



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Simulação dinâmica de Edifícios – criação de edifícios *standard* para a tipologia: Escritórios

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica na Especialidade de Energia e Ambiente

Autor

Ana Ribeiro Pais Pinto dos Santos

Orientadores

Engenheiro Francisco José Craveiro Bispo Pocinho Lamas

Engenheiro Luís Carlos Amorim Coimbra Vale

Júri

Presidente Professor Doutor Adélio Manuel Rodrigues Gaspar
Professor da Universidade de Coimbra

Professor Doutor António Manuel Mendes Raimundo
Professor da Universidade de Coimbra

Vogais Professor Francisco José Craveiro Bispo Pocinho Lamas
Professor da Universidade de Coimbra

Colaboração Institucional



Edifícios Saudáveis Consultores –
Ambiente e energia em edifícios, S.A.

Coimbra, fevereiro, 2016

Aos meus pais.

Agradecimentos

A conclusão desta dissertação não seria possível sem o apoio de algumas pessoas a quem gostaria aqui de deixar uma palavra de sincero agradecimento.

Ao Professor Francisco Lamas agradeço o apoio e os meios que permitiram a realização da dissertação em ambiente empresarial.

Ao Diretor da empresa Edifícios Saudáveis, Engenheiro Ricardo Sá pela oportunidade, disponibilidade e desafios sugeridos ao longo do projeto que tornaram possíveis o cumprimento dos objetivos propostos.

Ao meu coorientador, Engenheiro Luís Vale pela total disponibilidade, paciência e orientação em todos os momentos essenciais na realização deste trabalho.

Aos Engenheiros Luís Andrade e João Bogonha por todo o apoio e, aos restantes membros da empresa pela disponibilidade e bom ambiente, facilitando a adaptação ao mundo empresarial.

Por último e não menos importante saliento o constante apoio dos meus pais e irmãos e a preciosa disponibilidade da minha querida tia Paula.

Resumo

Atualmente, o sector dos edifícios é responsável por aproximadamente 40% do consumo de energia total na Europa. Perante este facto, o Parlamento e Conselho Europeu priorizaram, através da Diretiva nº 2010/31/EU, a criação de medidas eficazes de eficiência energética e redução de consumos que possibilitem o cumprimento das metas traçadas até 2020, no âmbito do Protocolo de Quioto: 20% de redução de emissões de gases com efeito de estufa, de incremento da eficiência energética e de utilização de energias renováveis. Estas estratégias foram, entretanto, atualizadas para 2030, com respetivamente 40%, 27% e 27%. Neste sentido, e de acordo com as revisões posteriores da referida diretiva, é estabelecida a promoção da melhoria do desempenho energético através do aumento de edifícios que apresentem valores de necessidades mínimas ou quase nulas de energia.

A avaliação do desempenho energético de um edifício passa por um processo de simulação dinâmica que se torna imprescindível dada a sua capacidade de apoio na tomada de decisão. Esta ferramenta permite a determinação rigorosa do comportamento térmico do edifício, utilizando o cálculo dinâmico. Contudo, apresenta problemas na análise de edifícios: é cara e os resultados úteis só aparecem depois das principais ações estarem tomadas. Na presente dissertação, procurou-se desenvolver uma ferramenta de apoio que permitisse contornar os problemas crónicos da simulação energética detalhada através da criação de um edifício de escritórios padrão capaz de estimar a *performance* energética de edifícios existentes da mesma tipologia, assente em boas práticas correntes que minimizem as necessidades e promovam a eficiência energética.

É apresentada uma metodologia para obtenção de indicadores de consumo de energia de um edifício de escritórios, independente da dimensão das zonas térmicas, do clima e período de funcionamento. Para tal, foi preciso a determinação dos consumos dos vários sistemas energéticos que compõem o edifício, a partir do programa de simulação IES.

Para validação da metodologia, os indicadores de consumo foram aplicados a um edifício de escritórios existente para estimar o seu consumo teórico (*target*), que foi depois comparado com o seu consumo real. Assim, foi possível identificar sistemas cujo

consumo real era muito superior ao teórico e que, portanto, apresentavam potencial de otimização.

Palavras-chave: Simulação energética detalhada, eficiência energética, *benchmarking*, IES.

Abstract

Currently, the building sector is responsible for almost 40% of the total energy consumption in Europe. Consequentially, the European Parliament and the European Council gave priority, by issuing the Directive No. 2010/31 / EU, to the creation of effective energy efficiency and to energy reduction consumption measures that allows the achievement of the outlined goals until 2020, set by the Kyoto Protocol. Therefore, it is established the promotion of the enhancement of energy performance by the increasing number of buildings with minimum energy demand or nearly zero-energy.

The evaluation of the energy performance of a building goes through a dynamic simulation process that becomes crucial, given its capacity to support decision-making. This tool allows the accurate determination of the thermal performance of the building, using the dynamic calculation. Nevertheless, it raises problems particularly in the analysis of the existing buildings: it is expensive and useful results appear only after the main actions are taken.

This dissertation seeks to develop a support tool that could overcome the chronic problems of detailed energy simulation by creating a standard office building able to estimate the energy performance of existing office buildings, based on current good practices that minimize energy demands and promote energy efficiency.

It is set out a methodology to obtain energy consumption indicators of an office building, regardless the dimension of the thermal zones, climate and operating period. For this purpose, it was necessary to determine the energy consumption of the various systems that are part of the building, using the IES simulation program.

To validate the methodology, consumption indicators were applied to an existing office building to estimate its theoretical consumption (*target*) and compare with the actual values. So, it was possible to identify systems whose actual consumption was much higher than the theoretical and therefore had potential for optimization. Consequently, it was possible to identify systems whose actual consumption was much higher than the theoretical and therefore had potential for optimization.

Keywords Detailed energy simulation, energy efficiency, benchmarking, IES.

Índice

Índice de Figuras	viii
Índice de Tabelas	x
Simbologia e Siglas	xi
Simbologia.....	xi
Siglas	xii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Apresentação da empresa.....	5
1.3. Objetivos.....	5
1.4. Estrutura.....	6
2. SIMULAÇÃO ENERGÉTICA	7
2.1. Simulação energética detalhada.....	7
2.1.1. Ferramentas de simulação	9
2.1.2. Potencialidades	11
2.2. Contextos de utilização.....	12
2.3. Benchmarking.....	13
2.4. Desempenho energético de um edifício.....	14
3. CASO DE ESTUDO – EDIFÍCIO DE ESCRITÓRIOS	17
3.1. Caracterização de um edifício de escritórios típico	17
3.2. Variáveis para o desempenho energético de um edifício de escritórios	18
3.2.1. Geometria / Fator de Forma.....	18
3.2.1. Orientação.....	19
3.2.2. Qualidade da construção.....	19
3.2.3. Sub-tipologias.....	20
3.2.4. Sistemas energéticos.....	21
3.3. Indicadores de Desempenho de Edifícios de Escritórios.....	23
3.4. Edifício de Escritórios Padrão (EEP).....	27
3.4.1. Soluções Construtivas	28
3.4.2. Análise das zonas energéticas.....	29
3.4.3. Fator de Forma	29
3.4.4. Sombreamento.....	35
3.4.5. Estudo da iluminação natural	38
3.4.1. Dimensionamento dos sistemas energéticos	44
4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	49
4.1. Consumos energéticos	49
4.2. Potências Médias Tomadas.....	50
4.3. Análise de consumos energéticos do Edifício de Escritórios Padrão	51
4.4. Comparação de resultados obtidos no EEP, face a edifícios existentes	53
5. CONCLUSÕES	59

5.1. Trabalhos futuros	61
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
ANEXO A – Modelação do Edifício de Escritórios Padrão no Software <i>IES</i>	64
ANEXO B – Ganhos internos	67
ANEXO C – Perfis de Utilização	72
ANEXO D– Critérios de Dimensionamento	74
ANEXO E – Consumos Energéticos	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Previsão das poupanças a alcançar através do PNAEE (DGEG, 2014)	2
Figura 2 – “Contribuição, por programa, de energia primária poupada (tep) até 2013 para as metas de 2016 e 2020”, <i>in RCM, 2013</i>	3
Figura 3 - Evolução da visibilidade dos softwares de simulação energética em função do tempo (Hensen, J.L., 2010)	7
Figura 4 - Interações dinâmicas dos sub-sistemas (Hensen, J., 2006).....	9
Figura 5 - Esquema representativo dos vários módulos do programa IES.....	10
Figura 6 - Exemplo de esquema representativo do sistema 4.....	23
Figura 7 - Metodologia de cálculo do indicador de potência média tomada.....	25
Figura 8 - Metodologia de avaliação do consumo de um edifício.....	26
Figura 9 - Representação no programa IES do Edifício de Escritórios Padrão.....	27
Figura 10 - Impacto da orientação em percentagens diferentes de área de vidro.....	30
Figura 11 - Impacto do tipo de piso segundo as várias orientações	31
Figura 12 - Planta piso térreo do EEP Slim.....	33
Figura 13 -Planta piso típico do EEP <i>Slim</i>	33
Figura 14 - Planta piso térreo do EEP <i>Fat</i>	33
Figura 15 - Planta piso típico do EEP <i>Fat</i>	33
Figura 16 - Impacto da percentagem de área de vidro nas diferentes orientações	34
Figura 17 - Cargas térmicas de um determinado espaço em função do tipo de vidro e sombreamento	36
Figura 18 - Impacto do sombreamento na radiação total incidente num Open Space orientado a Sul em dois dias distintos: 15 de janeiro e 15 de julho	36
Figura 19 - Impacto do sombreamento.....	37
Figura 20 - Modelação no módulo <i>Radiance</i> do programa IES de um <i>Open Space</i> do EEP <i>Slim</i> para avaliação dos consumos de iluminação nas subáreas (1,5m sucessivamente desde o envidraçado)	41
Figura 21 - Posição dos sensores de iluminação a 1/3 da distancia a partir da fachada interior em Gabinetes e Salas de Reunião (módulo <i>Radiance</i> no <i>IES</i>)	42
Figura 22 - Posição dos sensores de iluminação a meio dos espaços Gabinetes e Salas de Reunião (módulo <i>Radiance</i> no <i>IES</i>).....	43
Figura 23 – Esquema do sistema de AVAC considerado, em ambiente do software IES ..	46
Figura 24 - Esquema do circuito de água fria no software <i>IES</i>	47

Figura 25 - Esquema do circuito de água quente no software <i>IES</i>	47
Figura 26 – Comparação do consumo teóricos de um edifício aplicando os modelos Padrão <i>Slim</i> e <i>Fat</i>	51
Figura 27 - Peso de cada sistema no consumo global do modelo padrão <i>Fat</i>	52
Figura 28 - Peso de cada sistema no consumo global do modelo padrão <i>Slim</i>	52
Figura 29 - Indicador de Desempenho energético do edifício real.....	54
Figura 30 - Desagregação de Consumo entre o Modelo Padrão e o Edifício Real	55
Figura 31 - Desagregação de Consumo entre o Modelo Padrão aproximado ao Real e o Edifício Real.....	58
Figura 32 - Modelação do EEP <i>Slim</i> no programa de simulação <i>IES</i>	64
Figura 33 - Modelação do EEP <i>Fat</i> no programa de simulação <i>IES</i>	64

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Poupanças alcançadas com os programas da área Residencial e Serviços (RCM nº 20/2013)	4
Tabela 2 - Principais diferenças entre programas de simulação dinâmica mais utilizados e que preenchem os requisitos mínimos acima apresentados (<i>Building EnergetiCx.org</i>).....	10
Tabela 3 -Potencialidades de Benchmarking energético de edifícios (Building Performance Simulation for Design and Operation, 2011)	14
Tabela 4 – Percentagem de área de envidraçados por área de fachada nos vários pisos do EEP.....	35
Tabela 5 - Comparação de consumos de iluminação com e sem 100% <i>daylight control</i> em função da orientação.....	42
Tabela 6 - Comparação de consumos de iluminação com e sem 50% <i>daylight control</i> em função da orientação.....	43
Tabela 7 - Localização do sensor de iluminação natural em cada espaço.....	44
Tabela 8 - Potências Médias Tomadas – Modelo Padrão <i>Slim e Fat</i>	50
Tabela 9 - Descrição geral do edifício real.....	53
Tabela 10 - Diferenciação de fatores considerados em fase inicial de projeto nos dois edifícios	57

SIMBOLOGIA E SIGLAS

Simbologia

c_p – Calor específico [kJ/kg.°C]

\dot{m} – Caudal mássico [kg/s]

ΔP – Diferença de Pressão [Pa]

ΔT – Diferença de Temperatura [°C]

\dot{Q} – Potência Térmica [W]

Siglas

AEDG - SMO - *Advanced Energy Design Guide for Small to Medium Office Buildings*

ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*

CAV – *Constant air volume*

CIBSE – *Chartered Institution of Building Services Engineers*

DEM – Departamento de Engenharia Mecânica

DGA – Direcção-Geral do Ambiente da Comissão Europeia

DPI – Densidade de Potência Instalada

EEP – Edifício de Escritórios Padrão

FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

IES – *Integrated Environmental Solutions*

LEED – *Leadership in Energy & Environmental Design*

nZEB – *nearly Zero Energy Building*

PMT – Potência Média Tomada

PNAEE – Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética

RCM – Resolução do Conselho de Ministros

RECS – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços

RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

SCE – Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios

UE – União Europeia

UTA – Unidade de Tratamento de Ar

UTAN – Unidade de Tratamento de Ar Novo

VAV - *Variable Air Volume*

VC – Ventilador convetor

VT – *Visual transmission*

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento

O desenvolvimento industrial surgiu devido ao aumento das necessidades da sociedade que, conseqüentemente levou a um crescente consumo energético. Este padrão massivo de consumo gerou uma crise ambiental à escala mundial nas décadas de 70 e 80, onde pela primeira vez surgiram questões relacionadas com o ambiente e preservação do mesmo.

Por conseguinte, o desenvolvimento sustentável surgiu como estratégia política essencial dos países industrializados, nomeadamente nos Estados-membros da União Europeia, assente em três pilares fundamentais: ambiente, economia e aspetos sociais (DGA, 2000).

De acordo com o documento *Report of the World Commission on Environment and Development* (Brundtland, et al, 1987), o desenvolvimento sustentável pode ser definido como “o desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes sem comprometer as gerações futuras”. Este conceito aliado à eficiência energética tornaram-se assuntos prioritários uma vez que a União Europeia é dependente da importação de energia fóssil. Para reverter esta situação, a UE criou medidas para “promover a utilização de fontes de energia renováveis, intensificar os esforços em matéria de eficiência energética e garantir a segurança da exploração de petróleo e de gás offshore” (Staff, C., 2013).

É neste contexto que entra em vigor um quadro legislativo que visa unificar o mercado europeu da energia através da introdução de várias diretivas por parte da Comissão Europeia. Nomeadamente a Diretiva nº 2006/32/CE (Comissão Europeia, 2006), que prioriza uma melhoria da eficiência na gestão da procura e produção de energia a partir de fontes renováveis como condições fundamentais para promover elevados níveis de qualidade ambiente, visando a redução das emissões de gases com efeito de estufa em 20%, aumentar na mesma proporção as fontes de energia renováveis e deste modo, cumprir a meta de 20% para a eficiência energética, em 2020, traçada no âmbito do Protocolo de Quioto. Contudo, estas estratégias já foram atualizadas para o cenário de 2030, respetivamente 40%, 27% e

27% (Comissão Europeia, 2014). Assim sendo, em termos económicos, com a introdução de medidas de eficiência na utilização final de energia fomentar-se-ão economias de energia (Comissão Europeia, 2006).

Neste sentido, surgiu em Portugal um modelo de planeamento energético baseado na racionalidade económica e na sustentabilidade – Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética. O PNAEE 2008 (RCM, 2008) estabeleceu medidas de melhoria de eficiência energética e de utilização de energia proveniente de fontes endógenas renováveis equivalentes, com objetivo inicial de reduzir em 10% o consumo de energia final até 2015.

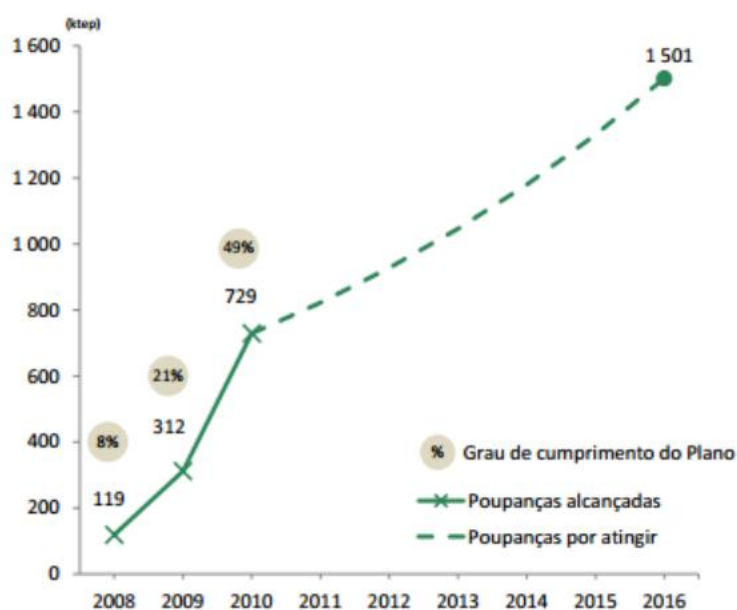


Figura 1 - Previsão das poupanças a alcançar através do PNAEE (DGEG, 2014)

A redução de consumo energético de aproximadamente 8,2%, corresponde à poupança estimada e induzida pelo PNAEE até 2016, valor este que se aproxima da meta definida pela União Europeia de 9% para a mesma data. Estes resultados permitem perspetivar antecipadamente o cumprimento das metas pela EU para 2020 com o principal objetivo por parte do Governo de reduzir o consumo geral de energia primária de 25% e de 30% especificamente para a Administração Pública. O atual Plano Nacional abrange seis áreas distintas: Agricultura, Comportamentos, Estado, Residencial e Serviços, Transportes e Indústria, cujas diferentes contribuições na redução de consumos energéticos encontram-se expressos na Figura 2 (RCM, 2013).

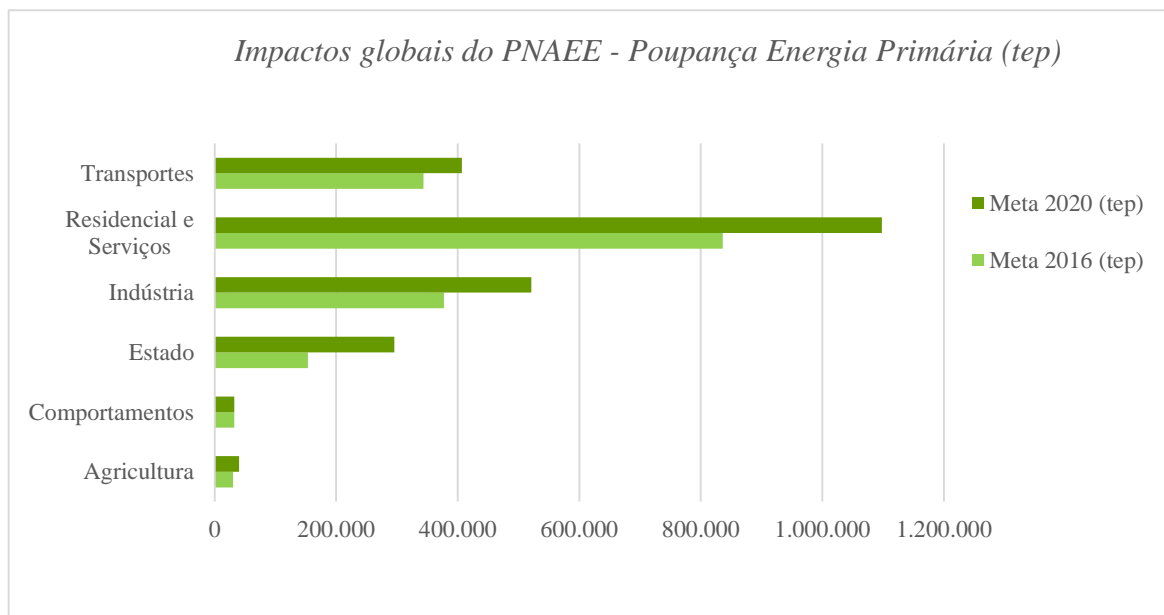


Figura 2 – “Contribuição, por programa, de energia primária poupada (tep) até 2013 para as metas de 2016 e 2020”, in RCM, 2013

Recorrendo aos valores apurados na análise de impacto do PNAEE 2008 (RCM, 2008) e como é perceptível na Figura 2, a área que mais contribuiu na redução de consumos foi a área respeitante a Residencial e Serviços, onde foram registadas reduções de consumo energético de cerca de 267 tep entre 2008 e 2010, o que permitiu alcançar 42% do objetivo previsto. Estes resultados foram possíveis graças a três programas dentro deste sector, sendo estes:

- “Sistemas de Eficiência Energética nos Edifícios”, que visa melhorar o desempenho energético dos edifícios através de medidas de melhoria resultantes do processo de certificação energética e de declarações de conformidade regulamentar no SCE;
- “Renove a Casa & Escritório”, que consiste na implementação de medidas de substituição de equipamentos ineficientes; e
- “Renováveis na Horas e Programa Solar”, que promove facilidade de acesso a tecnologias de microgeração de energia elétrica e de aquecimento solar das AQS promovendo, deste modo, a substituição do consumo de energia fóssil por energia com origem renovável (RCM, 2013).

Tabela 1 - Poupanças alcançadas com os programas da área Residencial e Serviços (RCM, 2013).

Programa	Medida	Energia poupada (ktep)	Meta 2016 (ktep)	Execução em relação à meta de 2016
		Final	Final	
Renove a Casa & Escritório	R&S4M1 E R&S4M2 – Promoção de equipamentos mais eficientes	99.9	399.9	41%
	R&S4M3 – Iluminação eficiente	48.5		
	R&S4M5 – Janela Eficiente	0,3		
	R&S4M6 – Isolamento eficiente	0,4		
	R&S4M3 – Calor Verde	15.7		
Sistemas de Eficiência Energética nos Edifícios	R&S5M1 – SCE Edifícios Residenciais	57.4	160.7	50%
	R&S5M2 – SCE Edifícios de Serviços	23.6		
Renováveis na Horas e Programa Solar	R&S6M2 – Solar térmico Residencial	16.3	73.6	28%
	S&S6M2 – Solar térmico Serviços	4.5		

Os dados apresentados evidenciam o potencial de redução do consumo energético nos edifícios, através de uma favorável relação custo-benefício, e do seu caráter vinculativo uma vez que representam cerca de 40 % do consumo de energia final na Europa e de 36 % da emissão de gases com efeito de estufa. Assim, o caminho para tornar o sector dos edifícios mais eficiente resume-se na utilização de mais energia proveniente de fontes renováveis e no aumento de eficiência na sua utilização que, consequentemente irá promover a segurança do aprovisionamento energético, desenvolvimento tecnológico e novas oportunidades de emprego (Diretiva 2010/31/UE, 2010). Por isso, através da introdução desta diretiva é lançado um novo paradigma de consumo de baixo carbono para a UE, o conceito de edifício “*nearly zero energy buildings*” (nZEB). Este documento lança o desafio, definindo metas para final de 2020, que todos os edifícios novos sejam nZEB, isto é, que tenham “um desempenho energético muito elevado em que as necessidades de energia quase nulas ou muito pequenas deverão ser cobertas por renováveis”.

1.2. Apresentação da empresa

A dissertação de mestrado foi realizada e desenvolvida em ambiente empresarial, na empresa *Edifícios Saudáveis Consultores – Ambiente e energia em edifícios, S.A.*

A empresa foi fundada em 1996, com especialização na prestação de serviços de consultoria na área de sustentabilidade ambiental em edifícios. O seu campo de atuação centra-se em criar soluções de eficiência energética e qualidade do ambiente interior.

A *Edifícios Saudáveis* tem longa experiência em certificação de mérito ambiental, tendo sido pioneira em Portugal nas certificações *Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)* e *Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology (BREAM)*. A nível internacional, foi responsável pela primeira certificação LEED *GOLD* na Península Ibérica e LEED *Platinum* de um supermercado na Europa. A empresa fornece também serviços no âmbito da certificação energética desde a fase de início de projeto, com o apoio ao promotor na definição dos objetivos ambientais, até à gestão global das instalações, tendo sempre como princípio basilar a redução de custos energéticos (Edifícios Saudáveis, 2015).

1.3. Objetivos

Dado o elevado potencial de melhoria de eficiência energética já referido no sector dos edifícios, esta dissertação pretende otimizar a avaliação do desempenho energético de edifícios. Só assim é possível atuar de forma focada e otimizar consumos. Foi selecionada uma tipologia em particular para esta análise: os escritórios.

A metodologia aproveitou as grandes potencialidades das ferramentas de simulação energética detalhada, de uma forma inteligente, que pudesse garantir um bom compromisso entre o custo de execução e a precisão de resultados. De facto, a simulação energética apesar de ser um mecanismo de grande potencial na avaliação do desempenho energético tem um problema crónico associado: o tempo consumido até se obterem resultados úteis para tomar decisões.

Assim, procurou-se definir uma metodologia que pretende representar um Edifício de Escritórios Padrão, tendo em conta as características típicas dos edifícios de

escritórios, com o qual se consiga avaliar o desempenho de qualquer edifício para a mesma tipologia.

1.4. Estrutura

A dissertação encontra-se organizada em cinco capítulos principais.

Neste primeiro capítulo procura-se fazer um enquadramento do tema inserido no panorama atual, descrever a empresa onde decorreu e foi desenvolvido o estudo, bem como os objetivos propostos.

No segundo capítulo efetua-se uma análise teórica de características gerais da simulação energética detalhada de edifícios, programas utilizados e suas potencialidades.

No terceiro capítulo apresentam-se as variáveis consideradas relevantes para a análise de desempenho de um edifício típico de escritórios. A partir do mesmo é definido o edifício de escritórios padrão e todas as suas características, envolvente, iluminação, ocupação, equipamentos e sistemas de climatização

No quarto capítulo é realizada uma avaliação do desempenho real de um edifício concreto à luz da metodologia definida.

No quinto e último capítulo são apresentadas as principais conclusões.

2. SIMULAÇÃO ENERGÉTICA

2.1. Simulação energética detalhada

Os primeiros programas de simulação da performance energética de edifícios e estimativa de consumos surgiram em meados da década de 70. A evolução desta área de investigação teve como objetivo inicial o cálculo de cargas térmicas e análise energética. Baseada em métodos de cálculo dinâmico, tem como objetivo a avaliação do desempenho energético de edifícios para diferentes condições de projeto (Crawley, D.B., et al., 2008).

O desenvolvimento tecnológico contribuiu para a evolução das interfaces gráficas dos softwares de simulação energética que, por conseguinte, potenciou estas ferramentas para uma utilização de domínio mais global. Este nível de performance alcançado permitiu um estudo mais minucioso de transferência de calor e massa através dos elementos construtivos, fluxos de ar, iluminação natural e de uma vasta gama de tipos e componentes de sistemas energéticos (Hensen, J.L., 2006).

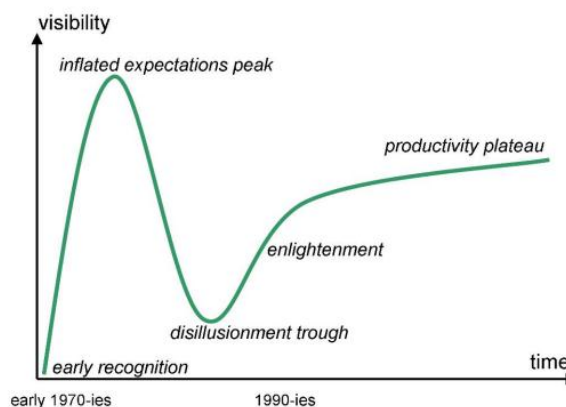


Figura 3 - Evolução da visibilidade dos softwares de simulação energética em função do tempo (Hensen, J.L., 2010)

Os instrumentos de simulação estão em constante evolução e aperfeiçoamento tendo-se verificado um crescimento sustentado nas últimas décadas através da capacidade de promoção da produtividade, competitividade, qualidade e eficiência na avaliação da

performance de edifícios. Estas competências são um foco importante de aproveitamento do potencial da simulação em certificações de mérito ambiental, entre outros:

- SCE (Sistema de Certificação Energética de Edifícios) – sistema de certificação obrigatório de edifícios em Portugal
- LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) – sistema de certificação de sustentabilidade voluntário de edifícios residenciais e de serviços.
- EPBD (*Energy Performance of Buildings Directive*) (Hensen, J., 2006).

Atualmente no mercado existe uma ampla variedade de programas de simulação dinâmica. A comparação entre os diferentes programas baseia-se nas diferentes capacidades intrínsecas de cada um, dentro das quais se destacam (Crawley, D.B, et al., 2008):

- Características gerais de modelação;
- Análise de cargas térmicas;
- Envolvente, iluminação natural e radiação solar;
- Capacidade de simulação de infiltrações, ventilação e fluxos de ar multizona;
- Análise de sistemas energéticos renováveis;
- Sistemas elétricos e equipamentos;
- Sistemas AVAC e modelação de componentes;
- Cálculo de emissões ambientais;
- Avaliação económica de soluções;
- Ficheiros climáticos;
- Capacidade de reportar e validar resultados;
- Interface gráfica;
- Interligação entre programas;

Mais concretamente a simulação energética detalhada, para além de obrigatória no âmbito regulamentar de certificação, concretamente no *Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços* (RECS) (Portaria nº 349-D/2013, 2013), é uma ferramenta fundamental na avaliação da eficiência energética e análise de medidas de melhoria, em edifícios novos ou existentes. O cálculo dinâmico mais detalhado permite assim o estudo do efeito de vários fatores em cada hora ou altura do ano, entre outros,

sombreamento, iluminação natural, ganhos internos, qualidade do ambiente interior, inércia térmica.

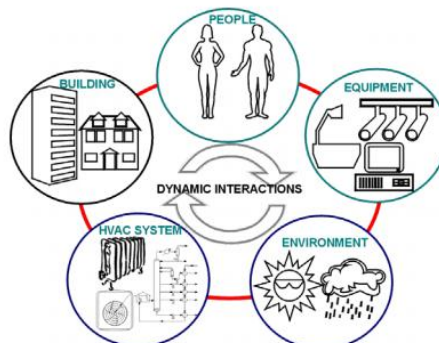


Figura 4 - Interações dinâmicas dos sub-sistemas
(Hensen, J., 2006)

2.1.1. Ferramentas de simulação

Os programas de simulação energética têm de ser capazes de cumprir os requisitos mínimos para que a informação fornecida seja credível, uma vez que análises detalhadas são obrigatórias em processos de certificação. Assim, segundo a norma *ASHRAE 90.1 Appendix G (ASHRAE, 2010)*, para validação dos programas de simulação, o programa utilizado deve preencher, no mínimo, as seguintes características:

- Ser validado pela ASHRAE 90.1;
- Simular 8760 horas por ano;
- Variação horária das cargas internas, diferenciadas em ocupação, iluminação e equipamentos;
- *Setpoints* dos termostatos das zonas térmicas e de operação dos sistemas de climatização, permitindo a respetiva parametrização, de forma independente, para dias da semana e fins de semana;
- Efeitos de inércia térmica do edifício;
- Permitir a simulação de 10 ou mais multizona térmicas;
- Cargas térmicas de base horária;
- Permitir modelar todos os sistemas energéticos referenciados no apêndice G da ASHRAE 90.1;

Na seguinte tabela, são apresentadas as diferenças entre os principais programas de simulação dinâmica mais utilizados.

Tabela 2 - Principais diferenças entre programas de simulação dinâmica mais utilizados e que preenchem os requisitos mínimos acima apresentados (*Building EnergetiCx.org*)

	DOE 2.2	Energy Plus	eQuest	HAP	IES VE-Pro	Trace 700
8,760 hrs / Yr	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
ASHRAE 90.1	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
> 10 Zones	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Hourly Loads	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
CAD Import	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Graphical Input	eQuest	Yes ⁽¹⁾	Yes	No	Yes	No
Graphical Reports	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes
Automatic LEED Baseline	No	No	No	No ⁽²⁾	Yes	No
LEED Reports	No	No	No	Yes	Yes	Yes

(1) Through third party software
(2) Partial

Como se verifica na tabela 2, o programa *Integrated Environmental Solutions-Virtual (IES- VE)* é o que oferece o leque de características mais complexo. Adicionalmente, é pertinente frisar que é utilizado em “*design sustentável*” pois permite a análise de impactos das fases iniciais de projeto (*pré-design*) no consumo final do edifício, promovendo uma melhoria na eficiência. Por estas razões, o IES é o software que se enquadra melhor no âmbito do presente estudo.

IES - *Integrated Environmental Solutions*

O programa IES é um instrumento de simulação detalhada que permite uma complexa avaliação energética e térmica, em intervalos de tempo inferiores a uma hora. Porém, é paga e é das aplicações mais caras no universo da simulação dinâmica. Esta ferramenta de interface gráfica bastante intuitiva e funciona segundo um sistema modular, sendo constituído por (IES, 2015):

- *ModellIT* (construção 3D do edifício);
- *Suncast* (análise solar térmica);
- *Radiance* (estratégias de iluminação natural);

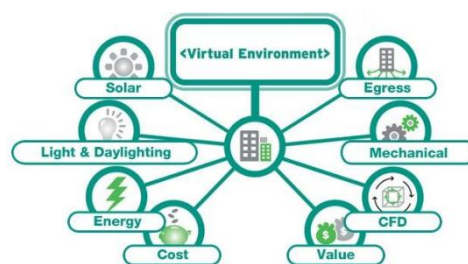


Figura 5 - Esquema representativo dos vários módulos do programa IES

- *Apache Loads* (cálculo de cargas térmicas);
- *ApacheHVAC* (modelação do sistema AVAC);
- *ApacheSim* (Simulação dinâmica).

O módulo *ApacheSim* é responsável pela simulação dinâmica propriamente dita, ao calcular as necessidades térmicas a partir da relação entre as cargas térmicas e os vários sistemas energéticos implementados no edifício.

2.1.2. Potencialidades

Segundo o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) e no âmbito da legislação portuguesa, preconiza ser de carácter obrigatório a determinação do Indicador de Eficiência Energética (IEE) para efeitos de certificação energética de um edifício novo ou existente e verificação do cumprimento de requisitos energéticos relativos à “qualidade térmica da envolvente e eficiência de sistemas técnicos” nos mesmos (Portaria nº349-D/2013, 2013).

É neste contexto que o recurso a simulação dinâmica detalhada assume grandes potencialidades, dado que a sua utilização tem aplicabilidade tanto ao nível de edifícios existentes como em novos edifícios.

Em edifícios existentes, após a simulação dinâmica é possível a identificação de ineficiências associadas aos sistemas energéticos instalados. A chave essencial do processo é o IEE que, resumidamente, compara resultados dos sistemas simulados (consumo *target*) e os consumos reais do edifício.

Um outro resultado possível de se obter após a simulação de um edifício existente é o estudo do impacto de introdução de melhorias. Esta análise consiste numa simulação calibrada do modelo ajustada às condições reais do edifício, onde posteriormente o modelo é submetido a uma segunda simulação, com a implementação das melhorias consideradas. Assim, é possível com mais precisão prever os consumos e promover eficiências (AEDG, 2011).

As decisões tomadas nas primeiras fases de *design* de um edifício causam um grande impacto na qualidade de ambiente interior e na promoção da eficiência energética. Este facto, representa um maior benefício para análises detalhadas de desempenho de um

edifício nas etapas iniciais de projeto o que conduz a uma maior sensibilidade na atribuição e otimização de parâmetros como: orientação, tipo de construção, estratégias de iluminação, ventilação natural, fator de forma, sombreamento, entre outros (Pollock, M., et al., 2009). Naturalmente, em edifícios existentes, a simulação dinâmica não se aplica em fase de projeto, restringindo o seu papel para uma ação mais corretiva no sentido de otimização do desempenho do mesmo, melhorando os seus sistemas energéticos (sistemas de iluminação, equipamentos, AVAC, etc.)

Em suma, as medidas descritas esclarecem o potencial da simulação energética detalhada na criação de um valor relevante no âmbito do processo de construção de um edifício ou reabilitação de um existente.

2.2. Contextos de utilização

A reflexão sobre a capacidade de resposta de ferramentas de simulação tem sofrido alterações nos últimos anos. O crescimento tecnológico e o aumento das capacidades de análise dos programas estiveram sempre diretamente relacionados. Atualmente, o interesse nesta área evidencia a análise da efetividade e rapidez dos resultados disponibilizados pela simulação à mesma escala do ciclo de vida do edifício (Hensen, J.L., 2010).

Como referido previamente, está inequivocamente comprovado que a simulação dinâmica tem um papel preponderante no desempenho energético de novos edifícios. Contudo, padece de dois problemas: aliado a elevados custos, os resultados só surgem depois das principais decisões estarem tomadas.

O custo elevado associado à modelação detalhada de edifícios é explicado devido ao facto de ser *time-consuming*. Este problema é justificado sobretudo em edifícios existentes, a partir dos quais o processo de recolha de elementos para a simulação é muito demorado e o difícil estudo sobre seu funcionamento acarreta elevados custos inerentes.

Outro motivo que inviabiliza a utilização das ferramentas de simulação em edifícios existentes, é a dificuldade na capacidade de resposta. Como já foi referido anteriormente, nas fases iniciais de projeto a análise de sensibilidade e otimização de parâmetros é mais rápida e promove mais eficiência.

Por conseguinte, e, devido ao panorama atual de crise energética e financeira, tornou-se pertinente a introdução do conceito de edifício padrão como estratégia para otimizar o potencial associado à simulação energética detalhada.

Este edifício tem de ser capaz de reunir elementos e características típicas de edifícios reais da mesma tipologia de forma a obter indicadores de desempenho energético permitindo, posteriormente, rápidas avaliações de parâmetros energéticos, estudo de ineficiências e síntese de soluções.

Em sede de novos edifícios, este mecanismo vai possibilitar a otimização multivariável de soluções nas fases iniciais do desenvolvimento de projeto (AEDG, 2011).

2.3. Benchmarking

A aplicação do princípio de *Benchmarking* a consumos de edifícios resulta, numa análise mais cuidada, do desempenho de um edifício. Através da definição de um nível típico de consumo energético, baseado em dados de edifícios reais, é possível uma rápida comparação e avaliação da *performance* de edifícios e conseqüentemente, a identificação de potenciais melhorias. Este indicador de consumo energético é expresso em energia anual utilizada por unidade de área de pavimento.

Para a introdução de valores de referência, que definem os *benchmarks* e consecutiva avaliação de performance do edifício, é necessária uma análise cuidada e a aplicação de dois métodos distintos: determinação e simulação de um modelo *standard* e análise estatística através de um modelo de regressão.

Método através do modelo padrão – criação de um modelo teórico padrão que, através dos resultados de consumo obtidos por simulação, permite uma comparação com os valores de consumo reais. Este *benchmark* vai ser capaz de identificar o nível de consumo mínimo requerido para um edifício dentro de determinados requisitos de funcionamento, como temperatura interior, função do edifício, requisitos de ventilação, período de funcionamento, etc.

Análise estatística – a partir da análise de consumo de edifícios existentes é possível a determinação de um valor representativo de consumo energético para um edifício. Este método compreende três fases: recolha de informação, cálculo e estandardização de

coeficientes de intensidade energética e definição dos limites de consumo energético para um determinado tipo de edifício (Zhao, J., et al., 2012).

A aplicação destes métodos, no contexto de consumos energéticos, tanto pode ser realizada na totalidade do edifício, sistemas energéticos (aquecimento, arrefecimento, etc.) como nos seus componentes específicos (eficiência de iluminação, etc.)

Tabela 3 -Potencialidades de Benchmarking energético de edifícios (Hensen, J, et al., 2011)

Tipos de Benchmarking energético	Benefícios	Informação	Tempo de estudo aprox.
Consumo global do edifício	Redução global de consumo energético	- dimensão das áreas - faturas energéticas - tipo de espaços	0,5 a 2 dias
Orientado para a ação	Identificação e classificação de campos para redução de consumos	- consumo de energia final - informação adicional de consumos em determinado períodos de tempo	2 a 10 dias
Orientado para a avaliação de investimentos	Estimativa de custos/economias resultantes de uma potencial intervenção	- detalhe na informação - estimativas de custos - análise financeira	10 a 20 dias

2.4. Desempenho energético de um edifício

Segundo a Diretiva 2010/31/EU (Comissão Europeia, 2010), o desempenho energético de um edifício é determinado com base na energia necessária para satisfazer a procura associada à utilização típica do edifício, nomeadamente, no aquecimento, arrefecimento, ventilação, AQS e iluminação. Este aproveitamento ou consumo de energia é condicionado por determinados elementos que caracterizam a sua capacidade de resposta face às necessidades do edifício. A aplicação de um processo deste tipo, permite a partir do estabelecimento de requisitos mínimos ou indicadores de desempenho (IEE), perspetivar

redução de necessidades de energia primária nos edifícios, racionalização de consumos e consequente aumento de eficiência energética.

A metodologia para estimar o desempenho energético de um edifício é estabelecida tendo em conta as normas europeias e aspetos que condicionam o consumo de energia do edifício. O conjunto destes aspetos/elementos distingue-se através da possibilidade de estes sofrerem alterações ou correções, respetivamente em fases iniciais e finais de projeto (AEDG – SMO, 2014).

Clima

A localização de implantação do edifício tem grande influência nas necessidades térmicas do mesmo. As condições de ambiente exterior ao criarem impacto nas necessidades, afetam também os consumos dos sistemas energéticos.

Intensidade de utilização

Este fator é particularmente dependente do horário de funcionamento do edifício. Horários mais alargados originam um maior consumo dos vários sistemas que compõem o mesmo (iluminação, equipamentos e sistemas de climatização).

Arquitetura

Os diferentes elementos que constituem a geometria de um edifício têm um impacto substancial no seu desempenho energético. Nomeadamente o fator de forma, dimensão das zonas energéticas, número de pisos, orientação e percentagem de área de envidraçados.

Elementos Construtivos

Sob o ponto de vista energético, uma adequada seleção de matérias na construção de um edifício manifestar-se-á sobretudo através da envolvente em contacto com o exterior. Adicionalmente, é importante salientar o potencial da envolvente na disponibilização de iluminação natural aos espaços e ventilação natural (CIBSE, 2004).

Sistemas Energéticos

Os sistemas que mais influenciam os consumos de energia de um edifício são o sistema de iluminação, equipamentos elétricos, AVAC e transporte vertical.

Relativamente aos sistemas de iluminação e equipamentos, os seus consumos têm contribuições consideráveis nas necessidades de arrefecimento de um edifício. Têm, de igual modo, um impacto considerável no aquecimento através do seu consumo energético direto e conseqüentemente nas necessidades térmicas dos espaços.

Os fatores que afetam o consumo dos sistemas energéticos de aquecimento, arrefecimento e ventilação são as necessidades térmicas e tipo de sistemas instalados.

3. CASO DE ESTUDO – EDIFÍCIO DE ESCRITÓRIOS

3.1. Caracterização de um edifício de escritórios típico

Atualmente, a conceção de um novo edifício depara-se com constantes desafios impostos pela sociedade, como a oposição à utilização de energia proveniente de fontes fósseis, alterações climáticas, redução de consumos, eficiência energética e crescentes exigências de conforto e bem-estar dos seus utilizadores. Face ao exposto, todos os edifícios devem seguir uma linha de pressupostos energéticos e construtivos, baseados em guias e normas assentes em boas práticas, relativas a cada tipologia (escritórios, centros comerciais, residenciais, etc.) com o objetivo amplo de desenvolvimento sustentável.

Assim, e segundo o guia *Advanced Energy Design Guide* (AEDG-SMO, 2014), um edifício de escritórios pode ser classificado como “pequeno”, “médio” ou “grande” em função da área que representa. Articulado a esta categorização, e, norteando-se por um contexto mais energético, este guia prático pretende apoiar o desenvolvimento de novos edifícios de escritórios com reduções de até 50% do consumo de energia quando comparado com recomendações de outras normas.

Um planeamento energético eficaz só é possível através de processos de avaliação de desempenho energético de um edifício. Para tal, é necessário que um edifício de escritórios seja capaz de responder às seguintes solicitações:

1. Qualidade de ambiente interior

As boas condições de ambiente no trabalho são dos benefícios mais importantes a ter em consideração, considerando que pode aumentar a produtividade dos seus ocupantes até 25%. Os principais requisitos que contribuem para um bom ou mau ambiente interior são os níveis de iluminação natural, conforto térmico e acústico. Assim, torna-se necessário a implementação de estratégias que consigam garantir estas exigências fundamentais, sendo estas, controlos de iluminação natural, temperatura, humidade e ventilação (AEDG – SMO, 2014).

2. Redução de custos de construção e rápido retorno de investimento

Projetos de *design* integrado potenciam a construção de escritórios mais eficientes e como tal com menores custos associados, em comparação com edifícios

comuns da mesma tipologia. Em termos gerais, um edifício de escritórios eficiente caracteriza-se por:

- Consumo energético reduzido relativamente ao aquecimento e arrefecimento;
- Menor custo na manutenção;
- Quantidade reduzida de luminárias devido à eficiência do sistema de iluminação;
- Necessidades de menor potência de aquecimento devido à adequada seleção de elementos construtivos para a envolvente exterior;
- A mesma constatação relativamente às necessidades de arrefecimento, devido a estratégias de controlo de iluminação que visam aproveitamento máximo de iluminação natural nos espaços

Alguns aspetos supracitados poderão aumentar substancialmente o custo do projeto, contudo, as poupanças que conseguirão fomentar irão, com certeza, permitir rápidos retornos de investimento (AEDG–SMO, 2014).

3. Redução de emissões de gases com efeito de estufa

Os edifícios de escritórios mais eficientes, por apresentarem potenciais reduções de consumo dos seus sistemas energéticos, evidenciam menores consumo de combustíveis fósseis.

3.2. Variáveis para o desempenho energético de um edifício de escritórios

3.2.1. Geometria

A geometria do edifício tem grande impacto sobretudo nos consumos de sistemas energéticos. Edifícios mais estreitos, com uma relação superior de comprimento/largura, apresentam maior área de envolvente em contacto com o exterior. Esta característica assegura vantagens que promovem eficiência devido à grande disponibilização nos espaços de iluminação natural. Contudo, maiores áreas expostas ao exterior provocam elevadas perdas de calor pela envolvente.

Em formas mais compacta, o edifício vai “sentir” menos o clima exterior pois a profundidade dos espaços interiores é maior, o que origina maior percentagem de área sem iluminação natural e conseqüente aumento de consumo de iluminação artificial.

3.2.1. Orientação

A orientação é um fator de grande influência no desempenho energético de um edifício, pois pode potenciar ou não os ganhos solares através dos envidraçados. É necessário especial cuidado com os espaços orientados a Sul devido a uma maior radiação solar incidente, e deste modo ter em consideração ganhos solares excessivos, tipo de sombreamento e encadeamento. Nas fachadas com exposição solar a Este e Oeste o controlo da entrada de radiação solar é difícil devido ao baixo ângulo zenital (ângulos próximos da normal ao envidraçado), o que contribui para um aumento da carga térmica de arrefecimento.

Por último, os envidraçados expostos a Norte em comparação com os expostos a Sul, apesar da baixa exposição solar apenas captam radiação solar refletida com o mínimo ganho solar. Por este motivo, são uma fonte ideal de iluminação natural. Assim, o guia AEDG (AEDG – SMO, 2014) sugere que se privilegiem orientações a Norte e a Sul para espaços com maior densidade de ocupação como os *Open-Spaces*, alegando que de acordo com estas orientações a iluminação natural é mais fácil de controlar.

3.2.2. Qualidade da construção

A adequada seleção de materiais na construção de fachadas em contacto com o exterior em função do clima da zona contribui substancialmente para a redução de perdas térmicas na estação de aquecimento e situações de sobreaquecimento no Verão.

Assim, um apropriado isolamento da envolvente acarreta dois benefícios: reverte o efeito do clima e isola o edifício das condições exteriores.

A escolha do tipo de envidraçados e da apropriada percentagem de área de vidro estabelecem importantes influências ao nível de ganhos solares desejáveis/indesejáveis, infiltrações, iluminação natural (conforto visual) e estética do edifício. A seleção adequada do tipo de envidraçado em concordância com o tipo de sombreamento e em função da orientação são aspetos que contribuem substancialmente para um bom desempenho energético num edifício.

3.2.3. Sub-tipologias

A influência do zonamento no consumo global de um edifício de escritórios tem um papel preponderante uma vez que cada sub-tipologia energética apresenta densidades de ocupação, iluminação e equipamentos distintos, resultando em diferentes consumos.

É também importante realçar o papel da envolvente e da orientação na caracterização das zonas energéticas de um edifício de escritórios, dado que têm um contributo considerável no consumo de iluminação e nas necessidades térmicas de cada espaço.

Genericamente, as boas práticas ditam que um edifício de escritórios tipo, deve seguir uma determinada distribuição de espaços. Em seguida, elencam-se os mesmos começando pelas áreas mais ocupadas e avançando para as que detêm menores densidades de utilização (AEDG – SMO, 2014):

Open-Spaces

Recomenda-se que, sendo estes os espaços com maior ocupação, a sua localização deve privilegiar a iluminação natural (orientações a Norte e a Sul).

Gabinetes

Atendendo à área e ocupação destas zonas ser mais reduzida que nos *Open-Spaces*, torna-se mais fácil o controlo de iluminação natural, sendo aconselhável a sua disposição ao longo de fachadas orientadas a Este e Oeste.

Salas de Reunião

Estes espaços, de reduzida área, devem ser tratados de igual forma aos gabinetes. Localizações em fachadas Este e Oeste de forma a possibilitar um melhor controlo de efeitos indesejáveis da iluminação natural como o encadeamento.

Lobby

Apesar de ser uma zona energética de reduzida densidade ocupacional, porém é constante ao longo de todo o dia. É aconselhado a disposição desta sub-tipologia em áreas com grande aproveitamento de iluminação natural.

Auditório

É um espaço que pode estar localizado em zonas mais interiores do edifício pois não necessita de iluminação natural. Como tem um perfil de densidade de ocupação irregular, os consumos são normalmente altos.

Zonas Comuns

Este conjunto de zonas é normalmente composto por instalações sanitárias, copas, circulações e outras. Como não são espaços de ocupação regular, não são climatizados diretamente, mas sim por transferência de ar pelo contacto com espaços adjacentes climatizados.

3.2.4. Sistemas energéticos

Os três sistemas com maior contribuição energética num edifício típico de escritórios são os seguintes:

Sistema de iluminação

Como já foi referido anteriormente, é impreterível que um edifício de escritórios consiga proporcionar um adequado nível de iluminação aos seus utilizadores. Para se conseguir esboçar uma boa estratégia de iluminação é necessário elaborar, à priori, uma análise detalhada das necessidades de iluminação em cada espaço. Desta forma são criadas condições para, além das potencias instaladas estarem assentes em boas práticas e responder a requisitos mínimos da Norma EN 12464-1 de 500 lux para o posto de trabalho e 300 lux para intensidade de ambiente geral. Esta integração também vai promover estratégias de dimming, através de sensores, ao adequar a iluminação artificial em função da iluminação natural disponibilizada ao espaço. Por conseguinte, ao efetuar-se este controlo favorecem-se economias de consumo, tanto eletricamente (iluminação) como energeticamente (sistemas de climatização)

Sistema de Equipamentos

A escolha de equipamentos mais eficientes e de baixo consumo irá promover uma redução de consumos elétricos e energéticos relacionados com o arrefecimento dos espaços. Os consumos de equipamentos, à semelhança da iluminação, têm contribuição considerável nas necessidades de arrefecimento de um edifício.

Segundo o artigo publicado pela revista ASHRAE (2010), deve prestar-se mais atenção na seleção de equipamentos pois estes devem ser mais eficientes. O valor de potência instalada recomendado é de 6 W/m^2 para espaços de edifícios de escritórios com densidade de ocupação de $6 \text{ m}^2/\text{ocupante}$. Este valor deve representar um computador portátil, um ecrã

LCD e uma impressora por cada 10 utilizadores. “O caminho para a criação de edifícios com necessidades energéticas cada vez mais baixas ou próximas de zero é visto como possível, dado que já existem edifícios de escritórios com potências instaladas de equipamentos próximas de $2,7 \text{ W/m}^2$ ” (Wilkins, C.K., 2011).

Sistema de AVAC

Embora exista um grande número de sistemas de climatização com aplicabilidade em edifícios de escritórios, o guia de referência AEDG (AEDG – SMO, 2014) resume em quatro sistemas os que apresentam as melhores características para a promoção de eficiência e os mais adequados para este tipo de edifícios, ao permitirem capacidades de reduções significativas nos consumos de energia nos sistemas de climatização.

1. Sistema monozona tudo refrigerante climatizado através de bomba de calor de expansão direta a ar e sistema de ar novo dedicado:

Vantagens:

- Ausência de circuitos de água.
- Custo reduzido da instalação em edifícios pequenos.

Desvantagens:

- Elevada flexibilidade no *design*.
- Necessidade de circuito frigorígeno.

2. Sistema multizona de volume de ar variável VAV climatizado através de *rooftop* de expansão direta com auxílio de caldeira

Vantagens:

- Possibilidade de operar em vários modos, zona ocupada/ não ocupada.
- Possibilidade de operar em *free-cooling*.

Desvantagens:

- Requer unidades terminais de distribuição de ar.
- Necessita de unidade de controlo de todos os componentes, bem como o conjunto de unidades terminais de distribuição de ar.
- Elevado consumo elétrico associado à ventilação.

3. Sistema multizona tudo ar, VAV climatizado através de tratamento de ar com baterias de aquecimento e arrefecimento servidas por *chiller* e caldeira

Vantagens:

- Capacidade de assegurar conforto térmico a várias zonas de forma independente
- Possibilidade de operar em *free-cooling*

Desvantagens:

- Requer a existência de circuitos de água.
 - Requer unidades terminais de distribuição de ar
- Elevado consumo elétrico associado à ventilação.

4. Sistema Ar-água, com renovação de ar através de CAV de climatização com recurso a ventilo convetores servidos por *chiller* a ar e caldeira a gás, com renovação e tratamento de ar novo dedicado através de uma UTAN

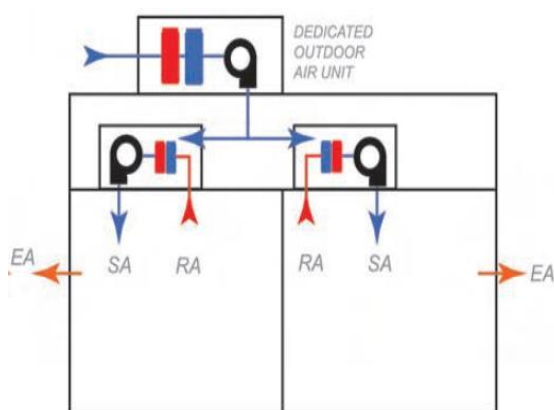


Figura 6 - Exemplo de esquema representativo do sistema 4

Vantagens:

- Maior capacidade de adequação da temperatura de conforto dos seus ocupantes
- Maior controlo de temperatura durante todo o ano por funcionamento a quatro tubos.

Desvantagens:

- Necessidade de circuitos de água
- Um sistema de quatro tubos requer a instalação de dois circuitos de água independentes com respetivos componentes (baterias, válvulas, sistemas de controlo...)

3.3. Indicadores de Desempenho de Edifícios de Escritórios

Como já foi referenciado em capítulos anteriores, um indicador de consumo energético é normalmente utilizado na análise de desempenho energético de qualquer edifício. Este conceito é expresso em energia por unidade de área, pois só assim é possível o isolamento do efeito de determinados fatores, como por exemplo o clima, área, horário de

funcionamento, etc, visando a quantificação, clarificação e comparação da qualidade energética de edifícios da mesma tipologia.

Existem diversas normas e regulamentos que disponibilizam valores de referência para consumos específicos de energia para as várias tipologias. Designadamente *CIBSE Guide F, Buildings Energy Data Book* (CIBSE, 2004) e, ao nível nacional encontra-se em vigor o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) (Portaria nº349-D/2013, 2013) onde apresenta o cálculo dos mesmos como indicadores de eficiência energética de edifícios de serviços.

A avaliação do desempenho energético de um edifício obtém-se através de dois processos de cálculo distintos:

- Indicadores de consumo energético PMT (potência média tomada);
- Indicadores de desempenho (consumo real / consumo teórico).

A metodologia de cálculo com esquema representativo na Figura 6 para obtenção do indicador de consumo PMT é a seguinte:

1. Identificação e seleção das zonas energéticas relevantes no consumo global de um edifício de escritórios;
2. Estimativa de consumos anuais dos principais sistemas energéticos que compõem o edifício (iluminação, equipamentos e climatização) constituintes de cada sub-tipologia energética;
3. De seguida, o consumo anual de cada zona energética é dividido pela área respetiva por forma a anular o efeito desta grandeza sobre os mesmos consumos, passando este a denominar-se de “consumos específicos anuais”, que são expressos em kWh/m²;

4. Por último, divide-se o valor de consumo específico pelas horas de funcionamento anuais respetivas de cada zona energética. Assim, determina-se o indicador de potência média tomada, em W/m^2 .

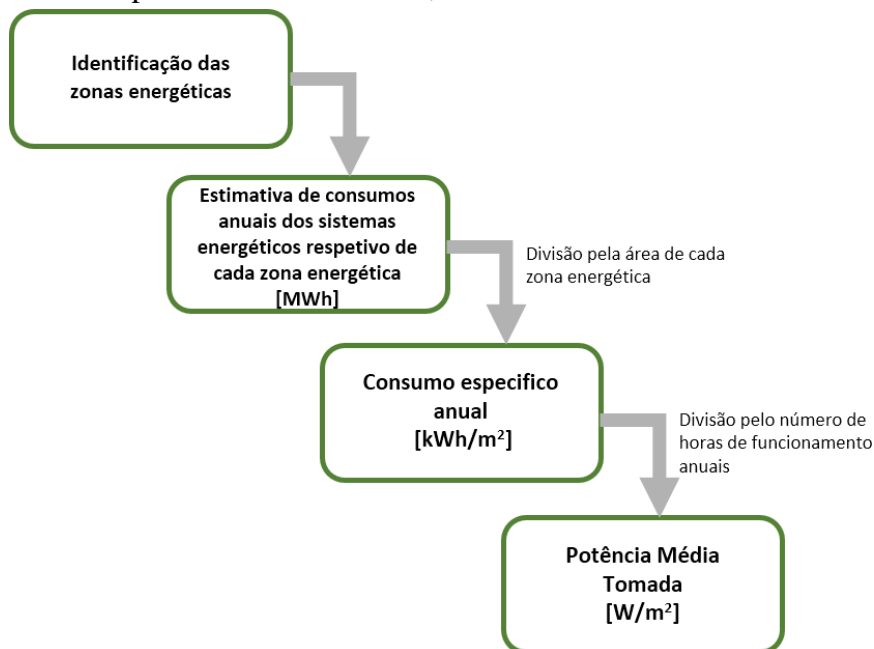


Figura 7 - Metodologia de cálculo do indicador de potência média tomada

Este processo permite a obtenção de indicadores representativos de consumos das várias zonas energéticas como iluminação, equipamentos, AVAC, etc, expresso em unidade potência por unidade de área.

Uma vez calculado o indicador de PMT é possível estimar o consumo teórico de um determinado edifício apenas com valores respetivos de áreas e número de horas de funcionamento anuais. Assim, a avaliação do desempenho energético é finalmente conseguida através de uma correlação entre este consumo teórico/*target* e valores apresentados na fatura energética.

Seguidamente apresenta-se a metodologia e esquema representativo do cálculo de indicadores de desempenho que este trabalho pretende seguir para avaliação de desempenho energético de edifícios reais de tipologia: escritórios.

1. Seleção das zonas energéticas do edifício a analisar com características semelhantes às anteriormente consideradas para o cálculo da PMT;
2. Atribuição das PMT respeitantes a cada zona energética;
3. Ao multiplicar as PMT pela área e pelo número de horas de utilização anuais do edifício real obtêm-se os Consumos Anuais Teóricos;

4. Por fim, o indicador de desempenho é determinado a partir da razão entre o Consumo Teórico e o Consumo Real fornecido pela fatura energética.

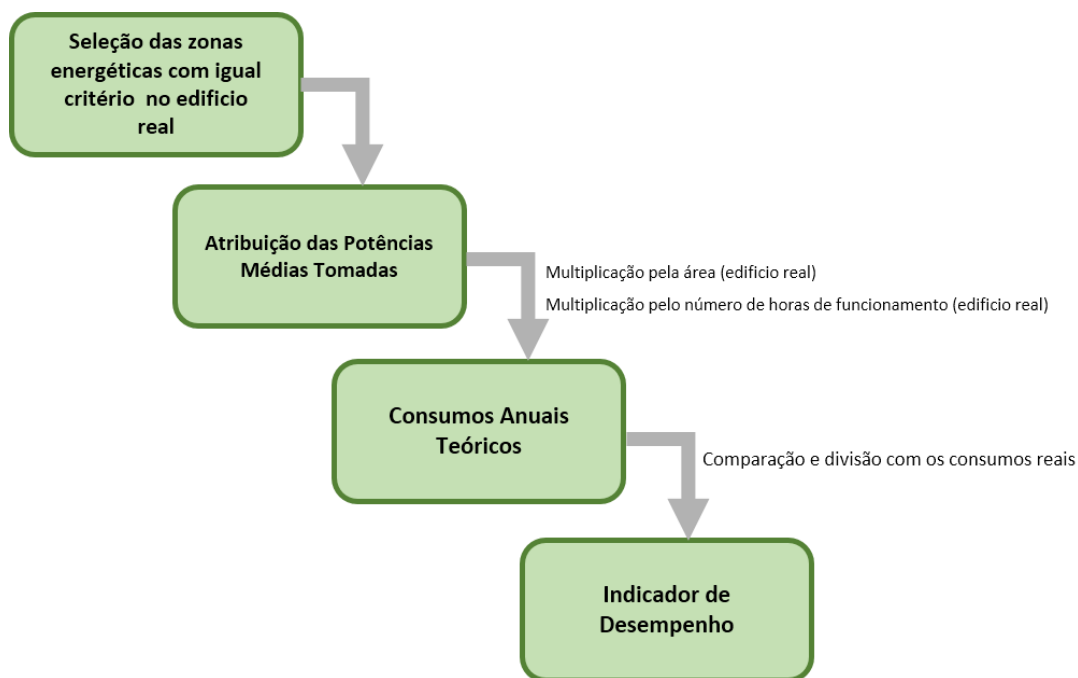


Figura 8 - Metodologia de avaliação do consumo de um edifício

3.4. Edifício de Escritórios Padrão (EEP)

O Edifício de Escritórios Padrão surge da necessidade de haver uma ferramenta pré-definida, que permita contornar os problemas crônicos da simulação energética detalhada, possibilitando resultados rápidos e a preço acessível, com um decréscimo mínimo na qualidade dos resultados.

Geralmente, as decisões tomadas nas primeiras fases de *design* apresentam um impacto significativo na eficiência energética e conforto térmico de um edifício (Pollock, M., et al., 2009).

Assim, tornou-se vinculativo uma análise exaustiva de fatores e características com influência no consumo de um edifício de escritórios típico como base para o desenvolvimento de um edifício padrão, assente em boas práticas que reduzam as necessidades e promovam eficiência.

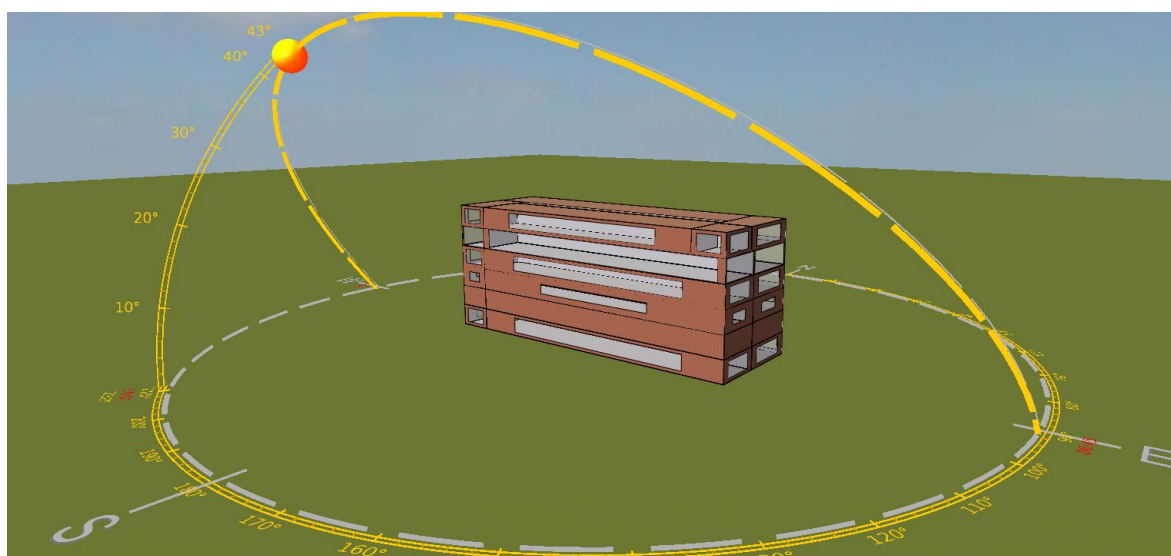


Figura 9 - Representação no programa IES do Edifício de Escritórios Padrão

3.4.1. Soluções Construtivas

Envolvente

Os elementos considerados foram atribuídos segundo características correntes através da norma *ASHRAE 90.1* (ASHRAE, 2010), verificando sempre em paralelo, os valores de coeficiente de transmissão térmica de referência da Portaria nº349-D/2010 (Portaria 349/2010, 2010), RECS e, de sugestões eficientes do guia AEDG (AEDG-SMO, 2014). As soluções construtivas mais adequadas e respetivos coeficientes de transmissão térmica encontram-se detalhados no anexo A.

Envidraçados

Na seleção do tipo de vidro foi preciso especial atenção por ser um fator de grande impacto no desempenho energético de um edifício, uma vez que é responsável pela quantidade de iluminação disponibilizada ao interior dos espaços.

A definição do envidraçado foi estabelecida em função de três parâmetros de dimensionamento através de valores usualmente utilizados em edifícios desta tipologia: fator solar (SHGC), valor de transmissão luminosa (VLT) e coeficiente de transmissão térmica (U).

O envidraçado deve ser duplo com a finalidade de proteger o revestimento de baixa emissividade, reduzir o coeficiente de ganhos solares e o coeficiente de transmissão térmica e deve promover espaço suficiente entre as faces interior e exterior do vidro, reduzindo assim, o risco de correntes de condensação. Em ambos os vidros, o guia AEDG (AEDG-SMO, 2014) recomenda fatores solar baixos pois reduzem ganhos solares e ao mesmo tempo permitem a entrada de iluminação natural para o interior dos espaços. Por estas razões, definiu-se o valor de 0,4 de fator solar para cada vidro.

Seguindo as recomendações do mesmo guia, o valor bem ponderado de VLT para um vidro claro é de 60% já que este parâmetro é inverso ao desempenho energético do vidro.

O coeficiente de transmissão térmica possibilita classificar o desempenho térmico de um vão envidraçado, uma vez que mede a quantidade de fluxo de calor que é perdida através do mesmo. Deste modo, seguindo as práticas correntes estabeleceu-se um U de 2,1 W/m².

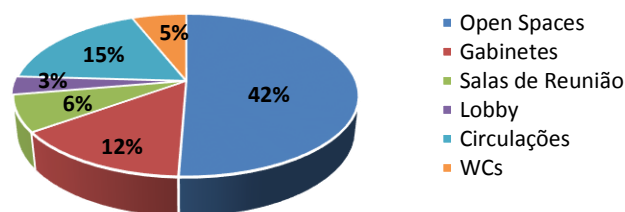
Assim, aplicando este tipo de envidraçado otimizam-se os ganhos solares da mesma forma que se limita o sobreaquecimento através da localização, orientação e dimensão dos envidraçados nas fachadas, bem como através da utilização de dispositivos de sombreamento eficazes, parâmetro que vai ser analisado mais adiante. Os valores ponderados em função de normas e guias de referência encontram-se expressos no anexo A.

3.4.2. Análise das zonas energéticas

A seleção das sub-tipologias do edifício padrão teve como base o levantamento minucioso das áreas de quatro edifícios de escritórios existentes, plantas consultadas através da base de dados da empresa onde foi desenvolvido o presente estudo, e de valores típicos propostos pela AEDG (AEDG-SMO, 2014).

Elaborada a distribuição final do peso de áreas dos vários edifícios, com distinção entre zonas típicas e zonas atípicas representada no anexo A, foi possível averiguar quais as zonas energéticas com maior representatividade em edifícios com esta tipologia. Os espaços que assumem maior destaque num edifício de escritórios, dentro do conjunto das “zonas típicas”, são os seguintes:

- *Open Spaces* – 42%
- Gabinetes – 12%
- Salas de Reunião – 6%
- Lobby – 3%
- Circulações (verticais e horizontais) – 15%
- WCs – 5%



3.4.3. Fator de Forma

De forma a reunir um leque variado de características habitualmente encontradas em edifícios comuns de tipologia escritórios, foram criadas duas tipologias padrão: uma denominada *Slim*, na tentativa de representar edifícios com uma forma mais delgada, e um modelo referenciado como *Fat*, com um fator de forma mais compacto ao apresentar pouca diferença de valores de comprimento e largura das fachadas exteriores.

No entanto, são comuns aos dois edifícios características como orientação da envolvente, número de pisos, elementos construtivos, percentagem de área de vidro,

localização, intensidades de utilização, tipos de sistemas e distribuição das zonas energéticas.

Relativamente à orientação do edifício, guias de referência como o AEDG (AEDG-SMO, 2014) recomenda que o maior comprimento deve ser ao longo de Este-Oeste, de forma a minimizar os ganhos solares e potenciar reduções de consumo de iluminação artificial em detrimento do grande aproveitamento de iluminação natural. A aplicação deste tipo de estratégias e na posterior definição de outros parâmetros relevantes para a formação do modelo padrão têm por base a análise da influência da orientação. No gráfico seguinte verifica-se a influência da mesma em dois *open spaces* com diferentes percentagens de área de vidro, nas necessidades térmicas do edifício padrão.

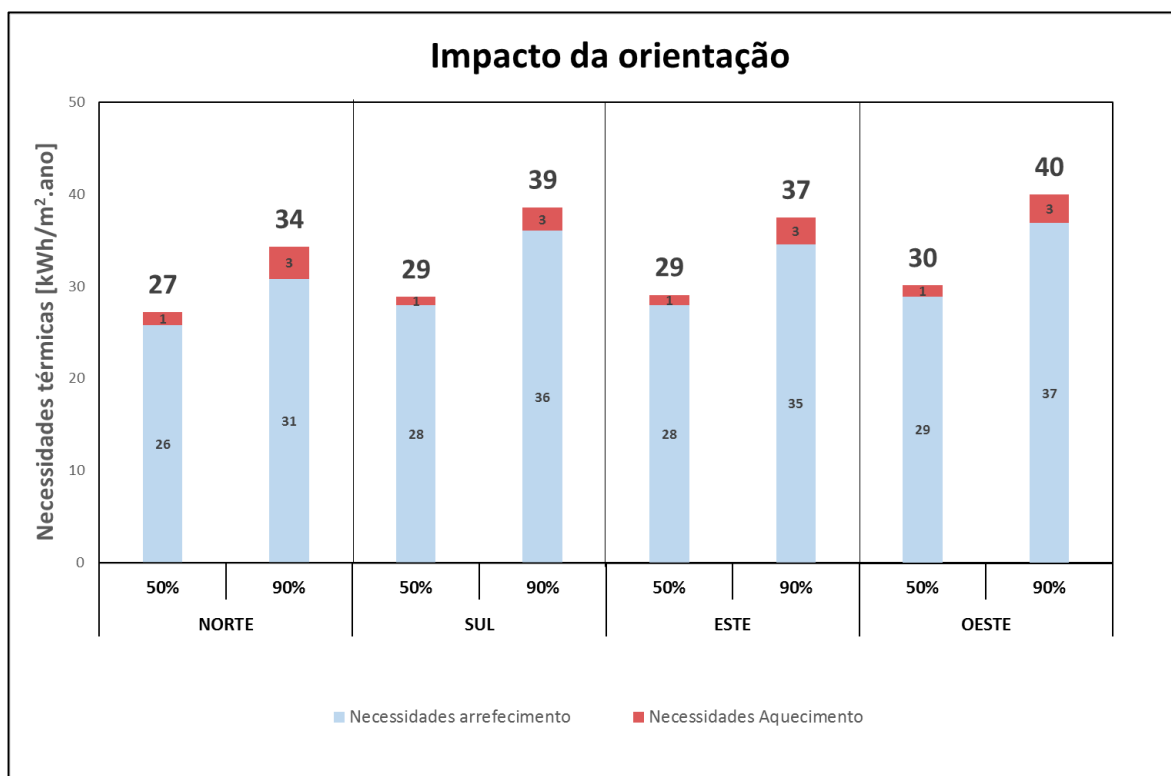


Figura 10 - Impacto da orientação em percentagens diferentes de área de vidro

A partir da análise do gráfico conclui-se que:

- O impacto da orientação aumenta à medida que se aumenta a área de envidraçados;
- Existem menores diferenças na orientação a Norte (como seria espectável, uma vez que tem menos ganhos solares), já que Sul, Este e Oeste são muito parecidas.

O pressuposto usado para a distribuição das zonas térmicas combinou fatores como a orientação, ganhos solares, disponibilidade de iluminação natural e intensidade de utilização, uma vez que têm grande influência no consumo de iluminação e necessidades térmicas do edifício.

Como se pode constatar observando as plantas das Figuras 11,12,13 e 14, a estratégia de distribuição envolveu concentrar as zonas térmicas com ocupação regular, *Open Spaces*, Gabinetes, Salas de Reunião e Lobby, em regiões em contacto com a fachada exterior e consequente iluminação natural e espaços comuns, como circulações e WCs, em zonas centrais.

De forma a atender ao maior número de configurações possíveis de edifícios de escritórios comuns, procurou-se distribuir as várias zonas energéticas pelo edifício de maneira a possibilitar a existência de cada tipo de espaço segundo todas as orientações.

Definidas as zonas térmicas e sua distribuição, procedeu-se ao estudo do número e tipo de pisos relevantes para responder ao máximo possível de configurações, através de uma análise de impacto dos diferentes pisos nas necessidades térmicas do edifício, segundo as várias orientações:

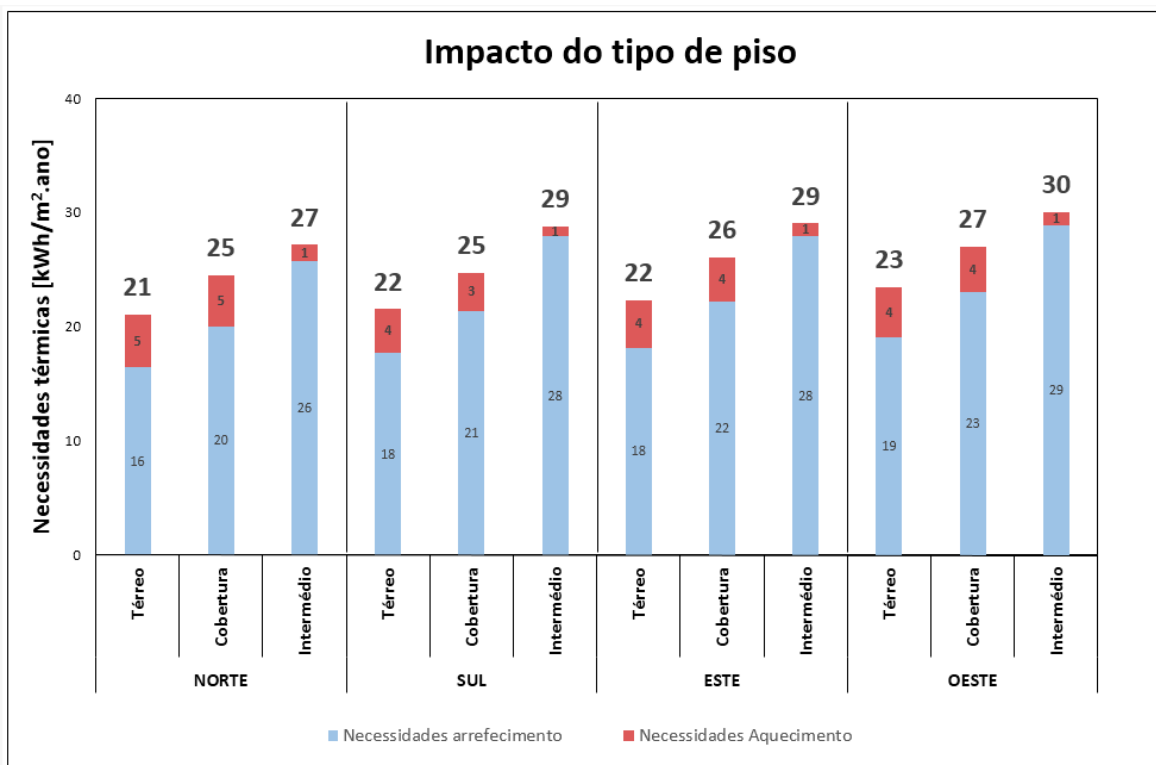


Figura 11 - Impacto do tipo de piso segundo as várias orientações

Como se pode ver no gráfico, ajustar corretamente o tipo de piso é um fator importante devido a:

- Diferenças significativas entre piso térreo e intermédio (cerca de 30%);
- Em termos de arrefecimento, o piso térreo verifica valores mais baixos, por exemplo em relação ao piso cobertura que tem mais ganhos solares.

Depois desta análise, o modelo padrão resultou num edifício com cinco pisos e um piso subterrâneo adicional. Estes podem ser descritos sucintamente como: um piso subterrâneo, exclusivo ao parque de estacionamento, um piso térreo correspondente ao piso zero com *Lobby* e quatro pisos superiores de semelhante configuração com o objetivo de simular:

- Piso 1, típico, composto por zonas sem iluminação natural devido à ausência de envidraçados;
- Piso 2, 3,4, típicos, compostos por diferentes percentagens de área de envidraçados e conseqüentemente por iluminação natural;
- Piso cobertura típico ‘rodado’, afetado por iluminação natural e sem aberturas pela cobertura.

EEP Slim

- Fator de forma delgada
- Rácio de comprimento e largura superior a 1,5
- Profundidade *Open Spaces* 6,7 m
- Profundidade Salas de Reunião (SR) e Gabinetes (Gab) 4,7 m

Tipologia 'Slim'
45x15m



Figura 12 - Planta piso térreo do EEP Slim



Figura 13 -Planta piso típico do EEP Slim

EEP Fat

- Fator de forma compacto
- Rácio de comprimento e largura inferior a 1,5
- Profundidade *Open Spaces* 13,5m
- Profundidade Salas de Reunião (SR) e Gabinetes (Gab) 4,7 m

Tipologia 'Fat'
40x30m

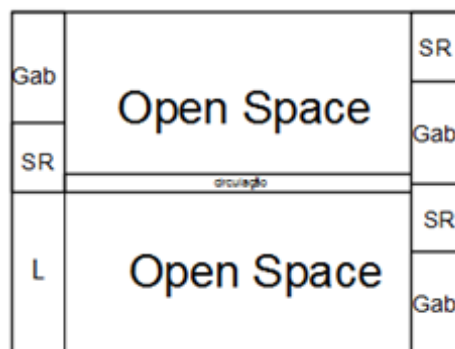


Figura 14 - Planta piso térreo do EEP Fat

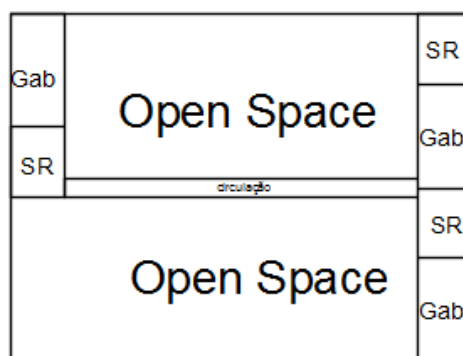


Figura 15 - Planta piso típico do EEP Fat

Outro parâmetro a ter em consideração na arquitetura do edifício e de grande impacto na mesma é a área de envidraçados. Tendo já sido referida a intenção de abranger uma gama variada de características de edifícios da tipologia de escritórios, optou-se por avaliar primeiro o impacto de diferentes percentagens de áreas de envidraçados por área de

fachada, segundo todas as orientações, com o intuito de averiguar se consiste num fator relevante de se ajustar entre o edifício real e o padrão.

A figura 15 exprime o peso das diferentes percentagens de áreas de envidraçados nas necessidades térmicas de um edifício, segundo as várias orientações. Constatando-se o seguinte:

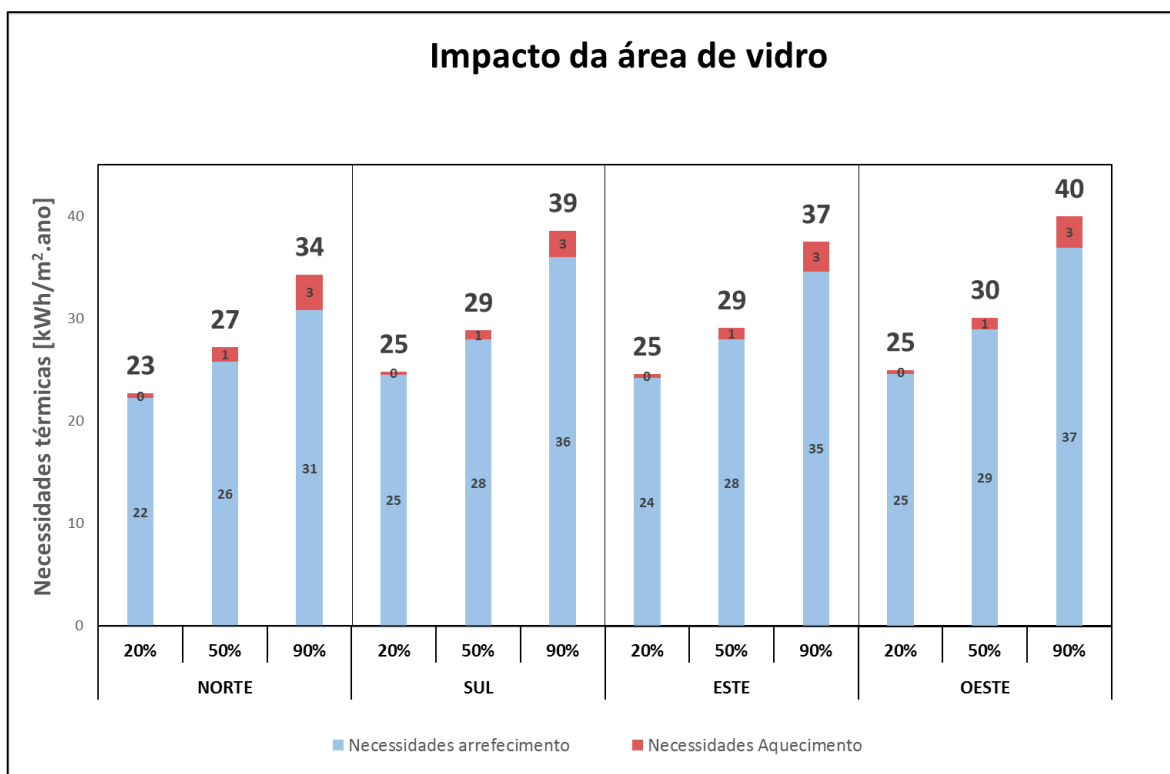


Figura 16 - Impacto da percentagem de área de vidro nas diferentes orientações

- Aumento das necessidades térmicas de aquecimento de cerca de 1:3;
- O efeito dominante com este tipo de vidro/parede exterior é a condução e não a radiação, logo aumentando a área de vidro, as necessidades térmicas de aquecimento também vão aumentar. Isto deve-se ao facto de as perdas pela envolvente superarem os ganhos solares.

Deste modo, foram atribuídas as seguintes percentagens de área de envidraçado por área de fachada exterior aos vários pisos nos edifícios padrão:

Tabela 4 – Percentagem de área de envidraçados por área de fachada nos vários pisos do EEP

Piso	Área de Envidraçados [%]
Térreo	50%
1	0%
2	20%
3	50%
4	90%
Cobertura	50%

3.4.4. Sombreamento

A implementação de estratégias de sombreamento solar tem grande contribuição no índice de eficiência energética de um edifício, no entanto, este tipo de solução passiva foi alvo de um estudo cuidado. Na parametrização do edifício padrão foi avaliado o impacto deste parâmetro a partir da simulação do comportamento do modelo padrão perante duas situações:

1. Em função de dois tipos de sombreamento:
 - Sombreamento exterior fixo (pala fixa)
 - Sombreamento exterior automático (*shading louvre*)

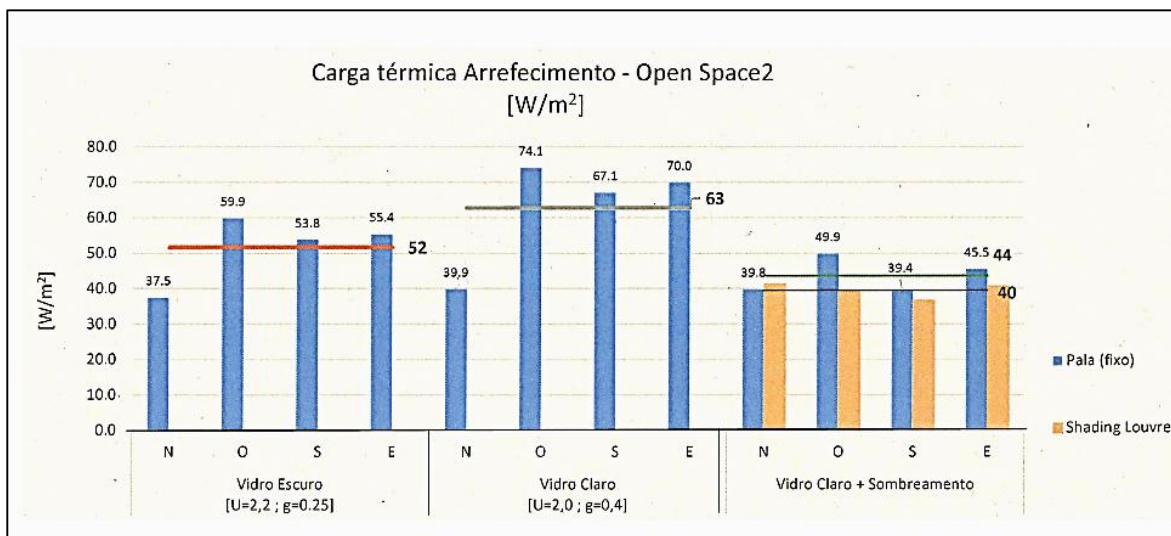


Figura 17 - Cargas térmicas de um determinado espaço em função do tipo de vidro e sombreamento

A partir da análise do gráfico pode-se constatar que é mais vantajoso utilizar um sombreamento automático do que uma pala fixa, uma vez que uniformiza os ganhos solares em todas as orientações. Adicionalmente, este tipo de sombreamento *shading louvre* permite um sombreamento quase ótimo uma vez que permite controlar os limites de abertura e fecho em função da quantidade de radiação incidente na envolvente do edifício, em W/m^2 , bem como a percentagem de radiação que deixa entrar no espaço, o que pode ser constatado no gráfico seguinte:

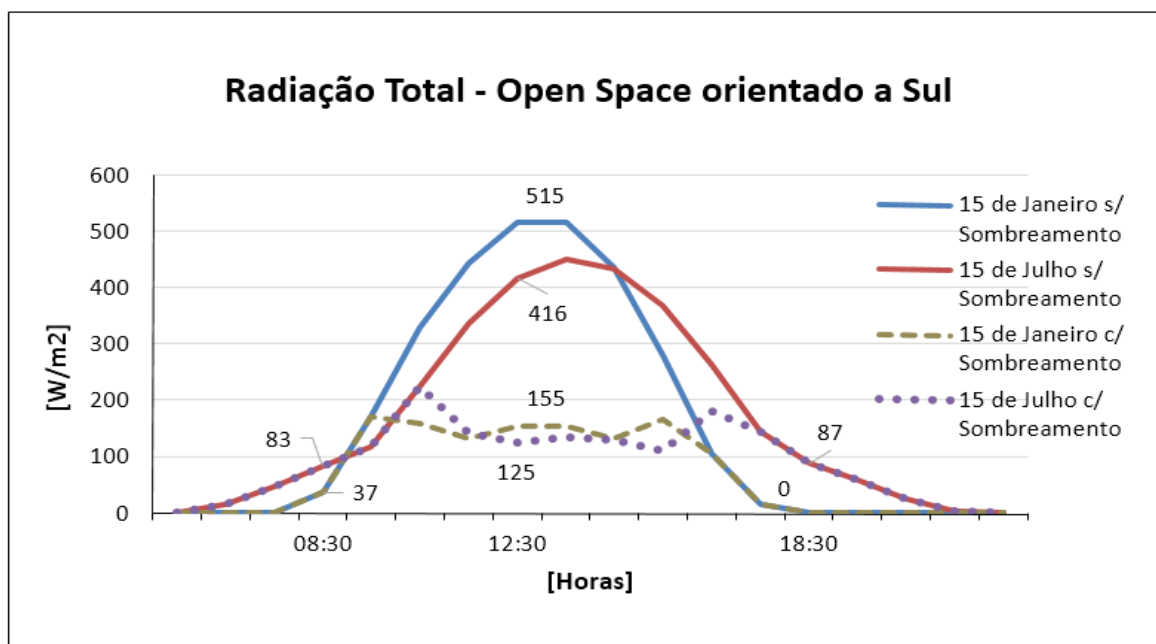


Figura 18 - Impacto do sombreamento na radiação total incidente num Open Space orientado a Sul em dois dias distintos: 15 de janeiro e 15 de julho

Para o presente EEP, estipularam-se os limites de ‘abertura’ de 300 W/m² e 275 W/m² para o seu ‘fecho’, e que mesmo com o sombreamento ativo 30% da radiação incidente entra ainda assim no espaço.

2. Selecionado o tipo de sombreamento, a simulação teve em consideração as seguintes variáveis:

- Existência ou não de sombreamento (*shading louvre*);
- Diferentes percentagens de área de vidro: 50% e 90%;
- Orientações: Norte, Sul, Este e Oeste.

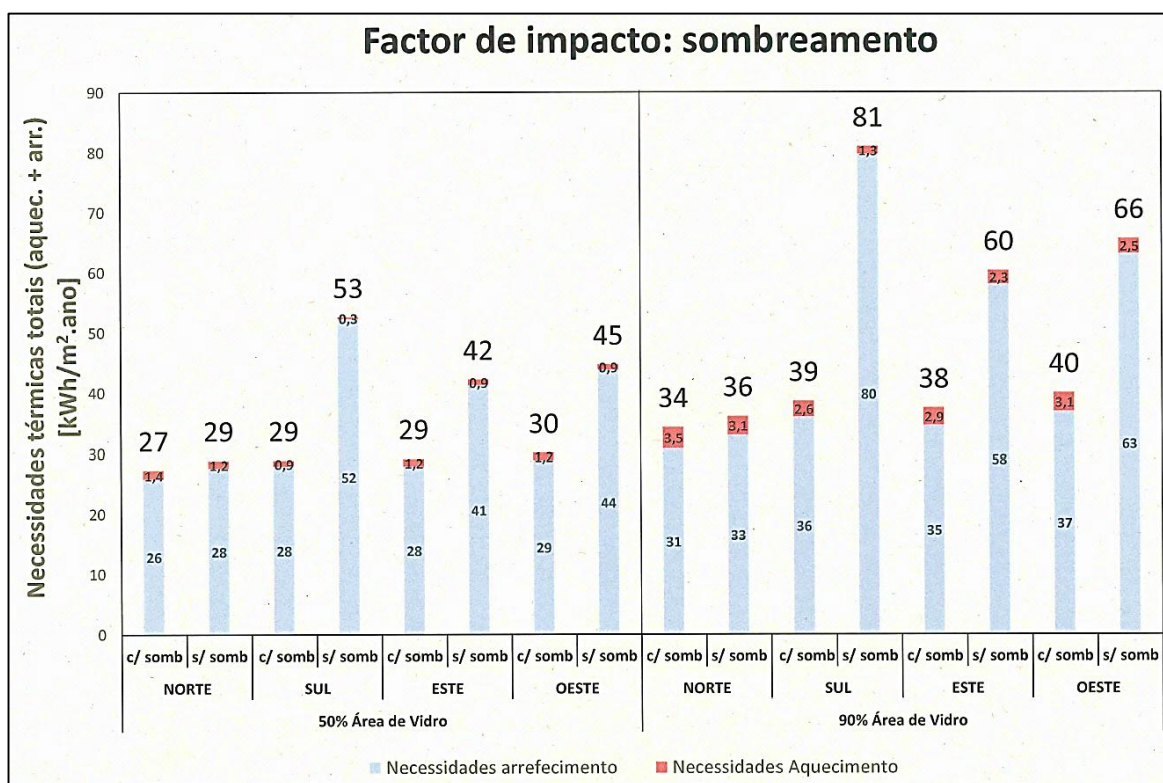


Figura 19 - Impacto do sombreamento

Assim, a partir da análise destes gráficos é possível concluir que, dependendo do tipo de sombreamento, a orientação pode ser ou não um fator relevante. Como se pode verificar, com a aplicação de um bom sombreamento a orientação deixa de beneficiar de tanta relevância.

3.4.5. Estudo da iluminação natural

A capacidade de um edifício de escritórios conseguir fornecer um ambiente com iluminação natural é fundamental para o conforto visual dos seus utilizadores bem como uma forma de potenciar práticas eficientes de gestão de energia.

Para o caso em estudo, guias de referência recomendam estratégias de distribuição das zonas energéticas com ocupação regular ao longo das fachadas em contacto com o exterior facilitando, desta forma o aproveitamento de iluminação natural. Nomeadamente, a AEDG (AEDG-SMO, 2014) aconselha que todos os postos de trabalho de *Open Spaces*, Gabinetes e Salas de Reunião, a que não se localizem a mais de 9 metros de distância dos envidraçados exteriores.

Assim, no presente modelo padrão estipulou-se a localização dos *Open Spaces* em fachadas orientadas a Norte e Sul. Estes espaços de maior densidade de ocupação regular podem beneficiar de elevada intensidade de iluminação natural por posto de trabalho, facto que potencia reduções na carga térmica e maior controlo de iluminação segundo estas orientações (AEDG, 2014).

As zonas de Gabinetes, como têm densidade de ocupação mais baixas, foram localizadas ao longo das fachadas Este e Oeste com o intuito de o controlo de iluminação e desconforto provocado por esta (situações de encadeamento de ângulos normais dos raios solares) poderem ser operados de uma forma mais eficaz.

Procurou-se distribuir em zonas de intersecção de fachada exterior as áreas dedicadas às Salas de Reunião, por estas apresentarem picos de utilização ao longo do dia segundo as orientações Este-Sul e vice-versa. Apesar desta localização ser desfavorável nos elevados ganhos solares, permitiu a utilização de envidraçados em ambas as fachadas.

As zonas do interior foram dedicadas a espaços comuns como circulações e instalações sanitárias devido à ocupação não ser permanente. Aqui é possível a existência de controlo de iluminação artificial em função da ocupação através de sensores que otimizam a utilização da mesma.

Estratégias de iluminação

Como já referido, é imprescindível o esforço por proporcionar aos diferentes espaços a melhor densidade de iluminação natural possível. Para isto são necessárias

estratégias que visam adequar a iluminação artificial em função da iluminação natural disponibilizada ao longo do dia.

Estas práticas permitem redução dos consumos de energia associados à iluminação, arrefecimento dos espaços e conseqüente redução dos consumos dos ventiladores dos equipamentos de climatização, uma vez que a sua capacidade e potência máxima é também reduzida.

A adequação correta de iluminação artificial em função da iluminação natural consiste num controlo feito por *dimming* onde se prevê a instalação de um determinado sistema de luminárias regulado pela intensidade luminosa natural. Para tal é necessário um estudo prévio com objetivo de estimar os consumos das zonas energéticas com ocupação regular com ou sem iluminação natural e o seu impacto no consumo global. É, de igual modo, imprescindível uma estimativa de qual deve ser a posição do foto-sensor para uma adequada captação e controlo dos níveis de iluminação natural em ambiente de simulação energética detalhada.

Fundamentando o que foi referido, “os sistemas de iluminação a instalar em edifícios de comércio e serviços devem cumprir requisitos gerais e específicos para os parâmetros de iluminação, (...), bem como requisitos para a densidade de potência e requisitos de controlo, de regulação de fluxo e de monitorização e gestão, (...)” (RECS, 2013).

Iluminação ambiente e *task lighting*

Uma estratégia de iluminação eficiente consiste na utilização da iluminação ambiente e do posto de trabalho (*task lighting*) separadamente. Esta estratégia foi implementada em meio de simulação nos espaços com áreas mais significativas: *Open Spaces* e Gabinetes. A norma *NP EN 12464-1* (2005), exige requisitos mínimos para iluminação ambiente em *Open Spaces* de 300 lux e 500 lux para *task lighting*. Nos gabinetes as áreas são mais pequenas e por isso há maior controlo e apenas um requisito mínimo de 500 lux para iluminação geral. Assim, recorrendo à utilização integrada de iluminação é possível obter índices de eficiência superiores, traduzindo-se em menores potências instaladas.

As densidades de potência instaladas bem como os requisitos mínimos a garantir aos espaços encontram-se discriminados no anexo B.

Associados às densidades de potências de iluminação estão os perfis de utilização respetivos de cada sub-tipologia. Estes perfis seguiram a metodologia regulamentar revogada do RSECE (DL 79/2006, 2006) com recurso aos perfis de padrão de referência de utilização, e não a regulamentação vigente do RECS (Portaria 349/2010, 2010), uma vez que esta é baseada em condições reais.

Num espaço de *Open Space*, a iluminação ambiente é controlada pelo perfil na Figura 19 enquanto que a iluminação do posto de trabalho é controlada por um perfil de ocupação relativo ao mesmo espaço e representado na Figura 20.

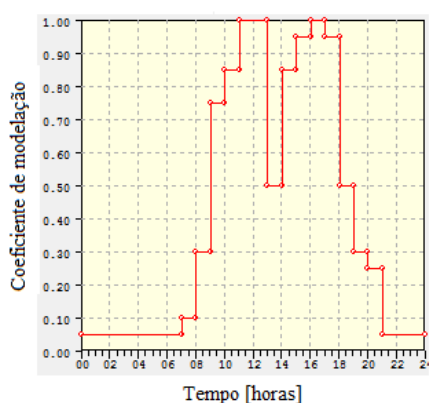


Figura 19 - Perfil de iluminação diário dos Open Spaces no programa IES

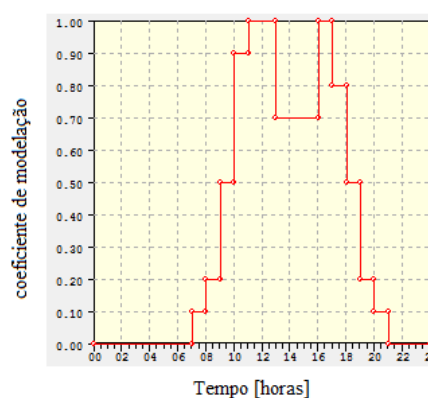


Figura 20 - Perfil de ocupação diário dos Open Spaces no programa IES

Dimming

Para a implementação de estratégia de dimming nos espaços de *Open Spaces*, Gabinetes e Salas de Reunião através do programa de simulação IES, foram feitos testes para quantificar de densidade de potência a fornecer aos espaços em função do nível de iluminação natural lido nos sensores. Esta modelação é feita através de perfis *dimming* de iluminação que atuam sobre os perfis de iluminação atribuídos a cada espaço e têm como princípio de funcionamento uma variação inversamente proporcional entre o nível de iluminação natural lida no sensor e a potência pretendida para o espaço. A título de exemplo, para um nível de 0 lux lido no sensor, a potência de iluminação disponibilizada ao espaço é de 100% do valor indicado pelo perfil de iluminação nesse instante. Na situação contrária, o sensor ao captar a densidade de fluxo luminoso pretendida, a potência disponibilizada irá ser 0%.

Estes perfis quando associados a espaços com requisitos de iluminação de *task lighting*, no presente caso correspondem a *Open Spaces*, têm apenas a função de *ON/OFF*

para simular a utilização de secretária. Isso é, a posição “ligado” quando não são atingidos os pretendidos 500 lux e *desligado* quando este valor é atingido.

Estratégias de controlo

Nesta secção são apresentados estudos de iluminação natural ou *daylight control* aos espaços de *Open Spaces*, Gabinetes e Salas de Reunião, a partir de avaliação de consumos de iluminação por espaço, e com a finalidade de definir o melhor posicionamento dos sensores de iluminação natural.

Esta estratégia baseia-se na divisão dos espaços em pequenas áreas onde são recomendadas distâncias de cerca de 1,5 m, paralelamente desde o envidraçado até à profundidade máxima do espaço. Cada subárea é afetada por um sensor de iluminação natural capaz de controlar a iluminação artificial pretendida para o espaço.

Especificamente para o edifício padrão em estudo, como as duas tipologias *Slim* e *Fat* apresentam diferentes profundidades de *Open Spaces*, para a análise de *daylight control* foram assumidas diferentes considerações. A figura seguinte representa a modelação de um *Open Space* no Edifício Padrão *Slim* seguindo este pressuposto:

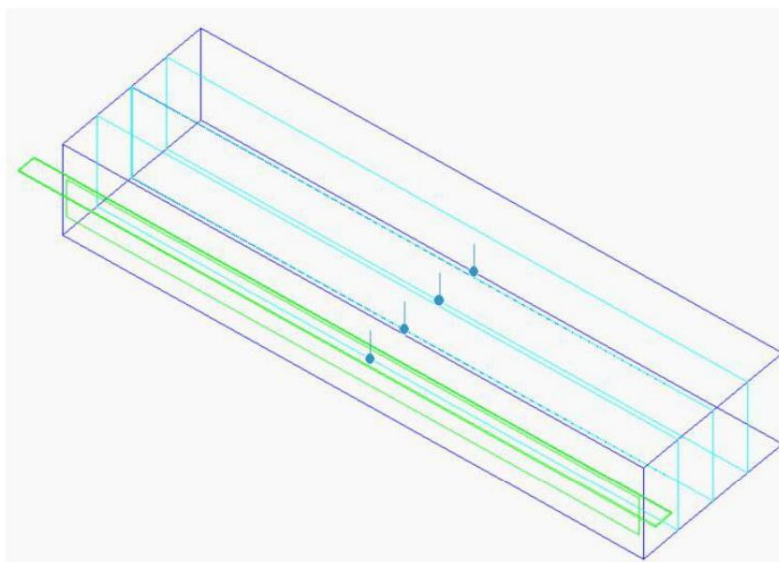


Figura 20 - Modelação no módulo *Radiance* do programa IES de um *Open Space* do EEP *Slim* para avaliação dos consumos de iluminação nas subáreas (1,5m sucessivamente desde o envidraçado)

A partir desta análise foi possível concluir o espectável, aumentando a distância ao envidraçado, o consumo de iluminação aumenta na mesma proporção. Estes valores permitiram estimar uma boa localização dos foto-sensores nos *Open Space* nas duas tipologias do EEP bem como a limitação (imposta pelo programa IES) de um por espaço. Esta imposição reduz a complexidade de variáveis e aumento da eficiência na análise de dados. As percentagens de potência controlada nos dois modelos padrão encontram-se detalhada no anexo B.

Como os Gabinetes e Salas de Reunião apresentam áreas menores foi estimada a melhor localização dos respetivos foto-sensores através da análise do consumo de iluminação em dois cenários distintos de *daylight control*, segundo as várias orientações, num piso típico com 50% de área de envidraçados e *set-points* nos sensores de 600 lux (é recomendável 100 lux a mais do requisito mínimo de forma a garantir que este se estabeleça):

1. Teste *Daylight control* de 100% e sensores a 1/3 do comprimento a partir das paredes sem envidraçados (EEP *Slim*)

Este teste demonstra uma potencial situação em que o sensor controla 100% da potência fornecida (8 W/m^2) ao espaço num dado ponto do espaço Gabinete ou Sala de Reunião, bem como a influência da orientação, como se verifica na seguinte tabela:

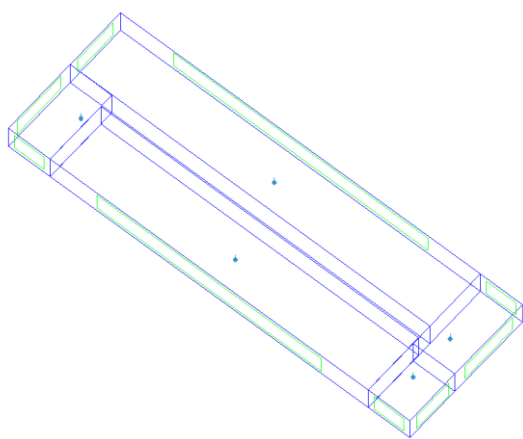


Figura 21 - Posição dos sensores de iluminação a 1/3 da distancia a partir da fachada interior em Gabinetes e Salas de Reunião (módulo *Radiance* no *IES*)

Tabela 5 - Comparação de consumos de iluminação com e sem 100% *daylight control* em função da orientação

		Gabinete	Sala de Reunião
Sem Daylight Control		100%	100%
Com Daylight Control	N	60%	51%
	S	44%	33%
	E	52%	37%
	O	48%	49%
	Média	51%	43%

2. Teste *Daylight control de 50 %* e sensores situados a meio do espaço (*EEP Slim*)

Este teste representa uma potencial situação em que o sensor controla 50% da potência fornecida (4 W/m²). A restante potencia de iluminação artificial, 4W/m², está constantemente a ser fornecida ao espaço pois não sob estratégia de controlo em função da iluminação natural. Nesta situação, os sensores foram implementados a meio do espaço.

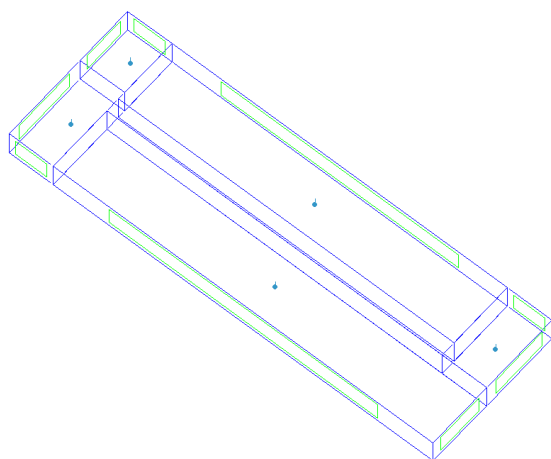


Figura 22 - Posição dos sensores de iluminação a meio dos espaços Gabinetes e Salas de Reunião (módulo Radiance no IES)

Tabela 6 - Comparação de consumos de iluminação com e sem 50% *daylight control* em função da orientação

		Gabinete	Sala de Reunião
Sem Daylight Control		100%	100%
Com Daylight Control	N	78%	71%
	S	70%	64%
	E	74%	66%
	O	73%	69%
	Média	74%	68%

A partir deste estudo, foi possível concluir que apesar do cenário com 100% de *daylight control* potenciar consumos menores de iluminação, o cenário de 50% é mais adequado para implementar no Edifício de Escritórios Padrão uma vez que potencia poupanças médias razoáveis (entre os 25% e 30%) e sendo representativo de um cenário mais conservador, mais parecido com o real.

Assim, a tabela seguinte traduz a distância estimada para cada sensor afeto a cada zona energética, representando a Figura 21 o posicionamento final dos sensores num piso típico em ambiente de simulação.

Tabela 7 - Localização do sensor de iluminação natural em cada espaço

Espaço	Distância ao maior envidraçado [m]
<i>Open Space</i>	4
Gabinete	2
Sala de Reunião	2

3.4.1. Dimensionamento dos sistemas energéticos

Sistema de Iluminação

Apesar da iluminação representar consumos energéticos num edifício, as suas estratégias de controlo e utilização integrada tiveram necessidade, dada à sua complexidade, de serem tratadas numa só secção. Assim, todos os factos e considerações relativos a este sistema foram explicados detalhadamente na secção anterior 3.4.3.

Sistema de Equipamentos

As densidades de potência instaladas no EEP dos vários espaços energéticos basearam-se em valores típicos de referência recomendados pelos livros ASHRAE *Handbook* (ASHRAE, 2013) e AEDG (AEDG-SMO, 2014) encontram-se detalhadas no anexo B.

Sistema de AVAC

O sistema aplicado no Edifício de Escritórios Padrão teve como princípio base a regulação e controlo das condições interiores dos espaços com ocupação regular como os *Open Spaces*, Gabinetes, Salas de Reunião e Lobby, bem como as recomendações do guia AEDG (AEDG-SMO, 2014) apresentadas no ponto 3.2. Com este tipo de sistema, a

climatização é efetuada com recurso a ventilo-convetores servidos por *chiller*/bomba de calor a ar-água, com renovação de ar por uma Unidade de Tratamento de Ar Novo (UTAN).

Os espaços comuns, como as Circulações e Instalações Sanitárias, foram climatizados através de ar de transferências a partir de espaços adjacentes.

1.Caracterização do sistema de ventilação

A unidade de tratamento de ar novo, UTAN, é responsável por fornecer a insuflação de ar novo termicamente tratado e filtrado com recuperação de calor aos vários espaços climatizados, satisfazendo os requisitos de cada um segundo o regulamento legislativo vigente, RECS (Portaria 349/2010, 2010). Existe uma por piso, sendo as mesmas constituídas por baterias de aquecimento e arrefecimento onde a temperatura do ar exterior é ajustada aos *setpoints* pretendidos nos espaços, 20°C e 25°C respetivamente. Concretamente, à medida que o ar é insuflado a uma determinada temperatura, este pode ser arrefecido até 24°C ou aquecido até 18°C, sendo o resto da correção feita ao nível dos espaços. O sistema de ventilação possui um perfil de funcionamento constante das 8h30 às 19h30 em dias úteis e foi dimensionado, segundo o mesmo regulamento, os valores que caracterizam a eficiência energética de um sistema de ventilação *Specific fan power (SFP)* são, SFP de 1250 W/(m³/s) para a UTAN e 0,15 W/(m³/h) para os ventilo convetores.

As condições de conforto térmico ao nível dos espaços são controladas através de ventilo-convetores, que corrigem localmente as cargas térmicas com objetivo de manter uma determinada gama de temperaturas. Os parâmetros de controlo destes equipamentos baseiam-se na regulação da temperatura de insuflação do ar a partir das potências de frio e de quente. Isto é, para uma situação de arrefecimento em que é detetado no espaço uma temperatura acima do *setpoint*, 25°C, a temperatura mínima disponibilizada é de 14°C. Este valor corresponde à diferença entre o *setpoint* e a diferença de temperatura entre o ar que chega ao espaço, 11°C (valor fixo). No aquecimento, a potência de quente responde para uma temperatura máxima de 35°C para temperaturas abaixo do *setpoint*.

Adicionalmente, foi considerada a utilização de recuperação de calor com o intuito de potenciar poupanças de energia tanto no aquecimento como arrefecimento ao nível da UTAN. O Edifício de escritórios padrão foi inserido em simulação no clima do Porto, logo este mecanismo tornou-se determinante na redução das necessidades de quente, ao possibilitar troca de energia térmica entre fluxos de ar de extração e de insuflação, diminuindo a potência necessária para tal.

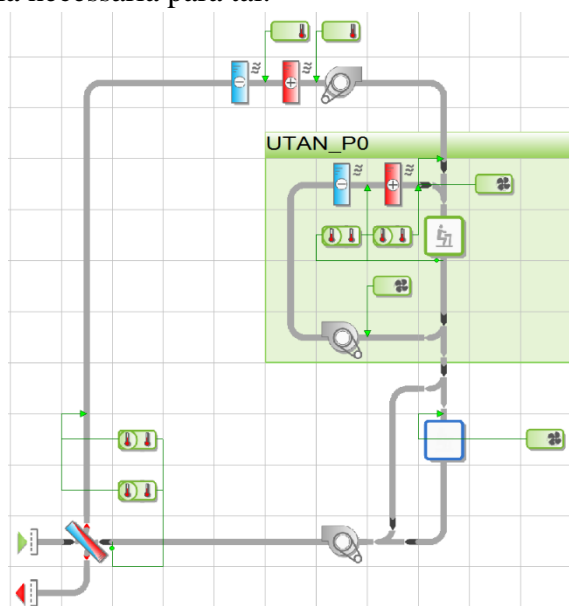


Figura 23 – Esquema do sistema de AVAC considerado, em ambiente do software IES

2. Caracterização do sistema de climatização

O circuito de geração de água fria foi considerado segundo o esquema da Figura 24. Esta produção de água fria é assegurada por uma unidade principal, um *chiller* a ar, que obedeceu aos requisitos mínimos de eficiência impostos pelo RECS (Portaria 349-/2013, 2013) tendo sido atribuído um valor médio de classe de eficiência (EER) de 4,1.

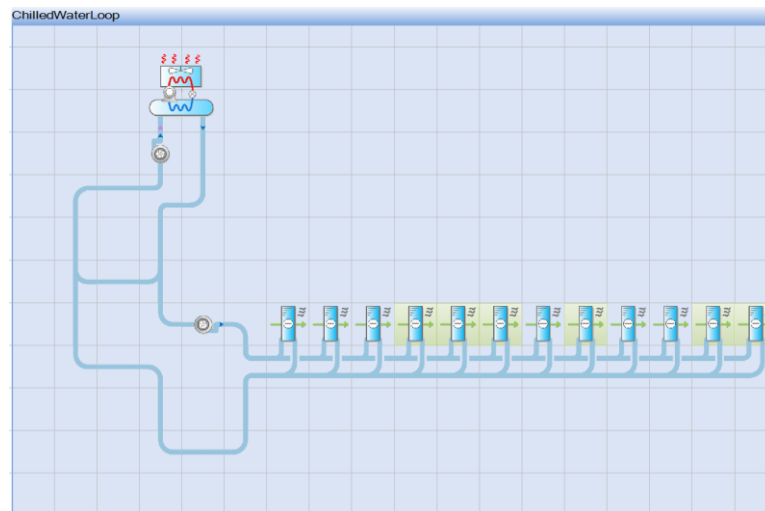


Figura 24 - Esquema do circuito de água fria no software IES

O circuito de aquecimento foi estabelecido com recurso a bombas de calor com permuta exterior de ar. Este componente obedeceu aos requisitos mínimos impostos pela mesma portaria acima referida, tendo sido ponderado o valor de coeficiente de *performance* (COP) de 3. O seu esquema representativo encontra-se na Figura 25.

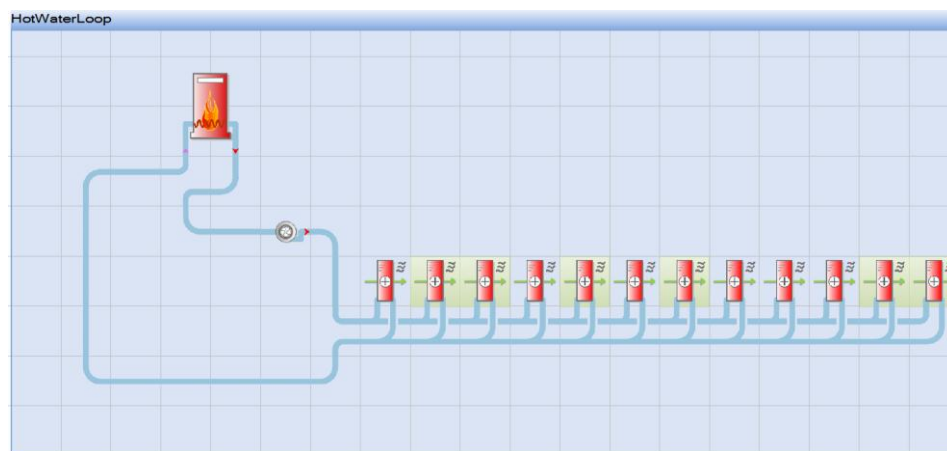


Figura 25 - Esquema do circuito de água quente no software IES

Ambos os circuitos são complementados por bombagem de primário e de secundário:

- **Bombas de primário de frio/quente** –são componentes que forçam a água a passar no evaporador/condensador do *chiller*/bomba de calor, respetivamente do lado do frio e quente. O seu funcionamento é em caudal constante.

- Bombas de secundário de frio/quente – distribui a água pelo edifício todo. O seu funcionamento é em caudal variável. Esta medida é mais eficiente ao permitir poupanças nos consumos, uma vez que há alturas em que os espaços não têm de ser arrefecidos todos ao mesmo regime de carga.

4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

4.1. Consumos energéticos

Uma vez definido o edifício padrão, e seguindo a metodologia proposta para a avaliação da *performance* energética de um Edifício de Escritórios, o passo seguinte consistiu na obtenção do consumo elétrico dos vários sistemas que o compõem.

Assim, a partir do software de simulação energética detalhada IES foi possível simular nos dois modelos padrão *Slim* e *Fat* a interação entre os sistemas e respetivos perfis de utilização, de iluminação, equipamentos, ocupação e AVAC, o que, por sua vez, permitiu a obtenção dos consumos representativos de funcionamento do edifício.

Numa primeira fase de simulação, foi necessário determinar as cargas sensíveis dos espaços, a partir da opção ASHRAE LOADS do software IES, para dimensionar os caudais de ar e potências térmicas máximas disponibilizadas ao nível dos espaços, pelos ventilo convetores. Os caudais mínimos de ar novo a ser insuflado pela UTAN seguem o requisito estipulado na *Portaria 353-a 2013* (Portaria 353/2013,2013), que segundo o nível de atividade física, pode ser obtido a partir do máximo entre dois critérios, a ocupação ou área do espaço.

Após a primeira simulação, foram retirados os perfis de necessidades térmicas anuais dos equipamentos responsáveis pela climatização: ao nível dos espaços as necessidades das baterias de frio e quente dos ventilo convetores e, em relação ao ar exterior, as necessidades das baterias da UTAN. Com estes valores foi possível calcular as potências térmicas e consumos dos *Chillers*, das bombas de calor e respetivos dispositivos de bombagem de primários e secundários, dos circuitos de água fria e quente respetivamente.

Os consumos anuais de iluminação e equipamentos foram extraídos diretamente a partir do programa de simulação.

Os resultados detalhados dos consumos dos vários sistemas energéticos encontram-se registados no anexo C

4.2. Potências Médias Tomadas

Determinadas as componentes de consumo elétrico dos vários sistemas que compõem Edifício de Escritórios Padrão foi possível calcular as “potências médias tomadas” dos mesmos por zona térmica. Para este cálculo foram considerados a área de cada espaço e horas de funcionamento anuais, de forma a anular o seu efeito e, deste modo, estimar um consumo teórico/*target* de outro edifício só a partir destes dois parâmetros.

Assim, no presente estudo foram detalhados e diferenciados valores de potências médias tomadas dos vários sistemas iluminação e equipamentos, por zona energética de ocupação regular (*Open Space*, Gabinetes, Salas de Reunião e *Lobby*) e, para o sistema AVAC em função também do tipo de piso (térreo, intermédio e cobertura). Como a apresentação descrita de todos os valores calculados de PMT dos sistemas de AVAC tonar-se-ia bastante longa, nesta secção é apresentada uma tabela que visa apenas demonstrar o detalhe com que se realizou o estudo dos mesmos, concretamente num *Open Space* situado no piso térreo.

Tabela 8 - Potências Médias Tomadas – Modelo Padrão *Slim* e *Fat*

		Modelo <i>Slim</i>	Modelo <i>Fat</i>
Sub-sistema		PMT [W/m ²]	
ILUMINAÇÃO	<i>Open-space</i>	5,4	6,9
	Gabinete	5,7	9,3
	Sala reuniões	3,2	4,8
	WC's	6,0	6,0
	<i>Lobby</i>	7,8	9,3
	Circulações	5,8	5,8
	Parque de estacionamento	1,6	1,6
EQUIPAMENTOS	<i>Open-space</i>	10,5	10,5
	Gabinete	6,3	6,2
	Sala reuniões	5,3	5,2
	<i>Lobby</i>	14,3	14,3
AVAC (<i>Open Space</i> localizado no piso térreo)	<i>Chillers</i>	1,0	1,5
	Bombas de calor	0,2	0,2
	UTANs	2,1	2,1
	VCs	1,5	1,2
	Bombas de primário-frio	0,2	0,3
	Bombas de primário-quente	0,1	0,1
	Bombas de secundário - frio	0,1	0,2
	Bombas de secundário - quente	0,1	0,0

4.3. Análise de consumos energéticos do Edifício de Escritórios Padrão

A avaliação de consumos dos vários sistemas que constituem o Edifício Padrão nas duas tipologias *Slim* e *Fat* será apresentada e comentada nesta secção. Esta análise procura estabelecer o comparativo entre o peso dos principais consumos de iluminação, equipamentos e AVAC entre os dois modelos, para a localização Porto. A figura 27 representa a repartição dos consumos teóricos de um edifício real aplicando os modelos Padrão.

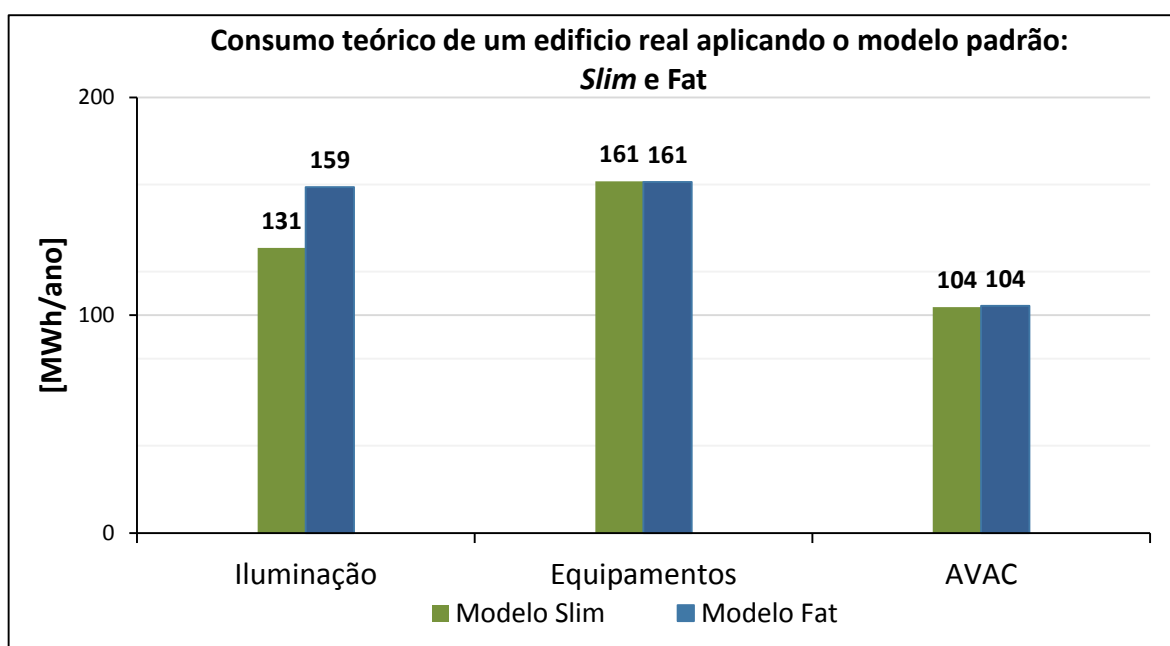


Figura 26 – Comparação do consumo teóricos de um edifício aplicando os modelos Padrão *Slim* e *Fat*

Como se pode verificar, as principais diferenças entre os modelos Padrão verificam-se no sistema de iluminação. Este facto é devido a:

- Profundidades diferentes de *Open Spaces* (o edifício *Fat* com mais do dobro da profundidade do edifício *Slim*), o que contribui para que as zonas mais interiores, no edifício *Fat*, não sejam afetadas pela iluminação natural provocando este aspeto um aumento do consumo de iluminação artificial.
- No edifício *Fat* a percentagem de potência instalada que pode ser controlada em função da iluminação natural disponibilizada aos espaços é menor e, portanto, é espectável que o consumo global seja superior.

Constata-se que os sistemas de equipamentos e AVAC apresentam os mesmos valores de consumo total em ambos os modelos. Este facto tornou relevante uma desagregação mais detalhada, como é visível nas Figura 28 e 29.

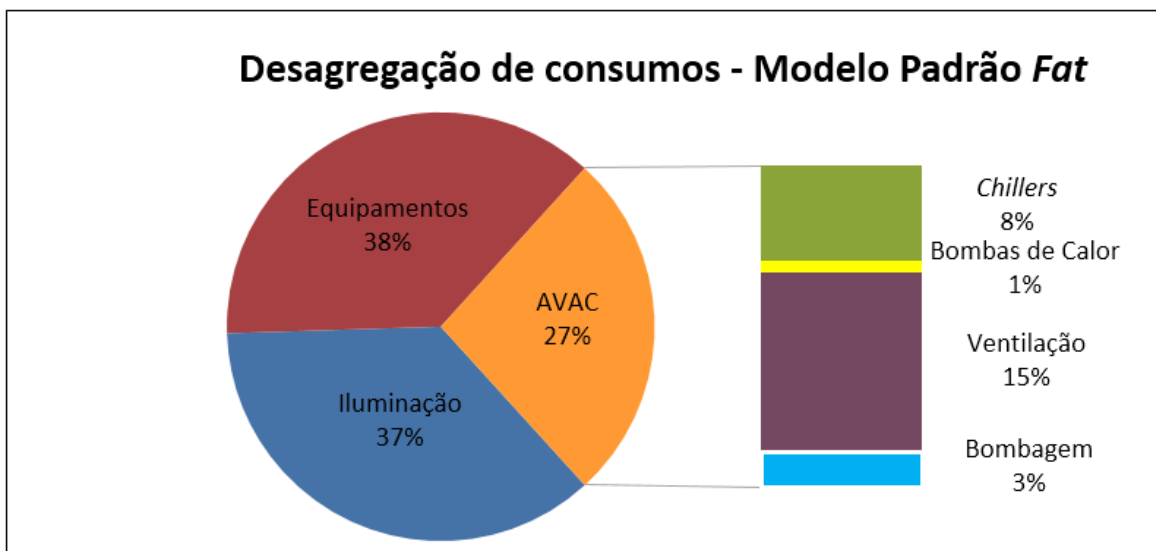


Figura 27 - Peso de cada sistema no consumo global do modelo padrão Fat

Assim, é possível verificar uma diferença, embora pequena, nos consumos dedicados ao arrefecimento e aquecimento entre os dois modelos. Esta diferença é explicada em parte devido ao facto de o edifício *Slim* está mais exposto ao meio exterior (do que o edifício *Fat*) através da maior área de envolvente exterior, o que potencia mais perdas por condução e, conseqüentemente, maiores necessidades de aquecimento. Em relação aos

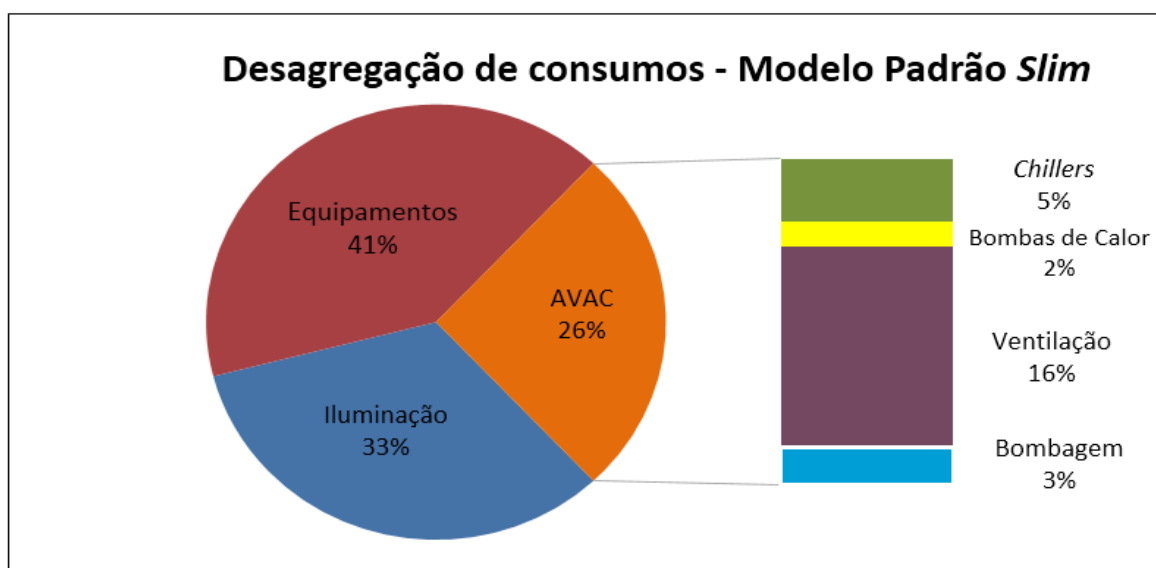


Figura 28 - Peso de cada sistema no consumo global do modelo padrão Slim

consumos mais elevados dedicados ao arrefecimento do edifício *Fat*, estes são explicados devido a ganhos internos superiores por aumento do consumo de iluminação artificial.

4.4. Comparação de resultados obtidos no EEP, face a edifícios existentes

Foi desenvolvida uma metodologia (explicada no ponto 3.3) para avaliação do desempenho energético de um edifício de escritórios. Para procurar validar esta metodologia foi selecionado um edifício de escritórios real (Edifício Real) cujas características gerais são apresentadas na tabela seguinte (Tabela 9).

Tabela 9 - Descrição geral do edifício real

Visão geral		
Localização	Cidade / País	Porto / Portugal
	Temperatura exterior de projeto	32°C (Verão) / 0°C (Inverno)
Horário de funcionamento anual	2860 horas	
Data da construção	1959/1999	
Número de Pisos	7	
Tipologias	<i>Open Spaces</i>	4043 m ²
	Gabinetes	1379 m ²
	Salas de Reunião	316 m ²
	<i>Lobby</i>	253 m ²
	Circulações	1457 m ²
	WC's	596 m ²
	Zonas desocupadas (pisos 3 e 7)	2458 m ²
	Parque de Estacionamento	828 m ²

Seguindo a referida metodologia, foram calculados os consumos teóricos dos principais sistemas energéticos deste edifício (iluminação, equipamentos e AVAC), tendo em consideração o clima e, respetivos horários de funcionamento, dimensões e fator de forma. Para tal, foi utilizado o modelo padrão *Fat* uma vez que é o que apresenta maior semelhança na forma com o edifício real.

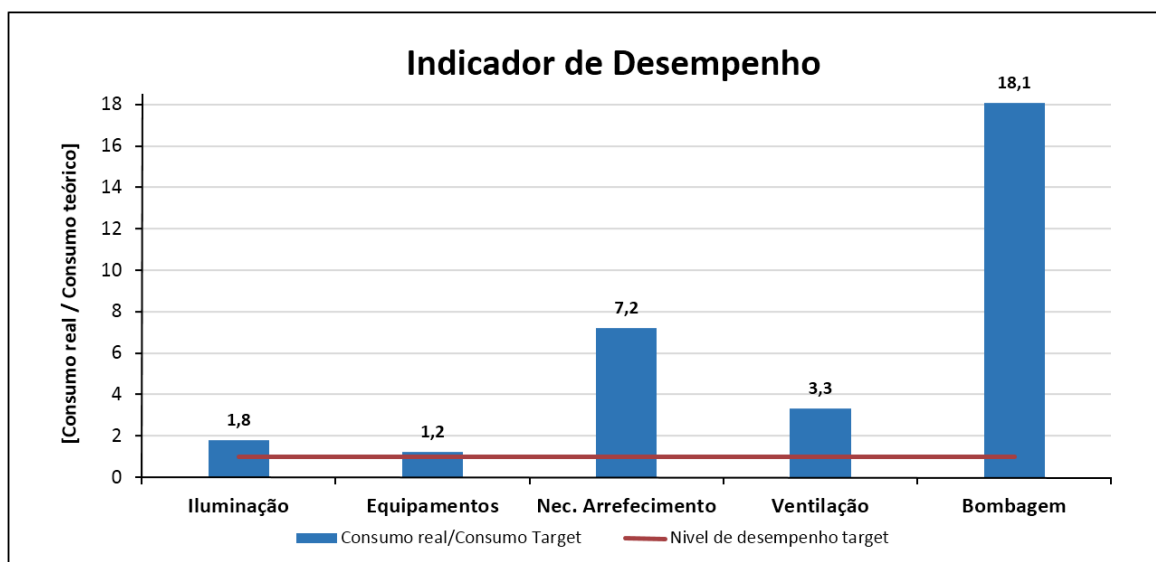


Figura 29 - Indicador de Desempenho energético do edifício real

A Figura 29 representa o indicador de desempenho que pretende estimar a posição teórica do consumo elétrico, sistema a sistema, do edifício real. É possível constatar que a maioria dos sistemas apresentam um consumo superior ao nível de referência, o que evidencia a existência de ineficiências. Por este facto, a etapa seguinte consistiu na aplicação da ferramenta EEP que permitiu uma interpretação mais detalhada destes valores.

Seguidamente, foram comparados os consumos teóricos (*targets*) com os consumos reais. Os resultados detalhados estão representados na Figura 30.

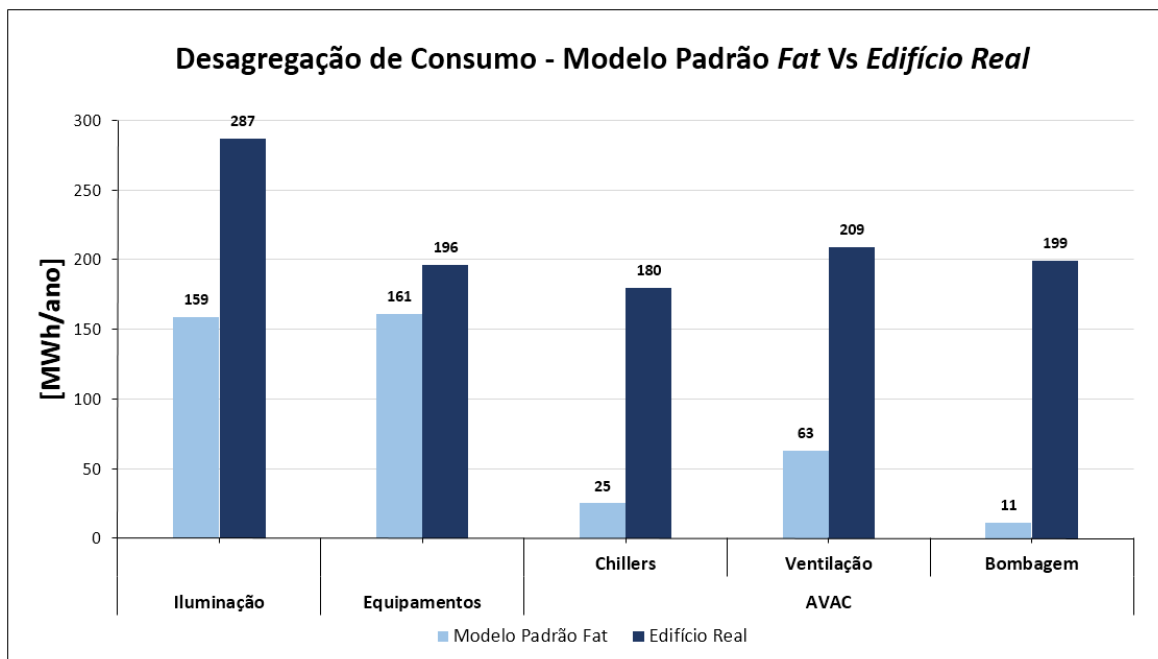


Figura 30 - Desagregação de Consumo entre o Modelo Padrão e o Edifício Real

Como se pode verificar, ao nível de:

Equipamentos:

O consumo real é ligeiramente superior ao consumo teórico (20%). No entanto, dada a dificuldade em prever com exatidão o perfil de funcionamento desta componente de consumo, admite-se que apesar do pequeno desvio verificado, este sistema esteja a operar de acordo com o expectável.

Iluminação:

O consumo real é superior ao consumo teórico (80%).

A potência instalada de iluminação é muito semelhante no Edifício Real e no Edifício Padrão (apenas no caso das circulações se verifica uma diferença relevante – 16 kW no Edifício Real face a 6 kW no Edifício Padrão). Assim, a explicação para o desvio encontrado reside no controlo. De facto, no Edifício Real o controlo do sistema de iluminação é feito de forma manual.

No âmbito de uma auditoria recente ao Edifício Real foi detetado que, frequentemente, a iluminação permanecia ligada durante toda a noite. Por outro lado, enquanto que no Edifício Padrão o controlo de parte da iluminação é feito em função da iluminação natural, no Edifício Real a totalidade da potência de iluminação é controlada manualmente, sendo que a situação mais corrente é ficar ligada ininterruptamente durante o período de ocupação.

Estas situações justificam a diferença entre o consumo real e o teórico (*target*).

Chillers

Verifica-se uma diferença muito significativa entre o consumo real e o consumo teórico que é explicada pelos seguintes fatores:

- Eficiência do *chiller*: os *chillers* reais apresentam um EER de catálogo de 3,0 e já têm mais de 15 anos (o que torna provável que já tenham os seus níveis de eficiência depreciados). O EER do *chiller* do Edifício Padrão é de 4,1. Este facto por si só justificará uma diferença de 40% nos consumos do *chiller*.

Por outro lado, também as necessidades de arrefecimento dos espaços são diferentes entre os dois edifícios pelas seguintes razões:

- Enquanto o Edifício Padrão possui paredes e cobertura isoladas, no Edifício Real não existe isolamento térmico;

- No Edifício Padrão os vidros são duplos e sombreados, enquanto que no Edifício Real é utilizado vidro simples e não sombreado;

- Também há diferenças nos *set-points* de arrefecimento dos espaços (Real: 24°C / Padrão: 25°C)

Das razões supracitadas, as únicas que poderão ser passíveis de otimização com reduzido investimento serão os *set-points* de arrefecimento (relaxamento para 25°C) e a eficiência dos *chillers* (que deverá ser alvo de análise para aferição do nível de desempenho atual).

Por último, é importante referir que o sistema de iluminação do Edifício Real induz maiores ganhos internos do que o do Edifício Padrão, já que permanece sempre ligado pelo menos no período de ocupação.

Ventilação e Bombagem

O consumo real de ventilação é cerca de três vezes superior ao consumo teórico.

Para além de existir uma diferença na potência instalada (72 kW no Edifício Real face a 19 kW no Edifício Padrão), em sede de auditoria foi detetado que no Edifício Real, as UTAS ficavam a trabalhar durante a noite e nos fins-de-semana. Este facto é explicado pelo facto de no Edifício Real o controlo ser feito manualmente, o que conseqüente leva a uma má gestão dos sistemas energéticos e a um aumento exponencial do consumo. Por outro lado, no Edifício Padrão as UTANS funcionam apenas durante o período de ocupação.

Bombagem

As bombas do Edifício Real funcionam sempre em caudal constante, isto é, a 100% da capacidade, havendo momentos em que não é necessário arrefecer/aquecer determinados espaços à carga máxima. No Edifício Padrão as bombas do circuito secundário funcionam a caudal variável.

A Tabela 10 resume os parâmetros acima mencionados que justificam os diferentes consumos dos vários sistemas energéticos entre os dois edifícios.

Tabela 10 - Diferenciação de fatores considerados em fase inicial de projeto nos dois edifícios

Sistema		Edifício Padrão	Edifício Real
Envolvente	Parede exterior	c/ isolamento	s/ isolamento
	Cobertura	c/ isolamento	s/ isolamento
	Sombreamento	ON (<i>Shading Louvre</i>)	OFF
Envidraçados	Tipo de vidro	vidro duplo	vidro simples
Iluminação		<i>dimming</i>	controlo manual
AVAC	Recuperação de Calor	ON	OFF
	Set-points VCs	20°C (aquecimento)	21°C (aquecimento)
		25°C (arrefecimento)	24°C (arrefecimento)
	Ventilador VCs	Controlo ligado/desligado	Ligado (em contínuo)
	Ventilador UTAN	em função da ocupação	funcionamento contínuo
	Chiller	ON	ON
		EER = 4,1	EER = 3
	Bomba de Calor	ON	OFF
		COP = 3	-
	Caldeira	OFF	ON
Bombagem	variação de caudal	caudal constante	
	potência instalada = 8 kW	potência instalada = 35 kW	

Como exercício meramente ilustrativo, foi simulado o Modelo Padrão *Fat* em condições mais próximas do Edifício Real: isento de sombreamento e orientado de igual modo. A Figura 31 apresenta uma comparação de consumos tendo por base este novo cenário padrão, sendo evidente uma aproximação de consumos o que era espectável.

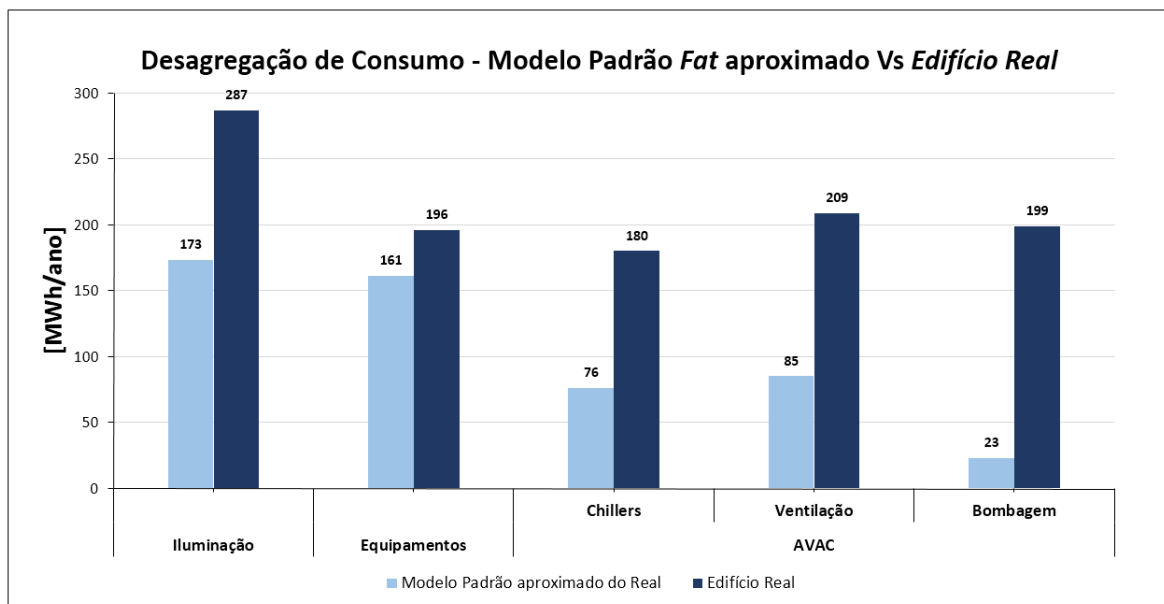


Figura 31 - Desagregação de Consumo entre o Modelo Padrão aproximado ao Real e o Edifício Real

5. CONCLUSÕES

A presente dissertação procurou criar uma ferramenta que permitisse contornar os problemas associados à simulação energética detalhada que, apesar de ser um mecanismo fulcral na avaliação da *performance* energética de um edifício, é dispendiosa pois, os benefícios são apenas uma realidade depois de se terem cumprido exaustivos estudos e de se terem tomado decisões cruciais.

Concretamente, quando aplicada em edifícios existentes torna-se um processo lento e dispendioso, uma vez que necessita de uma recolha detalhada de informação sobre esse mesmo edifício, desde os elementos construtivos, perfis de funcionamento, ganhos internos e sistemas energéticos; passando pela modelação do mesmo no programa de simulação com os respetivos sistemas energéticos, prosseguindo até à etapa final de obtenção e análise de resultados. Relativamente a novos edifícios é necessário despender muito tempo até que sejam obtidos resultados relevantes que permitam a tomada de decisão nas fases iniciais de *design*.

Considerando estes factos, tornou-se pertinente o desenvolvimento de um modelo padrão, que apresentasse uma capacidade de resposta em tempo útil para a construção de novos edifícios e, que seja, ao mesmo tempo, um importante apoio em auditorias, uma vez que sintetiza os problemas, proporcionando a melhoria na gestão energética de edifícios existentes.

Foram analisados vários fatores e o seu nível de relevância para a criação do modelo padrão de tipologia *Escritórios*.

Foram identificadas as zonas energéticas com maior destaque num edifício de escritórios típico. As áreas de *Open Spaces* e Gabinetes são as mais representativas, com valores acima dos 50% da área total do edifício.

A geometria é igualmente um fator de grande impacto no consumo dos sistemas energéticos de um edifício. Edifícios que apresentem um rácio entre comprimento / largura superior a 1,5 estão mais expostos ao meio exterior provocando elevadas perdas pela envolvente, contudo, conferem maior disponibilidade de iluminação natural. Edifícios com fatores de forma mais compactos são mais desfavoráveis pois, uma vez que originam

maiores profundidades de espaços, havendo zonas mais interiores onde a iluminação natural não consegue alcançar.

A orientação deve ser um parâmetro a ter especial atenção nomeadamente em sede de novos edifícios, uma vez que pode potenciar ganhos solares consideráveis em fachadas orientadas a Sul, devido à maior radiação solar incidente. Em fachadas orientadas a Este-Oeste é necessário algum cuidado com o encadeamento provocado por ângulos próximos da normal em determinadas fases do dia, devendo espaços com menor área situarem-se ao longo destas fachadas para efeitos de melhor controlo destes efeitos. Assim, foram privilegiadas orientações a Este e Oeste para espaços de relativa ocupação como os Gabinetes e Salas de Reunião e orientações a Norte e Sul para zonas de *Open Spaces* e Gabinetes.

A capacidade de um edifício conseguir promover bons níveis de iluminação natural aos seus ocupantes é vantajoso não só no rendimento dos mesmos, como ao nível de redução de consumos através de controlo de *dimming*. Foi estimada a posição do foto-sensor para uma adequada captação e controlo dos níveis de iluminação natural em ambiente de simulação energética detalhada, a partir de testes de *daylight control*. A partir destes foi possível concluir que é suficiente os sensores controlarem 50% da densidade de potência instalada e se localizarem a meio do espaço para conseguirem conferir poupanças médias razoáveis (entre 25% e 30%), sendo este um cenário mais conservador e próximo do real.

A avaliação do desempenho energético do edifício foi possível através do conceito de “potência média tomada”. Este indicador de consumo permitiu, ao anular a influência de fatores como área das zonas energéticas e horas de funcionamento, estabelecer a avaliação de consumos dos vários espaços, tendo por base os critérios de diferenciação como o tipo de piso, percentagem de área de envidraçados e orientação.

Determinados os indicadores de iluminação, equipamentos e AVAC foi avaliado energeticamente um determinado edifício real para validação do modelo padrão através do rácio entre o consumo real e o consumo teórico (*target*). Este edifício apresentou valores acima do nível de referência, sendo um resultado espetável dado a consideração de boas práticas na definição do edifício padrão.

Estes *benchmarks*, possibilitaram a análise e comparação dos consumos reais com os consumos teóricos permitindo detetar sistemas energéticos com desvios (10% e 20%) dentro do aceitável face aos sistemas de iluminação e equipamentos. Relativamente aos

sistemas de ventilação e bombagem, estes apresentam desvios dez vezes superiores aproximadamente. É nestes desvios que a atenção e esforço devem ser focados pois estes não representam erros de estimativa, mas sim ineficiências graves, como ficarem UTAS e bombas ligadas fora do horário de ocupação, *set-points* descontextualizados, lâmpadas ligadas durante a noite, entre outros.

Resumindo, este estudo permitiu identificar sistemas que requerem uma especial atenção, pois facilitam a confirmação de consumos elevados, quer por motivos justificados (por os *chillers* apresentarem níveis de eficiência depreciados, por deficiência de isolamento térmico ou por se verificarem muitas infiltrações,...), quer por má gestão dos sistemas energéticos, quando estes apresentam consumos mais elevados dos que os estritamente necessários (funcionamento fora de horas, bombas com funcionamento em caudal constantes quando deviam estar a funcionar em caudal variável,...)

5.1. Trabalhos futuros

Tendo sido verificado a importância da utilização da ferramenta EEP na avaliação da *performance* energética, principalmente em edifícios existentes desta tipologia, o desafio futuro será estender esta análise a mais edifícios para uma melhor validação da metodologia e alargar para outras tipologias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANSI/ASHRAE (2010). *Standard 90.1, "Energy Standard for Buildings Exept Low Rise Residential Buildings – Appendix G*
- ASHRAE - AEDG,(2014), "*Advanced Energy Design Guide for small to médium office buildings: achieving 50% energy savings toward a net zero energy building*", Atlanta, GA.
- ASHRAE, (2011), "*Advanced Energy Design Guide – Appendix D Early-Phase Energy Balancing Calculations*".
- Brundtland G, Khalid M, Agnelli S, Al-Athel SA, C.B; Fadika L, et al, (2000), "*Report of the World Comission on Environment and Development*". Development and International Economic Co-Operation: Environment. , 25(25), 105–118
- Building EnergetCx*. Acedido em 15 de Janeiro de 2016, em <http://www.buildingenergeticx.com>
- CIBSE *guide F*.(2004), "*Energy Efficiency in Buildings*": BIBSE.
- Crawley, D.B., et al.,(2008), "*Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs*", Building and Environment, 43.
- Decreto-Lei nº 79/2006 de 4 de Abril. "Diário da República nº 67 – I Série-A".Regulamento dos Sistemas (RSECE) Ministério das Obras Públicas, Transportes e Comunicações. Lisboa.
- DGA (2000), SIDS-Sistema de indicadores de desenvolvimento sustentável. Direcção Geral do Ambiente,228
- Directiva 2006/32/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 5 de Abril de 2006 relativa à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos, Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia.
- Directive 2010/31/EU Of the European Parliament and Of the Council of 19 May 2010*: Official Journal of the European Union.
- Edifícios Saudáveis Consultores*. Acedido em 4 de janeiro de 2016, em <http://www.edificiossaudaveis.pt>
- Hensen, J.L., (2006) "*Current State of Building Performance Simulation amd IBPSA*. Proceeding of 4th. Nat. IBPSA-CZ conference Simulace Budov a Techniky Prostredi.
- Hensen, J.L., (2010), "*Building Performance Simulation for Sustainable Buildings*". Proceeding of 3rd. Int. Conf. On Tecnology of Archtecture and Structure.
- Hensen, J.L.M and R. Lamberts, (2011) "*Building Performance Simulation for Design and Operation*": Taylor and Francis.

- Integrated Environmental Solutions*. Acedido em 16 de Janeiro de 2016, em <http://www.iesve.com>
- Laboratory, P.N.N.,(2011), “*Advanced Energy Retrofit Guide – Practical ways to improve Energy Performance*”, September 2011.
- NF EN 12464-1 (2005), “Lumière et éclairage des lieux de travail - partie 1: Lieux de travail intérieur”.
- Portaria nº 353-A/2013 de 4 de Dezembro. “Diário da República nº 235 - I Série”. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia e da Solidariedade, Emprego e Segurança Social. Lisboa.
- Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética – Portugal Eficiência 2015, Maio 2008
- Plano Nacional de Ação para Eficiência Energética – Resultados 2013 (2013), Resolução do Conselho de Ministros.
- Pollock, M., et al., (2009), “*Building Simulation as an assisting tool in designing an energy efficient building: A Case Study*”, Eleventh International IBPSA Conference, Scotland.
- Portaria nº 349-D/2013 de 2 de Dezembro. “Diário da República nº 233 - I Série”. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia e da Solidariedade, Emprego e Segurança Social. Lisboa.
- Spitler, J.D., (2006), “*Building Performance Simulation: The Now and the Not Yet*”. HVAC&R Research 12 (3ª):549-551, Julho 2006.
- Staff, C. (2013) “*Financial support for energy efficiency in buildings*”, European Commission.
- Wilkins, C.K. and M.H. Hosni, (2011), “*Plug Load Design Factors*”. ASHRAE Journal, May 2011
- Zhao, J., et al., (2012), “*Energy consumption quota of public buildings based on statistical analysis*”. Energy Policy, April 2012. Volume 43: p.362-370.

ANEXO A – MODELAÇÃO DO EDIFÍCIO DE ESCRITÓRIOS PADRÃO NO SOFTWARE IES

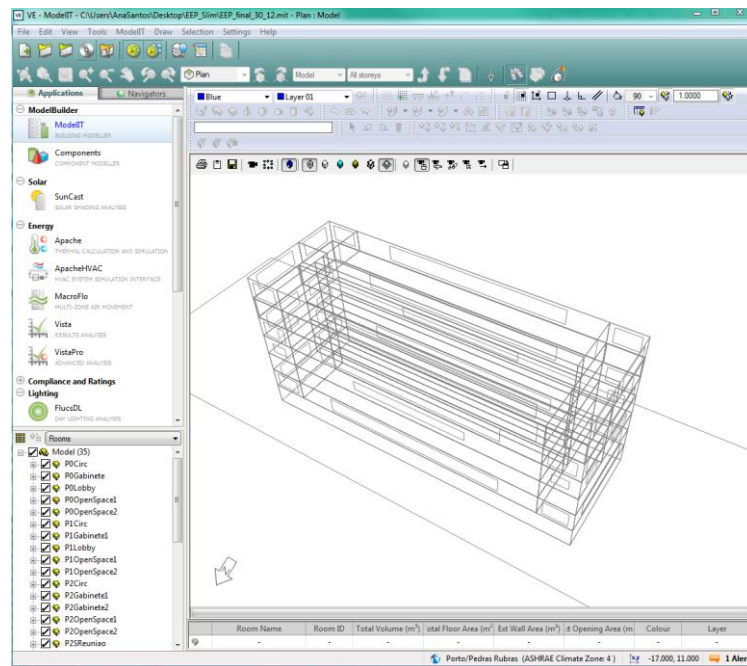


Figura 32 - Modelação do EEP Slim no programa de simulação IES

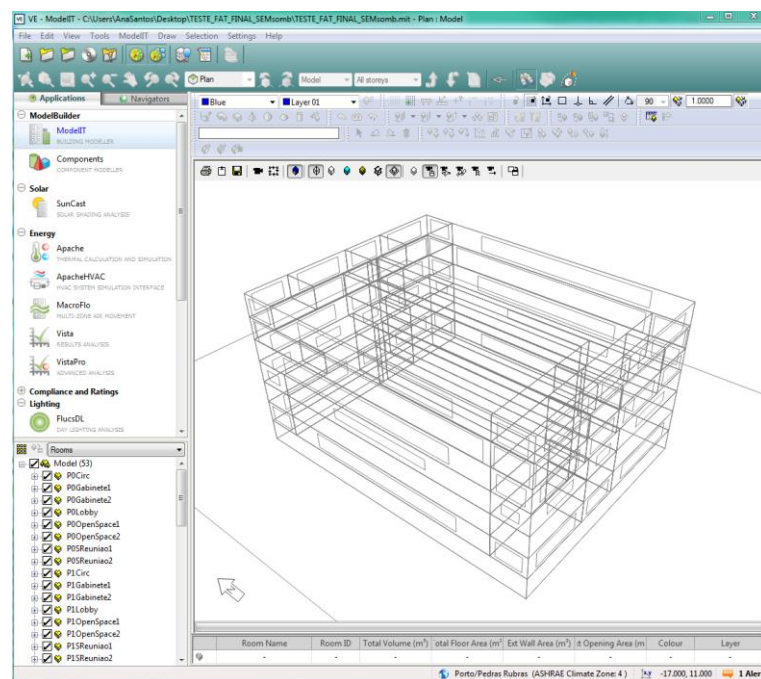


Figura 33 - Modelação do EEP Fat no programa de simulação IES

Qualidade térmica da Envolvente

	Solução construtiva	Modelo padrão	ASHRAE AEDG 50%	RECS [I3]	ASHRAE 90.1 2010	
Cobertura	Cobertura exterior dupla, com espessura total de aproximadamente 42 cm, constituída por: 20 cm de laje de betão (R=0,10m ² C/W) + 12 cm de enchimento de betão leve (R=0,07m ² C/W) + 10 cm de isolamento térmico (R=2,50 m ² C/W)	0,36	0,22	0,4	0,4	
						U [W/m ² .°C]
Parede exterior	Parede exterior simples, com espessura total de aproximadamente 38 cm, constituída por: 2 cm de reboco interior (R=0,01 m ² C/W) + 30 cm de alvenaria em bloco de betão leve (R=0,37 m ² C/W) + 6 cm de isolamento térmico EPS (R=1,5 m ² C/W)	0,49	0,51	0,5	0,5	
						U [W/m ² .°C]
Envidraçados	Vidro duplo: interior e exterior com 8 mm de espessura e com espessura de lâmina de argon de 14 mm. Os envidraçados têm ainda sombreamento do tipo estore veneziano de lâminas metálicas pelo exterior.	2,1	0,4	3,3	3,7	
						U [W/m ² .°C]
						SHGC
		60	51	-	-	
					VLT [%]	

Peso de áreas dos vários edifícios

Ref.	Zona	Edifício A		Edifício B		Edifício C		Edifício D		ASHRAE AEDG 50%	
		Área [m ²]	%	Área [m ²]	%	Área [m ²]	%	Área [m ²]	%	[%]	Tipologia
1	Open Spaces	4043	42%	7832	35%	7092	53%	2829	38%	15%	Office- open plan
2	Cabinetes	1378	14%	2990	13%	1458	11%	553	7%	29%	Office-private
	Subtotal	5421	57%	10821	48%	8549	63%	3382	46%	44%	
3	Salas de Reunião	316	3%	307	1%	627	5%	1034	14%	8%	Conference/meeting room
4	Circulações Horizontais	1004	10%	3459	15%	627	5%	837	11%	12%	Corridor/ transitionspace
5	Circulações Verticais	453	5%	1298	6%	464	3%	270	4%	3%	Stairway
6	WC	596	6%	819	4%	535	4%	325	4%	4%	Restroom
7	Lobby	253	3%	598	3%	228	2%	170	2%	6%	Lobby
	Total Zonas Típicas	8044	84%	17303	77%	11030	82%	6018	82%	77%	
100	Armazéns/Arrumos	244	3%	156	1%	992	7%			14%	Active storage area
101	Arquivo	341	4%					111	2%		
102	Zonas técnicas	157	2%	1041	5%	95	1%	58	1%	2%	Electrical/mechanical room
103	Data Center	63	1%	597	3%						
104	Copa	19	0%			127	1%	99	1%		
105	Lojas (restaurantes,outros..)			951	4%	428	3%			2%	Lounge/recreation area
106	Zonas de Estar					104	1%				
107	Zona de Fumadores					50	0%				
108	Elevadores	230	2%	481	2%	186	1%	40	1%		
109	Ginásio			427	2%						
110	Refeitório/Cozinha	476	5%	454	2%			1056	14%	5%	Other
111	Audatório			518	2%	477	4%				
112	Sala de Exposições			433	2%						
113	Zona Médica										
	Total Zonas Atípicas	1529	16%	5059	23%	2460	18%	1364	18%	23%	
	Área Total Edifício [m²]	9573		22363		13490		7383			

ANEXO B – GANHOS INTERNOS

Nas páginas seguintes são apresentados os ganhos internos do Edifício de Escritórios Padrão. Para as duas tipologias *Slim* e *Fat*, foram atribuídas iguais densidades de potência instalada de iluminação, equipamentos e ocupação. Porém, por apresentarem fatores de forma distintos, foram atribuídas diferentes potências para efeitos de *daylight control*.

Densidade de Iluminação

Edifício Escritórios Padrão	Espaço	DPI [W/m ²]	ASRAE 90.1.2010		ASHRAE AEDG 50%		RECS			NF EN 12464-1	Factor de Controlo	
			Tipologia	DPI [W/m ²]	Tipologia	DPI [W/m ²]	Tipologia	DPI [W/m ² /100lux]	DPI [W/m ²]		Requisito [lux]	FO
	Lobby	8	Lobby	9,7	Lobbies	11,7	Hall/Entradas	3,8	11,4	300	0,8	0,9
	Open Spaces	6	Office Open Plan	10,5	Open-Plan Offices	7,3	Escritórios com mais de 6 pessoas	2,1	6,3	300	0,9	0,9
	Task Lighting [OS]	2	-	-	-	-	-	-	-	500	-	-
	Gabinetes	8	Office Enclosed	11,9	Private Offices	8,6	Escritório individual 1-6 pessoas	2,4	12	500	0,9	0,9
	Salas de Reunião	8	Conference/ Meeting/ Multipurpose	13,2	Conference Rooms/Meeting Rooms	8,3	Salas de Reunião/Conferência/ Auditórios	2,4	12	500	0,9	0,8
	Circulações	3,8	Corridor/ Transition	7,1	Corridors	5,4	Corredores	3,8	3,8	100	0,8	0,9
	Instalações Sanitárias	6	Restrooms	10,5	-	-	Instalações Sanitárias	3,8	7,6	200	0,8	0,9
	Parque Estacionamento	2	Parking Garage	2,0	-	-	Parques de estacionamento interiores	3,4	2,6	75	0,9	1,0

Daylight control – Percentagens de densidade de potência controladaEdifício de Escritórios Padrão - modelo *Slim*

Espaço	Com DL control [2/3xDPI] [W/m2]	Sem DL control [1/3xDPI]	Com/Sem DL control 50% [W/m2]	Com DL control 100% [W/m2]
Open Spaces	4,00	2,00	-	-
Gabinetes	5,33	2,67	4	8
Salas de Reunião	5,33	2,67	4	8

Edifício de Escritórios Padrão - modelo *Fat*

Espaço	Com DL control [2/9xDPI]	Sem DL control [7/9xDPI] [W/m2]
Open Spaces	1,33	4,67
Gabinetes	4,00	4,00
Salas de Reunião	4,00	4,00

Densidade de Equipamentos

Edifício Escritórios Padrão			ASHRAE Handbook 2013		ASHRAE AEDG 50%	
Espaço	Potência [W/ocupante]	Potência [W/m ²]	Tipologia	Potência [W/m ²]	Tipologia	Potência [W/m ²]
Gabinete	79,3	6,6	100% Desktop heavy	16,15	Office: heavy computer usage	73,2
Open Space	83,9	11,2	100% Desktop two monitors	10,76	Office: heavy computer usage	73,2
Sala de Reuniões	29	9,7			Conference room	18,3
Lobby	113	11,3			Lobby	8,6

Equipamentos eléctricos - AHSRAE2013

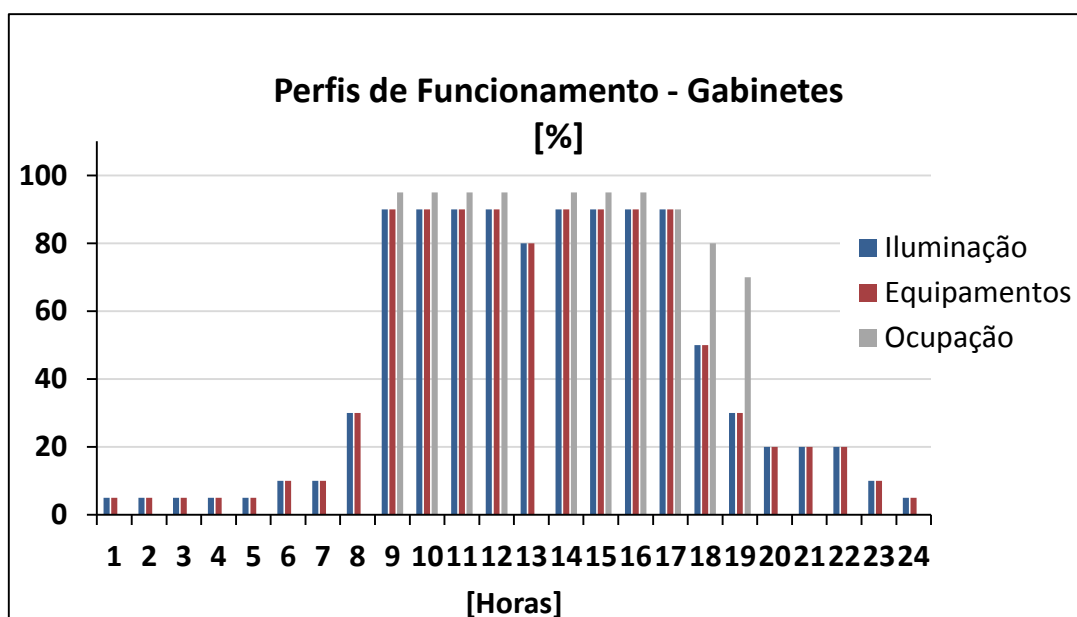
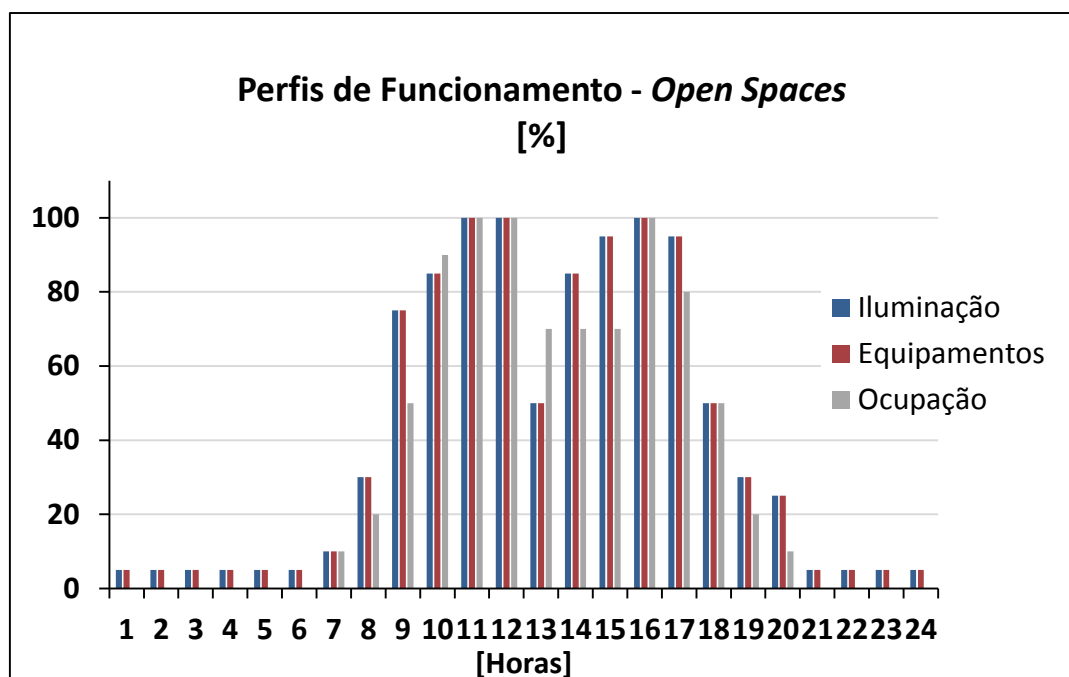
Espaço	Equipamentos/pessoa	Descrição	Potência [W/equipamento]
Gabinete	Laptop	Manufacturer 1; 2 GHz processor 2 GB RAM, 355 mm screen	31
	Impressora p/10 pessoas	Printing speed up to 17 pages per minute	98
	LCD	Manufacturer X (model B); 560 mm screen	36
Open Space	Laptop	Manufacturer 1; 2 GHz processor 2 GB RAM, 355 mm screen	31
	Fotocopiadora p/10 pessoas	Multifunction Medium, desktop type	135
	LCD	Manufacturer X (model B); 560 mm screen	36
Sala de Reuniões	Laptop	Manufacturer 2; 2.13 GHz processor 1 GB RAM, 355 mm screen	29
Lobby	Desktop	Manufacturer B (model A); 3.0 GHz processor, 2 GB RAM	77
	LCD	Manufacturer X (model B); 560 mm screen	36

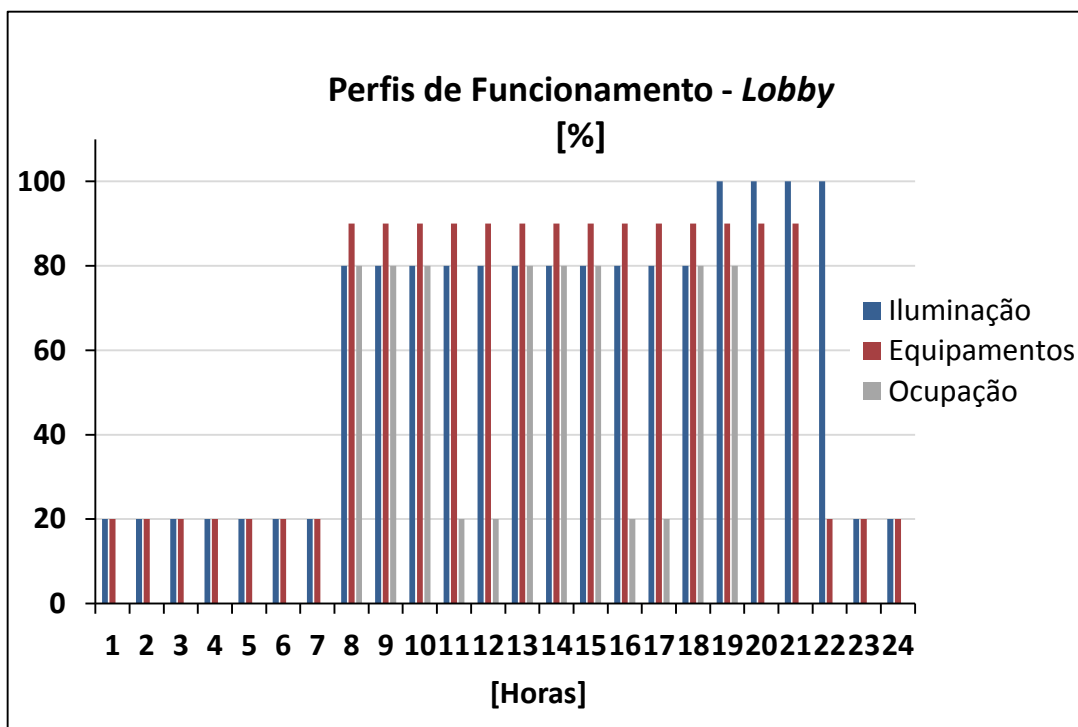
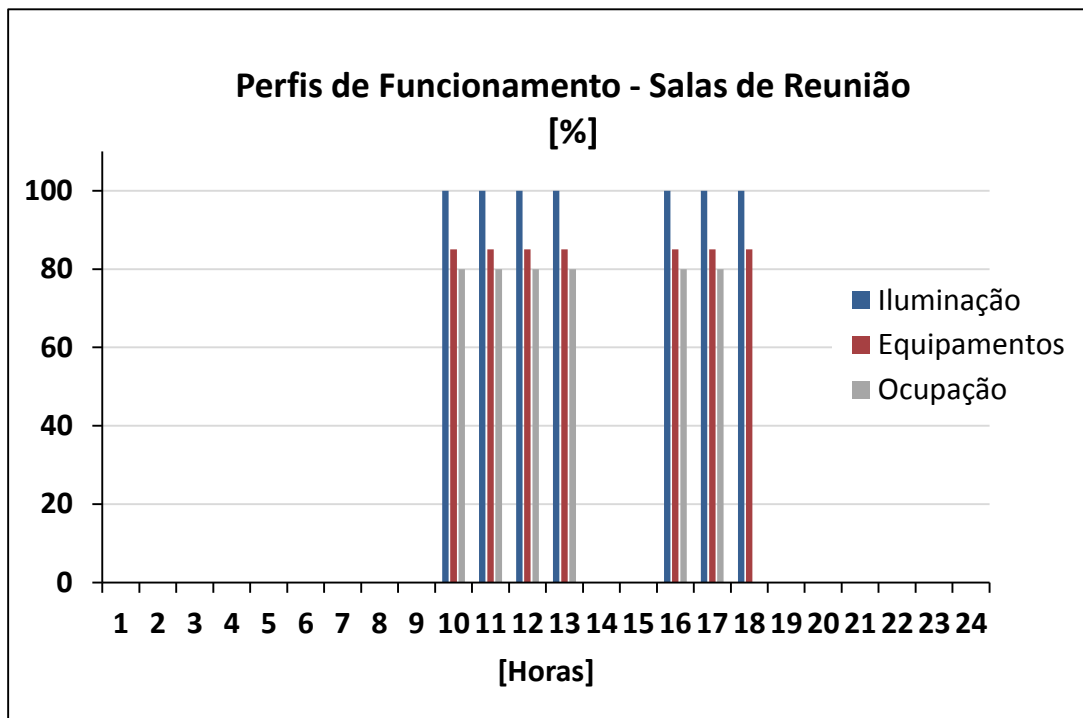
Densidade de Ocupação

Espaço	Edifício Escritórios Padrão [m²/pessoa]	AEDG 50% [m²/pessoa]
Open Spaces	7,5	6
Gabinetes	12	18,6
Salas de Reunião	3	1,9
Lobby	10	9,3

ANEXO C – PERFIS DE UTILIZAÇÃO

Os perfis diários introduzidos no Edifício de Escritórios Padrão foram adotados segundo os padrões de referencia do *RCESE*, uma vez que o regulamento atual *RECS* considera “perfis horários previstos (no caso de edificios novos e sujeitos a intervenção) ou reais (no caso de edificios existentes) para a ocupação, iluminação e utilização de equipamentos, para cada zona térmica do edificio”.





ANEXO D– CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

Equipamento	Critérios de Dimensionamento
<i>Chiller</i>	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Chiller</i> a ar - COP = 4,1
Bomba do circuito primário de água fria	<ul style="list-style-type: none"> - Funcionamento em caudal constante ($\dot{m} = \frac{\dot{Q}}{cp \times \Delta T}$) - $\Delta P = 150 [kPa]$ - $\Delta T = 5 [^{\circ}C]$ - Rendimento global da bomba é de 70% - Potência = $\frac{\dot{m} \times \Delta P}{\eta_{global}}$
Bomba do circuito secundário de água fria	<ul style="list-style-type: none"> - Funcionamento em caudal variável até a um mínimo de 50% - $\Delta P = 300 [kPa]$ - $\Delta T = 5 [^{\circ}C]$ - Rendimento global da bomba é de 70% - Potência = $\frac{\dot{m} \times \Delta P}{\eta_{global}}$
Bomba de Calor	<ul style="list-style-type: none"> - COP = 3
Bomba do circuito primário de água quente	<ul style="list-style-type: none"> - Funcionamento em caudal constante ($\dot{m} = \frac{\dot{Q}}{cp \times \Delta T}$) - $\Delta P = 150 [kPa]$ - $\Delta T = 5 [^{\circ}C]$ - Rendimento global da bomba é de 70% - Potência = $\frac{\dot{m} \times \Delta P}{\eta_{global}}$

Bomba do circuito secundário de água quente	<ul style="list-style-type: none">- Funcionamento em caudal variável até a um mínimo de 50%- $\Delta P = 300 [kPa]$- $\Delta T = 5 [^{\circ}C]$- Rendimento global da bomba é de 70%- Potência = $\frac{\dot{m} \times \Delta P}{\eta_{global}}$
UTAN	<ul style="list-style-type: none">- Caudal insuflado seguiu os requisitos mínimos da <i>Portaria 349-D 2013</i>- Funcionamento a caudal variável- SFP = 1250 W/(m³/s), valor recomendado pela <i>Portaria 349-D 2013</i>
Ventiladores de VCs	<ul style="list-style-type: none">- Funcionamento <i>ligado/desligado</i>- SFP = 0,15 W/(m³/h), boas práticas para ventilo-convetores

ANEXO E – CONSUMOS ENERGÉTICOS

Edifício de Escritórios Padrão Slim

Consumo [kWh]		P0	P1	P2	P3	P4	P5
		[50% Avidro]	[50% Avidro]	[20% Avidro]	[50% Avidro]	[90% Avidro]	[50% Avidro]
Iluminação	Open Spaces	7580	10109	8309	7583	7206	7512
	Gabinetes	632	834	1445	1288	1228	1266
	Salas de Reunião	-	-	292	252	233	228
	Circulações	884	884	884	884	884	884
	Lobby	1080	2102	-	-	-	-
	SUBTOTAL	10176	13928	10930	10007	9552	9890
Equipamentos	Lobby	2902	2902	-	-	-	-
	Open Spaces	15393	15393	15393	15393	15393	15393
	Gabinetes	1453	1453	1453	1453	1453	1453
	Salas de Reunião	425	425	425	425	425	425
	SUBTOTAL	20173	20173	17270	17270	17270	17270
AVAC	Chillers	1599	2143	2197	2133	2528	1731
	Bombas de Calor	676	422	492	611	826	1002
	UTANs	3700	3700	4000	4000	4000	4000
	VCs	2800	2100	2400	2700	3300	3000
	Bombas Primário - Arr	266	373	390	381	459	291
	Bombas Primário - Aquec	312	171	219	334	431	450
	Bombas Secundário - Arr	177	244	256	365	276	195
	Bombas Secundário - Aquec,	188	103	132	200	258	271
	SUBTOTAL	9717	9255	10087	10723	12078	10940
	TOTAL [kWh]	40066	43356	38287	38000	38900	38100

Edifício de Escritórios Padrão *Fat*

Consumo [kWh]		P0 [50% Avidro]	P1 [0% Avidro]	P2 [20% Avidro]	P3 [50% Avidro]	P4 [90% Avidro]	P5 [50% Avidro]
Iluminação	Open Spaces	16811	18525	17265	16857	16858	16771
	Gabinetes	2311	2850	3636	3427	3410	3428
	Salas de Reunião	509	707	852	738	724	742
	Circulações	760	760	760	760	760	760
	Lobby	1604	2067	-	-	-	-
	SUBTOTAL	21994	24908	22514	21781	21752	21701
Equipamentos	Lobby	2902	2902	-	-	-	-
	Open Spaces	28208	28208	28208	28208	28208	28208
	Gabinetes	1583	1583	2341	2341	2341	2341
	Salas de Reunião	850	850	1274	1274	1274	1274
	SUBTOTAL	33542	33542	31823	31823	31823	31823
AVAC	Chillers	4560	5713	5892	5672	5699	4173
	Bombas de Calor	919	1210	1068	1065	1163	1195
	UTANS	7490	7490	7490	7760	7760	7760
	VCs	4377	3700	4177	4725	5339	4933
	Bombas Primário - Arr	896	1131	1148	1185	1097	710
	Bombas Primário - Aquec	580	209	736	755	713	473
	Bombas Secundário - Arr	234	722	265	344	481	599
	Bombas Secundário - Aquec,	143	126	160	207	288	361
	SUBTOTAL	19200	20301	20936	21713	22540	20205
TOTAL [kWh]		74736	78752	75272	75317	76115	73729