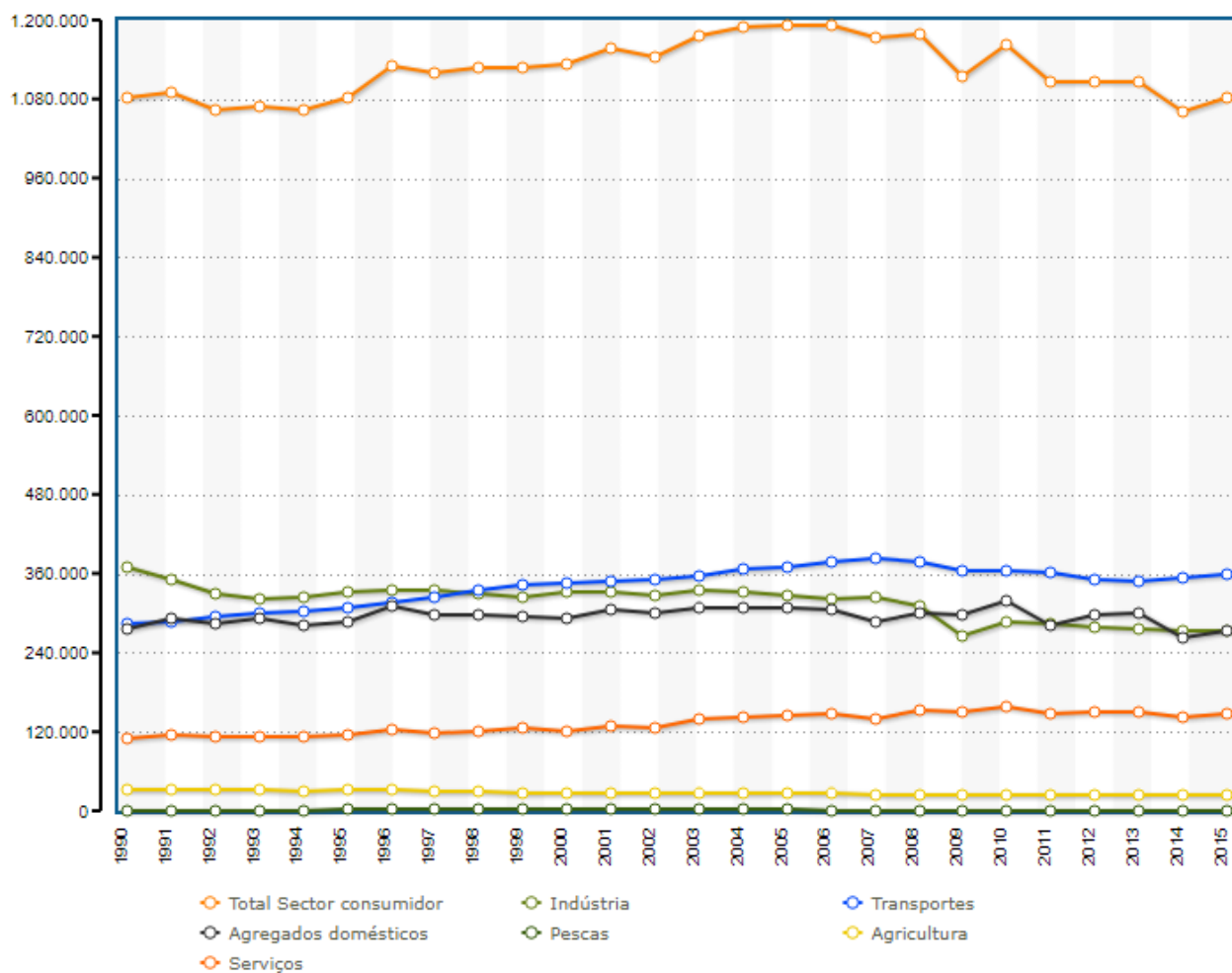


Figura 2 - Consumo de energia final total e por setores na Europa 28 (tep) [6]

Portugal segue a tendência da União Europeia com o consumo de energia a diminuir a partir de 2005.

A Figura 3 ilustra o consumo de energia em Portugal por setor de 1996 a 2015, onde se pode observar que o consumo no setor dos serviços, que representa maioritariamente o consumo nos edifícios de serviços, tem crescido bastante nas últimas décadas. Se se comparar com o consumo deste setor na Europa, percebe-se que a variação em Portugal tem sido mais acentuada que na Europa, ainda que na Europa o consumo neste setor também tenha vindo a aumentar.

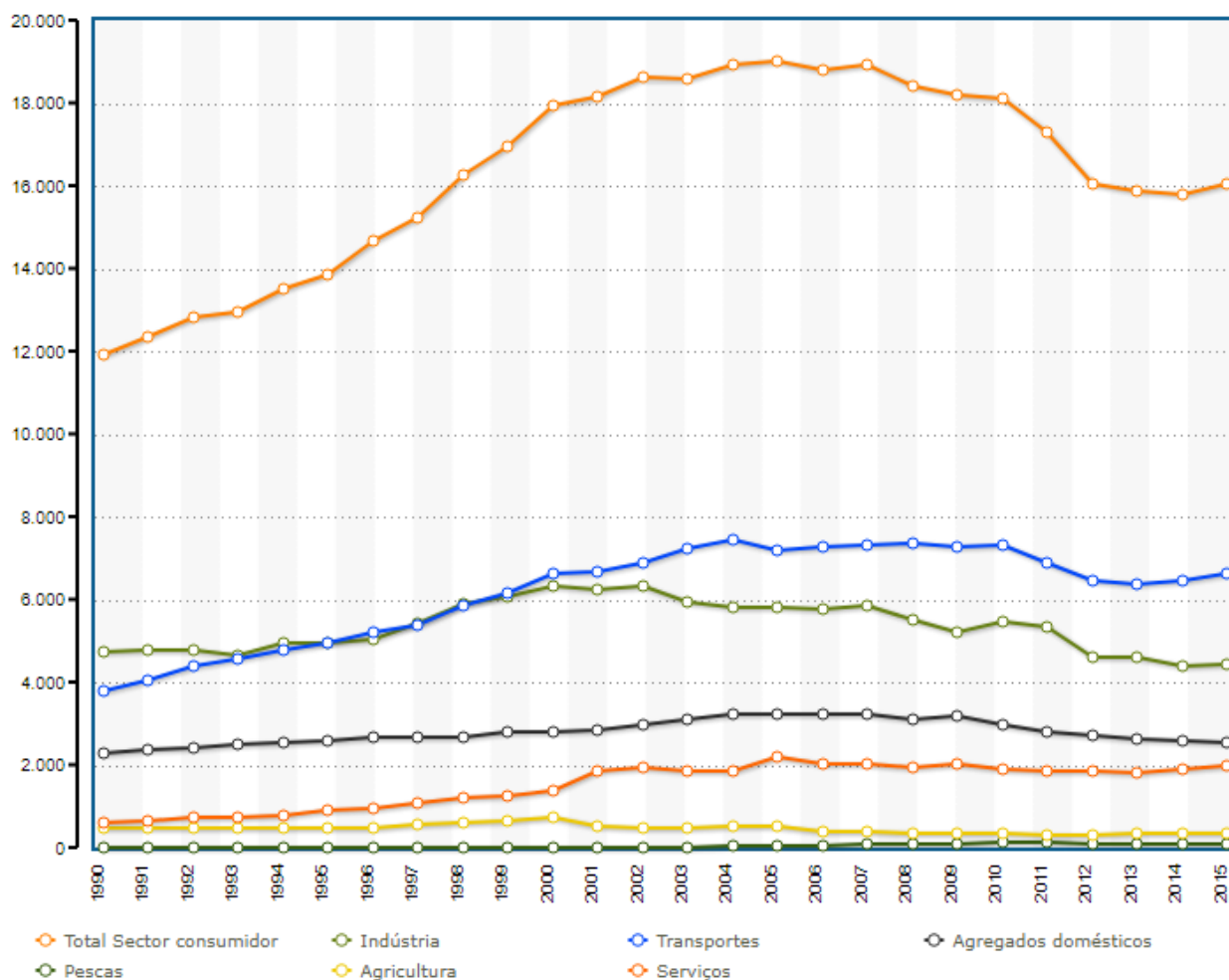


Figura 3 - Evolução do Consumo de Energia Final total e por setor de atividade em Portugal (tep) [6]

Comparando o consumo dos vários setores do ano de 2006 com o ano de 2015 (Figura 4), verifica-se que em 2015 todos os setores desceram o seu contributo percentual para o total de energia gasto à exceção dos Serviços e dos Transportes. Comparando estes, Serviços e Transportes, percebe-se que o de Serviços aumentou dois pontos percentuais enquanto que o de Transportes só aumentou um, concluindo que o setor de Serviços foi o que menos melhorou de 2006 até 2015, atribuindo assim uma maior importância à gestão e eficiência energética neste setor.

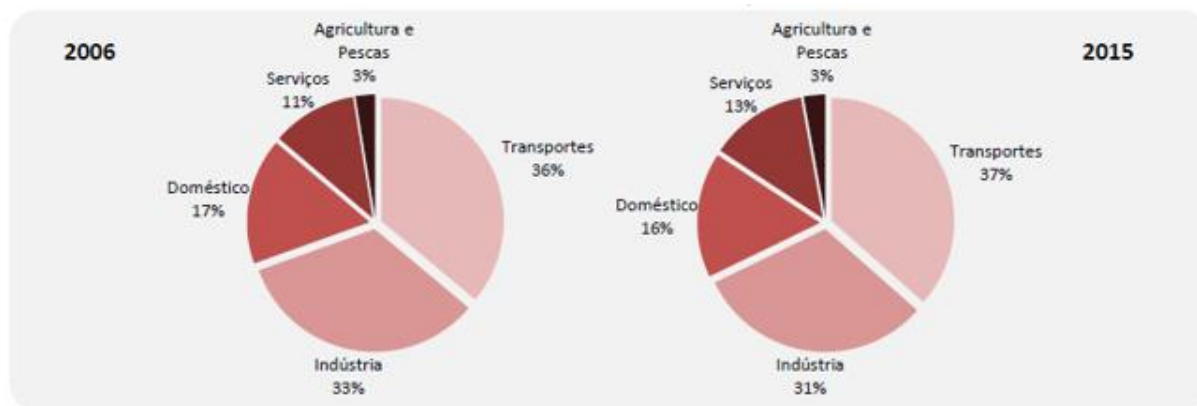


Figura 4 - Comparação do consumo total de energia por setor de atividade entre 2006 e 2015 [7]

No entanto, para este setor foi criado em 2006, o Sistema de Certificação Energética para Edifícios (SCE e o RCESE), atualizado posteriormente pelo Regulamento de Desempenho dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS), em 2013, o que demonstra alguma preocupação do estado neste tema.

## 1.2. Objetivo

Inspirando-se nos Objetivos 20-20-20 definidos pela Comissão Europeia, a Galp criou o Programa Galp 20-20-20, em 2007, mudando de nome este ano para Galp 21 devido ao número de estágios oferecidos neste programa. É um programa de aplicação de investigação em eficiência energética, feita nas universidades, em colaboração com a indústria portuguesa. É, por isso, um programa que tem como objetivo a realização de estudos que visam a identificação de sistemas e comportamentos energéticos racionais, aplicáveis na indústria e edifícios. Este é um programa de cooperação entre universidades e empresas que se destina à colocação de vinte e um alunos de licenciatura ou de mestrado de várias universidades portuguesas (Universidade de Aveiro, Instituto Superior Técnico e Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto), em vinte e uma empresas onde esses alunos irão realizar os estudos. A presente dissertação de mestrado constitui um desses estudos, e foi desenvolvida na empresa NOS Comunicações [8].

A NOS vai construir um novo edifício que presentemente se encontra em fase de projeto e como é uma empresa que tem como grande preocupação a sustentabilidade, um dos seus objetivos prende-se com a racionalização de energia e a eficiência em todos os setores possíveis. O projeto do novo edifício da NOS não foge à regra e começará a ser construído no próximo ano (2018) no Campo Grande, ao lado do edifício da NOS já existente, pelo que esta dissertação também é considerada uma mais-valia para a NOS.

Para a implementação de medidas de eficiência energética nos edifícios de serviços, é idealmente necessário:

- Prever, quantificar e planear a procura de energia;
- Comparar desempenhos energéticos de edifícios com as mesmas características (*Benchmarking*); e
- Aplicar um sistema de gestão de energia continuada nesse edifício.

Em relação à primeira necessidade, existem vários métodos que estimam e quantificam a procura de energia num edifício, e que serão aprofundados no Capítulo 2. No entanto, estes métodos possuem uma fragilidade, na medida em que não existem muitos modelos de *Benchmarking*, havendo assim uma oportunidade de melhoramento do que se pode encontrar na literatura, que será aprofundado no Capítulo 2.

Nesse sentido, e tendo como oportunidade a aplicação a um caso de estudo real, este trabalho tem como objetivo a criação de indicadores de intensidade energética por unidade de área e por capacidade de ocupação, de forma a possibilitar a projeção do consumo elétrico em edifícios de serviço ainda na fase de projeto.

### **1.3. Organização do documento**

Esta dissertação está organizada da seguinte forma:

- No Capítulo 1 faz-se um enquadramento geral do trabalho, apresentando as motivações e objetivo;
- No Capítulo 2 é feita uma revisão de literatura de modelos de previsão de consumo energético;
- No Capítulo 3 é apresentada a metodologia, a criação do modelo e como se fez a projeção para o novo edifício da NOS;
- O Capítulo 4 descreve o caso de estudo, quantificando e caracterizando todos os fatores mais específicos deste trabalho, tais como a caracterização dos edifícios NOS, os seus tipos de espaços e os seus consumos elétricos, os perfis de ocupação ou de consumo, e onde é explicada a Gestão Técnica Centralizada presente nos edifícios;
- No Capítulo 5 reportam-se os resultados, sendo feita a validação e calibração do modelo criado e projeta-se energeticamente o novo edifício com base no modelo criado;
- Por fim, no Capítulo 6 são apresentadas as principais conclusões e trabalho futuro.

## 2. Revisão de Literatura

Neste capítulo são definidos os métodos de avaliação de consumo energético para edifícios segundo o que está na literatura. Serão apresentadas as suas características, para que servem, as suas vantagens e desvantagens. Será ainda feita uma breve descrição do que são auditorias energéticas e o que é o *Benchmarking*. Por fim, serão apresentados alguns modelos de previsão de consumo em edifícios.

### 2.1. Métodos de avaliação de consumo energético em edifícios

Devido ao crescimento do uso da eletricidade, a gestão de energia é essencial, especialmente em edifícios, o que implica um melhor conhecimento do perfil do consumo de energia. Apesar de existirem muitos trabalhos sobre a compreensão e previsão da procura de energia, são raros os estudos sobre o perfil de consumo de energia elétrica de edifícios [9]. No entanto, nos últimos anos tem-se verificado um grande desenvolvimento e a aplicação de métodos de avaliação e classificação energética, sendo para tal utilizadas diversas metodologias. Em programas nacionais de avaliação energética de edifícios novos ou já existentes são consideradas ferramentas muito úteis nas auditorias energéticas [10].

#### 2.1.1. Auditorias energéticas

Auditoria energética é uma técnica para avaliar a performance energética de um edifício de forma a identificar potenciais melhorias. Estas são realizadas por profissionais qualificados que medem e avaliam o desempenho dos principais sistemas de energia do edifício. Da auditoria resultam medidas de eficiência energética baseadas nas características físicas, de operação e perfis de utilização desse edifício. Essas medidas, por norma, estimam qual a poupança de energia que trazem aquando da sua aplicação. Assim, é possível calcular o retorno financeiro e o seu tempo de retorno (*Payback*) [10].

#### 2.1.2. Benchmarking

Embora o termo *benchmark* se aplique de forma mais geral a qualquer nível de desempenho normalizado que serve como base para avaliação ou comparação, na avaliação do desempenho energético dos edifícios, o termo "*benchmark* empírico" tem sido utilizado para se aplicar especificamente à comparação do desempenho energético real (medido) do edifício com o mercado imobiliário mais amplo [10].

De acordo com Wang [11], o *benchmarking* é "um método simples para informar os decisores com um nível relativo de desempenho energético, comparando o índice de desempenho energético de todo o edifício com os índices pré-estabelecidos".

Como Hong [12] observa, geralmente não há tentativa de calibrar métodos de *benchmarking* de *top-down* e de *bottom-up*, o que torna os métodos mais fracos. Além disso, geralmente não se fazem validações destes modelos *bottom-Up*, apesar de existir muita investigação sobre o assunto. Um quadro de *benchmarking* efetivo é importante para se ter uma percepção analítica da performance.

### 2.1.3. Modelos de previsão

Historicamente, os métodos estão divididos em duas categorias: modelos *top-down* e modelos *bottom-up*. No entanto, existem métodos híbridos que misturam as características dos dois modelos [9].

De acordo com a forma como os resultados são obtidos, Grandjean *et al* [9], define 5 modelos, que estão classificados na Figura 5:

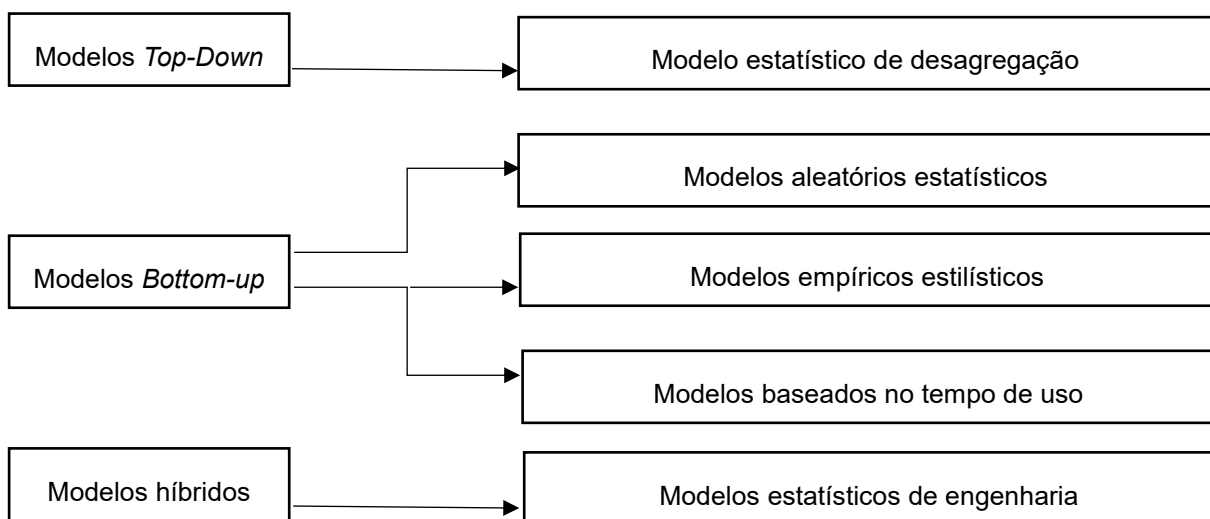


Figura 5 - Classificação proposta dos modelos proposta por Grandjean *et al* [9]

Os dois modelos acima mencionados, *top-down* e *bottom-up* usam os dados baseados na física e características do edifício [13]. Ambos são detalhados nas subsecções seguintes.

Os modelos híbridos baseiam-se em modelos estatísticos de engenharia e usam dados como, as características das moradias, a meteorologia do local, as taxas de penetração dos equipamentos, entre outros. São, portanto, uma mistura de método *top-down* com *bottom-up*.

### 2.1.4. Modelos Top-Down

Os modelos *top-down*, como a Figura 5 indica, baseiam-se em modelos estatísticos de desagregação. Estes consistem em desagregar os perfis de energia consumida para



identificar vários tipos de carga. A diversidade não é modelada, pois está incluída de uma forma determinística nos dados medidos. São por isso aplicados a cada setor de edifícios de forma separada, como por exemplo, o setor residencial. Fazem uso de estatísticas nacionais de energia, interpolando por exemplo, o consumo de eletricidade para algo menor, como um edifício [14], [15].

Os dados a impor para este método podem ser:

- O Produto Interno Bruto;
- A taxa de desemprego;
- Estatísticas atuais sobre a população alvo com evolução possivelmente prevista;
- Taxas de penetração dos aparelhos, entre outros;
- Números de consumo de energia a nível nacional em relação ao ramo que se quer modelar.

Por norma, estes modelos baseiam-se numa identificação da procura de energia no passado ou presente numa área específica.

As vantagens destes modelos são a simplicidade, o uso de dados geralmente bem disponíveis e agregados e possibilidade de modelar um edifício com valores reais de consumo de eletricidade. No entanto, estes métodos não conseguem simular os impactos de quebras técnicas ou o aparecimento de novos usos finais que não foram medidos, o que compromete a identificação de áreas-chave para melhoria de consumos de energia [9], [13].

Adicionalmente, são considerados muito úteis para estimar os requerimentos de energia de uma zona a nível regional ou mesmo nacional [13].

### **2.1.5. Modelos Bottom-Up**

Os modelos de *bottom-up*, tal como definidos na Figura 5 podem ser divididos em modelos aleatórios estatísticos, modelos empíricos probabilísticos e modelos baseados no tempo de uso, e consistem em prever o consumo energético para espaços típicos representativos, extrapolando depois para um universo maior da mesma tipologia.

Os modelos estatísticos de desagregação, baseiam-se em dados estatísticos. Alves *et al* [13] afirma que estes usam dados monitorizados de edifícios para produzirem modelos que estimem o comportamento de um edifício. Na literatura, são identificados como os principais métodos estatísticos os modelos de regressão e de redes neuronais artificiais(ANN)<sup>1</sup>. As vantagens destes métodos são a capacidade de prever os perfis de consumo de energia

---

<sup>1</sup> ANNs são métodos que com base num conjunto de dados históricos de um certo parâmetro, conseguindo criar um padrão de forma a prever o parâmetro em estudo [23]

típicos. No entanto, não conseguem ajustar os resultados a alguma mudança no comportamento humano ou de aparelhos dentro do edifício sem uma atualização da base de dados.

Em relação aos modelos empíricos probabilísticos, são recolhidos dados reais como hábitos domésticos da população e posteriormente são aplicados procedimentos probabilísticos.

Os modelos baseados no tempo de uso garantem a diversidade dos resultados com os dados que são recolhidos provenientes de informação sobre o tempo de utilização dos equipamentos.

Assim, aplicando ao setor dos edifícios os modelos *bottom-up* calcula-se a procura de energia para pequenos elementos que são representativos de espaços maiores ou simplesmente são grandes consumidores de energia. Esses elementos podem ser um conjunto de aparelhos ou um conjunto de moradias. Os resultados são posteriormente extrapolados para se obter o consumo de eletricidade para o universo que se está a estudar. Os dados que são requeridos para se poder conseguir usar este método são: o consumo individual dos aparelhos domésticos selecionados, as suas propriedades técnicas, as condições geométricas e térmicas do sítio que se quer modelar, a informação meteorológica, as contas de eletricidade, o comportamento humano, entre outros. Estas metodologias têm como vantagens o facto de não precisarem de dados históricos bem como o alto grau de detalhe com que a procura de energia é calculada mesmo que este sirva para vários fins. Com tais dados, a procura de energia pode ser mais precisamente calculada, uma vez que a potência dos vários equipamentos individuais é conhecida. Uma das desvantagens, uma vez que é um modelo de maior precisão, prende-se com o aumento da complexidade do modelo, a necessidade de dados que nem sempre são fáceis de se obter, bem como saber os perfis de ocupação do edifício e de que modo eles afetam o consumo de energia [9], [13], [15]. Vão ser apresentados de seguida 2 modelos desta tipologia: o modelo de Richardson *et al.* [20] e o modelo de Buso *et al.* [15].

#### **2.1.5.1. Modelo de Richardson *et al.* [20]**

Este é um modelo *bottom-up* baseado nos tempos de uso, pois os autores aplicam o modelo a equipamentos domésticos específicos e aos hábitos das pessoas que foram obtidos através de inquéritos.

O modelo consiste em calcular o perfil de consumo de eletricidade com intervalos de tempo de 1 minuto para um número pequeno de moradias de uma determinada zona. Para os autores, um minuto é o intervalo de tempo de simulação ideal para se ter muitos resultados com uma precisão elevada.

O inquérito para se obter os hábitos das pessoas consistia numa escala de 0 a 1, onde o 1 era uma pessoa que estava em casa e estava a usar um aparelho eletrónico (pessoa ativa), de modo a calcular que aparelho eletrónico era usado, o tempo de uso e os seus tempos de arranque. Para tal, foram usados perfis de atividade diários, criados através de inquéritos, sobre o tempo de uso dos equipamentos para sete atividades domésticas diferentes.

Os autores também usaram estatísticas sobre rácios de penetração e consumos anuais de moradias e de aparelhos domésticos. Adicionalmente, mediram padrões de consumo de energia, e quando não era possível medir, assumiram consumos constantes.

De seguida estabeleceram relações entre as atividades domésticas e os aparelhos a utilizar nessas atividades.

Para a simulação os autores assumiram o conjunto de eletrodomésticos baseado nos seus rácios de penetração a nível nacional. Esses eletrodomésticos poderiam estar em dois modos: ativos e desligados. Para alguns havia o modo *standby* onde o consumo também era contabilizado. Assim, para calcular o perfil de consumo para cada ponto seria necessário:

1. Escolher o perfil de atividade diário de acordo com os aparelhos selecionados, com o número de pessoas ativas no intervalo de tempo simulado e o tipo de dia (dia útil ou não útil);
2. Ler o valor do intervalo de tempo no perfil de atividade;
3. Calcular a probabilidade de um aparelho iniciar atividade. Para este cálculo é levado em conta a média anual de utilização do aparelho selecionado;
4. Por fim compara-se a probabilidade do aparelho iniciar atividade, com número aleatório de uma função de densidade uniforme. Se a probabilidade for maior que o número da função densidade, o modelo assume que o aparelho arrancou.

Para validar o modelo, os autores comparam os resultados obtidos com os medidos em 22 moradias, com intervalos de tempo de 1 minuto.

Os autores chegaram à conclusão que:

- Não incluíram o aquecimento elétrico devido à sua baixa taxa de penetração;
- Para um ano de validação, o consumo de energia correspondia à realidade, no entanto o desvio padrão era menor do que o real;
- A sazonalidade foi descorada;
- O modelo subestima o consumo de energia à noite e o pico da manhã ocorre mais tarde que o real. Estes erros podem ser relacionados com o método da validação, uma vez que esta é feita apenas para 22 moradias e não a nível nacional;
- As tendências do perfil de consumo do modelo para o real são muito semelhantes.

### **2.1.5.2. Modelo de Buso et al. [15]**

Neste modelo, o objeto de estudo foram os edifícios multifuncionais, como é o caso dos hotéis, designados pelos autores mfB (*multi-functional buildings*), onde é proposta uma metodologia para a criação de modelos de edifícios multifuncionais de referência (RmfB).

O método é baseado em três pontos:

1. Identificação de equipamentos relevantes num mfB;
2. Definição de subcategorias relevantes de mfBs;
3. Aplicação do método de modelação às subcategorias selecionadas de forma a obter-se o RmfB.

De modo a explicar o método, os autores usaram como exemplo um hotel.

No primeiro ponto é necessário determinar funções típicas para todas as estruturas de alojamento. Parte delas são as zonas térmicas que são aquelas cujas temperaturas tem de ser mantidas. No caso de estudo, as zonas térmicas incluíam os quartos, escritórios, receção, *lobby*, bares, restaurantes, salas de estar e salas para o *staff*. Estas foram consideradas como funções típicas de um hotel.

As funções extra são os serviços adicionais oferecidos aos clientes, como é o caso da piscina, sauna, ginásio, entre outros. A sua presença faz bastante diferença no consumo de energia, no entanto, não pode ser considerado típico pois nem todos os hotéis são capazes de oferecer estes serviços.

Para a definição de um RmfB, são requeridas as funções típicas, sendo as funções extra apenas aplicada numa segunda fase.

No segundo ponto define-se as subcategorias das mfBs. No caso estudo, como é um edifício não residencial multifuncional, as diretivas da UE recomendam uma subcategorização de cada categoria de edifício, de modo a fornecer características típicas médias de uma subcategoria representativa.

Para edifícios multifuncionais, os autores apenas tiveram em conta as funções típicas para detetar padrões de consumo. Para esse fim, consideraram apenas os fatores que mais impacto têm no consumo de um hotel. A subcategorização proposta pelos autores foi baseada na literatura, seguidamente detalhada:

- Área climática, parâmetro físico principal que influencia profundamente o consumo de energia em todos os edifícios;
- Idade da construção, parâmetro físico de todos os edifícios;
- Tamanho do hotel, parâmetro físico, pode ser expresso em quantidade de camas;

- Classificação do hotel, parâmetro físico;
- Período de funcionamento do hotel, parâmetro operacional.

No terceiro ponto, é criado o RmfB. Para cada subcategoria potencial do mfb, definem-se os parâmetros detalhados das funções típicas, necessários à realização do cálculo da energia. Isto é realizado através do método de modelação. Para isso criaram 4 secções de parâmetros e características:

- Formato - onde está incluído a área do chão, número de pisos, altura do piso, orientação, sombreamento, área da fachada, relação janela/parede e informações geométricas similares;
- Envolvente - informação sobre a construção do edifício, tecnologias e materiais em conjunto com as suas propriedades termofísicas;
- Sistema AVAC - informação acerca do sistema de AVAC, a eficiência dos seus componentes, as configurações de controlo ou de iluminação;
- Operação – são os parâmetros operacionais como a ocupação do edifício, iluminação, equipamentos, os *set-points* da temperatura e os caudais de ventilação; Por fim é necessário adicionar as funções extra relevantes para refinar o modelo energético.

O modelo evidenciou um dos maiores problemas dos modelos *bottom-up*, a escassez de dados. A falta de informações estatísticas sobre o setor dos hotéis levou à definição de pressupostos pelos autores. As funções extra, apesar de representarem uma área pequena, de 6%, representam 20% do consumo de energia primária do hotel. Os resultados foram comparados com outros estudos sobre hotéis. A comparação evidenciou como é difícil definir *benchmarks* válidos para as diversas categorias de edifícios.

### 3. Metodologia

Este capítulo começa por apresentar a metodologia usada no modelo de previsão do consumo elétrico num edifício de serviços. Este é um método *bottom-up* baseado nos tempos de uso, cuja apresentação foi descrita o capítulo anterior. De seguida, é apresentado a metodologia para a aplicação do modelo num edifício de serviços que esteja em fase de projetos. A metodologia resumida está representada na Figura 6.

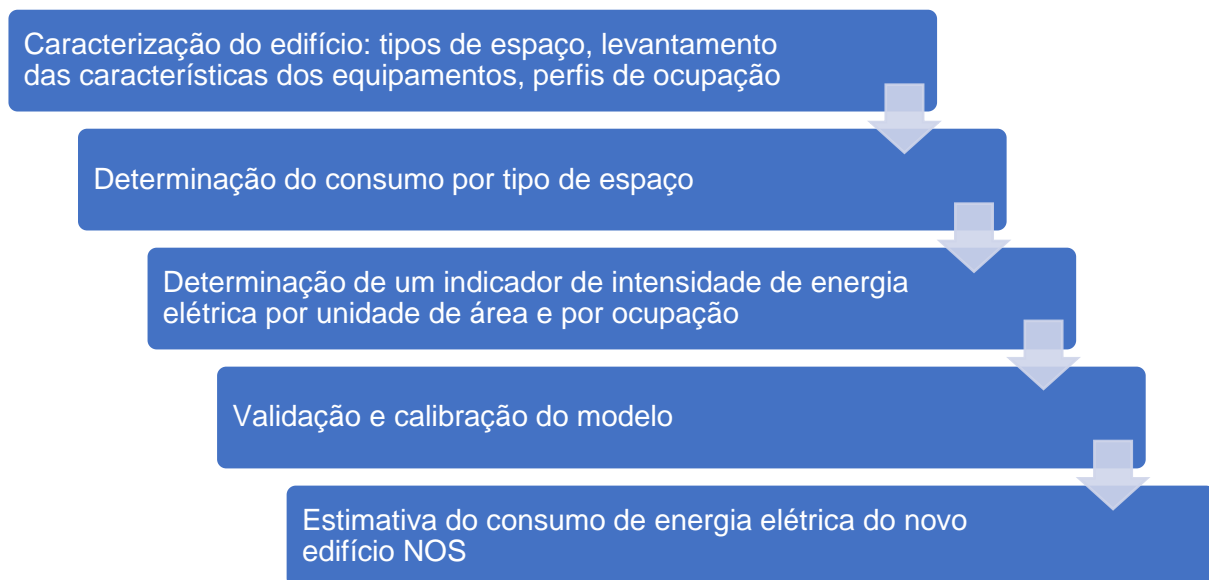


Figura 6 - Metodologia da presente dissertação

#### 3.1. Criação do modelo

O modelo criado baseou-se no método *bottom-up* baseado na tipificação dos espaços de atividade e no tempo de uso dos equipamentos, de modo a criar perfis de consumo diário com intervalos de tempo de uma hora. Assim, inicialmente foram estudados os consumos de espaços mais específicos e típicos de um edifício de serviços, tendo em conta as características dos equipamentos elétricos presentes naquele mesmo espaço. Os principais fatores na caracterização dos equipamentos são a sua potência, horário e tempo de utilização. Por fim, agregando-se todos os espaços constituintes do edifício, calculou-se o consumo elétrico total do edifício.

Numa primeira fase foi necessário definir os espaços típicos de um edifício de serviços. Essa definição foi baseada nos espaços que ocupam quase a totalidade do edifício e que são por norma espaços típicos integrantes em edifícios de serviços. Não foram contabilizados espaços que não tenham impacto no consumo de energia. A área foi calculada através da ferramenta informática, *Autocad*®, tendo por base, o projeto do edifício.

Posteriormente, foi feita uma caracterização de cada tipo de espaço, fazendo-se para tal o levantamento dos equipamentos elétricos e da sua potência nominal.

A potência pode ser verificada nas etiquetas dos respectivos equipamentos, no *website* do fabricante ou, no caso de ausência de informação específica, na literatura.

De seguida calculou-se o consumo horário por tipo de equipamento,  $Et_{eq}$  pela seguinte equação:

$$Et_{eq} = P * \Delta t * Q \quad (1)$$

Onde:

- P é a potência do equipamento;
- $\Delta t$  é o tempo de consumo elétrico efetivo, calculado em percentagem de utilização máxima numa hora, ou seja, considerando exploração máxima dessa máquina numa hora; e
- Q é o número desse tipo de equipamentos que existe naquele tipo de espaço.

Determinada a energia por tipo de equipamento, foi necessário calcular a energia consumida por tipo de espaço,  $E_{es}$ , fazendo o somatório da energia consumida de todos os equipamentos naquele tipo de espaço.

$$E_{es} = \sum_{i=1}^x Et_{eq(i)} \quad (2)$$

Assim, foi calculada a energia consumida por tipo de espaço máxima, ou seja, considerando que a exploração de todos os equipamentos é máxima. Porém sabe-se que durante um dia nem todos os equipamentos consomem as 24 horas pelo que é necessário ajustar este indicador consoante a exploração dos equipamentos.

Existem dois tipos de equipamentos: os que estão efetivamente a consumir ininterruptamente e os que têm um consumo variável relacionado com a sua utilização. Com o objetivo de se calcular o consumo horário teórico durante um dia, foram então usadas duas metodologias, A e B.

A metodologia A foi usada na maioria dos tipos de espaços, quando o consumo de energia está diretamente relacionado com a ocupação do espaço. Nesta metodologia relacionou-se a utilização de equipamentos com a ocupação do espaço. Para calcular o consumo teórico a

cada hora, aplicou-se a equação 3 onde o consumo é igual ao consumo fixo independente da ocupação mais o consumo variável dependente da ocupação.

Considerando a percentagem de ocupação de uma determinada hora ( $\%Ocup$ ), o consumo horário teórico ( $Eth$ ) dessa hora é dado pela seguinte expressão:

$$Eth(i) = \%Ocup(i) * E_{tvar} + E_{tfixo} \quad (3)$$

Onde:

- $\%Ocup(i)$  é a percentagem de ocupação na hora  $i$ ;
- $E_{tvar}$  é a energia consumida teórica numa hora que depende da ocupação;
- $E_{tfixo}$  é a energia consumida teórica numa hora que não depende da ocupação.

Para se determinar o perfil diário de ocupação de cada espaço recorreu-se aos perfis normalizados do RECS, como se vê no exemplo da Tabela 1, ou, em espaços onde o RSESE não tem previsto, recorreu-se à observação e a inquéritos aos utilizadores do espaço

Tabela 1 - Perfil de ocupação do RECS para escritórios. [21]

### Escritórios

horas	% de Ocupação	
	Segunda a sexta	Fins de semana
0has 1h	0	0
1has 2h	0	0
2has 3h	0	0
3has 4h	0	0
4has 5h	0	0
5has 6h	0	0
6has 7h	30	0
7has 8h	20	0
8has 9 h	50	0
9h as 10h	90	0
10has 11h	100	0
11has 12h	100	0
12has 13h	50	0
13has 14h	70	0
14has 15h	90	0
15has 16h	100	0
16has 17h	80	0
17has 18h	50	0
18has 19h	20	0
19has 20h	30	0
20has 21h	0	0
21has 22h	0	0
22has 23h	0	0
23has 24h	0	0

A metodologia B, foi utilizada para calcular o perfil horário do consumo diário teórico nos casos onde não é adequado fazer uma relação de ocupação com o consumo energético, como é o exemplo da cantina.

Nesta metodologia obteve-se na literatura o perfil de consumo diário típico deste tipo de espaço. Obteve-se de seguida o consumo em percentagem para as 24 horas do dia, %C.



Multiplicando esse valor pelo consumo horário máximo teórico,  $Ees$ , como está descrito na equação 4, calcula-se o consumo teórico para cada hora do dia,  $Eth$ .

$$Eth(i) = \%C(i) * Ees \quad (4)$$

Obtido o consumo por hora, independentemente da metodologia usada, é necessário determinar o consumo diário,  $Etd$ , pela seguinte expressão:

$$Etd = \sum_{i=1}^{24} Eth(i) \quad (5)$$

Por fim, calculou-se o indicador energético diário por unidade de área,  $Ia$ , ou por ocupação,  $Iocup$  pelas equações 6 e 7 respetivamente.

$$Ia = \frac{Etd}{A} \quad (6)$$

$$Iocup = \frac{Etd}{Ocup} \quad (7)$$

Onde  $A$  é a área e  $Ocup$  é o número de postos de ocupantes que o espaço que se está a estudar pode atingir.

Na Figura 7 é possível perceber de uma forma esquematizada como foi a recolha de dados do presente modelo.

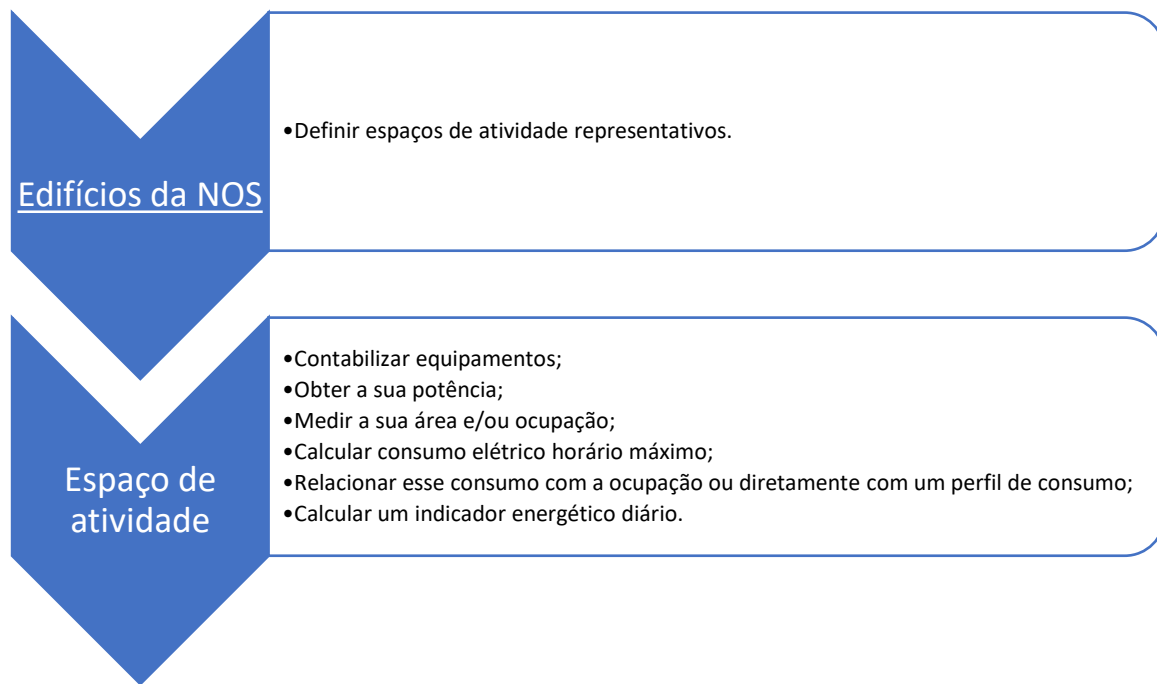


Figura 7 - Recolha de dados do modelo

### 3.2. Validação

Depois de se obter o indicador energético para cada tipo de espaço foi necessário validar o modelo. A validação foi realizada comparando o consumo teórico calculado no modelo com o consumo real, medido nas instalações. Tendo-se obtido o consumo teórico, é então necessário saber o consumo real por forma a validar-se este modelo.

De seguida calculou-se a percentagem de erro horário e diário recorrendo à equação 8.

$$E_h = \frac{Ch_{real} - Ch_{teórico}}{Ch_{real}} * 100 \quad (8)$$

O erro diário,  $E_h$ , foi calculado da mesma forma que o erro horário, mas com consumos diários em vez de consumos horários.

Caso não se verifique o modelo válido, é então necessário fazer uma calibração. Essa calibração deverá ser realizada com base em ajustes que se considerem racionais, sensatos e fundamentados com dados empíricos.

### 3.3. Projeção para o novo edifício

Tendo-se calculado e obtido os indicadores de intensidade energética por tipo de espaço, pode-se então utilizá-los de modo a estimar o consumo de um edifício de forma global. Deste modo, aplicou-se o modelo ao novo edifício, tendo-se acesso à área total de cada tipo de

espaço ou ao número de postos de trabalho. O consumo total teórico de um edifício é então dado pela soma dos consumos das várias áreas, tal como descrito pelas seguintes equações.

$$Etd = Ia * A = Iocup * Ocup \quad (9)$$

$$\text{Consumo total teórico do edifício} = \sum_{i=1}^z Etd(i) \quad (10)$$

Sendo z, o número total dos vários tipos de espaços de atividades.

## 4. Casos de estudo

### 4.1. Caracterização dos edifícios

#### 4.1.1. Edifício do Campo Grande



*Ilustração 1 - Edifício do Campo Grande*

O edifício do Campo Grande é a sede da empresa NOS Comunicações, tendo iniciado atividade em 2012, e situa-se em Lisboa. Apresenta uma área interior bruta de 11494 m<sup>2</sup>. A maior forma de energia utilizada por este edifício é a energia elétrica.

O edifício é composto por 12 pisos, do piso -4 até ao piso 7. Os pisos -1 e -2 são parques de estacionamento públicos, não fazendo parte da NOS. Os restantes pisos estão divididos em zona Nascente e zona Poente, sendo que nos pisos 0, 1 e 2 não há acesso entre as duas zonas.

O edifício é essencialmente administrativo, onde estão englobados vários tipos de serviços. Este edifício é maioritariamente constituído por *open space*, salas de reunião, gabinetes, polos técnicos, copas, *facility corner* e cantina. Estes são os tipos de espaços que vão ser estudados neste trabalho. Há espaços que não estão aqui incluídos uma vez que não representam influência significativa no consumo de energia elétrica do edifício, nomeadamente as casas de banho, garagem de estacionamento, entre outros.

#### 4.1.2. Edifício América



*Ilustração 2 - Edifício América*

O Edifício América é um edifício de suporte da NOS Comunicações. Situa-se na freguesia de Avenidas Novas e tem área interior bruta de 11700 m<sup>2</sup>, sendo apenas 6415 m<sup>2</sup> dedicados e geridos pela NOS. Apresenta como maior fonte de energia a energia elétrica.

O edifício possui 3 pisos alocados à NOS (-1, 0 e 1) e é constituído maioritariamente por salas de *Call Center*, pelo que, como o novo edifício também irá ter espaços de *Call Center*, foram recolhidos dados deste edifício para a criação do modelo.

#### 4.2. Caracterização de espaços

Nesta secção é apresentada a caracterização dos vários tipos de espaços que foram estudados neste trabalho, os equipamentos inseridos nesses espaços e a sua potência nominal. Tendo em conta a necessidade de se apresentar um indicador validado para cada tipo de espaço, foram escolhidos para validação os seguintes espaços:

- *Open space*, salas de reunião, gabinetes, polos técnicos e copas: foram utilizados os espaços do piso 4 Nascente do Edifício do Campo Grande (Ilustração 3). No *open space* são os escritórios ou mesas colaborativas, onde os colaboradores das várias funções têm o seu posto de trabalho. As salas de reunião, como o nome indica, servem para as reuniões entre colaboradores, fornecedores e/ou clientes. Os gabinetes são ocupados pelos diretores de cada secção. No polo técnico estão as *switches*, que fornecem a rede de comunicação e internet para os respetivos espaços do edifício. As copas são espaços onde existem frigoríficos, máquina de água fresca e natural,

máquinas de *vending* e de café e as *facility corners* são o espaço onde estão as impressoras e material de impressão

- Cantina: foi utilizada a cantina do edifício do Campo Grande (Ilustração 4). Neste espaço há uma cozinha, a linha de *self-service*, a cafeteria e o refeitório. Aqui são servidos pequenos almoços, almoços e lanches;
- *Call Center*: foi utilizada a sala Lima do edifício América (Ilustração 5). Este espaço é utilizado pelos colaboradores que estão nos serviços onde têm que ligar ou atender chamadas de clientes ou possíveis clientes;



Ilustração 3 - Planta do Piso 4 Nascente do Campo Grande



Ilustração 4 - Planta da cantina do Campo Grande



Ilustração 5 - Planta da sala Lima do edifício América

Nas Tabelas 2, 3 e 4 são apresentados os equipamentos e as suas características relevantes, sendo também descrita a área e a capacidade de ocupação que cada um dos espaços ocupa no edifício correspondente.

Como mencionado anteriormente, não foram estudados espaços que não representam consumos significativos no consumo total do edifício, como é o exemplo das casas de banho, estacionamento e a receção. Verifica-se isso pelo único consumo elétrico numa casa de banho e nos estacionamentos ser a iluminação. Já no caso da receção, o baixo consumo relaciona-se com a pequena área que esta tem relativamente ao edifício.

Tabela 2 - Dados referentes ao Piso 4 Nascente

Espaço	Ocupação	Área (m <sup>2</sup> )	Equipamento	Potência (W)	Quantidade	Δt (%)
<b>Open Space</b>	110	368,92	Lâmpadas	49	48	100
			Computadores	100 [22]	20	100
			Portátil	15 [22]	25	100
			Portátil com Monitor	45 [23]	10	100
			VC A	46,4 [24]	6	100
			VC E	46,4 [24]	3	100
			Ventiloconvectores M	46,4 [24]	10	100
			Televisões	100	2	100
<b>Copa</b>	6	23,12	Frigorífico	60	1	100
			Snack Grande	360	1	100
			Líquidos	1800	1	100
			Água fria/quente	130	1	100
			Máquina de café	2410	1	100
			Televisão copa	58	1	100
			VC M	46,4 [24]	1	100
			Lâmpadas	49	1	100
<b>Facility Corner</b>	1	7	Impressora	1500	1	100
			Lâmpada	49	2	100
<b>Polo Técnico</b>	0	5,65	Switches	350	2	100
			VRV	1450 [25]	1	100
	8	19	Lâmpada	26	1	100

Sala de Reunião			TV	100	1	100
			VC A	46,4 [24]	1	100
Gabinete 1	6	19,2	Lâmpadas	49	3	100
			VC M	46,4 [24]	3	100
Gabinete 2	5	17,4	Lâmpada	26	1	100
			TV	100	1	100
			VC A	46,4 [24]	1	100

*Tabela 3 - Dados referentes à Sala Call Center*

Espaço	Ocupação	Área (m <sup>2</sup> )	Equipamento	Potência (W)	Quantidade	$\Delta t$ (%)
Sala Call Center (Sala Lima)	82	307,776	Televisão	200	3	100
			Lâmpada	14	13	100
			Computadores	100 [26]	82	100
			VC A	46,4 [24]	10	100



Tabela 4 - Dados referentes à Cantina do Campo Grande

Espaço	Ocupação	Área (m <sup>2</sup> )	Equipamento	Potência (W)	Quantidade	Δt (%)
Cantina	198	358,70	Câmara frigorífica de congelação	1800	1	100
			Câmara frigorífica de conservação	1500	5	100
			Cortadora de legumes e hortaliças com capacidade de 150/300Kg/hora	370	1	100
			Frigorífico de conservação de 700Lts	800	5	100
			Serra ossos de altura de corte 215mm largura de corte 150mm	750	1	100
			Batedeira misturadora, de capacidade 10 Lts	300	1	100
			Fritadeira elétrica de 2 cubas	33000	1	100
			Máquina de lavar loiça de túnel	21000	1	100
			Ventiladores para extração do calor	46,9 [24]	2	100
			Torradeira	800 [27]	1	100
			Tostadeira	1800 [28]	1	100
			Caçador Inseto	45	1	100
			VC	46,4 [24]	8	100
			Computadores	100 [26]	2	100
			Máquinas de sumo	400	1	100
			Máquina de sumo de laranja	400	1	100
			Lâmpadas	49	19	100
			Máquina de lavar copos e chávenas de carregamento frontal	3100	1	100
			Máquina de café	1800	1	100
			computador	100	1	100
			Máquina de café	2410	1	100
			Água fria/quente	130	2	100
VC	46,4 [24]	16	100			
Computadores	100 [26]	2	100			

As potências, por vezes, não são fáceis de se obter, ou porque não estão declaradas no equipamento em si ou porque não estão declaradas nas especificações técnicas no *site* do equipamento. Nesses casos, foi então necessário recorrer à literatura para se determinar as potências *standard* para aqueles tipos de equipamentos naquelas condições. Houve também situações onde se verificou muitos equipamentos semelhantes, mas com potências ligeiramente diferentes, como é o caso dos computadores fixos, computadores portáteis e computadores portáteis com monitor. Nesses casos também se recorreu à literatura.

### **4.3. Perfis de ocupação**

Para aplicar a metodologia foi necessário obter os perfis de ocupação diários. Esses perfis de ocupação foram obtidos de duas maneiras: a ocupação do *open space*, salas de reunião e gabinetes foi obtida através das tabelas de ocupação de escritórios do RECS, de acordo com a Figura 8. No entanto, para o espaço do *Call Center*, na ausência de perfil de ocupação do RECS que se coadune com o mesmo, este foi obtido por uma análise de observação e inquérito verbal, descrito na Figura 8.

O perfil de ocupação da copa foi obtido através dos perfis de pronto-a-comer do RECS, mas apenas até às 18 horas, uma vez que depois dessa hora a ocupação do edifício é quase nula.

O perfil de ocupação da *facility corner* não é apresentado no RECS, no entanto por observação foi possível verificar que este está intimamente relacionado com a ocupação do *open space* estimando-se que a sua ocupação é cerca de 25% da ocupação do *open space*, como se pode verificar na Figura 8.

Para o polo técnico constatou-se que a sua ocupação é 0 sendo o seu consumo apenas devido a equipamentos de consumo fixo.

Para a cantina foi usada a segunda metodologia pelo que não houve necessidade de se obter o seu perfil de ocupação.

Os valores representados na Figura 8 são relativos a dias úteis, uma vez que em dias não úteis a ocupação é aproximadamente zero.

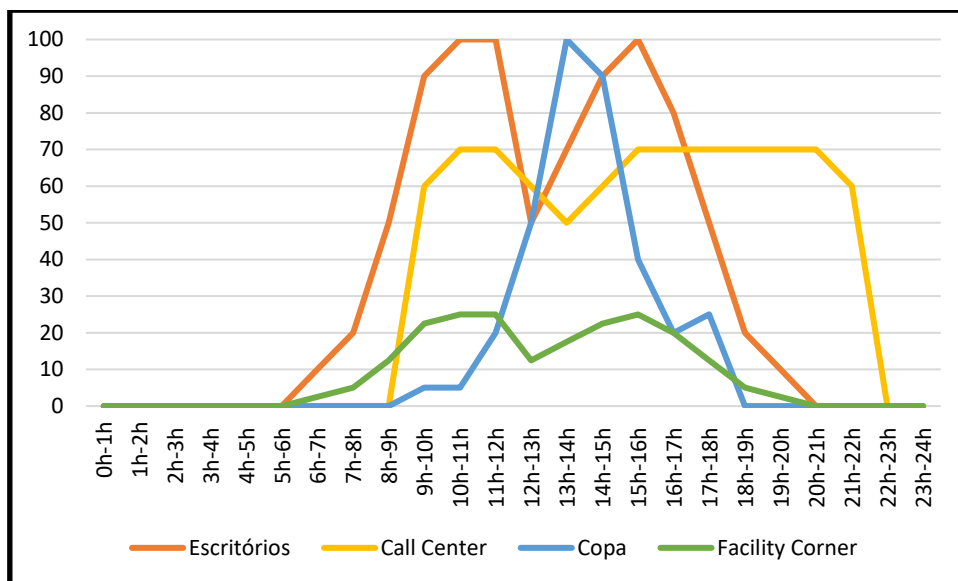


Figura 8 - Percentagem de ocupação dos espaços representativo nos dias úteis

#### 4.4. Perfil de Consumo

Como já foi explicado no capítulo anterior, há casos em que não é razoável relacionar o consumo elétrico com a ocupação, como por exemplo a cantina. Nesse caso, o maior consumo provém da cozinha enquanto que a ocupação oscila maioritariamente devido ao espaço de refeitório. Neste caso foi utilizada a metodologia B para calcular o consumo teórico por hora.

Nesta metodologia, retirou-se o perfil de consumo em percentagem de uma cantina do Instituto Superior Técnico, demonstrada na Figura 9.

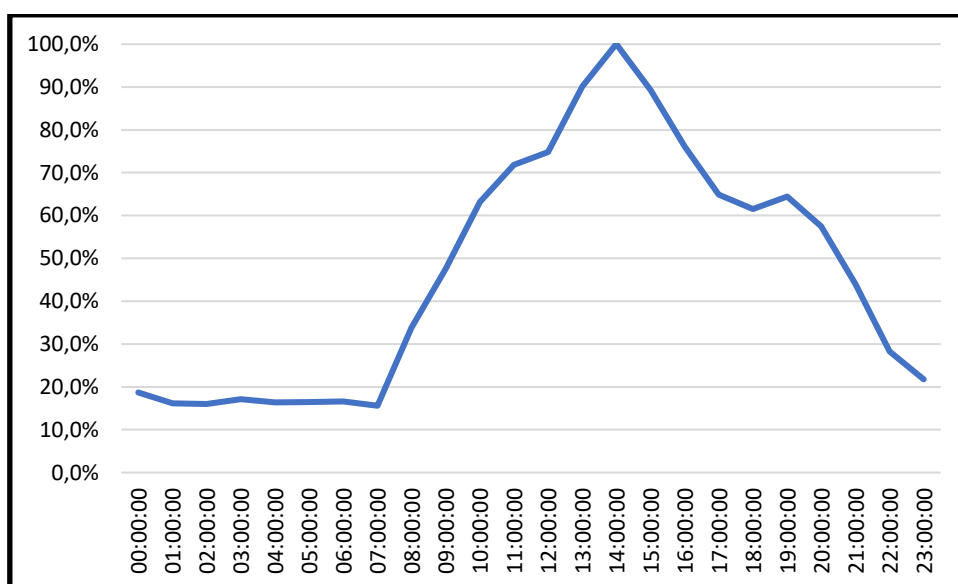


Figura 9 - Perfil de consumo elétrico em percentagem da cantina num dia útil

#### 4.5. Gestão Técnica Centralizada

O edifício do Campo Grande possui um *software* de Gestão Técnica Centralizada (CGT) da “*Schneider Electric*” a partir do qual se controla o sistema AVAC e de iluminação. Este sistema está ligado aos quadros elétricos pelo que tem a capacidade de registar os consumos do edifício, criando assim, um histórico de consumos no edifício e nos vários quadros elétricos. De realçar que o sistema existente apresenta algumas falhas no que toca ao registo dos consumos de energia elétrica. Por vezes não lê os contadores no momento suposto, aparecendo assim picos de consumo no momento a seguir. Noutros casos, a partir de certos valores muito altos de consumo, o sistema também deixa de ler as diferenças. Para além disso, apresenta os consumos arredondados às unidades o que faz com que os erros possam ir até aos 0,5 kWh.

O edifício América possui de igual modo um *software* de GTC. Este serve de controlo apenas do sistema AVAC, não permitindo por isso ver os consumos do edifício.

#### 4.6. Consumos elétricos

Nesta secção é apresentada uma análise dos consumos elétricos dos espaços que foram selecionados para a validação do modelo, sendo retirados dos registos existentes na GTC do Campo Grande. A GTC do América não permite o registo dos consumos verificados nos quadros elétricos, pelo que só são apresentados os consumos elétricos do piso 4 Nascente e da Cantina do Campo Grande, representados nas Figuras 10 e 11, respetivamente.

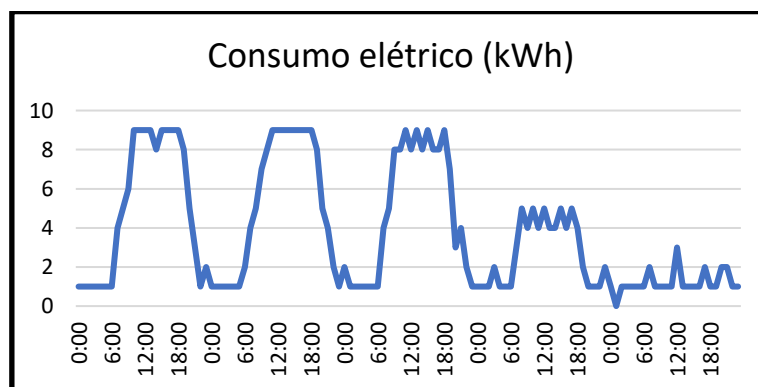


Figura 10 - Consumo elétrico do piso 4 Nascente do Campo Grande do dia 10 ao dia 14 de maio de 2017

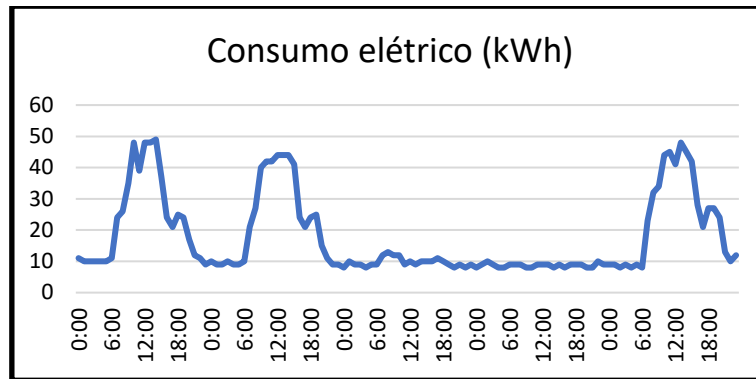


Figura 11 - Consumo elétrico da Cantina do Campo Grande do dia 11 ao dia 15 de maio de 2017

Os dias escolhidos nas duas figuras são diferentes, pois dependeram da possibilidade de acesso a dados representativos auferidas na GTC, uma vez que se notou que havia algumas falhas naquele sistema, dificultando a obtenção de dados coerentes durante cinco dias seguidos.

Nestas figuras facilmente se distinguem os dias úteis dos dias não úteis. Na Figura 10 estão representados cinco dias, os primeiros três são dias úteis enquanto que os últimos dois são fins de semana. De realçar que, no sábado se verifica um consumo intermédio no piso 4 Nascente do Campo Grande, devendo-se ao facto de naquele piso, existir atividade ao sábado, porém, com uma ocupação inferior à normalidade dos dias de semana.

Na Figura 11 estão representados cinco dias de consumo do espaço da cantina, onde os primeiros dois e o último são dias de semana e entre eles há um fim de semana. De notar que o consumo neste tipo de espaço é cerca de cinco vezes superior ao do *open space*.

Para se perceber se há alguma influência das estações do ano, comparou-se o consumo do edifício do Campo Grande e do edifício América nos meses de Inverno e nos meses de Verão, conforme Figuras 12 e 13.

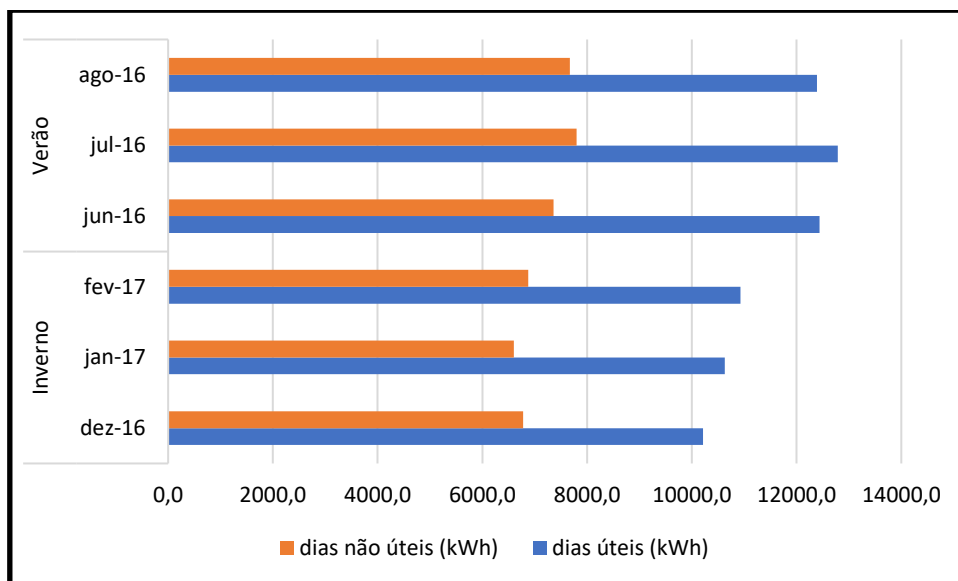


Figura 12 - Consumo elétrico (kWh) de Verão vs Consumo de Inverno no edifício do Campo Grande

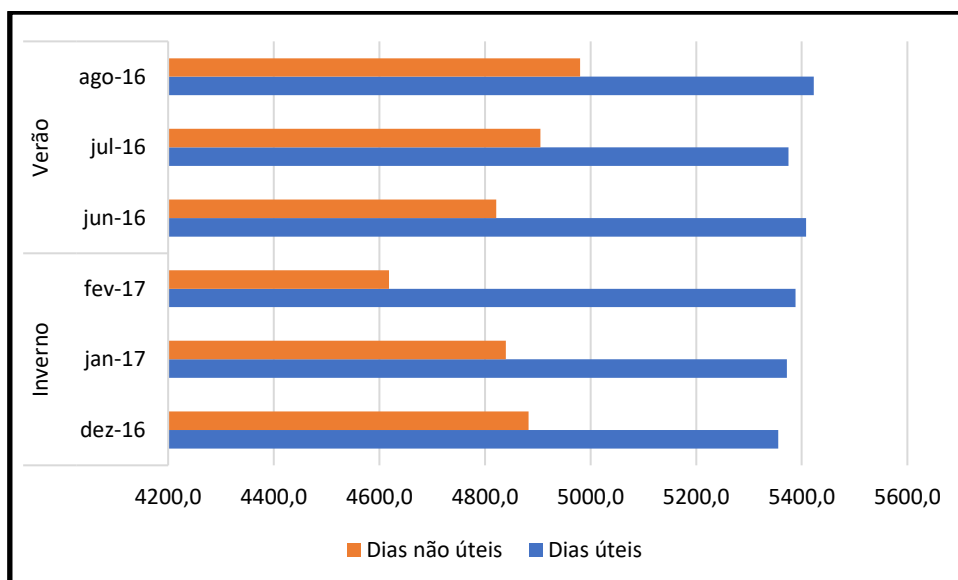


Figura 13 - Consumo elétrico (kWh) de Verão vs Consumo de Inverno no edifício América

O consumo elétrico nos edifícios pouco varia consoante a temperatura exterior, quer nos dias úteis como nos dias não úteis. O edifício ainda apresenta algumas diferenças, provavelmente porque no sistema AVAC, os equipamentos de refrigeração do edifício consomem mais do que os equipamentos de aquecimento. Já no caso do edifício América, o consumo é praticamente igual nas duas estações. A razão para esta diferença deve-se muito ao facto de, no Campo Grande, o consumo englobar os equipamentos AVAC todos, incluindo a caldeira e os *chillers*, enquanto que no edifício América, os consumos de AVAC já só englobam UTAS e ventiloconvectores.

Fez-se o mesmo para se perceber se havia diferença entre o Nascente e o Poente do edifício. Foram medidos os consumos no mesmo dia para o piso 4 Nascente e o piso 4 Poente do

edifício do Campo Grande. De referir que o consumo do piso 4 Nascente foi obtido pela GTC, no entanto, a mesma não se encontrava a dar valores coerentes para o piso 4 Poente, tendo-se feito uma leitura direta dos quadros elétricos, permitindo comparar consumos no horário laboral.

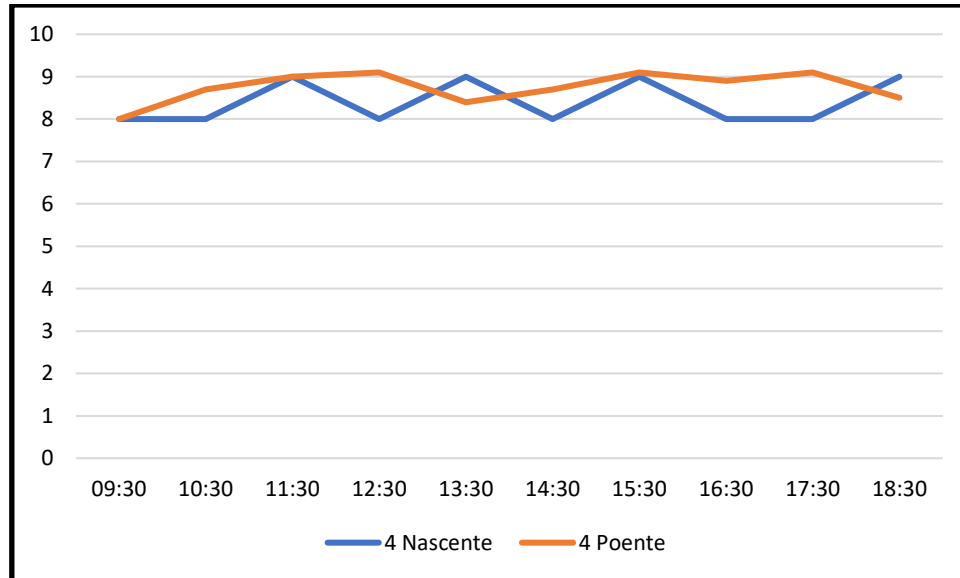


Figura 14 - Consumo elétrico (kWh) do Piso 4 Nascente vs Piso 4 Poente do Campo Grande

Com base na Figura 14 conclui-se que não existe nenhuma dependência dos consumos com a orientação dos respetivos espaços. De notar aqui, a alternância de consumo no piso Nascente entre 8 e 9 kWh. Essa leitura foi feita com base na GTC pelo que essa alternância se deve ao erro de leitura às unidades, podendo-se assumir um valor médio.

## 5. Resultados e discussão

Para a obtenção dos resultados, primeiramente, considerou-se que  $\Delta t$  é igual a 100%, estando-se a assumir que o consumo efetivo dos equipamentos é máximo, ou seja, estão a ser explorados ao máximo.

### 5.1. Cálculo do indicador energético

Através da equação 1 obtém-se o consumo elétrico horário de cada equipamento.

Usando a equação 2 obtém-se o consumo diário teórico de cada espaço na hora cuja ocupação diz respeito, e assim consegue-se obter os perfis de consumo de energia elétrica nos vários tipos de espaço. Os resultados estão demonstrados nas tabelas 5, 6 e 7.

*Tabela 5 - Consumo horário nos vários espaços representativos presentes no Piso 4 Nascente*

Espaço	Equipamento	Consumo Horário (kWh)	Energia consumida por hora (kWh)
<b>Open Space</b>	Lâmpadas	2,35	6,26
	Computadores	2,00	
	Portátil	0,38	
	Portátil com Monitor	0,45	
	VCs A	0,28	
	VCs E	0,14	
	VCs M	0,46	
	Televisões	0,20	
<b>Copa</b>	Frigorífico	0,06	4,91
	Snack Grande	0,36	
	Líquidos	1,80	
	Água fria/quente	0,13	
	Máquina de café	2,41	
	Televisão copa	0,06	
	VC M	0,05	
	Lâmpadas	0,05	



<b>Facility Corner</b>	Impressora	1,50	1,60
	Lâmpada	0,10	
<b>Polo Técnico</b>	Switches	0,70	2,15
	VRV	1,45	
<b>Sala de Reunião 4N2</b>	Lâmpada	0,03	0,17
	TV	0,10	
	VC A	0,05	
<b>Gabinete 1</b>	Lâmpadas	0,15	0,46
	VCs	0,14	
<b>Gabinete 2</b>	Lâmpada	0,03	0,17
	TV	0,10	
	VC A	0,05	

*Tabela 6 - Consumo horário na Sala Lima do América*

<b>Espaço</b>	<b>Equipamento</b>	<b>Consumo Horário (KWH)</b>	<b>Energia consumida por hora</b>
<b>Sala Lima</b>	Televisão	0,60	9,45
	Lâmpada	0,18	
	Computadores	8,20	
	VC	0,46	

Tabela 7 - Consumo horário na Cantina do Campo Grande

Espaço	Equipamento	Consumo horário (KWH)	Energia consumida por hora
Cantina	Câmara frigorífica de congelação	1,8	82,37
	Câmara frigorífica de conservação	7,5	
	Cortadora de legumes e hortaliças	0,37	
	Frigorífico de conservação de 700Lts	4	
	Serra ossos de altura de corte	0,75	
	Batedeira misturadora, de capacidade 10 Lts	0,3	
	Fritadeira elétrica de 2 cubas	33	
	Máquina de lavar loiça de túnel	21	
	Ventiladores de extração	0,09	
	tostadeira	0,80	
	torradeira	1,80	
	Insetocaçador	0,05	
	Ventilo convetores	0,37	
	Computadores	0,2	
	máquinas de sumo	0,4	
	máquina de sumo de laranja	0,4	
	Lâmpadas	0,93	
	Máquina de lavar copos e chávenas	3,1	
	Máquina de café	1,8	
	Máquina de café	2,41	
	água fria/quente	0,26	
	Ventiloconvetores	0,74	
	Computadores	0,3	

Nas Figuras 15 a 21, estão representados os perfis de consumo teórico dos dias úteis. Nos dias não úteis a ocupação é considerada nula, sendo o perfil de consumo nesses dias uma linha reta cujo valor é o somatório do consumo fixo. A Figura 22 é aqui apresentada a título de exemplo

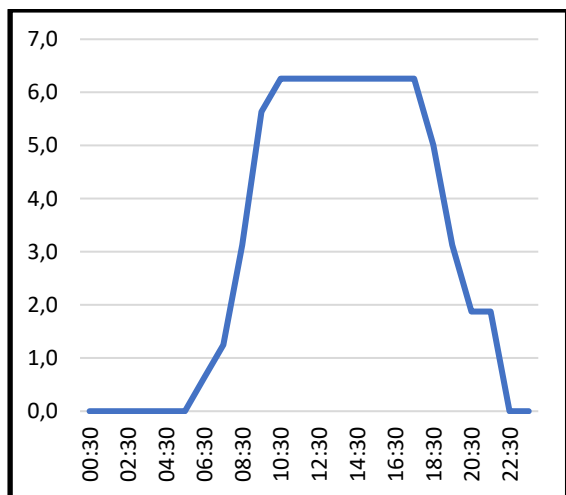


Figura 15 - Consumo teórico em kWh do Open Space

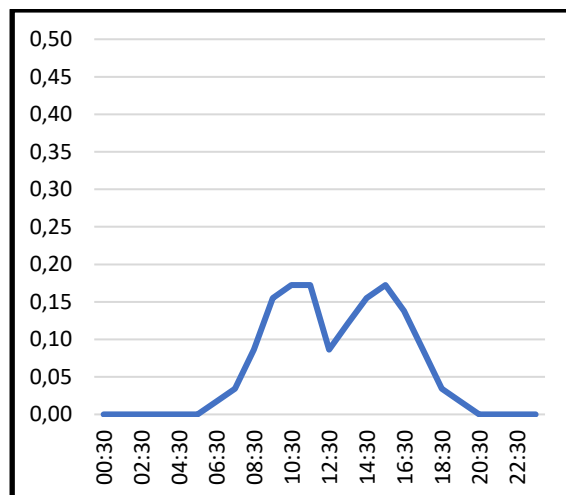


Figura 17 - Consumo teórico da sala de reunião em kWh num dia útil

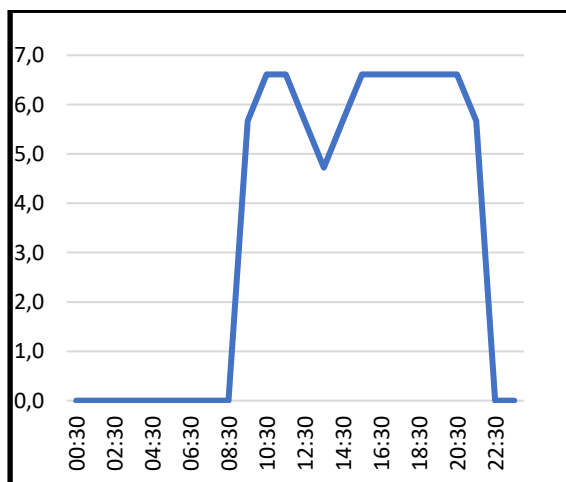


Figura 16 - Consumo teórico em kWh do Call Center

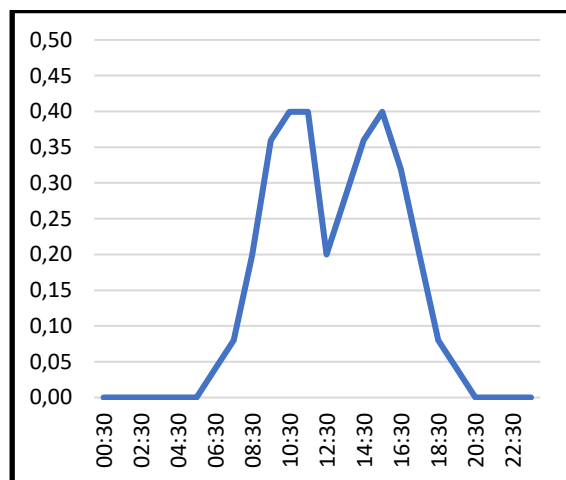


Figura 18 - Consumo teórico da Facility Corner em kWh num dia útil

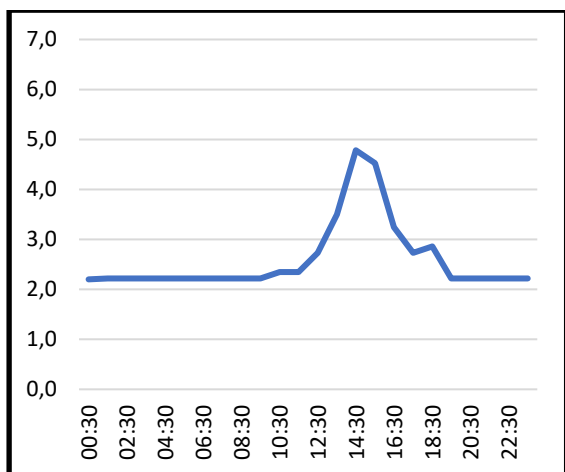


Figura 19 - Consumo teórico da copa em kWh num dia útil

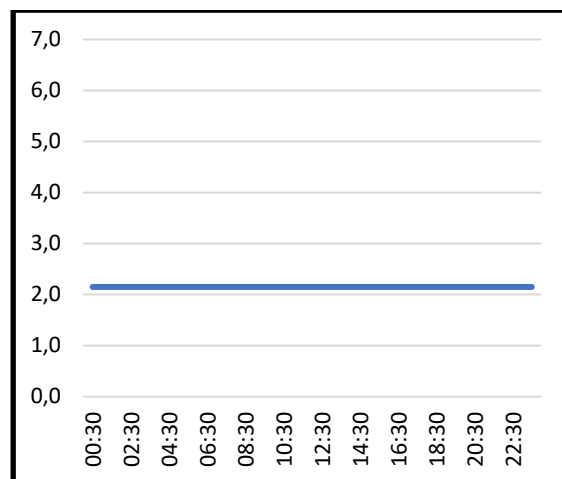


Figura 21 - Consumo teórico do Polo Técnico em kWh num dia útil

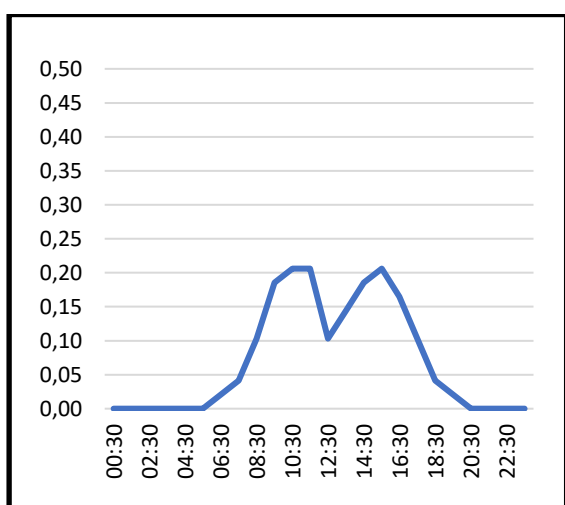


Figura 20 - Consumo teórico do Gabinete em kWh num dia útil

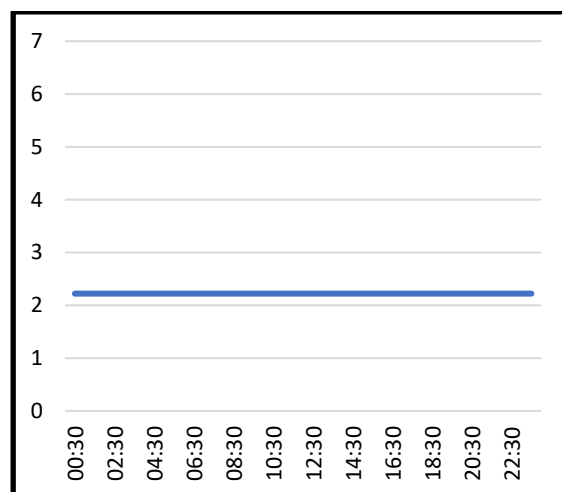


Figura 22 - Consumo teórico da copa em kWh num dia não útil

Verifica-se que o perfil dos vários espaços é muito semelhante à exceção da copa e do polo técnico. O perfil do *call center* também tem uma ligeira diferença, uma vez que este espaço é ocupado até mais tarde. Em relação aos outros espaços, a única diferença é o valor dos consumos, pois a tendência é exatamente a mesma. De notar que o polo técnico tem um perfil constante, pois não é ocupado e os seus equipamentos funcionam em contínuo.

Para a cantina foi usada a metodologia B cujo perfil de consumo em percentagem foi obtido no capítulo anterior e apresenta o seguinte perfil de consumo, Figura 23.

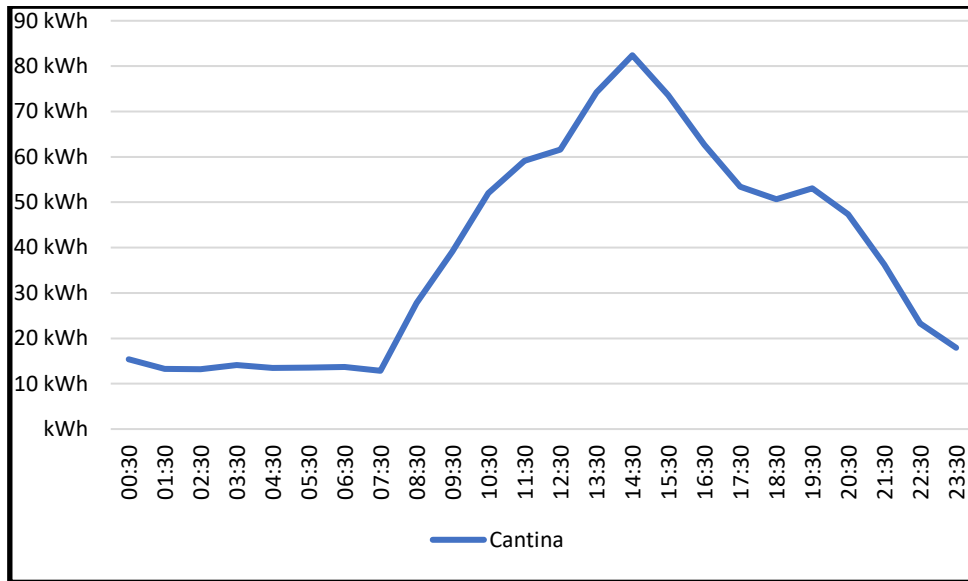


Figura 23 - Consumo teórico da cantina num dia útil

Finalizando o modelo para cada tipo de espaço, obtêm-se os indicadores energéticos, tanto por área, como por capacidade de ocupação, demonstrados nas figuras abaixo, Figuras 24 e 25. É necessário referir que na prática não há ocupação no Polo Técnico, pelo que não se pode incluir esse espaço nos indicadores por ocupação. Estes indicadores foram calculados para um dia útil.

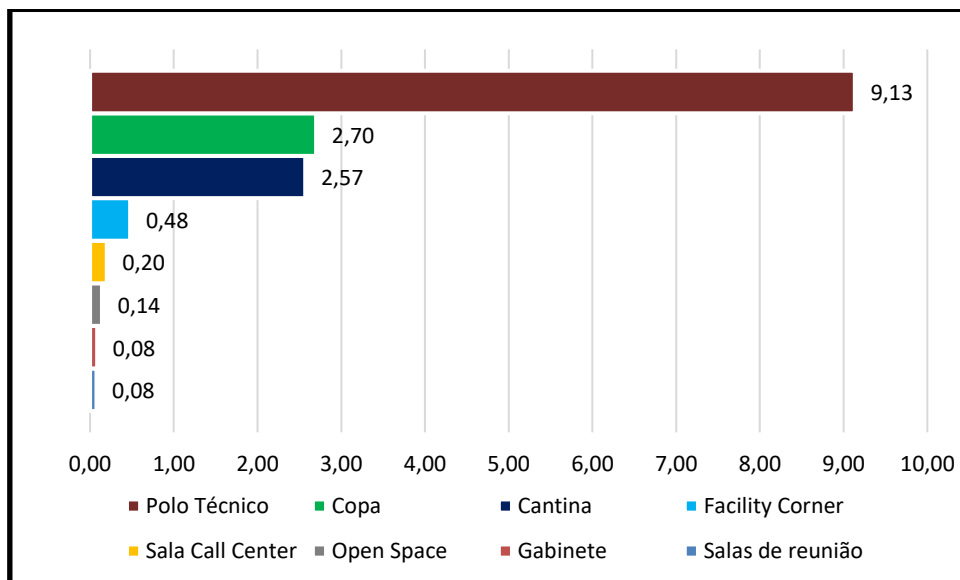


Figura 24 - Indicador energético por área dos tipos de espaços representativos em kWh/m²

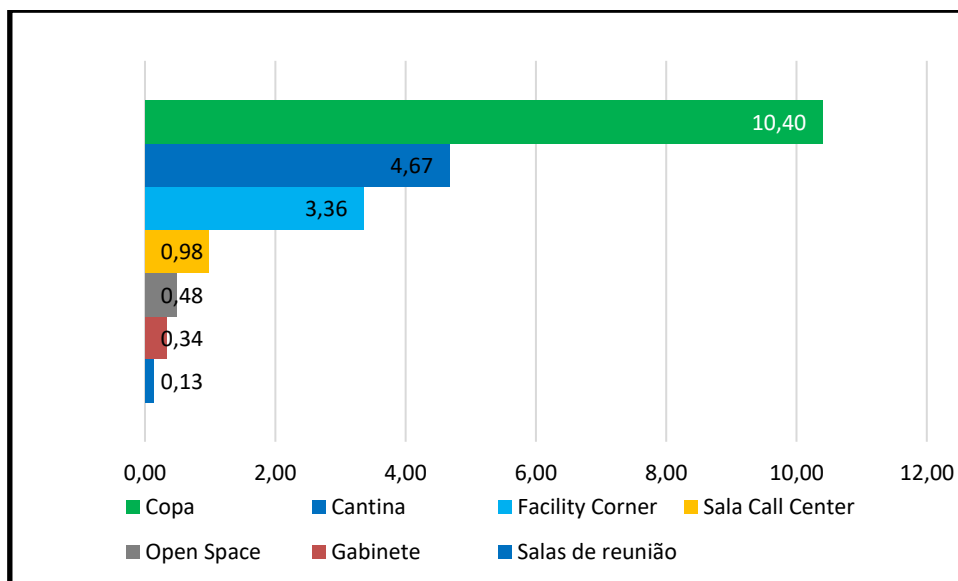


Figura 25 - Indicador energético por capacidade de ocupação dos tipos de espaço representativos em kWh/Ocupação

Através da análise de ambas as figuras, conclui-se que estes são semelhantes com o polo técnico, destacando-se como maior consumidor de energia elétrica por área. Posteriormente, observam-se os espaços de refeição, cujos indicadores são elevados devido aos grandes equipamentos que possuem. Semelhante situação verifica-se com a *facility corner*. De seguida, nota-se um equilíbrio entre o *call center* e o *open space*, com o primeiro a consumir um pouco mais que o segundo. Nestes dois espaços seria de esperar uma maior diferença no indicador por ocupação pela necessidade de tecnologia individual, o que não se verifica. Por fim, gabinetes e as salas de reunião são em termos absolutos os espaços com menos consumo de energia.

No entanto, estes resultados ainda necessitam de validação pelo que uma análise mais detalhada irá ser realizada após a validação deste modelo.

## 5.2. Validação do modelo

### 5.2.1. Validação

Para se validar o modelo foi necessário obter-se o consumo real dos tipos de espaço, consultando a GTC, no caso dos contadores do Campo Grande. No edifício América, como os dados do consumo não se encontravam no sistema da GTC, foi necessário fazer uma leitura de hora a hora, sendo por isso só possível ter o consumo no horário laboral para esses casos. Sendo assim, foram selecionados os seguintes espaços que têm contadores individuais, sentes estes:

- O contador do piso 4 Nascente do Campo Grande;
- O contador da Cantina do Campo Grande;

- O contador da Sala Lima do América.

Para a análise e validação do modelo são apresentadas as figuras com o consumo real e o consumo teórico dos três contadores, Figuras 26 a 30. Para cada figura é analisada a percentagem de erro horária e diária, por forma a detetar as discordâncias mais facilmente.

### 5.2.1.1. Piso 4 Nascente do Campo Grande

Para o contador do Piso 4 Nascente, foi necessário somar os vários consumos teóricos dos vários tipos de espaços que aí se encontram, nomeadamente do *open space*, da sala de reunião, dos gabinetes, da copa, da *facility corner* e da *zona técnica*.

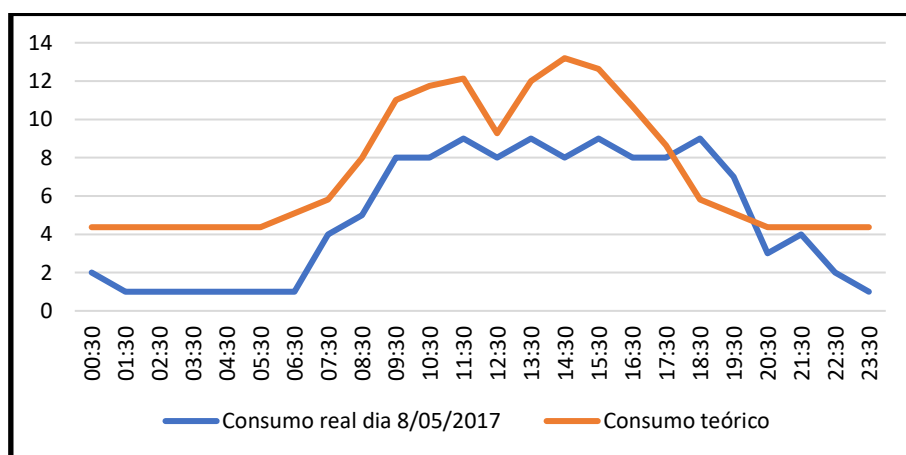


Figura 26 -Consumo real vs consumo teórico do Piso 4 Nascente do Campo Grande (kWh)

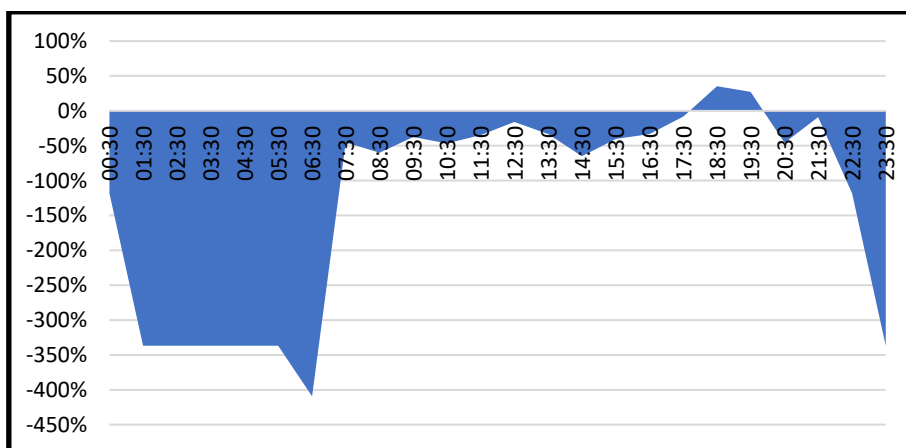


Figura 27 - Percentagem de erro horária do Piso 4 Nascente do Campo Grande

A percentagem de erro diária é de -48%.

Através da análise das figuras e da percentagem de erro diário, conclui-se que o modelo está sobredimensionado. Esse sobredimensionamento é praticamente ao longo de todo o dia, exceto o período entre as 18h30 e as 19h. Este facto apenas se verifica porque o modelo supõe que os colaboradores saem mais cedo do que na realidade acontece. Através da Figura

27, nota-se também que o período mais crítico de erros é à noite onde não há ocupação, levando à conclusão de que o sobredimensionamento provém em grande parte do consumo fixo. Observando a Figura 26, verifica-se que o menor consumo previsto pelo modelo para a hora de almoço, não é constatado pelo consumo real.

### 5.2.1.2. Sala Lima do edifício América

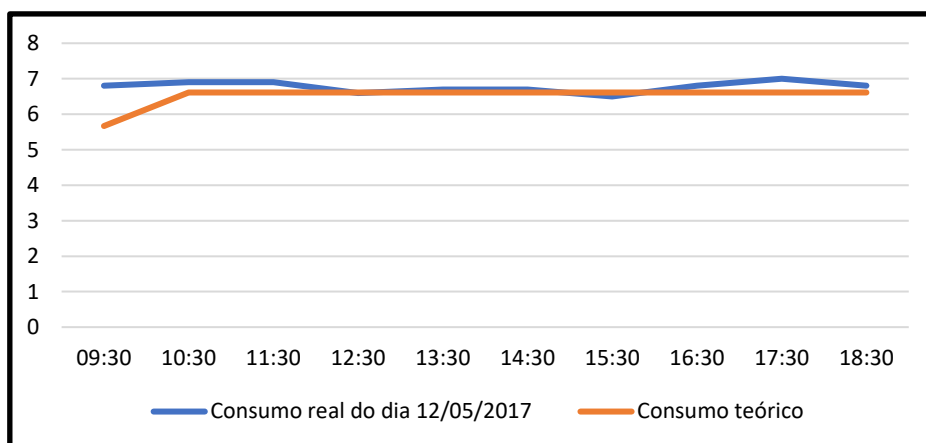


Figura 28 - Consumo real vs consumo teórico da sala Lima do edifício América (kWh)

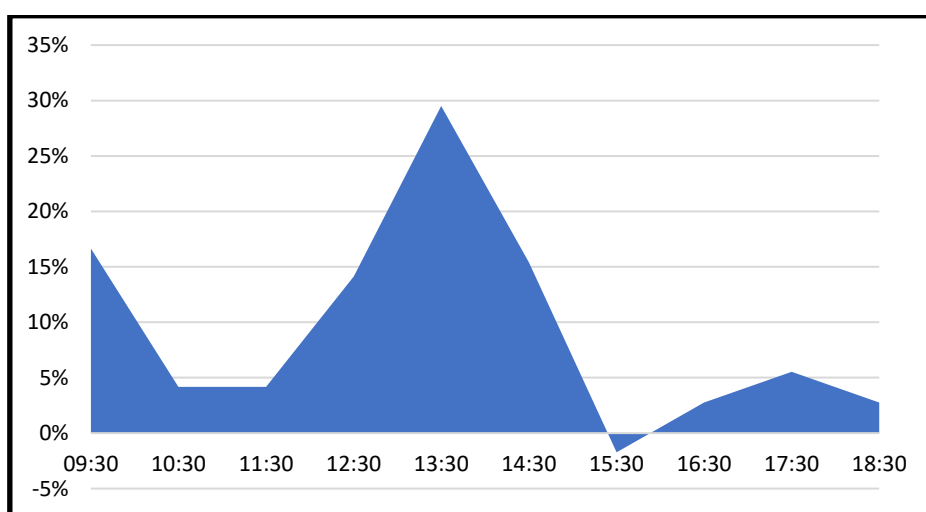


Figura 29 - Percentagem de erro horária da Sala Lima do edifício América

A percentagem de erro diária é de 9%, o que demonstra que o modelo está ligeiramente subdimensionado.

Analisando as Figuras 28 e 29, onde só se pode validar o modelo no horário laboral devido às condicionantes, denota-se uma congruência elevada. No entanto, tal como no Piso 4 Nascente do Campo Grande, na hora do almoço, previa-se uma diminuição do consumo que na realidade não se verificou, o que pode ser justificado provavelmente pelo facto de neste tipo de serviços se trabalhar por turnos e não haver uma hora delimitada para almoço, mas



sim pequenas pausas, o que também não afeta o consumo, visto que os equipamentos não são desligados durante este período.

### 5.2.1.3. Cantina do Campo Grande

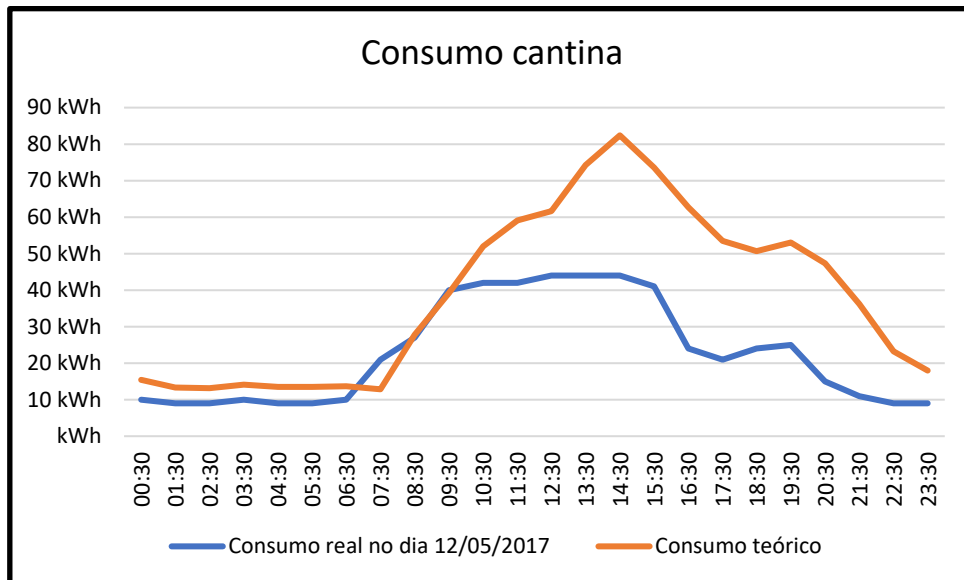


Figura 30 - Consumo real vs consumo teórico da cantina do edifício do Campo Grande (kWh)

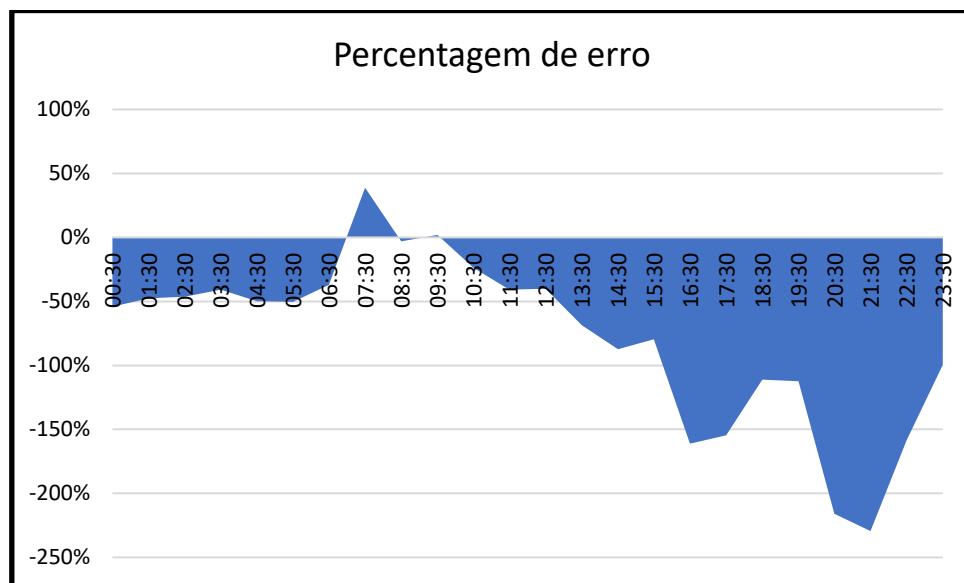


Figura 31 - Percentagem de erro horária da Cantina do Campo Grande

A percentagem de erro diária é de -68% o que demonstra um sobredimensionamento claro do modelo.

Com base na análise das figuras pode-se tirar várias conclusões:

- É previsto o começo do aumento do consumo energético às sete e meia, o que não é verificado, pois na cantina da NOS, a cozinha começa a funcionar às seis e meia.

- É previsto também um pico de consumo na hora de almoço, que na realidade não é verificado, notando-se um consumo constante entre as 9h:00 e as 15h:00. Este facto deve-se provavelmente porque a cantina do IST não serve pequenos-almoços, enquanto que a cantina da NOS serve.
- Outro fator a calibra é o horário de fecho da cozinha onde o modelo
- O modelo está sobredimensionado para todas as horas de maneira semelhante.

### **5.2.2. Calibração**

Após a validação, com percentagens de erros consideráveis, fica claro que é necessária uma calibração, que seguidamente é executada por tipo de espaço.

#### **5.2.2.1. Piso 4 Nascente do Campo Grande**

A primeira modificação a fazer é a ocupação dos escritórios, pois o horário normal dos colaboradores é até às 18h-18h30 começando a ocupação a decrescer apenas a partir das 18h00. Assim, estendeu-se a ocupação a 100% por mais duas horas de modo a que o modelo seja conforme o efetivo horário dos colaboradores da empresa. Verificou-se ainda que há sempre 5 a 7 colaboradores que saem do edifício por volta das 22h. Procedeu-se ainda à alteração da ocupação da *facility corner* uma vez que este representa um quarto da ocupação do *open space*.

Outros dos fatores retificado foi o efetivo consumo das máquinas que trabalham com gases fluorados, localizados na copa e no polo técnico. A potência indicada está relacionada com o ciclo frigorífico, em concreto com o trabalho dos compressores. Como estes não estão sempre a funcionar mesmo estando a máquina a trabalhar é necessário encontrar um valor em percentagem do tempo que o compressor irá funcionar, sendo este aproximadamente igual ao tempo de consumo do equipamento. Para se obter uma estimativa desse tempo, utilizou-se uma comparação do consumo teórico com o consumo real à noite. Sabendo que, durante a noite apenas estes equipamentos funcionam, é possível determinar o tempo de consumo desses equipamentos para que o consumo teórico seja igual ao consumo real. Deste modo, na copa e no polo técnico, para as máquinas que trabalham com gases fluorados, considerou-se que o tempo de consumo elétrico,  $\Delta t$  da equação 1 é 30%.

Outra não conformidade deste modelo é a hora do almoço onde se previa um decréscimo do consumo, o que na realidade não se verifica. Isto deve-se ao facto dos colaboradores, quando vão almoçar, não desligarem o seu computador, o que por si só já é um fator de desperdício energético. O facto de não existir um horário fixo para pausa de almoço comum a todos os colaboradores, faz com que a iluminação também não possa ser desligada durante esse período. Estes fatores fazem com que a aparente desocupação no piso 4 Nascente em termos

de consumo elétrico seja na verdade inexistente. Por esse motivo, para efeitos de calibração, considerou-se que no perfil de ocupação não irá ser representado a “hora de almoço”, considerando-se ocupação constante entre a manhã e a tarde.

Por último verificou-se a causa de um maior consumo teórico durante o período da tarde. Percebeu-se que esse consumo advém da copa e mais especificamente da máquina de café que possui uma potência elevada. Este facto foi estudado, chegando-se à conclusão que não é razoável assumir que ela tenha 100% de tempo de consumo, pois mesmo que a copa esteja cheia a máquina não está sempre em funcionamento. Após algumas observações alterou-se o tempo de consumo para 30%, procedeu-se à sua análise, nomeadamente se isso acontecia para mais algum equipamento e através de questionários e observações chegou-se à conclusão que as televisões dos gabinetes e salas de reunião, também só se encontram a funcionar cerca de 50% do tempo de consumo.

Com as alterações efetuadas validou-se novamente o modelo para o espaço do piso 4 Nascente do Campo Grande obtendo-se os resultados apresentados nas Figuras 32 e 33.

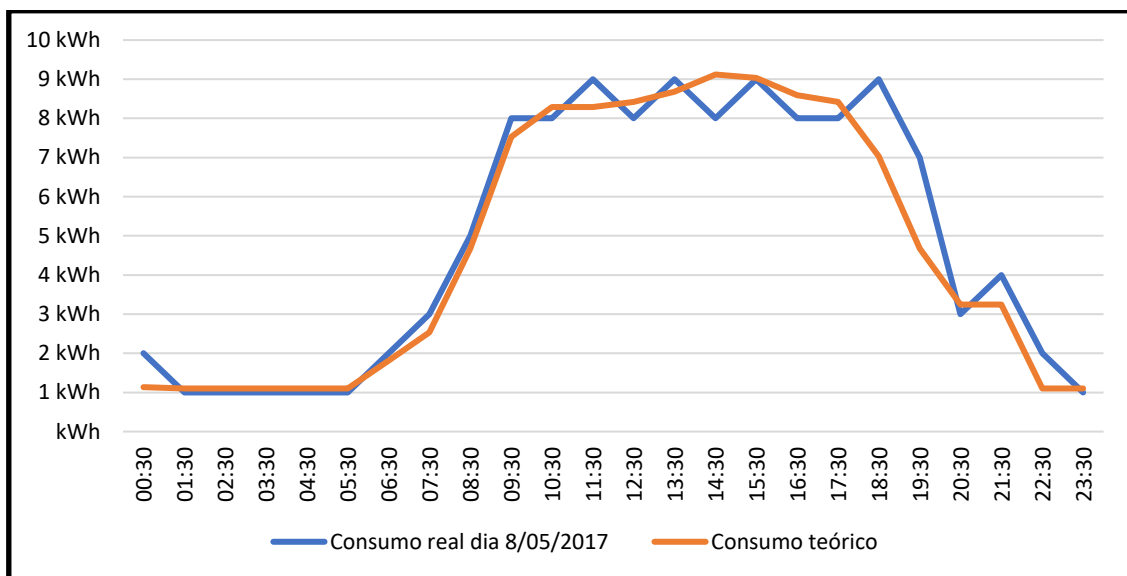


Figura 32 - Consumo real vs consumo teórico do Piso 4 Nascente do Campo Grande após calibração

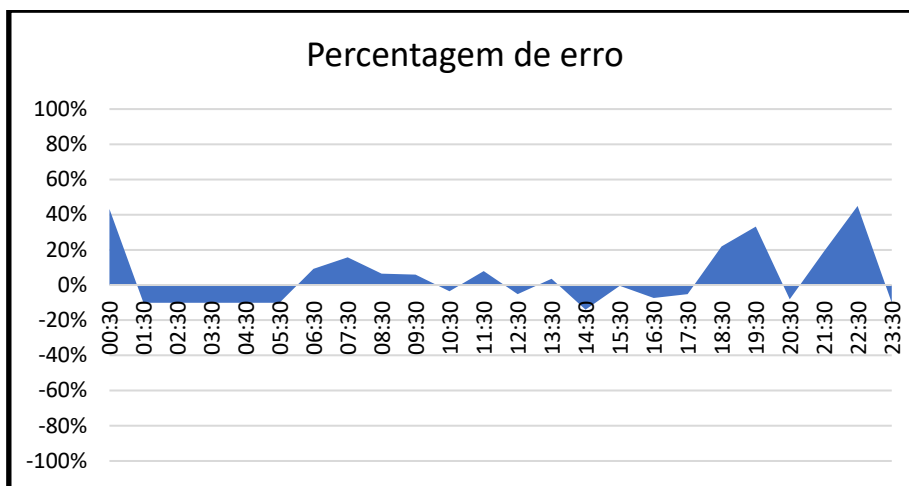


Figura 33 - Percentagem de erro por hora do Piso 4 Nascente do Campo Grande após calibração

A percentagem de erro diária é de 5%, havendo uma melhoria de 73% após a calibração.

Assim, posteriormente à calibração verifica-se uma grande melhoria na fiabilidade do modelo, observando-se percentagens de erros baixíssimas à exceção do final da tarde/noite onde o erro aumenta consideravelmente, o que provavelmente significa que os colaboradores ainda demoram mais tempo a sair do que aquele que já se havia verificado.

#### 5.2.2.2. Sala Lima do edifício América

A única calibração necessária na sala *Call Center* foi a anulação da previsão de desocupação da sala durante o período de almoço, medida que já havida sido tomada no subcapítulo anterior. Assim, obtiveram-se os resultados conforme demonstrados nas Figuras 34 e 35.

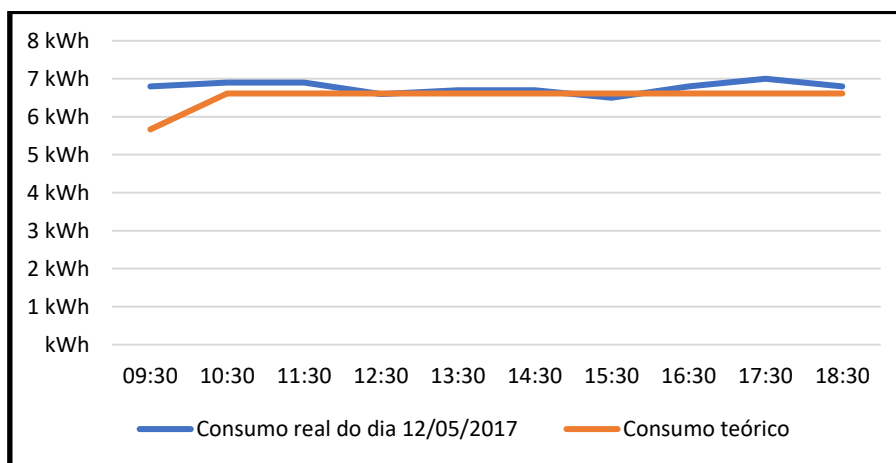


Figura 34 - Consumo real vs consumo teórico da sala Lima do América após calibração

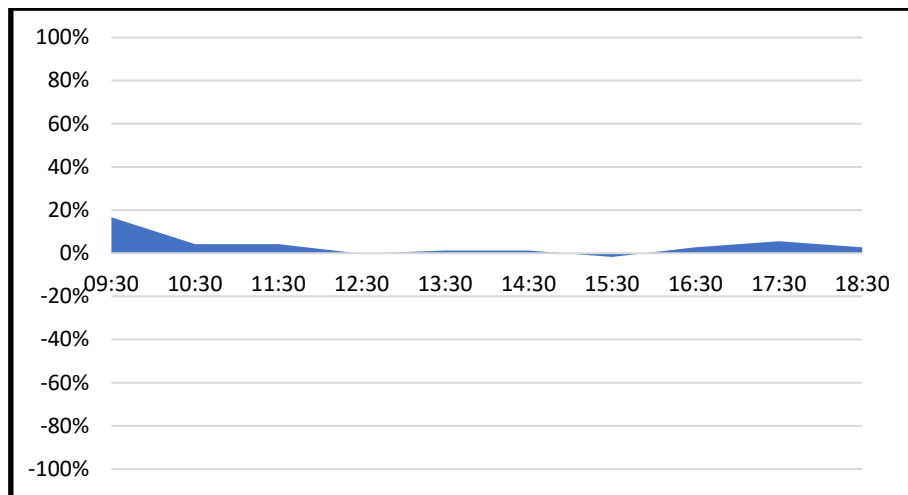


Figura 35 - Percentagem de erro na Sala Lima do América após calibração

A percentagem de erro diária é de 4% reduzindo o erro em 5% com a calibração.

Neste espaço, após a calibração, o modelo mostrou-se muito fiável no espaço de tempo que foi possível validar, ficando apenas a sensação que a ocupação da sala às 9h já é a normal de trabalho.

### 5.2.2.3. **Cantina do Campo Grande**

Por fim, efetuou-se a calibração do modelo para a cantina do Campo Grande.

Relembrando que a metodologia aplicada neste espaço foi diferente dado que foi relacionado um perfil de consumo e não um perfil de ocupação, podemos verificar que este espaço foi o que apresentou um erro diário maior.

Através do mesmo método do subcapítulo 5.2.2.1. colocaram-se tempos de consumo para equipamentos de gases fluorados de 60%, à exceção da máquina de água fria/quente que se considerou com tempo de consumo de 30% por ser semelhante à máquina da copa do piso 4 Nascente.

Através de questionários conclui-se que os equipamentos de cozinha como a cortadora de legumes e hortaliças, a serra ossos de altura de corte, a batedeira, a fritadeira e o inseto caçador têm tempos de consumo de 50%; as máquinas de lavar a loiça de 70% e a máquina de café de 10%, conforme descrito nas Figuras 36 e 37.

Através dos mesmos questionários ajustou-se o horário de funcionamento da cantina, adiantando o perfil de consumo numa hora.

Também se ajustou o perfil de consumo com o facto da cantina da NOS servir pequenos almoços fazendo com que o consumo de manhã se mantenha mais constante de manhã.

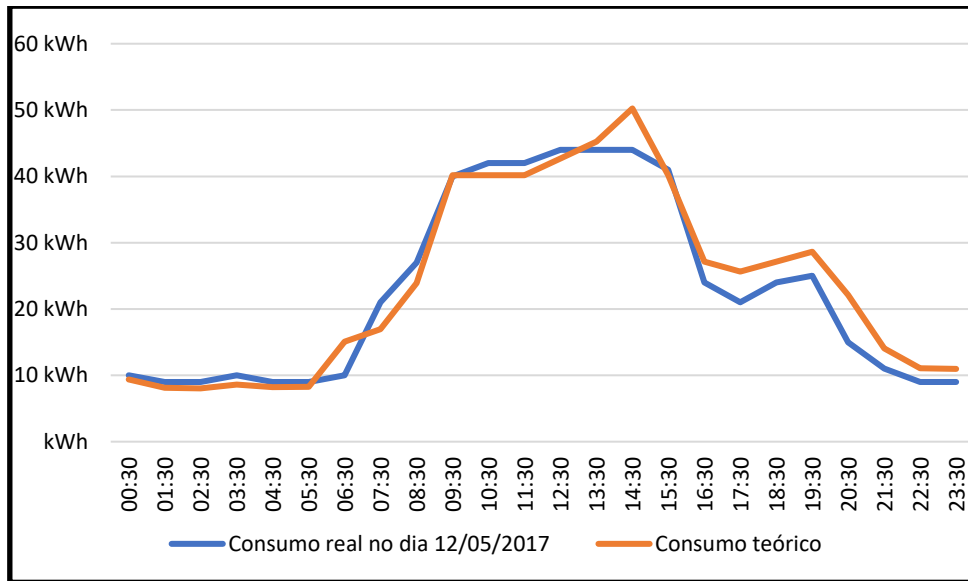


Figura 36 - Consumo real vs consumo teórico da cantina do Campo Grande após calibração

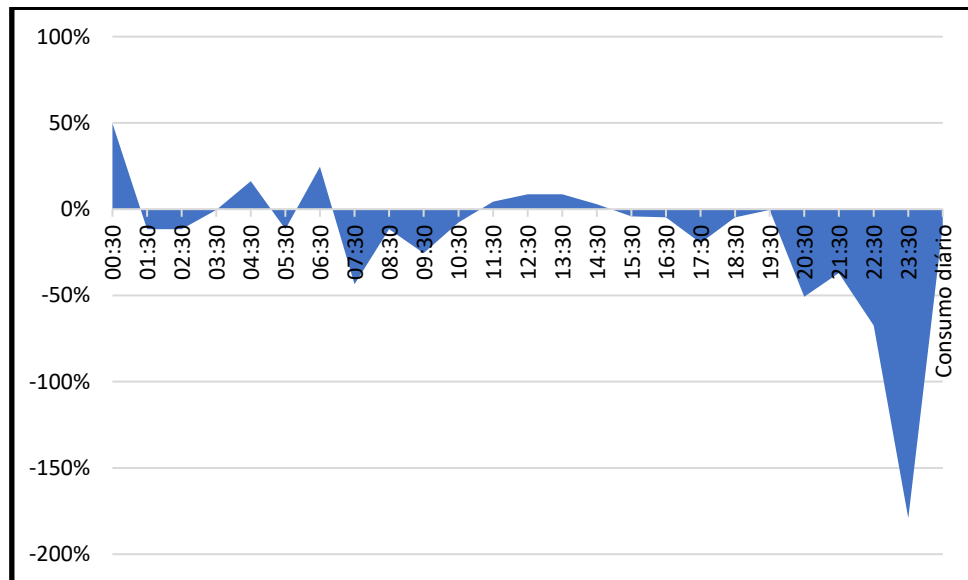


Figura 37 - Percentagem de erro da cantina do Campo Grande

A percentagem de erro diária é de -4% com uma diminuição do erro absoluto em 64% na calibração.

Neste espaço o modelo demonstrou-se menos eficaz, provavelmente, por não ser muito dependente da ocupação. No entanto depois da calibração, a percentagem de erro diária é inferior a 5%, sendo um resultado positivo. Pode-se verificar que o modelo foi pouco eficaz na hora do pequeno almoço, provavelmente por não simular a preparação do pequeno almoço, o que na realidade se verifica. Ainda assim, o período de tempo onde a incongruência entre o modelo e a realidade é evidenciado, é o período da noite, onde o modelo previa algum consumo para além do consumo fixo.

#### 5.2.2.4. Análise geral da calibração

Na Figura 38 visualiza-se a diminuição da percentagem de erro e a maior fiabilidade do modelo com a calibração.

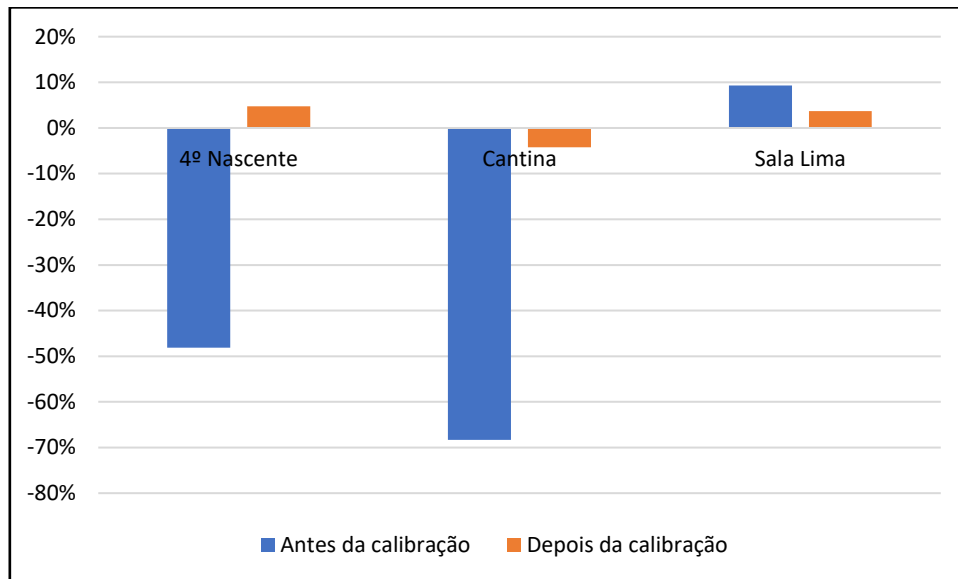


Figura 38 - Percentagem de erro diária do modelo antes e depois da calibração

Com a calibração, os indicadores dos vários espaços representativos tanto por área como por posto de trabalho acabaram por ser alterados. Estes estão representados nas Figuras 39 a 42.

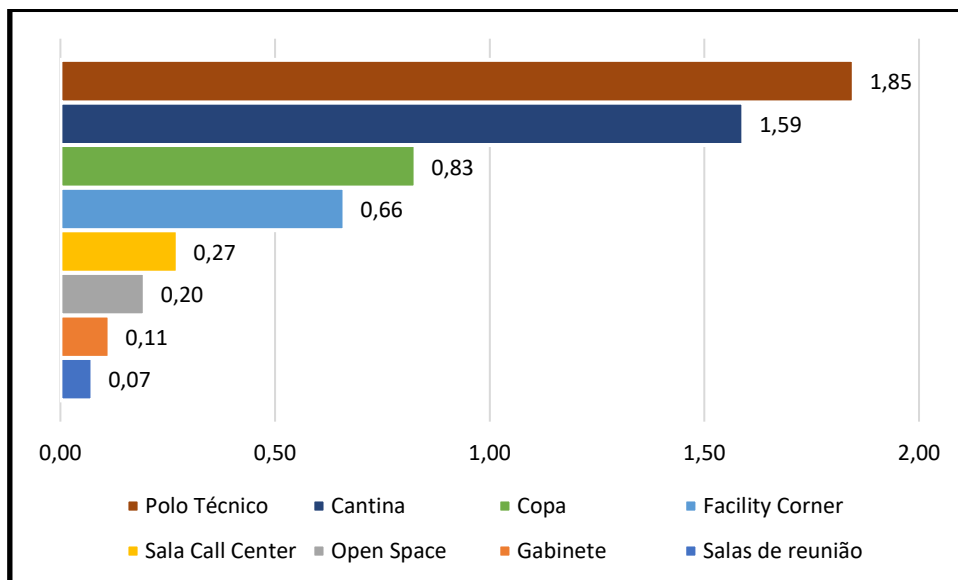


Figura 39 - Indicador energético por área dos tipos de espaços representativos em kWh/m<sup>2</sup>

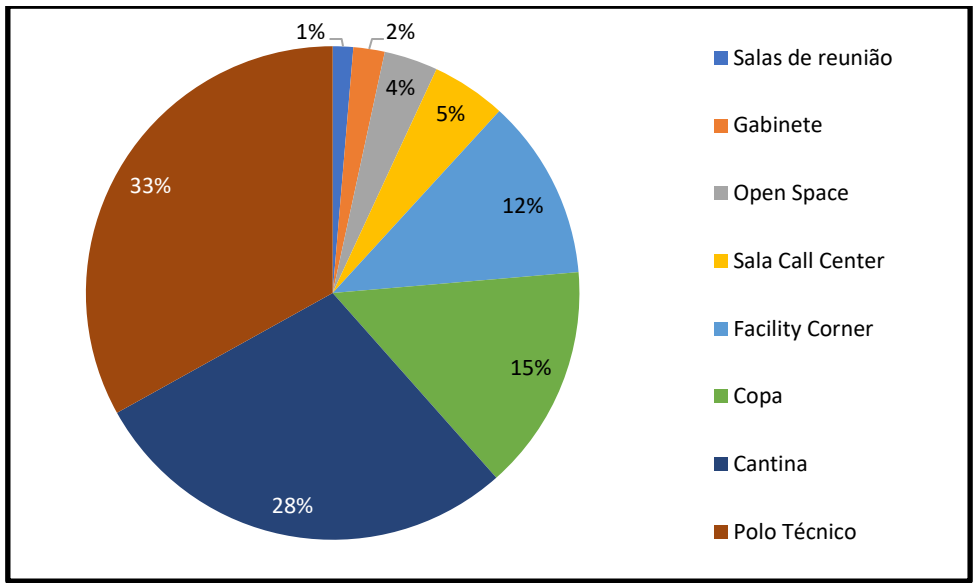


Figura 40 - Indicador energético por área dos tipos de espaços representativos em percentagem

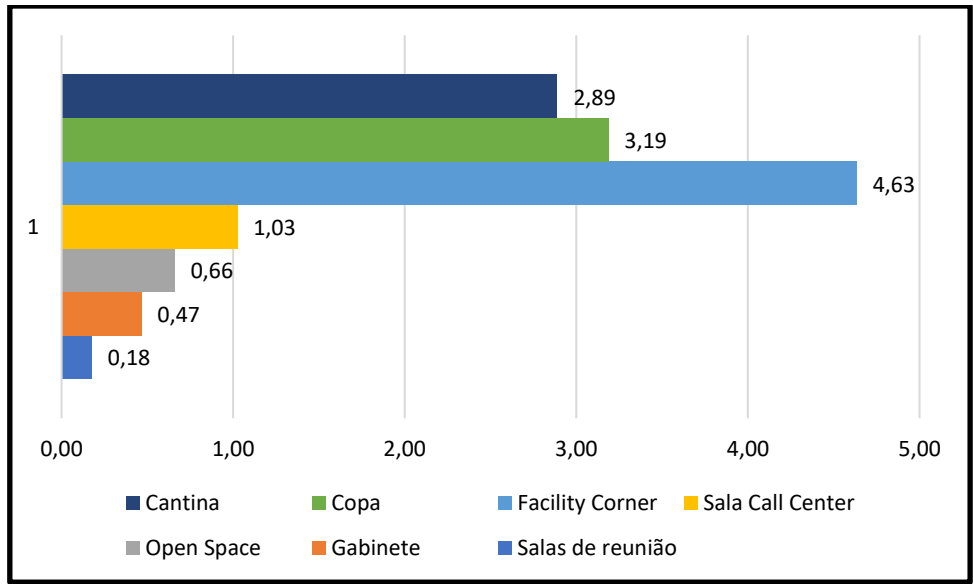


Figura 41 - Indicador energético por posto e trabalho dos tipos de espaços representativos em kWh/Ocupação



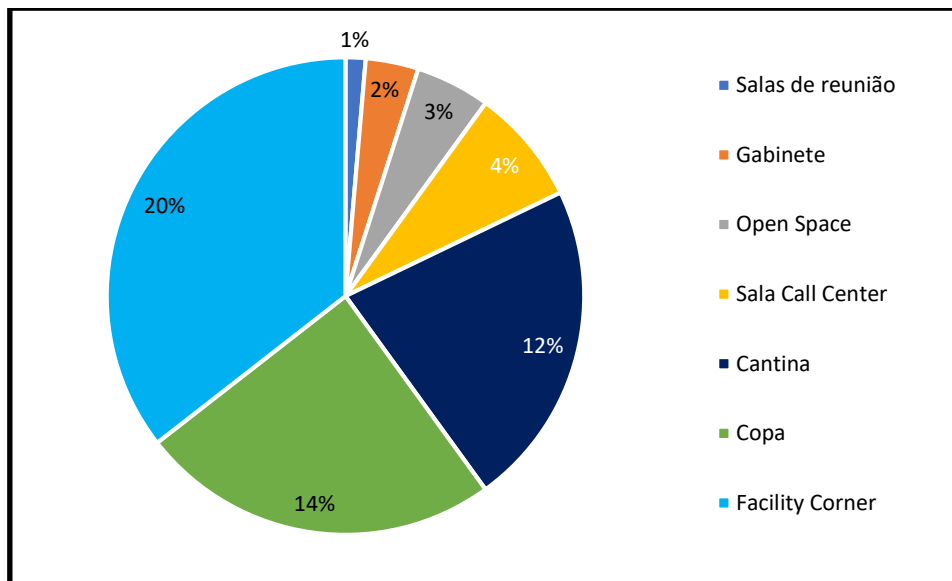
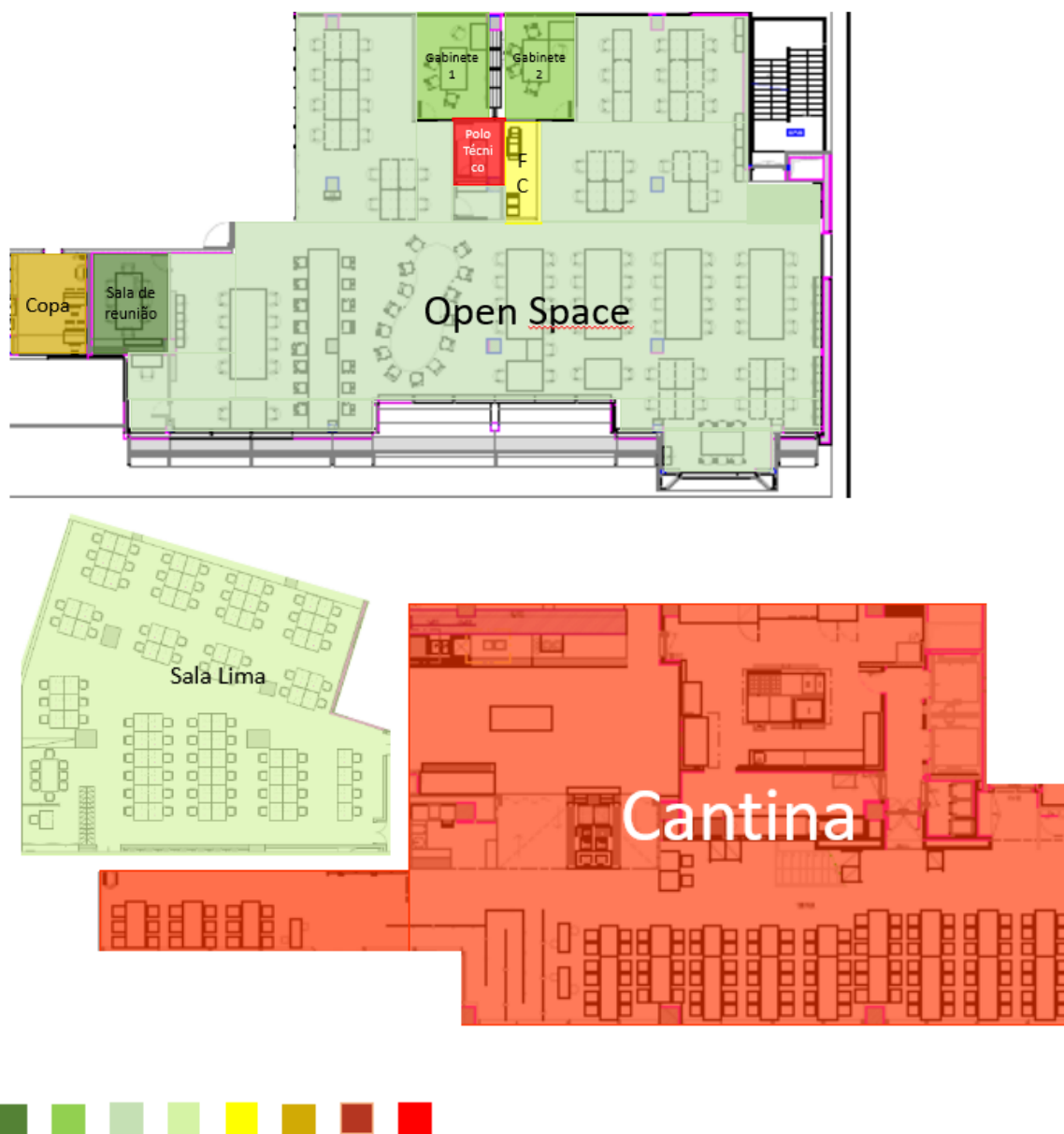


Figura 42 - Indicador energético por posto de trabalho dos tipos de espaços representativos em percentagem

Através dos recentes resultados, percebe-se que apesar de mudanças acentuadas nos valores dos indicadores, a tendência do espaço com maior consumo para o com menos consumo manteve-se aproximadamente igual, tanto no indicador por área como no indicador por posto de trabalho. O polo técnico mantém-se como maior consumidor por área com 33%. A cantina que por área representa o segundo indicador mais alto, por posto de trabalho já é apenas a quarta com maior consumo, o que representa a grande densidade de pessoas que aquele espaço pode levar. Pelo contrário a *facility corner* que tem o quarto indicador mais alto no consumo por área, por posto de trabalho é o espaço que consome mais. Este resultado deve-se à sua pouca densidade, onde só está por norma um colaborador. A copa é o terceiro espaço mais consumidor relativamente aos dois indicadores, o que representa que os espaços de comer/beber são dos maiores consumidores. Verifica-se com indicadores mais pequenos a sala *call center* a superiorizar-se ao *open space*. Com os indicadores mais baixos estão os gabinetes e por último as salas de reunião.

Na Ilustração 6 estão representados nas plantas os espaços e os respetivos indicadores por área representado do indicador mais baixo (verde) para o mais alto (vermelho).



*Ilustração 6 - Esquema de cores do indicador por área nos espaços representativos*

Posteriormente, extrapolou-se os resultados para o edifício do Campo Grande e agregando os espaços a partir das áreas indicadas na Tabela 8, calculou-se o consumo representado na Tabela 9

*Tabela 8 - Áreas dos vários espaços representativos do edifício do Campo Grande (m<sup>2</sup>)*

Open space	Polo técnico	Salas de reunião	Gabinetes	Facility Corner	Copa	Cantina
12130	78	1298	558	86	284	404

Tabela 9 - Consumo do edifício do Campo Grande (kWh)

Open space	Polo técnico	Salas de reunião	Gabinetes	Facility Corner	Copa	Cantina	Total
2387,0	144,1	97,0	64,1	57,2	235,0	642,7	3658,7

Através do modelo proposto calculou-se o consumo teórico num dia útil de 3658,7 kWh. De notar que no Subcapítulo 4.6. verificou-se que esse consumo ronda os 11 mil e os 12 mil kWh. No entanto, neste consumo teórico calculado não estão contabilizados os principais equipamentos de AVAC nem o *Data Center*. Ora como resultado disso, pode-se prever com este modelo que o *Data Center* e os principais equipamentos de AVAC consomem cerca de 70% da energia elétrica do edifício, o resultado que não é surpreendente.

### 5.3. Projeção elétrica para o novo edifício

Aquando do desenvolvimento desta dissertação, não havia áreas nem postos de trabalho definidos oficialmente para o novo edifício da NOS. No entanto, havia estudos, e para a projeção de consumo de energia elétrica do novo edifício optou-se por retirar as áreas de um estudo que no momento era o mais próximo do que se pensava que iria ser na realidade este novo edifício. Com base nesse estudo o edifício possuía 8 pisos à exceção dos pisos de estacionamento e não iria apresentar cantina. As áreas dos espaços representativos do novo edifício estão representadas na Tabela 10.

Tabela 10 - Áreas dos espaços representativos no novo edifício (m<sup>2</sup>)

Pisos	Open space	Polo técnico	Salas de reunião	Call Center	Facility Corner	Copa
7	828,43	28,82	114,09	715,10	3,75	58,19
6	853,90	29,71	117,59	737,08	3,86	59,98
5	825,27	28,71	113,65	712,37	3,73	57,97
4	686,15	23,87	94,49	592,28	3,11	48,20
3	705,35	24,54	97,14	608,86	3,19	49,55
2	464,56	16,16	63,98	401,01	2,10	32,63
1	445,83	15,51	61,40	384,84	2,02	31,32
0	353,87	12,31	48,73	305,46	1,60	24,86

Posteriormente, foram multiplicadas as áreas pelo indicador do respetivo espaço, obtendo-se assim o consumo energético num dia útil. De notar que neste caso não se usou o indicador por ocupação, uma vez que no estudo apenas constava as áreas do novo edifício.

Na Tabela 11 estão representados os consumos dos vários espaços em cada piso e o consumo total.

*Tabela 11 - Consumo do novo edifício num dia útil em kWh*

Pisos	Open space	Polo técnico	Salas de reunião	Call Center	Facility Corner	Copa	Total
7	163,03	53,25	8,53	195,33	2,48	48,15	470,76
6	168,04	54,89	8,79	201,34	2,56	49,63	485,24
5	162,41	53,05	8,49	194,59	2,47	47,96	468,97
4	135,03	44,11	7,06	161,78	2,06	39,88	389,91
3	138,81	45,34	7,26	166,31	2,11	40,99	400,83
2	91,42	29,86	4,78	109,54	1,39	27,00	263,99
1	87,73	28,66	4,59	105,12	1,34	25,91	253,35
0	69,64	22,75	3,64	83,44	1,06	20,57	201,09
<b>Total</b>	1.016,10	331,92	53,14	1.217,44	15,47	300,09	<b>2.934,15</b>

Consumo total do edifício num dia útil

Aplicando este modelo verifica-se que o novo edifício irá ter um consumo praticamente de 3000 kWh num dia útil. Comparativamente ao edifício do Campo Grande, o edifício novo consome um pouco menos, no entanto, o edifício novo tem menos 36% da área do Campo Grande. Obtendo um valor em kWh/m<sup>2</sup> para os dois edifícios obtêm-se:

- 0,244 kWh/m<sup>2</sup> para o edifício do Campo Grande
- 0,269 kWh/m<sup>2</sup> para o edifício novo.

O indicador do edifício novo acaba por ser ligeiramente superior ao edifício do Campo Grande. Isso pode acontecer pelo facto do novo edifício ser também um edifício de suporte, tendo muita área de Call Center que tem um indicador superior ao Open Space que é o principal constituinte do edifício do Campo Grande. A cantina no Campo Grande esbate um pouco a diferença, equilibrando assim, os indicadores.

Este consumo não tem em conta os principais equipamentos do sistema AVAC que por norma consomem muita energia. No entanto após se saber os equipamentos que irão ser utilizados, basta aplicar este método para calcular o consumo restante. Para tal, será necessário saber

o valor da potência dos equipamentos que o fabricante terá que fornecer e a utilização que estes equipamentos irão ter que estará definido na GTC.

Através da Figura 43 compara-se a influência dos vários tipos de espaço no consumo total do edifício. Como maiores consumidores encontram-se o *open space* e o *call center*, devendo-se ao facto de serem os espaços com maior área no edifício e não por serem espaços que efetivamente consumam muita energia. De seguida com cerca de 10% cada, estão o polo técnico e a copa. Já as salas de reunião e os gabinetes apresentam uma percentagem mínima de consumo elétrico, bem como as *facility corners*.

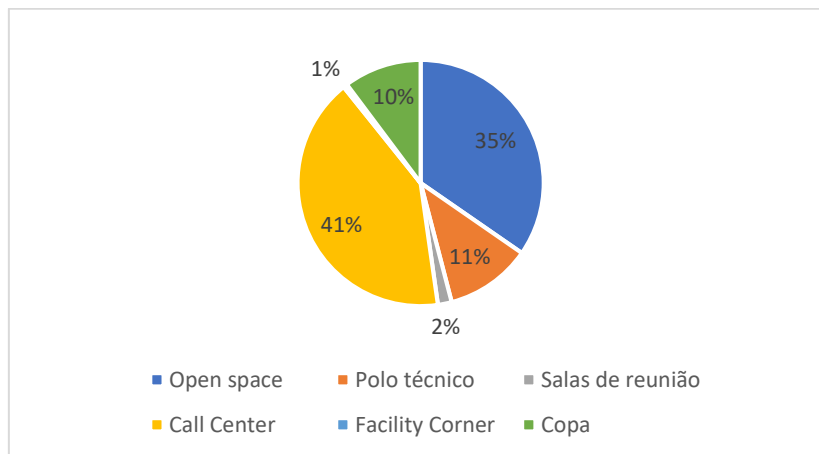


Figura 43 - Consumo diário dos vários tipos de espaço representativos no novo edifício da NOS em percentagem

## 6. Conclusões e trabalhos futuros

Este projeto consistiu na criação de um modelo de previsão de consumos de um edifício de serviços tendo como base os edifícios da NOS Comunicações.

Para tal, utilizou-se um modelo *Bottom-up* baseado nos “Time of Use Based Models” em que a abordagem seguida para a modelação dos Perfis de Consumo foi a modelação empírica que teve em conta a potência e utilização dos equipamentos de espaços representativos de um edifício de serviços. O modelo foi depois validado com os consumos obtidos por medição dos quadros elétricos ou da GTC.

O modelo criado começou por apresentar erros bastante elevados, mas, após se efetuarem calibrações, nas quais se adequavam factos concretos e científicos aos consumos dos equipamentos e ajustava a ocupação teórica com a ocupação real do edifício, acabou por se revelar um modelo altamente fiável, apresentando erros diários abaixo dos 5%. Com este estudo foi também possível perceber quais os espaços que por área ou posto de trabalho consomem mais, verificando-se assim que os polos técnicos, as *facility corners*, a cantina e as copas têm os indicadores mais elevados.

De seguida o modelo foi aplicado ao novo edifício da NOS onde foi possível prever o consumo desse mesmo edifício, ainda na sua fase de projeto.

### 6.1. Contribuições do trabalho realizado

Com este modelo, todos os edifícios de serviço com características similares aos edifícios da NOS vão poder calcular o perfil e intensidade de consumo. Caso o que se pretenda modelar tenha características diferentes, pode-se usar esta metodologia para se criar um perfil de consumo teórico.

Estes perfis servem para prever o consumo de um novo edifício ou compará-lo ao consumo de um edifício construído. Pode-se através deles perceber onde os consumos são mais elevados e ter uma grande base de dados para se aplicar as medidas de eficiência energética.

### 6.2. Perspetivas de desenvolvimentos futuros

Uma possível melhoria seria com este ou outro modelo semelhante, criarem-se mais parâmetros de *benchmarking* para edifícios com características diferentes ou outras instalações industriais como fábricas.

Para além disso, um modelo, que calculasse com exatidão o número de pessoas existentes nos vários espaços ou pelo menos no edifício, facilitaria o uso desta metodologia, uma vez

que este modelo cria os perfis de consumo numa relação direta com a ocupação de cada espaço representativo.

A criação de um modelo que conseguisse prever o consumo médio, por hora, por exemplo, de um equipamento, poderia também ser uma melhoria.

## Bibliografia

- [1] Oyedepo, S.O.. "Energy and sustainable development in Nigeria: the way forward," *Energy, Sustainability and Society*, pp. 2:15, 2012.
- [2] Intergovernmental Panel on Climate Change, "Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on climate Change " Climate Change 2007-The Physical Science Baseis", IPCC, Geneva, Switzerland, 2008.
- [3] Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., Pout, C.. "A review on buildings energy consumption information," *Energy and Buildings*, vol. 40, pp. 394-398, 2008.
- [4] International Energy Agency, "Key World Energy Statistics," IEA, 2016.
- [5] EUROSTAT, "Eurostat Yearbook 2017," em *Comissão Europeia* , Bruxelas, 2017.
- [6] PORDATA, "Base de dados Portugal Contemporâneo," [Online]. Available: <https://www.pordata.pt>. [Acedido em agosto 2017].
- [7] Direção-Geral de Energia e Geologia, *Energia em Portugal 2015*, 2017.
- [8] GALP, "Programa Galp 20-20-20," [Online]. Available: <http://www.galpennergia.com/PT/Sustentabilidade/Inovacao-Investigacao-Tecnologia/Paginas/Programa-Galp-20-20-20.aspx>. [Acedido em agosto 2017].
- [9] Grandjean, A., Adnot, J., Binet, G.. "A review and an analysis of the residential electric load curve models," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, pp. 6539-6565, 2012.
- [10] Borgstein, E. H., Lamberts, R., & Hensen, J. L. M. "Evaluating energy performance in non-domestic buildings: A review," *Energy and Buildings*, vol. 128, pp. 734-755, 2016.
- [11] Wang, S., Yan, C., & Xiao, F.. "Quantitative energy performance assessment methods for existing buildings," *Energy and Buildings*, vol. 55, pp. 873-888, 2012.
- [12] Hong, S. M., Paterson, G., Burman, E., Steadman, P., & Mumovic, D.. "A comparative study of benchmarking approaches for non-domestic buildings: Part 1 - Top-down approach," *International Journal of Sustainable Built Environment*, vol. 2, pp. 119-130, 2013.



- [13] Alves, T., Machado, L., Souza, RG e Wilde, P.. “A methodology for estimating office building energy use baselines by means of land use legislation and reference buildings,” *Energy and Buildings*, vol. 143, pp. 100-113, 2017.
- [14] Jenkins, D. P., Patidar, S., & Simpson, S. A.. “Synthesising electrical demand profiles for UK dwellings,” *Energy and Buildings*, vol. 76, pp. 605-614, 2014.
- [15] Buso, T., & Corgnati, S. P.. “A customized modelling approach for multi-functional buildings - Application to an Italian Reference Hotel,” *Applied Energy*, vol. 190, pp. 1302-1315, 2017.
- [16] Aigner, D. J., Sorooshian, C., & Kerwin, P. “Conditional demand analysis for estimating residential end-use load profiles,” *The Energy Journal*, vol. 5, pp. 81-97, 1984.
- [17] Parti, M., & Parti, C.. “The total and appliance-specific conditional demand for electricity in the household sector,” *Bell Journal of Economics*, vol. 11, pp. 309-321, 1980.
- [18] Yao, R., & Steemers, K.. “A method of formulating energy load profile for domestic building in the UK,” *Energy and Buildings*, vol. 37, pp. 663-671, 2005.
- [19] Paatero, J. V., & Lund, P. D.. “A model for generating household electricity load profiles,” *International Journal of Energy Research*, vol. 30, pp. 273-290, 2006.
- [20] Richardson, I., Thomson, M., Infield, D., & Clifford, C.. “Domestic electricity use: a high resolution energy demand model,” *Energy and Buildings*, vol. 42, pp. 1878-1887, 2010.
- [21] Diário da República, 1.ª série — N.º 159. Decreto Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto. pp. 4988-5005.
- [22] Patrício, JMAN. “Modelação dos Consumos Energéticos no Pavilhão de Civil do IST e Definição de Medidas de Racionalização dos Consumos Energéticos”, Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Mecânica, 2013.
- [23] Ahmad, A. S., Hassan, M. Y., Abdullah, M. P., Rahman, H. A., Hussin, F., Abdullah, H., & Saidur, R. “A review on applications of ANN and SVM for building electrical energy consuming forecasting,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 33, pp. 102-109, 2014.
- [24] Daikin, “Daikin,” [Online]. Available: [http://www.toshiba-klima.at/pdf/en/anwendungshandbuch/Engineer%20Databook\\_SD1%20Serie3\\_%20RAV-SM\\_563\\_803\\_1103\\_1103E1\\_1403\\_1403E1\\_1603-E%20\\_E1.pdf](http://www.toshiba-klima.at/pdf/en/anwendungshandbuch/Engineer%20Databook_SD1%20Serie3_%20RAV-SM_563_803_1103_1103E1_1403_1403E1_1603-E%20_E1.pdf). [Acedido em junho 2017].

- [25] Toshiba. Digital Inverter 3 series. Engineering Data Book. 2012.
- [26] Gonçalves, M. J. C. R.. “Comportamento ao fogo de elementos estruturais de betão - análise numérica e metodologia”. Dissertação para obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2012.
- [27] Eletricazan. [Online]. Available: <http://www.eletricazan.com.br/material/eletrodomesticos.pdf>. [Acedido em junho 2017].
- [28] Casa da hotelaria. [Online]. Available: [www.casadahotelaria.com](http://www.casadahotelaria.com). [Acedido em junho 2017].