



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Departamento de Engenharia Mecânica
Mestrado em Engenharia Mecânica – Perfil de Energia, Refrigeração e Climatização

**Estudo de Soluções de Utilização de Sistemas
de Armazenamento de Energia Térmica em Climatização de
Edifícios**

Alexandre Dimitrios Viçoso Lambrou
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre em Engenharia
Mecânica

Orientador:

Doutor Luís Manuel Rodrigues Coelho

Júri:

Presidente: Doutor Silvério João Crespo Marques

Vogais:

Doutor João Nuno Pinto Miranda Garcia

Doutor Luís Manuel Rodrigues Coelho

Fevereiro de 2019



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Departamento de Engenharia Mecânica
Mestrado em Engenharia Mecânica – Perfil de Energia, Refrigeração e Climatização

**Estudo de Soluções de Utilização de Sistemas
de Armazenamento de Energia Térmica em Climatização de
Edifícios**

Alexandre Dimitrios Viçoso Lambrou
(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre em Engenharia
Mecânica

Orientador:

Doutor Luís Manuel Rodrigues Coelho

Júri:

Presidente: Doutor Silvério João Crespo Marques

Vogais:

Doutor João Nuno Pinto Miranda Garcia

Doutor Luís Manuel Rodrigues Coelho

Fevereiro de 2019

Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço ao meu orientador, Eng^o Luís Coelho por todo o apoio, conselhos e paciência facultados ao longo deste trabalho, aproveito também de agradecer à Eng^a Raquel Rosado, pelo apoio dado, principalmente ao nível do software DesignBuilder, agradeço também aos membros do projeto TESSe2b em que parte deste trabalho foi realizado com o apoio dos resultados do projeto.

Queria agradecer aos meus pais, Konstantinos e Teresa Lambrou, que sempre me apoiaram e aconselharam. Quero agradecer aos meus amigos e colegas, André Curado, Bernardo Cruz, João Samouco, João Silvestre e Pedro Pereira, pela motivação dada.

Obrigado a todos!

Resumo

A evolução tecnológica da Humanidade tem crescido de forma súbita, principalmente desde os tempos da Revolução Industrial, que ocorreu no século XIX. Esta evolução, no entanto, teve como consequência o aumento da dependência de recursos energéticos, de tal forma, que a partir deste século as fontes de energia primária de natureza fóssil deixaram de ser suficientes para os consumos energéticos. Sendo que o setor dos edifícios o que apresenta uns dos maiores valores de consumo. Em resposta a estes factos, a União Europeia implementou uma série de medidas para aumentar a utilização de fontes renováveis e racionalizar os consumos de energia.

Sendo que grande parte do consumo no setor dos edifícios é proveniente dos sistemas de AVAC, tornou-se imperativo estudar soluções de melhoria de eficiência destes sistemas e a racionalização do consumo que estes acarretam. Algumas destas soluções consistem em métodos de acumulação de energia térmica, contribuindo para aumentar a percentagem de utilização de fontes renováveis de energia, aumentar a eficiência energética, ajudar a equilibrar a rede elétrica e reduzir a fatura energética. Será este tipo de solução estudada no âmbito do presente trabalho, com principal foco no uso emergente das tecnologias de acumulação de calor na sua forma latente, e o impacto na melhoria de eficiência energética associada.

O âmbito deste trabalho será estudar estas técnicas e avaliar o impacto destas na redução do consumo de edifícios, tendo em especial atenção às técnicas de acumulação de calor latente com a utilização de materiais de mudança de fase, que serão abordados ao longo do documento.

O armazenamento de energia térmica latente (LTES) foi estudado tendo em conta a aplicação de PCM em sistemas ativos de ar condicionado, como em métodos passivos, tais como a integração destes nos elementos construtivos (Ex: Paredes exteriores). A influência da utilização dos sistemas LTES na eficiência energética dos edifícios foi estudada para diferentes condições climáticas (Lisboa, Barcelona, Graz e Varsóvia). O edifício é constituído por uma área de pavimento de 1420m² dividido por dois pisos. A maioria dos espaços são zonas de escritórios e no primeiro piso existe um restaurante em que o espaço de refeição possui 55m². Foram usadas as reverências de envolvente térmica baseadas no “*Energy Performance Certificate system*” (EPC) para cada região estudada. O sistema de ar condicionado é constituído por um *Chiller*/Bomba de Calor arrefecido a ar, para aquecimento e arrefecimento. A dissipação da energia térmica nas zonas é assegurada pelas unidades terminais do

vi

tipo ventiloconvector e duas unidades de tratamento de ar novo (UTAN) que asseguram a ventilação do local. O edifício foi simulado utilizando o *software* DesignBuilder para as condições de referência e para a incorporação de PCM nas paredes exteriores em que o impacto da sua aplicação foi estudado. Para o estudo de LTES em sistemas ativos foram considerados tanques de acumulação térmica modulares, para arrefecimento e aquecimento. O volume líquido de cada tanque é de 150L. Foi utilizado PCM orgânicos parafínicos com uma temperatura de fusão de 9°C para os tanques frios (CPCM) e 44°C para os tanques quentes (HPCM). O número de tanques CPCM e HPCM foi otimizado para cada zona climática, tendo em conta as tarifas elétricas típicas, custo de investimento e de operação do sistema. Foi possível concluir que a utilização de PCM em edifícios de serviços não é muito atrativa e existe ainda muito desenvolvimento a ser feito nesse sentido. Também é possível concluir que a utilização de LTES, principalmente em sistemas ativos, têm uma grande contribuição para o aumento da eficiência energética dos edifícios e redução do consumo de energia primária, emissões CO₂ e custos energéticos e ao mesmo tempo, contribuir para uma maior flexibilidade da rede de distribuição de energia elétrica. Contudo, é necessário progresso no sentido de reduzir os custos dos tanques PCM, e integração destes com energias renováveis e sistemas de controlo inteligentes que possam contribuir para a utilização de LTES nos edifícios de serviços.

Abstract

The technological evolution of mankind has been growing at an accelerated rate, mainly since the Industrial Revolution, which happened in the XIX century. However, this evolution had its consequence, the increase of energy dependence, in such a way, that the fossil fuels are no longer enough to satisfy the energy needs. The building sector presents some of the greatest values in energy consumption. In response to these facts, the European Union implemented a series of measures to increase the usage of Renewable Energy sources and to rationalize energy consumption.

As a great part of building energy consumption is due to HVAC systems, it became imperative to study efficiency improvements and to rationalize the energy consumption associated. Some of these solutions consist on Thermal Energy Storage (TES) systems, contributing to increase the percentage of use of renewable energy sources, increasing energy efficiency, help balancing the electricity grid and reduces the energy bill. This kind of solution will be studied in the scope of this work, with a special focus on the rising usage of Latent Thermal Energy Storage (LTES) systems, and the associated impact in increasing energy efficiency.

The scope of this work will be the study of these techniques and to evaluate their impact in reducing energy consumption in buildings, having special attention to LTES solutions with the usage of Phase Change Materials (PCM).

For this study, the software DesignBuilder was used, which has EnergyPlus as a simulation engine. A model of an office building was created, based on drawings of an existing building. Several scenarios were created for simulation, which will be approached throughout the document.

The latent energy thermal storage (LTES) has been studied considering the application of PCM in active air conditioning system, as well in a passive way, where the PCM is integrated in the construction elements of the building (e.g. external walls). The influence of the use of the LTES systems in the energy building performance has been studied for different climate conditions (Lisbon, Barcelona, Graz and Warsaw). The building consists of a pavement area of 1420 m², divided by two levels. Most of the spaces are office rooms and at the first level there is a restaurant, which the meal room has an area of 55 m². It was used the reference thermal envelop solutions based in Energy Performance Certificate system (EPC) for each region studied. The air

conditioning system consists of air source chiller/heat pumps for cooling and heating. The thermal energy dissipation is assured by fan-coils and there are two handling air units for ventilation. The building was simulated using the DesignBuilder software for the base conditions and for the PCM included in the external walls. The effect in the energy performance of the PCM in external wall was analysed. For TES in active system they were considered thermal energy storage tanks in a modular way, for heating and for cooling. The net volume of PCM is 150 liters per tank. They were used organic PCMs, paraffin, with a melting point around 9°C for the cold PCM tanks (CPCM) and 44°C for the hot PCM tanks (HPCM). The number of CPCM and HPCM tanks was optimized for each climatic condition, considering the typically electric tariffs schemes and the capital and operating expenses. It is possible to conclude that the use of PCMs in service buildings, was not very attractive, and there is still much progress to be made in the future to improve its appeal.

It is also possible to conclude that the use of TES, mainly in active systems for cooling and heating and for the cases studied, has an important contribution for increasing the energy efficiency of the buildings and for reducing the primary energy consumption, CO₂ emissions and energy costs and at the same time, to contribute for the increase of the flexibility of the electricity distribution network. However, some important progress in order to decrease the costs of the PCM tanks should be done, and the integration with renewable energies and with smart control systems can contribute for the use of LTES in the service buildings.

Palavras Chave/*Keywords*

Armazenamento de energia térmica; Materiais de mudança de fase; Climatização, Simulação Energética de edifícios.

Índice

Agradecimentos	v
Resumo	vi
Abstract	viii
Palavras Chave/Keywords	x
Índice	xi
Índice de Figuras	xiii
Índice de Tabelas	xvi
Lista de Símbolos	xvii
Lista de Acrónimos	xviii
1. Introdução	1
2. Revisão Literária – Armazenamento de Energia Térmica	3
2.1. Métodos de acumulação de energia térmica	4
2.1.1. Acumulação por calor sensível	4
2.1.2. Acumulação de calor latente.....	6
2.1.3. Acumulação termoquímica	7
2.2. Simulação Energética de Edifícios	7
3. Materiais de Mudança de Fase (PCM)	10
3.1. Orgânicos	12
3.1.1. Parafinas.....	13
3.1.2. Ácidos Gordos.....	13
3.2. Inorgânicos.....	13
3.2.1. Sais (Hidratados/Anidros)	14
3.2.2. Metálicos.....	15
3.3. Eutéticos.....	15
3.4. Comercialização de PCM.....	16
3.5. Técnicas de Incorporação de PCM em soluções construtivas	17
3.5.1. Incorporação direta.....	17
3.5.2. Imersão	17
3.5.3. Encapsulamento.....	18
3.5.4. Incorporação Prática dos PCM	21
3.6. Incorporação de PCM em Sistemas de Acumulação térmica para HVAC.....	22
4. Metodologia – Elaboração do Modelo de estudo	27
4.1. Introdução ao DesignBuilder e EnergyPlus	27
4.2. Geometria e Caracterização das soluções construtivas.....	30

4.2.1.	Descrição do Edifício.....	30
4.3.	Condições Climáticas de estudo	32
4.3.1.	Soluções Construtivas de Referência	34
4.4.	Cargas térmicas dos edifícios	36
4.4.1.	Caudais ar novo	36
4.4.2.	Iluminação.....	37
4.4.3.	Equipamentos	38
4.4.4.	Horários de Ocupação e Funcionamento.....	39
4.5.	Caracterização do sistema de AVAC	41
4.5.1.	Geral	42
4.5.2.	Unidades de produção de energia térmica.....	42
4.5.3.	Unidade de Tratamento do Ar Novo e Ventilador de Extração (UTAN + VE)	47
4.5.4.	Unidades Terminais de Climatização	49
4.5.5.	Caracterização das Zonas.....	50
4.6.	Condições de Simulação	52
4.6.1.	Cenários de Referência.....	52
4.6.2.	Incorporação de PCM nas soluções construtivas	52
4.6.3.	Metodologia de análise – Incorporação de sistema de acumulação térmica com PCM	53
5.	Análise de Resultados	56
5.1.	Resultados referência	56
5.2.	Resultados Aplicação PCM solução construtiva	57
5.3.	Resultados Aplicação PCM TES	59
5.4.	Resultados de análise com incorporação de Painéis Fotovoltaicos.	67
6.	Conclusões.....	70
7.	Desenvolvimento de Trabalho Futuro.	71
8.	Bibliografia	72

Índice de Figuras

Figura 1 Classificação simplificada de materiais para acumulação de energia térmica.....	11
Figura 2-Diferentes tipos de PCM de acordo com a entalpia de fusão e temperatura de fusão (Sá A. M., 2012)	12
Figura 3 – Exemplos de Micro-encapsulamento de PCM: (a) Composição Microcápsula ; (b) Microcápsulas em solução aquosa; (c) Microcápsulas em Pó (Mehling, 2008) (BASF & Micronal, 2017)	19
Figura 4 – Exemplos de PCM em macro-cápsulas: (a) forma de painel revestido a alumínio; (b) Cápsula em forma esférica; (c) Macro-cápsulas em forma de bolsa (Mehling, 2008)	20
Figura 5 - Tubos impregnados de PCM com ventoinha incorporado (Turnpenny, J.R., & Reay, 2001)	22
Figura 6 – Sistema de “free-cooling” estudado por Kang (Kang & Y.J.Y., 2003).....	22
Figura 7- Incorporação de PCM em pavimento radiante elétrico (Pasupathy A. V., 2008).....	23
Figura 8-Esquema do sistema solar térmico com incorporação de PCM (adaptado de (Pasupathy A. V., 2008)).....	23
Figura 9 – Projeto TESSe2b – Sistema Residencial (TESSe2b, 2018)	24
Figura 10 – Esquema Incorporação Sistema Híbrido Fotovoltáico e Solar Térmico com PCM (Scores-Rproject, 2018)	25
Figura 11 – Conceito geral – Projeto Create (Project-Create, 2018)	26
Figura 12 – Esquema simplificado aplicação – Projeto Create (Project-Create, 2018)	26
Figura 13 – Sistema E2Vent – a) Representação geral; b) recuperador de calor modular inteligente (SMHRU); c) Sistema de acumulação de calor latente (LHTES) (E2Vent, 2018).....	27
Figura 14 - Dados processados pelo DesignBuilder	28
Figura 15 – Procedimento processamento de dados entre DesignBuilder e EnergyPlus	29
Figura 16 – Processamento de Cálculo EnergyPlus (NaturalWorks, 2018)	30
Figura 17 – Planta do edifício – a)-Piso 0; b) Piso 1	31
Figura 18 – Vistas do edifício – DesignBuilder.....	32
Figura 19 – Ficheiro dados climáticos LNEG	33
Figura 20 – Localizações Geográficas consideradas: (a) Barcelona; (b) Graz; (c) Varsóvia	34
Figura 21 – Localização e configuração das camadas da solução construtiva de referência, exemplo de Lisboa– a) paredes exteriores, b) Cobertura.....	35
Figura 22 – Interface do DesignBuilder, caracterização dos vãos envidraçados.....	36
Figura 23 – Interface Input Dados de Iluminação: DesignBuilder	38
Figura 24 – Horário de Ocupação – a) Escritórios; b) Restaurante	39

Figura 25 – Horário Iluminação Restaurante – a) Estação de Arrefecimento; b) Estação de Aquecimento	40
Figura 26 – Horário Iluminação Escritórios – a) Estação de Arrefecimento; b) Estação de Aquecimento	40
Figura 27 - Horário Equipamentos – a) Escritórios; b) Restaurante.....	41
Figura 28 – Diagrama de Funcionamento sistema AVAC - DesignBuilder	42
Figura 29 – Chiller -DesignBuilder.....	43
Figura 30 – Interface Dados Chiller – DesignBuilder.....	44
Figura 31 – Interface Dados Chiller – DesignBuilder - Setpoint.....	44
Figura 32 – Bomba de Calor e Depósito de Acumulação (DesignBuilder)	45
Figura 33 – Interface de input de dados para a bomba de calor – DesignBuilder	46
Figura 34 - Interface de input de dados para a bomba de calor - DesignBuilder – Continuação 1.....	46
Figura 35 - Interface de input de dados para a bomba de calor – DesignBuilder – Continuação 2.....	47
Figura 36 - Interface de input de dados para a bomba de calor – DesignBuilder - Setpoint	47
Figura 37 – UTAN e Ventilador de Extração – DesignBuilder.....	48
Figura 38 – Interface de input de dados para a UTAN e VE - DesignBuilder.	48
Figura 39 – Interface de input de dados para a UTAN e VE – DesignBuilder – Continuação 1	49
Figura 40 – Interface de input de dados para a UTAN e VE – DesignBuilder – Continuação 2	49
Figura 41 - Interface de input de dados para a UTAN e VE – DesignBuilder – Continuação 3.....	49
Figura 42 – Unidade do tipo Ventilconvector – DesignBuilder	50
Figura 43 - Interface de input de dados para Ventilconvector– DesignBuilder	50
Figura 44 – Zona Climatizada – DesignBuilder – Exemplo Piso 0.....	51
Figura 45 - - Interface de input de dados para a zona (exemplo: Restaurante)– DesignBuilder	51
Figura 46 – Aplicação de PCM na solução construtiva – a) junto à superfície exterior; b) junto à superfície interior	52
Figura 47 – Esquema simplificado da integração dos tanques PCM, com o sistema AVAC	54
Figura 48 – Tanques PCM – Modelação Computacional – TESSe2b.....	55
Figura 49 – Tanques PCM: a) – reservatório plástico; b) – Permutador de calor; c) Tanque PCM completo	55
Figura 50 – Características Tanques PCM – a) HPCM; b) CPCM	56
Figura 51 - Evolução dos custos anuais e variação da eficiência VS Nº Tanques CPCM: a) Lisboa; b) Barcelona; c) Graz; d) Varsóvia.....	60
Figura 52 - Evolução dos custos anuais e variação da eficiência VS Nº Tanques HPCM: a) Lisboa; b) Barcelona; c) Graz; d) Varsóvia.....	62

Figura 53 – Gráficos de operação do sistema LTES durante dois dias típicos mediante estação, caso de Lisboa – a) Balanço energético diário - Arrefecimento ; b) Balanço energético diário - Aquecimento , c) Variação do EER ao longo do dia ,d) Variação do COP ao longo do dia.....	67
Figura 54 – Vista do edifício com aplicação de painéis fotovoltaicos.....	68

Índice de Tabelas

Tabela 1 - -Materiais utilizados para armazenamento de Energia Térmica Adaptado de (A. Sharma, 2009)	5
Tabela 2 - Programas de simulação dinâmica	10
Tabela 3 - Propriedades de seleção de PCM.....	10
Tabela 4 - Temperatura e entalpia de fusão de alguns PCM orgânicos (adaptado de (Ferreira da Silva, 2009)).....	12
Tabela 5 - - Temperatura e entalpia de fusão de alguns PCM inorgânicos (adaptado de (Ferreira da Silva, 2009))	14
Tabela 6 - Temperatura e entalpia de fusão de alguns PCM Eutéticos (adaptado de (Ferreira da Silva, 2009)).....	16
Tabela 7 – Exemplos PCM comercializados	17
Tabela 8 – Coeficientes de transmissão térmica de referência (RECS).....	34
Tabela 9 – Coeficientes de transmissão térmica de referência considerados	34
Tabela 10 – Tabela Caudais de Ar Novo - Excerto	36
Tabela 11 – Tabela de Dados de Iluminação – Excerto.....	38
Tabela 12 – Dados Dissipação Térmica Equipamentos	39
Tabela 13 – Propriedades PCM utilizados	56
Tabela 14 – Resultados de Referência – Necessidades e consumos.....	57
Tabela 15 – Resultados Solução construtiva de Referência VS Incorporação PCM	58
Tabela 16 - Resultados Solução construtiva de Referência VS Incorporação PCM Int. VS Incorporação PCM Ext.	59
Tabela 17 - – Número de Tanques CPCM ideal por local simulado – a) Lisboa; b) Barcelona; c) Graz, d) Varsóvia.....	61
Tabela 18 - Número de Tanques HPCM por local simulado – a) Lisboa; b) Barcelona; c) Graz, d) Varsóvia.....	62
Tabela 19 – Produção de Energia – Aplicação de tanques CPCM – a) Lisboa; b) Barcelona, c) Graz, d) Varsóvia.....	63
Tabela 20 – Produção de Energia – Aplicação de tanques HPCM – a) Lisboa; b) Barcelona, c) Graz, d) Varsóvia.....	64
Tabela 21 – Número ótimo de tanques consoante localização	65
Tabela 22 – Produção anual de energia elétrica fotovoltaica face aos consumos totais do edifício.....	68
Tabela 23 – Poupança associada à influência do sistema fotovoltaico	69

Lista de Símbolos

A - [m ²]	Área
Cl – [kJ/kgK ⁻¹]	Calor específico na fase líquida
Cp – [kJ/kgK ⁻¹]	Calor específico a pressão constante
Cs – [kJ/kgK ⁻¹]	Calor específico na fase sólida
dT	Diferencial de temperatura
L - [kJ]	Calor latente de transição de fase
m – [kg]	massa
Qch – [kJ]	Calor armazenado (real)
Qid,ch - [kJ]	Calor armazenado (ideal)
Qthc – [kJ]	Calor armazenado (reação termoquímica)
Tch – [K]	Temperatura da Fonte Fria/Quente
Tf – [K]	Temperatura final
Ti – [K]	Temperatura inicial
Tpc – [K]	Temperatura de mudança de fase

Letras gregas:

Δ_{hr} – [kJ/kg]	Diferença da entalpia de reação
η	Rendimento (termodinâmico)
ζ	Coeficiente de conversão da reação química
λ – [W·m ⁻¹ ·K ⁻¹]	Condutibilidade térmica

Lista de Acrónimos

AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
COP	“ <i>Coefficient Of Performance</i> ” – <i>Coeficiente de Desempenho</i>
CPCM	“ <i>Cooling Phase Change Material</i> ” – Material de Mudança de Fase para Arrefecimento.
DGEG	Direção Geral em Energia e Geologia.
EER	“ <i>Energy Efficiency Ratio</i> ” – Rácio de Eficiência Energética
EPBD	“ <i>Energy Performance of Buildings Directive</i> ” – Diretiva de Desempenho Energético de Edifícios.
EPC	“ <i>Energy Performance Certificate</i> ” – Certificado de Desempenho Energético.
HPCM	“ <i>Heating Phase Change Material</i> ” – Material de Mudança de Fase para Aquecimento.
IDF	“ <i>Intermediate Data Format</i> ” – Formato de Dados Intermédio.
LED	“ <i>Light Emiting Diode</i> ” – Díodo Emissor de Luz.
LNEG	Laboratório Nacional de Energia e Geologia.
LTES	“ <i>Latent Thermal Energy Storage</i> ” – Armazenamento de Energia Térmica Latente.
PCM	“ <i>Phase Change Material</i> ” – Material Mudança de Fase.
REH	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação.
RECS	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços
TES	“ <i>Thermal Energy Storage</i> ” – Armazenamento de Energia Térmica.
UE	União Europeia
UTAN	Unidade de Tratamento de Ar Novo
VAV	Volume de Ar Variável
VE	Ventilador de Extração

1. Introdução

Devido à súbita evolução tecnológica ocorrida durante a história da humanidade, principalmente desde a revolução industrial no século XIX, a necessidade dos recursos (principalmente os energéticos) subiu drasticamente. Como consequência ao aumento das necessidades energéticas e a utilização primária de combustíveis de origem fóssil, levou a um impacto ambiental, primariamente devido à emissão de gases de efeito de estufa.

Devido à preocupação gerada, a União Europeia criou um conjunto de regras ao qual foi denominado de Protocolo de Quioto. Este tem como objetivo a aplicação de medidas que promovam a racionalização dos consumos energéticos dos países assinantes, e como consequência, a emissão de gases de efeito de estufa. A imposição do protocolo mencionado foca-se na diminuição das emissões em 5,2% entre o período de 2008 e 2012, face às emissões do ano de 1990. Posteriormente, no seguimento de uma conferência em Paris, ocorrido em 2015, 195 países assinaram um acordo (conhecido como “acordo de Paris”) em que o coletivo se compromete a tomar medidas que limitem o efeito do aquecimento global para valores inferiores a 2°C, e se possível, limitá-los a 1,5°C. Visto que o acordo, apesar de claro, é vago em termos de estratégias a implementar, fez com que em 2018, a Comissão Europeia apresentasse uma estratégia longo prazo que prevê atingir os objetivos pretendidos de redução de emissão carbónica até ao ano de 2050. A estratégia permite encaminhar a Europa a promover na neutralidade climática, através do investimento em soluções tecnológicas realistas, investigação, política industrial, entre outros fatores importantes, estando em alinhamento com as metas impostas no acordo de Paris (Comission, 2018). Para além da redução de emissões, consequentemente o protocolo promove o desenvolvimento tecnológico com a finalidade aumento da eficiência energética.

Isto levou aos países da União Europeia a implementar vários tipos de iniciativas, de forma a promover a eficiência energética em todos os setores. Um dos setores cuja a implementação destas medidas se tornou mais relevante foi o dos edifícios, que de acordo com os dados fornecidos pela Direção Geral em Energia e Geologia (DGEG) no ano de 2012, estima-se que cerca de 40% da energia total consumida tem como

objetivo atingir as necessidades energéticas do setor dos edifícios levando a cerca de 36% das emissões carbónicas (DGEG, 2015).

Como consequência, o Parlamento Europeu decidiu criar a 16 de dezembro de 2002, a Diretiva Europeia n.º 2002/91/CE, acerca do Desempenho Energético dos Edifícios, também conhecida como *Energy Performance of Buildings Directive* (EPBD) que implementou várias iniciativas tais como a imposição de requisitos mínimos, a necessidade de certificação energética e avaliações dos sistemas existentes. Contudo, devido às diferenças dos regulamentos técnicos de cada país da UE que dificultaram implementação de forma comercial, pelo que foi sujeita a uma revisão conhecida por EPBD *Recast* ou Diretiva 2010/31/EU de 19 de maio 2010, que esclareceu alguns pontos. Em 2018, surgiu uma nova revisão, em que a EU comprometeu-se a reduzir as emissões de CO₂ em 40% no mínimo até 2030, enquanto se moderniza a economia Europeia e se promove a qualidade de vida dos cidadãos europeus. Para esse efeito, a Comissão Europeia foca-se em três objetivos:

- Prioridade na Eficiência Energética;
- Atingir liderança global nas Energias Renováveis;
- Providenciar um fornecimento economicamente justo aos consumidores.

Os objetivos principais da nova EPBD são as seguintes: (EPBD, 2018)

- Criação de uma estratégia que promove a criação de edifícios sem emissões carbónicas, até ao ano de 2030 e medidas de eficiência em edifícios existentes;
- Encorajar a utilização de tecnologias de comunicação, e sistemas que assegurem um controlo eficiente, como por exemplo, a introdução de autómatos e sistemas de controlo centralizados;
- Integração de estratégias de renovação de edifícios existentes;
- Ajuda a combater a pobreza energética e reduzir a faturação energética, através da renovação de edifícios mais antigos;
- Introdução de um indicador de compatibilidade tecnológica, que irá mensurar a capacidade do edifício para se adaptar a novas soluções e condições de operação do edifício, promovendo a flexibilidade da rede elétrica local.

No setor dos edifícios grande parte do consumo energético é proveniente dos sistemas de AVAC. Ao longo dos anos, estes foram alvos da evolução tecnológica,

especialmente no que toca ao aumento da eficiência energética. Uma estratégia muito utilizada e não exclusiva a sistemas de AVAC, é a acumulação energética durante os períodos ao qual a disponibilidade de energia é superior e conseqüentemente economicamente mais vantajosa. O conceito base foca-se na acumulação de energia, para posteriormente ser utilizada nos períodos de maior necessidade que usualmente corresponde a valores tarifários mais altos. Curiosamente, como se irá abordar ao longo do trabalho, também serve ainda de forma indireta, para aumentar a eficiência do sistema de AVAC, visto que permitirá reduzir os picos de carga energética e fazendo com que a eficiência do sistema seja superior.

O objetivo do trabalho contempla o estudo da prática desta estratégia, utilizando para tal, materiais emergentes conhecidos por *Phase change materials* (PCM). E o potencial inerente da aplicação destes. Para efetuar o estudo, foi utilizado o *software* DesignBuilder, que como motor de simulação dinâmica incorporado, o EnergyPlus. Foi criado um modelo de edifício de escritórios baseado nas plantas de um edifício existente em combinação com vários cenários de estudo, que irão ser abordados adiante.

2. Revisão Literária – Armazenamento de Energia Térmica

A acumulação de energia, seja de forma for, tem como principal objetivo assegurar o fornecimento de energia de forma instantânea de acordo com as necessidades. Este sistema é fundamental em aplicações onde a fonte de energia é intermitente, ou quando existe desfasamento entre a disponibilidade e as necessidades. Como consequência, permitem otimizar o dimensionamento dos equipamentos de acordo com as características de acumulação definidas.

Pode ser aplicado tanto para acumulação de energia térmica a altas temperaturas, como também, a baixas. No entanto, o método mais indicado depende da aplicação em específico, sendo que propriedades tais como, o tempo de vida útil, capacidade de acumulação térmica, condutividade térmica e pontos de fusão/cristalização, tem de ser considerados caso a caso.

2.1. Métodos de acumulação de energia térmica

Tal como foi referido, o armazenamento de energia térmica, é uma solução utilizada para equilibrar o desfasamento entre as necessidades e a disponibilidade das necessidades de energia térmica. Durante os períodos em que a energia disponível é superior às necessidades de consumo, o equipamento de acumulação é carregado com energia térmica. Na maioria dos casos, corresponde ao período em que a tarifa energética é inferior, devido às necessidades por ocupação serem inferiores ou inexistentes. Portanto, nos períodos onde a energia disponível é inferior às necessidades, a energia extra é fornecida pelo sistema de acumulação durante o seu processo de descarga. Métodos físicos e químicos podem ser distinguidos dependendo se existe alguma alteração da composição química do material de acumulação.

2.1.1. Acumulação por calor sensível

O calor sensível, é a forma de energia térmica mais utilizada para sistemas de acumulação. O calor é armazenado no material através da alteração da temperatura inicial ($T_i[K]$) para uma temperatura final ($T_f[K]$) sem a ocorrência de mudança de fase. Portanto a quantidade de energia armazenada ($Q_s [kJ]$) depende da massa do material ($m [kg]$), o seu calor específico ($C_p [kJ/kgK^{-1}]$) e da variação de temperatura (dT), ficando na seguinte forma.

$$Q_s = \int_{T_i}^{T_f} m C_p dT = m \bar{C}_p (T_f - T_i) \quad (\text{Eq. 1})$$

A acumulação de calor na sua forma sensível pode ser efetuada tanto na fase sólida, como na líquida dos materiais, dependendo da aplicação. A Tabela 1 indica as características de alguns materiais sólidos e líquidos (A. Sharma, 2009).

Tabela 1 - -Materiais utilizados para armazenamento de Energia Térmica Adaptado de (A. Sharma, 2009)

Material	Tipo de fluido	Gama de temperaturas [°C]	Densidade [kg/m³]	Calor específico [J/kg K]
Pedra	-	20	2560	879
Tijolo	-	20	1600	840
Betão	-	20	1900-2300	880
Água	-	0-100	1000	4190
Caloria HT43	óleo	12-260	867	2200
Óleo de motor	óleo	até 160	888	1880
Etanol	orgânico líquido	até 78	790	2400
Propanol	orgânico líquido	até 97	800	2500
Butanol	orgânico líquido	até 118	809	2400
Isutanaol	orgânico líquido	até 100	808	3000
Isopentanol	orgânico líquido	até 148	831	2200
Octano	orgânico líquido	até 126	704	2400

Analisando a tabela, verifica-se que a água tem o maior valor de calor específico quando comparado com outros materiais. Esta propriedade em conjunto com a sua enorme disponibilidade como recurso, torna este um dos materiais mais atrativos do ponto de vista económico. Outras propriedades da água, como a sua não toxicidade e inflamabilidade, realçam a sua utilização para efeitos de segurança e impacto ambiental.

A maior desvantagem de se utilizar água para efeitos de acumulação de calor, vem da sua limitação de temperatura de funcionamento em condições de pressão atmosférica, até 100°C. Neste caso, óleos, Sais Hidratados e metais líquidos estão disponíveis (A. Sharma, 2009). Para aplicações de aquecimento, pedras, paredes aquecidas e outras soluções semelhantes são por vezes utilizados.

O rendimento do sistema de acumulação, pode ser definida pela 1ª lei da termodinâmica, escrita na seguinte forma (R. Domański, 1998).

$$\eta = \frac{Q_{ch}}{Q_{id, ch}} = \frac{T_f - T_i}{T_{ch} - T_i} \quad (\text{Eq 2})$$

Na equação 2, Q_{ch} [kJ] representa o total de energia acumulada real. A quantidade ideal da quantidade de energia possível de acumular $Q_{id,ch}$ [kJ] é obtida assumindo que no final do processo termodinâmico, a temperatura final (T_f [K]) do material de acumulação atinge a temperatura da fonte de calor (T_{ch} [K]).

2.1.2. Acumulação de calor latente

Este sistema utiliza a capacidade de acumulação (ou libertação) de energia de um material quando este sofre um processo de mudança de fase. O calor latente de fusão está associado com a transição da fase sólida para a líquida, enquanto que o calor latente de vaporização se associa com a transição da fase líquida para gasosa.

O calor latente de vaporização é usualmente superior ao de fusão, no entanto a vaporização e condensação do material é acompanhada por variações drásticas do volume específico. Por um lado, impõe dificuldades técnicas no dimensionamento dos depósitos de acumulação devido às elevadas variações volumétricas impostas, tal como o equipamento teria de ter grandes dimensões para lidar com o material na sua fase gasosa. Consequentemente, do ponto de vista técnico e económico, a mudança de fase entre sólido-líquido é muito mais interessante para aplicações de acumulação térmica. Este sistema permite grandes capacidades de acumulação de energia por diferencial de temperatura, muito mais do que um sistema de acumulação de calor sensível, com as mesmas dimensões, consegue ter (S.D. Sharma, 2005).

A quantidade total de energia acumulada (Q_{lhs} [kJ]) é igual à diferença de entalpias (dH) entre o início e o final do processo de mudança de fase. Assumindo um processo não isotérmico, pode ser definido de acordo com a seguinte expressão:

$$Q_{LHS} = m \int_{T_i}^{T_{pc}} C_s dT + mL + m \int_{T_{pc}}^{T_f} C_l dT \quad (\text{Eq. 3})$$

Na equação, T_i , T_{pc} e T_f representam a temperatura inicial, a de mudança de fase e a temperatura final respetivamente em [K]. C_s representa o calor específico do material na sua fase sólida, enquanto que C_l corresponde ao seu valor na fase líquida, ambos em [kJ/kgK⁻¹]. L representa o calor latente de transição em [kJ], enquanto que m [kg] é a massa do material.

2.1.3. Acumulação termoquímica

Outra forma ou método de acumulação de energia térmica utiliza a energia libertada (ou absorvida) nas ligações químicas do material, durante uma reação química reversível. O calor é armazenado na reação endotérmica e posteriormente libertado na exotérmica. A quantidade de calor acumulado (Q_{thc} [kJ]) depende da quantidade de material (m [kg]), da diferença de entalpia de reação (Δh_r) e do coeficiente de conversão da reação química (ζ) (P. Pardo, 2014) :

$$Q_{THC} = \zeta \times m \times \Delta h_r \quad (\text{Eq. 4.})$$

Neste caso, tal como na acumulação latente, este método é conhecido pelas altas densidades energéticas (quantidade de energia armazenada por massa). Adicionalmente, este método permite armazenar energia por longos períodos, e condições de temperatura ambiente diversas, tendo uma grande vantagem para efeitos de transporte. Estes métodos continuam em estudo e desenvolvimento, não existindo aplicações comerciais por enquanto. Para mais detalhes, o leitor deverá consultar (P. Pardo, 2014) e (H. Mehling, 2008) .

2.2. Simulação Energética de Edifícios

A Simulação energética de edifícios tem como finalidade replicar as características do comportamento energético dos edifícios, utilizando para tal, modelos matemáticos computacionais baseados em princípios do ramo da física e boas práticas de engenharia. O objetivo da simulação energética é a quantificação dos aspetos de desempenho do edifício que sejam relevantes para o projeto, construção, operação e controlo dos sistemas (Wilde, 2018). Dentro da simulação energética existem várias subcategorias, em que algumas das mais usuais são a simulação térmica, de iluminação, acústica e escoamento do ar.

Um edifício é um sistema fisicamente complexo, influenciado por vários parâmetros. O modelo de simulação é uma aproximação abstrata do edifício real, que permite

considerar as várias influências com grande precisão e analisar os indicadores de desempenho energético principais do edifício.

Um modelo de simulação típico contém introdução de dados climáticos do local a considerar, características geométricas do edifício, características da envolvente do edifício, ganhos internos provenientes da ocupação, iluminação e dissipação térmica de equipamentos existentes, especificações do sistema AVAC, horários de funcionamento, estratégias de controlo, são alguns dos mais usuais e comuns a todos os programas (Clarke, 2001). A facilidade da introdução de dados e acessibilidade de resultados dependem do programa utilizado. Programas avançados que simulam o edifício completo são capazes de considerar praticamente todos os parâmetros seguintes, consoante a metodologia utilizada:

- **Clima:** Temperatura do ar ambiente, humidade relativa, radiação solar direta e difusa, velocidade e direção do vento;
- **Local:** Localização e orientação do edifício, sombreamento através da topografia e edifícios adjacentes, propriedades do solo;
- **Geometria:** Geometria do edifício e das zonas;
- **Envolvente térmica:** Materiais e construção, envidraçados, sombreamentos, pontes térmicas, aberturas e infiltrações;
- **Ganhos internos:** Iluminação, equipamento e ocupação incluindo os horários de ocupação/operação;
- **Sistema de ventilação:** Transporte e condicionamento do ar (aquecimento, arrefecimento, humedificação/desumidificação);
- **Unidades terminais:** Unidades locais para aquecimento, arrefecimento e ventilação;
- **Centrais térmicas:** Unidades centrais produção, armazenamento e fornecimento de energia para o edifício;
- **Sistemas de regulação e controlo:** Abertura e fecho de janelas, sistemas de sombreamento, sistemas de ventilação, unidades terminais, componentes da central térmica.

Alguns exemplos de indicadores de desempenho:

- **Temperatura:** Nas zonas, superfícies, camadas de construção, fornecimento de água quente e fria;
- **Indicadores de conforto:** Temperatura, humidade, concentração de CO₂;

- **Balances térmicos:** para a cada zona térmica, o edifício inteiro, sistema e unidades de produção de energia; unidades de dissipação de energia
- **Perfis de utilização:** Perfis ocupação, perfis de iluminação, perfis de equipamentos, perfis de utilização dos sistemas de AVAC para as necessidades de aquecimento e arrefecimento e ventilação e outros perfis de utilização;
- **Necessidades energéticas:** Para aquecimento, arrefecimento, ventilação, iluminação, equipamento e sistemas auxiliares (tais como bombas circuladoras e ventiladores);
- **Disponibilidade luz solar:** Certas zonas, em períodos temporais diferentes, com condições externas variáveis.

Outras aplicações dos programas de simulação energética:

- **Dimensionamento do sistema:** Para os componentes de AVAC;
- **Otimização e estratégias de controlo:** Para os vários sistemas e subsistemas.

A história da simulação energética de edifícios é aproximadamente tão longa como a dos próprios computadores. Os primeiros desenvolvimentos surgiram no final da década de 50 e princípio da década de 60 na Suécia e na União Britânica. Durante esse período foram introduzidos vários métodos de análise de componentes individuais (por exemplo, caldeira a gás), utilizando modelos de cálculo estacionário. A primeira ferramenta de simulação energética de edifícios lançada foi o “BRIS”, introduzido em 1963 pelo Instituto Real de Tecnologia de Estocolmo (Brown, 1990). Até ao final da década de 60 vários modelos com resolução horária foram criados, para análise dos cálculos de arrefecimento e aquecimento dos edifícios. O desenvolvimento desses modelos permitiu a criação de programas de simulação mais poderosos, entre os quais temos o BLAST, DOE-2, ESP-r, HVACSIM e TRNSYS (Kusuda, 1999). Hoje em dia existem centenas de programas disponíveis no mercado, a tabela 2 resume alguns dos programas mais usuais. (Tools, 2018).

Tabela 2 - Programas de simulação dinâmica

Software the Simulação Energética	Organização Responsável	Primeiro lançamento	Aplicações Modulares e Interfaces Gráficas
ApacheSim	Integrated Environmental Solutions Ltd., UK		VE 2018
Carrier HAP	United Technologies, US		Carrier HAP
DOE-2	James J. Hirsch & Associates, US	1978	eQuest, RIUSKA, EnergyPro, GBS
Energy+	Lawrence Berkeley National Laboratory, US	2001	DesignBuilder, OpenStudio
ESP-r	University of Strathclyde, UK	1974	ESP-r
IDA	EQUA Simulation AB, SE	1998	ICE, ESBO
SPARK	Lawrence Berkeley National Laboratory, US	1986	VisualSPARK
TAS	Environmental Design Solutions Limited, UK		TAS 3D Modeler
TRNSYS	University of Wisconsin-Madison, US	1975	Simulation Studio, TRNBuild

3. Materiais de Mudança de Fase (PCM)

Apesar de existirem vários materiais cujas características foram estudadas para efeitos de acumulação térmica, existem vários critérios a ter em consideração para que estes sejam viáveis. Alguns requisitos mais importantes são de natureza económica, tais como a abundância e disponibilidade do material. Contudo também é necessário ter em conta as propriedades térmicas, químicas, e cinéticas que viabilizem o sistema. (Regin AF, 2008) (Abhat, 1983).

Tabela 3 - Propriedades de seleção de PCM

Térmicas	Físicas	Químicas	Cinéticas
Temperatura de Fusão (Adequada aos pontos de operação pretendidos)	Densidade (de acordo com a aplicação)	Estabilidade química (a melhor possível)	Sobreaquecimento (mínimo possível ou nulo)
Capacidade de Acumulação de calor latente (o mais alto possível)	Estabilidade de fases (o mais estável possível)	Baixo risco de inflamação e explosão	
Condutividade térmica (O melhor possível)	Expansão térmica (mínimo possível)	Toxicidade (o mais baixo possível ou nulo)	Taxa de Cristalização (adequada e estável)
	Pressão de operação		

Quanto à classificação dos PCM, é efetuada de acordo com a composição química do material. O método mais generalista é distinguir os diferentes PCM em Orgânicos, Inorgânicos e Eutéticos. Dentro destes ainda temos subgrupos tais como as parafinas no caso dos orgânicos. Na figura 1 está indicada a classificação usual. [(Abhat, 1983) (Agyenim F, 2010) (Sharma A, 2009)].

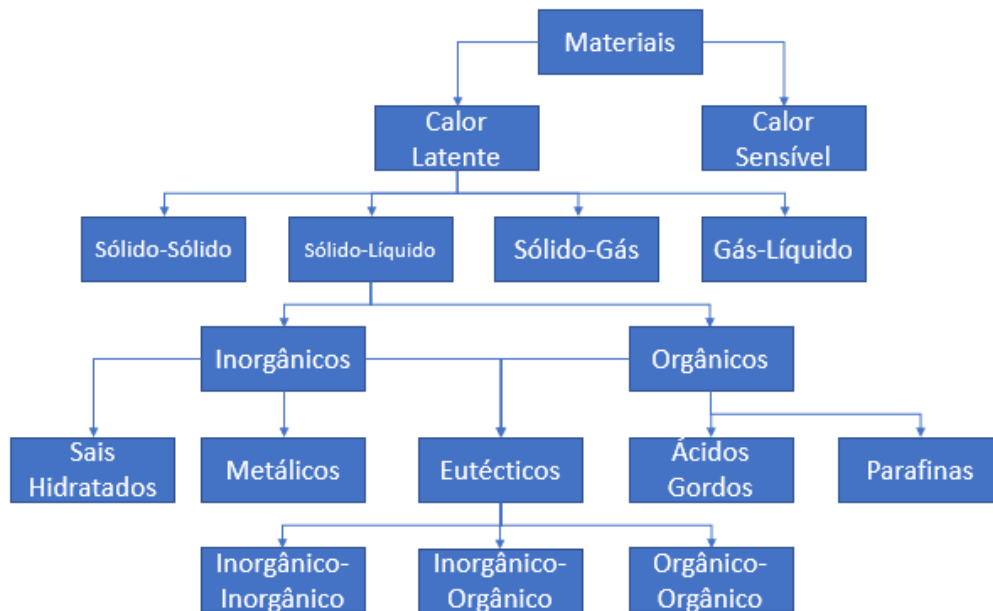


Figura 1 Classificação simplificada de materiais para acumulação de energia térmica.

A figura 2 representa os diferentes tipos de PCM, de acordo com as suas entalpias e temperaturas de fusão. É possível observar que para efeitos de conforto térmico em edifícios, os PCM potencialmente mais vantajosos em termos de temperatura operacional são as parafinas, os sais hidratados e algumas misturas eutéticas. Cada caso terá uma solução associada ao qual se define o material PCM mais vantajoso para o caso específico, de acordo com as condições de operação do sistema.

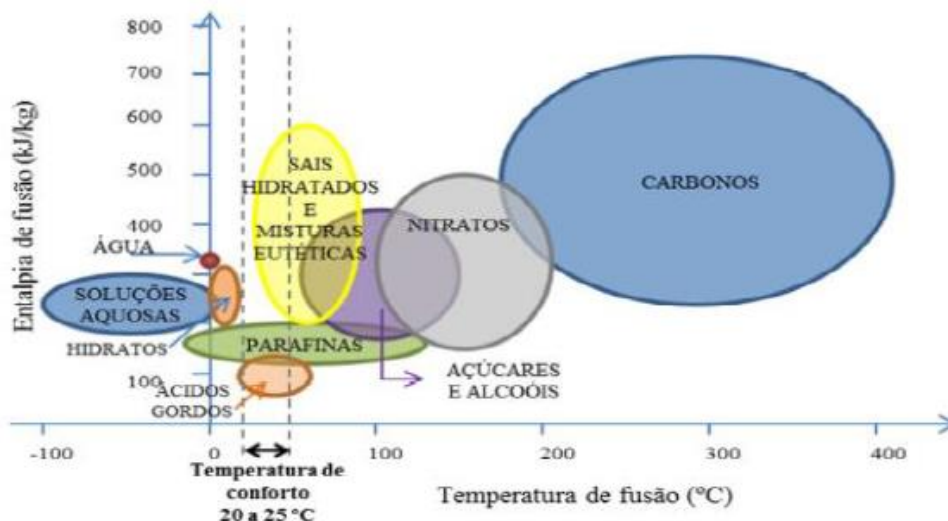


Figura 2-Diferentes tipos de PCM de acordo com a entalpia de fusão e temperatura de fusão (Sá A. M., 2012)

3.1. Orgânicos.

Esta família de materiais é composta por uma gama que abrange uma grande variedade de propriedades interessantes para acumulação de energia térmica, o que torna bastante atrativo o seu estudo para esses sistemas. No entanto, alguns destes materiais são postos de lado devido à sua toxicidade, instabilidade nas temperaturas de mudança de fase, para além de possuir um ponto de inflamação relativamente baixo. (Abhat, 1983) (Zalba B, 2003).

Tabela 4 - Temperatura e entalpia de fusão de alguns PCM orgânicos (adaptado de (Ferreira da Silva, 2009))

PCM's Orgânicos	Temperatura de Fusão (°C)	Entalpia de Fusão (kJ/kg)
CH ₃ (CH ₂) ₁₆ COO(CH ₂) ₃ CH ₃ (Estereato de butilo)	19	140
CH ₃ (CH ₂) ₁₁ OH (1-Dodecanol)	26	200
CH ₃ (CH ₂) ₁₂ COOC ₃ H ₇ (Palmitato de propilo)	19	186
CH ₃ (CH ₂) ₁₂ OH (1-Tetradecanol)	38	205

3.1.1. Parafinas

Dentro da família dos PCM orgânicos existe o subgrupo das parafinas. Estas são compostas por hidrocarbonetos saturados, cuja fórmula genérica é expressa na forma C_nH_{2n+2} , em que “n” representa o número de átomos existente na molécula. Usualmente, a temperatura de fusão do material é diretamente proporcional ao comprimento da cadeia molecular, o que permite obter uma vasta gama de temperaturas de fusão, desde aplicações de refrigeração e criogenia (inferiores a $0^{\circ}C$) até valores na ordem das centenas de graus Celsius, com quantidades de calor latente de fusão na ordem dos 100 – 400 $kJ\ kg^{-1}$ (Sharma A, 2009) (Agyenim F, 2010).

No entanto existem algumas desvantagens que condiciona a utilização deste tipo de PCM, entre as quais destacam-se:

- i. Possibilidade de ocorrência de inflamação, a temperaturas desapropriadas;
- ii. Condutividade térmica baixa;
- iii. Propriedades corrosivas em polímeros;
- iv. Variação de volume nas transições de fase elevadas;

3.1.2. Ácidos Gordos

Outro subgrupo dos PCM orgânico são os ácidos gordos, cuja fórmula química genérica assume a seguinte forma $(CH_3(CH_2)_{2n}COOH)$, em que as principais características assemelham-se às parafinas, porém com um custo associado cerca de 2-3 vezes superior ao das parafinas, e capacidade corrosiva mais elevada. (Zalba B, 2003)

3.2. Inorgânicos

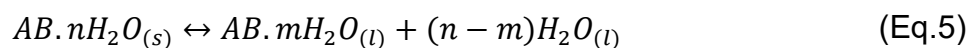
Os PCM inorgânicos são principalmente classificados em dois subgrupos, os sais hidratados (ou anidros) e os metais. Ambos são conhecidos pelo elevado calor latente de fusão, variações de volume entre estados inferiores aos orgânicos e estabilidade elevada nos ciclos térmicos. (Abhat, 1983).

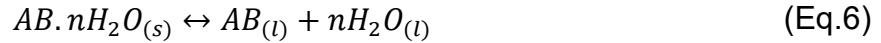
Tabela 5 - - Temperatura e entalpia de fusão de alguns PCM inorgânicos (adaptado de (Ferreira da Silva, 2009))

PCM's Inorgânicos	Temperatura de Fusão (°C)	Entalpia de Fusão (kJ/kg)
KF.4H ₂ O (Flureto de potássio tetrahidratado)	18,5	231
CaCl ₂ 6H ₂ O (Cloreto de cálcio hexahidratado)	29	190
Na ₂ SO ₄ 10H ₂ O (Sulfato de sódio decahidratado)	32	251
LiNO ₃ 3H ₂ O (Nitrato de lítio trihidratado)	30	296
Zn(NO ₃) ₂ 6H ₂ O (Nitrato de zinco hexahidratado)	36,4	147

3.2.1. Sais (Hidratados/Anidros)

Estes PCM são sólidos cristalinos cuja fórmula geral apresenta-se na forma AB_nH₂O, onde *A* representa o catião, *B* o anião que compõe a molécula e *n* o número de moléculas de água integrantes da estrutura da molécula. A mudança de estados está relacionada com a hidratação ou desidratação parcial (equação 5) ou total (equação 6) do sal, de acordo com as seguintes reações químicas. (Zalba B, 2003) (Sharma A, 2009)





A grande generalidade dos sais hidratados possui, no entanto, uma fusão com características incongruentes, cuja origem reside na libertação de quantidades insuficientes de água, criando uma separação por sedimentação consoante a densidade de fases. Outra limitação reside na velocidade de nucleação do cristal, que por vezes é muito baixa, para se contornar esta última situação é usual a adição de um agente que promove a nucleação. (Sharma A, 2009).

3.2.2. Metálicos

Os PCM metálicos é um outro subgrupo dentro dos inorgânicos com relevância, consoante os requisitos de aplicação em função da temperatura de fusão. Conhecidos por possuírem uma elevada capacidade de acumulação de calor latente por unidade de volume (ordem dos 10^3 MJ m^{-3} ou superior), elevada condutibilidade térmica e valores de calor específico baixos. Porém, o preço relativamente elevado, peso associado (devido às suas grandes densidades) e temperaturas relativamente altas de fusão, condiciona a aplicação deste PCM. (Sharma SD, 2005) (Abhat, 1983)

3.3. Eutéticos

Os PCM eutéticos são constituídos por dois ou mais materiais componentes cuja fusão é congruente. Estes partilham propriedades dos materiais orgânicos como dos inorgânicos, de acordo com as combinações possíveis. A grande vantagem reside na capacidade de o material apresentar transformações de estado em que não existe alteração significativa da temperatura, a formação e fusão dos cristais dos diferentes componentes ocorre de forma simultânea e do ponto de vista macroscópico é homogéneo. Isto previne certas dificuldades da cinética da transformação tal como a separação de fases. (Sharma A, 2009)

Tabela 6 - Temperatura e entalpia de fusão de alguns PCM Eutéticos (adaptado de (Ferreira da Silva, 2009))

PCM's Eutéticos	Temperatura de Fusão (°C)	Entalpia de Fusão (kJ/kg)
CaCl ₂ ·6H ₂ O / MgCl ₂ ·6H ₂ O Cloreto de cálcio/Cloreto de magnésio	25	127
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O/Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O Nitrato de cálcio/Nitrato de magnésio	30	136
Na(CH ₃ COO)·3H ₂ O / CO(NH ₂) ₂ Acetato de sódio/Ureia	30	200
CH ₃ (CH ₂) ₈ COOH/CH ₃ (CH ₂) ₁₀ COOH Ácido cáprico-láurico	21	143

3.4. Comercialização de PCM

Com o desenvolvimento da tecnologia relativamente aos PCM, a comercialização destes torna-se cada vez mais abrangente. Produzidos em formas de cilindro, esferas, placas e outras soluções prontas para aplicação imediata, surge a designação de “PCM comercial” para este produto final, pronto a ser aplicado. Na tabela 7 Indica-se algumas das empresas e aplicações relativamente a esta área.

Tabela 7 – Exemplos PCM comercializados

País	Empresa/Marca	Aplicações
Austrália	TEAP Energy	PCM (-50 a 90°C) climatização,
Alemanha	Rubitherm GmbH	PCM (-4 a 82 °C), climatização
E.U.A.	BASF Chemicals	Produção de PCM microencapsulados.
Japão	Mitsubishi C. Corporation	Sistemas de aquecimento.
França	Cristopia Energy Systems	PCM para acumulação de frio.
R.Unido	PCM Products	Várias soluções para acumulação de calor ou de frio.

3.5. Técnicas de Incorporação de PCM em soluções construtivas

Com o estudo emergente relativamente à utilização dos materiais PCM, surgiram vários métodos de incorporação destes nas soluções construtivas dos edifícios. Neste subcapítulo irá ser abordado as diferentes técnicas, bem como as suas características, incluindo vantagens e desvantagens inerentes.

3.5.1. Incorporação direta

A incorporação direta (também conhecido por impregnação) é um método em que se adiciona PCM em pó (forma sólida) ou em solução aquosa (líquida) a diversos materiais de construção, por exemplo, misturas de gesso, argamassa e cimento, o PCM serve assim como aditivo a estes materiais. A grande vantagem desta solução reside na facilidade de aplicação, no entanto a incompatibilidade entre materiais e situações de possível derrame do material dentro do material construtivo, são fatores a ter em conta. (Zhou, Zhao, & Tian, 2012)

3.5.2. Imersão

O método de imersão, tal como o nome sugere, consiste em incorporar o PCM em materiais de construção porosos (por exemplo: Blocos e placas de gesso, cerâmica

ou betão) em PCM líquido, em que por efeito de capilaridade se entranha pelas porosidades. A grande vantagem reside no fato de ser possível de se criar um composto com PCM, de um material de construção vulgar. No entanto, isto implica desperdício do material PCM durante o processo de imersão, para além de ocorrer fugas de PCM pelas porosidades após numerosos ciclos de fusão e solidificação. (Kaasinen, 1992)

3.5.3. Encapsulamento

Encapsulamento consiste em criar um revestimento (na generalidade dos casos polimérico) que serve como “cápsula” para o PCM, evitando-se assim a interação destes com os outros materiais de construção, tal como poderia ocorrer nos casos anteriores. (Sá A. M., 2012) Este procedimento é classificado consoante a dimensão da cápsula, por macro encapsulamento e micro encapsulamento. (Cabeza L. F., 2012)

3.5.3.1. *Micro-encapsulamento*

Esta denominação surge quando o invólucro que serve de cápsula ao PCM tem dimensões reduzidas (ordem de 1 a 1000 μm), normalmente com uma geometria esférica (embora por vezes outras geometrias são adotadas), núcleo constituído pelo PCM pode apresentar-se em pequenas partículas sólidas ou gotas líquidas envolvidas por um filme fino de material polimérico (Khudhair, 2004). O material polimérico do invólucro tem de ser compatível com o PCM e com os materiais de construção. (Sá A. M., 2013)

Sendo uma técnica relativamente recente comparativamente às outras e com um custo significativo para acompanhar, tem, no entanto, as suas vantagens. As trocas de calor com a envolvente são superiores devido à grande proporcionalidade de área superficial em relação ao volume e devido às distâncias microscópicas envolvidas, a separação de fases fica restrita e mais estável ao longo dos ciclos térmicos. (Cabeza, Castell, Barreneche, de Gracia, & Fernández, 2011)

Um bom exemplo da comercialização desta solução vem da empresa alemã BASF, que tal como várias outras empresas, recorreu à solução de micro-encapsulamento. A solução comercial da BASF denomina-se por “Micronal PCM” composta por núcleos de parafina com cerca de 5 μm de diâmetro (Figura 3a) com duas soluções distintas

conforme o meio de imersão. Por exemplo, em aplicações onde se pretende incorporar o PCM de forma líquida no em gesso ou cimento é utilizado microcápsulas numa solução aquosa para misturar com o material de construção (ver figura 3b). Para aplicações de incorporação em betão e argamassas, existe a solução em pó, preparada para a mistura. (ver figura 3c)

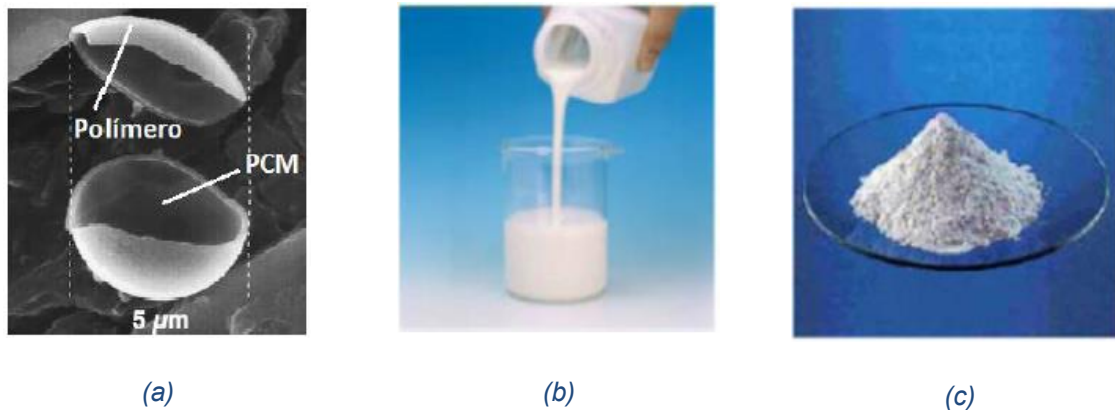


Figura 3 – Exemplos de Micro-encapsulamento de PCM: (a) Composição Microcápsula ; (b) Microcápsulas em solução aquosa; (c) Microcápsulas em Pó (Mehling, 2008) (BASF & Micronal, 2017)

Contudo várias discussões surgiram relativamente à integridade das propriedades físicas dos materiais de construção, principalmente o betão. Cabeza et al (Cabeza, et al., 2007) conduziram estudos sobre a influência do comportamento térmico do edifício através da incorporação de um produto PCM na solução construtiva, feito no âmbito de um projeto europeu intitulado de MOPCON. Neste estudo concluiu-se que este produto não influenciava de forma significativa as propriedades do betão. Contudo, um estudo realizado por Hunger et al (Hunger, Entrop, Mandilaras, Brouwers, & Founti, 2009) conclui que o aumento excessivo de PCM deteriora as propriedades físicas das amostras de betão endurecido ensaiado, a resistência à compressão e a própria condutibilidade térmica reduziram drasticamente.

3.5.3.2. Macro-Encapsulamento

Analogamente ao micro encapsulamento, o macro encapsulamento consiste na encapsulação do material PCM com invólucros normalmente superiores a 1 cm. Estas macro-cápsulas surgem em várias formas para além das esféricas, tais como formas

tubulares ou em painéis, em que o invólucro pode ser metálico ou polimérico (Cabeza, Castell, Barreneche, de Gracia, & Fernández, 2011). As macro-cápsulas geralmente produzidas à parte, são posteriormente incorporadas no edifício nas soluções construtivas (Cabeza, Castell, Barreneche, de Gracia, & Fernández, 2011). Salunkhe e Shembekar (Salunkhe & Shembekar, 2012) conduziram estudos que levaram a resultados em que se concluiu que a forma esférica é a mais adequada tanto do ponto de vista da eficiência da transferência de calor, como resiste melhor à corrosão, devido à geometria simétrica e homogênea que favorece estas vantagens. A figura 4 demonstra exemplos de aplicação dos PCM nesta técnica.

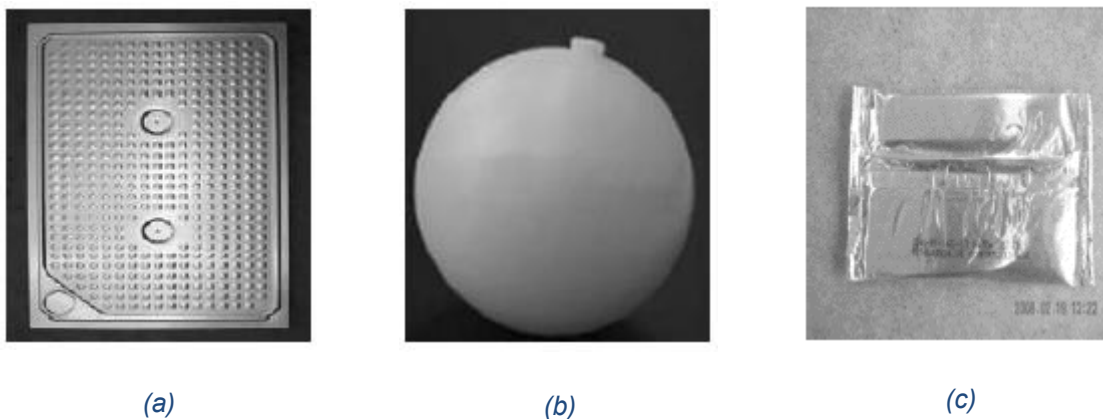


Figura 4 – Exemplos de PCM em macro-cápsulas: (a) forma de painel revestido a alumínio; (b) Cápsula em forma esférica; (c) Macro-cápsulas em forma de bolsa (Mehling, 2008)

A macroencapsulação permite prevenir derrames do material no seu estado líquido evitando reações químicas com a sua envolvente, e no processo de fabrico é mais manuseável do que o microencapsulamento, no entanto é necessário um cuidado extra relativamente à integridade física das cápsulas, mais suscetíveis do que no microencapsulamento, bem como de por vezes existir a necessidade de se alterar a solução construtiva para adaptar ao uso destas cápsulas (Cabeza, Castell, Barreneche, de Gracia, & Fernández, 2011). Outra desvantagem reside na relação entre a área superficial da cápsula e volume de PCM ser menos favorável, em que existe uma redução da condutibilidade térmica e um aumento de cristalização junto às paredes do invólucro, que deteriora ainda mais a condutibilidade térmica do material ao longo do tempo (Cabeza, et al., 2007).

3.5.4. Incorporação Prática dos PCM

Cobertura

Alawadhi, E.M. et al (Alawadhi & E.M., 2011) realizou uma investigação com o objetivo de avaliar o comportamento térmico de uma cobertura com PCM incorporado, através de um modelo constituído por uma placa de betão com furos verticais em forma cónica, preenchidos com o material PCM. Em que se pretendia aproveitar as propriedades do material para reduzir o ganho térmico através da absorção da energia radiante que atinge a cobertura (Alawadhi & E.M., 2011). Os resultados obtidos nesse estudo demonstraram que os ganhos através da transferência de calor pelo telhado reduziram cerca de 39% em relação à solução sem PCM.

Paredes

As paredes são provavelmente os elementos preferenciais para incorporação de PCM, devido à área superficial que usualmente é sempre superior. Kuznik et al (Kuznik, F., & Noel, 2008) realizou uma investigação com o objetivo de verificar a concentração ideal e espessura de uma placa de PCM para incorporação na parede. O alvo em questão foi uma parede em específico que apresentava uma inércia térmica reduzida, em que a placa simulada possuía uma base polimérica com cerca de 60% de parafina em microcápsulas cuja temperatura de fusão é 22°C. Os resultados demonstraram que a espessura ideal naquele caso de simulação rondava 1cm e que seria possível armazenar cerca de 300 Wh/m².

Tetos

Os tetos foram alvos de vários estudos em que se procurava tanto a sua incorporação como complemento a sistemas ativos. Por exemplo, Turnpenny et al (Turnpenny, J.R., & Reay, 2001) realizou um estudo com um sistema de ventilação com aplicação de tubos impregnados em PCM colocados no teto adjacentes a uma ventoinha para promover as trocas de calor através de convecção forçada (figura 5), os resultados que obteve indicaram que era possível armazenar cerca de 40W num período de 2/3 horas sensivelmente. Apesar de não ser uma quantidade de energia significativa, demonstra a relevância do efeito de acumulação do PCM com circulação forçada do Ar. Um Outro caso envolveu a aplicação de um sistema de “free cooling” realizado por Kang et al (Kang & Y.J.Y., 2003) que resumidamente consiste em tirar vantagem do

diferencial de temperatura entre o ar do espaço interior e exterior para fazer um efeito de pré-arrefecimento do local. O PCM em estudo foi um tipo de ácido gordo com uma gama de temperatura de fusão compreendida entre os 22 e 26 °C, testado num local com uma área de 10m². Constatou-se que a amplitude térmica entre o período diurno e o noturno o PCM acumulava e descarregava energia térmica respetivamente, mantendo o potencial de acumulação térmica do material e consequentemente aumentando o nível conforto térmico no local. (figura 6)



Figura 5 - Tubos impregnados de PCM com ventoinha incorporado (Tumpenny, J.R., & Reay, 2001)

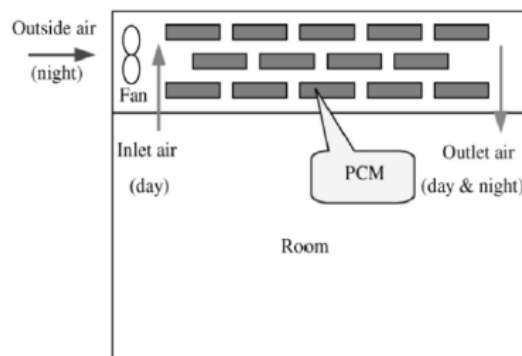


Figura 6 – Sistema de “free-cooling” estudado por Kang (Kang & Y.J.Y., 2003)

3.6. Incorporação de PCM em Sistemas de Acumulação térmica para HVAC

Neste subcapítulo irão ser abordados alguns dos vários estudos e projetos nesta área, e as suas aplicações. Existem várias abordagens diferentes e interessantes, que proporcionaram resultados de importância para o desenvolvimento tecnológico da utilização dos PCM.

Pavimento ou teto radiante

Uma aplicação com relevância, sendo um dos métodos mais eficazes para condicionar o espaço em aquecimento (pavimento radiante) e arrefecimento (teto radiante). A Incorporação do PCM nestes casos aumentam a eficiência do sistema, visto este depender da inércia térmica e condutibilidade do pavimento, aproveitando a capacidade de acumulação do material PCM, é possível reduzir o tempo de

funcionamento do sistema pavimento radiante, e obter o mesmo nível de conforto que na solução convencional. A figura 7 demonstra a esquemática do sistema exemplo.

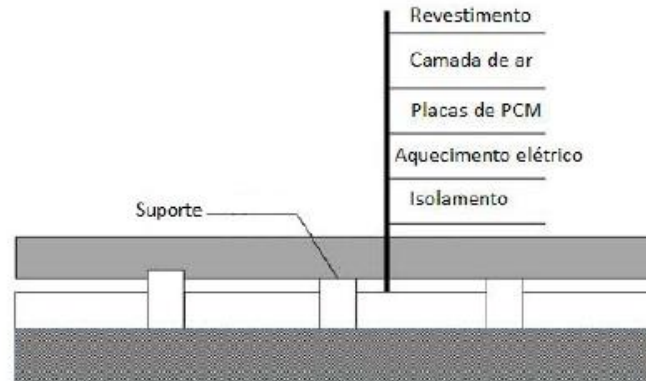


Figura 7- Incorporação de PCM em pavimento radiante elétrico (Pasupathy A. V., 2008)

Sistemas solares com PCM nos reservatórios

Pasupathy et al, (Pasupathy A. V., 2008) demonstra um exemplo de incorporação de PCM num reservatório de acumulação aliado a um sistema de ventilação, aproveitando um sistema solar térmico. Tal como no sistema convencional este faz proveito da energia solar, no entanto neste caso alia-se a um sistema de ventilação que de acordo com as necessidades de aquecimento, insufla o ar para dentro de casa, ou quando não existem necessidades de aquecimento, o ar é encaminhado pelos permutadores do sistema para promover a fusão do material PCM. A figura 8 demonstra a constituição do sistema.

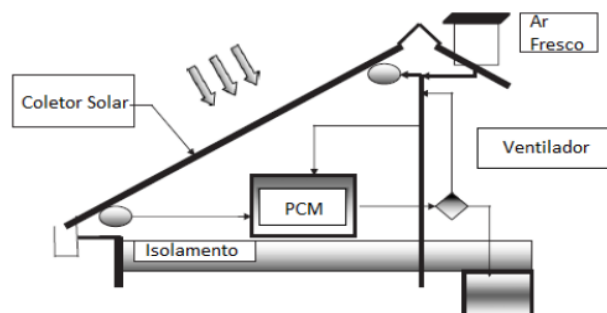


Figura 8-Esquema do sistema solar térmico com incorporação de PCM (adaptado de (Pasupathy A. V., 2008))

Projeto - TESSe2b

Como referido nos meus agradecimentos, parte deste trabalho foi realizado graças ao projeto TESSe2b e resultados provenientes da sua pesquisa e desenvolvimento.

O projeto TESSe2b - *Thermal Energy Storage Systems for Energy Efficient Buildings* tem como desenvolvimento um sistema integrado de armazenamento de energia térmica, utilizando um sistema combinado de energia solar e geotérmica, com o objetivo de corrigir o desfasamento que ocorre usualmente entre as necessidades e disponibilidade energéticas em edifícios residenciais. A combinação do sistema solar com o geotérmico permite uma maior flexibilidade ao sistema, visto que assim é apenas preciso intercalar entre os sistemas, sendo viável mesmo em períodos em que não exista incidência solar. Para esse efeito, é utilizado tanques compactos de acumulação térmica em combinação com permutadores de calor enterrados no solo, ambos com o seu próprio PCM. Para gestão dos sistemas, utiliza-se um sistema de controlo inteligente que se adapta às condições residenciais. Na figura 9, encontra-se uma representação simplificada do sistema incorporado numa moradia unifamiliar. Para mais detalhes, o leitor deverá consultar o site do projeto TESSe2b (TESSe2b, 2018)

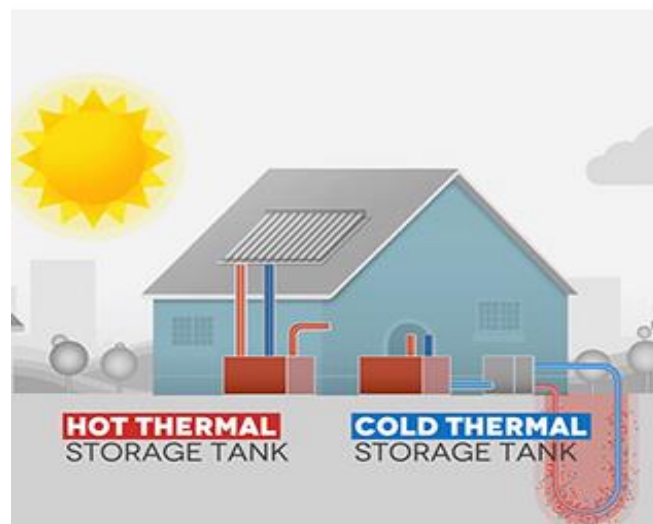


Figura 9 – Projeto TESSe2b – Sistema Residencial (TESSe2b, 2018)

Projeto - SCORES

O projeto SCORES tem como conceito um sistema híbrido representado na figura 10, combinando sistema solar fotovoltaico a sistema solar térmico, de uma forma eficiente. Através de uma gestão inteligente entre o armazenamento de energia (elétrica e

térmica), a energia elétrica utilizada para aquecimento aproveitando os excedentes para efeitos de acumulação, aproveitando-se essa energia térmica para condicionar o circuito das águas quentes sanitárias. Desta forma é possível ter uma gestão energética eficiente no edifício.

A falta de incidência de radiação solar poderá ser problemática, portanto é espectável a utilização de um equipamento estilo bomba de calor para assegurar que as condições exigidas estejam sempre satisfeitas. No entanto o sistema de acumulação reduz essa desvantagem. Para mais detalhes, o leitor deverá consultar o site do projeto Scores. (Scores-Rproject, 2018)

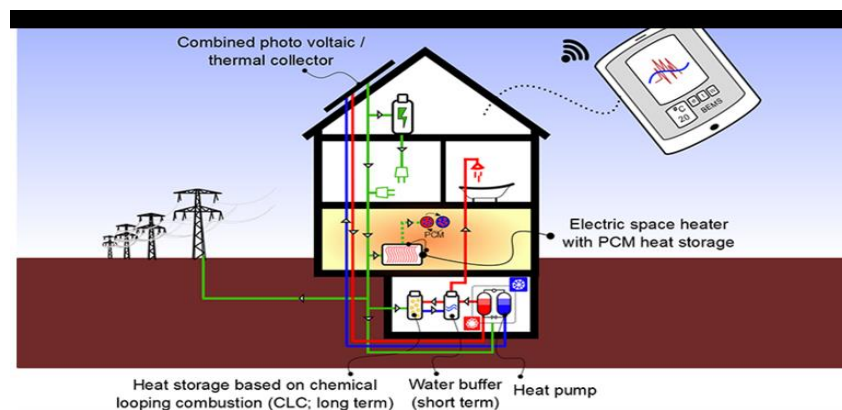


Figura 10 – Esquema Incorporação Sistema Híbrido Fotovoltáico e Solar Térmico com PCM (Scores-Rproject, 2018)

Projeto – CREATE

O projeto CREATE tem como objetivo desenvolver um sistema avançado de armazenamento térmico, utilizando para esse efeito, materiais termoquímicos (TCM), permitindo uma solução economicamente viável, compacta e sem desperdícios para armazenamento de energia térmica.

O núcleo do sistema projetado (figura 11) consiste num depósito contendo um sal que é hidratado e desidratado ciclicamente, libertando-se e armazenando-se energia térmica. Isto permite descentralizar os sistemas de energia renovável (como por exemplo solar térmico) e os sistemas ligados à rede elétrica, tais como a bomba de calor, reduzindo o desfasamento entre as necessidades e disponibilidade energéticas (figura 12). Para mais detalhes, o leitor deverá consultar o site do projeto CREATE. (Project-Create, 2018)

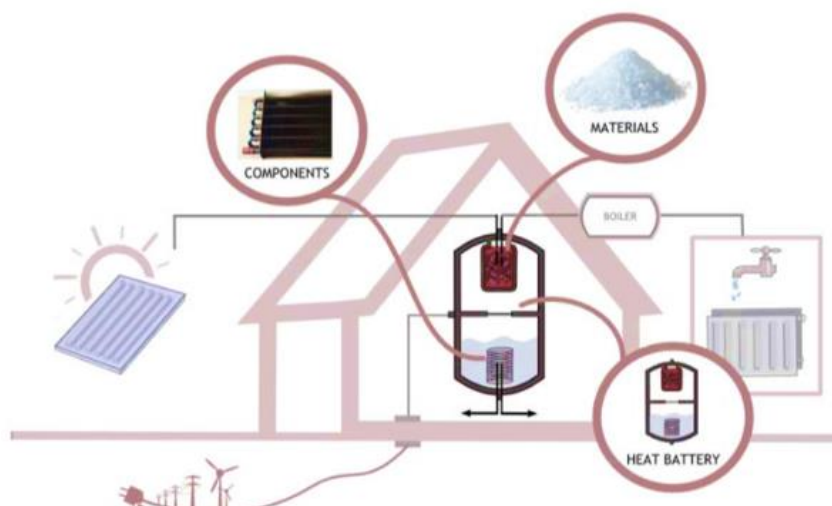


Figura 11 – Conceito geral – Projeto Create (Project-Create, 2018)

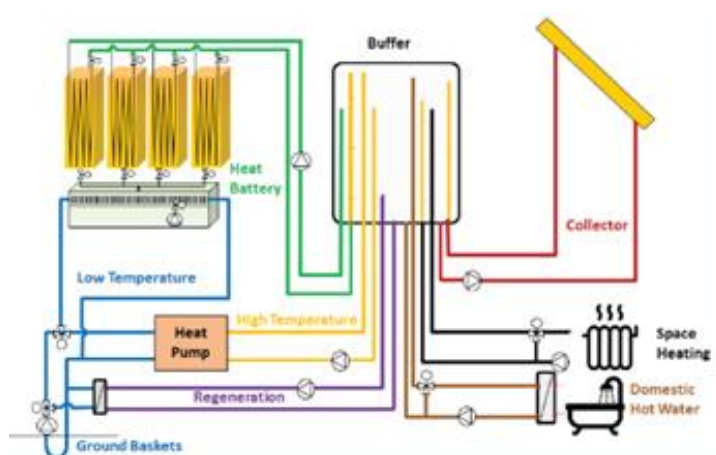


Figura 12 – Esquema simplificado aplicação – Projeto Create (Project-Create, 2018)

Projeto - E2Vent

O projeto E2Vent consiste no desenvolvimento de uma solução que tira partido de paredes que possuam cavidades de ventilação (figura 13.a). O detalhe original deste conceito é o recuperador de calor modular inteligente (SMHRU), que permite recuperar energia térmica proveniente do ar de extração durante a renovação do ar local, utilizando para esse efeito um permutador de fluxo duplo, instalado na cavidade de ventilação da parede (figura 13.b). Para complementar o sistema, existe a possibilidade de se incorporar tanques de acumulação térmica utilizando PCM (figura 13.c), que tiram proveito das trocas de energia do edifício, compensando o desfaseamento entre as necessidades e disponibilidade energéticas. Para mais detalhes, o leitor deverá consultar o site do projeto E2Vent. (E2Vent, 2018)

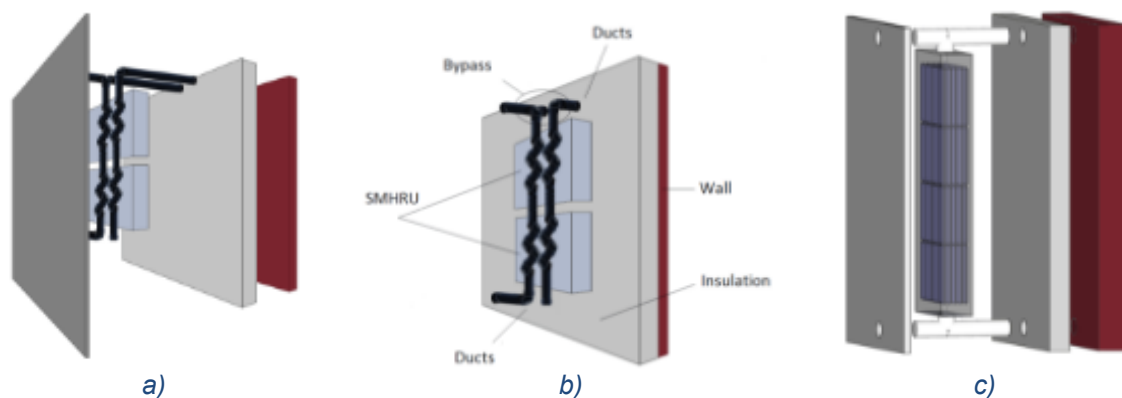


Figura 13 – Sistema E2Vent – a) Representação geral; b) recuperador de calor modular inteligente (SMHRU); c) Sistema de acumulação de calor latente (LHTES) (E2Vent, 2018)

4. Metodologia – Elaboração do Modelo de estudo.

4.1. Introdução ao DesignBuilder e EnergyPlus

O EnergyPlus é um *software* de simulação dinâmica desenvolvido pelo Departamento de Energia do governo dos Estados Unidos da América, com o objetivo de dar apoio a Engenheiros, Arquitetos e outros projetistas. Sendo um *software* muito reconhecido mundialmente, o EnergyPlus é um dos programas de referência para efeitos de simulação energética. O DesignBuilder é um *software* de modelação geométrica e serve como interface e pré-processador mais intuitivos para preparar e visualizar de forma mais facilitada os *inputs* necessários à simulação. O EnergyPlus executa cálculos numéricos do balanço térmico para as zonas estabelecidas que são processadas como volumes de controlo, em cada zona pode-se definir os parâmetros desejados. A figura 14 indica um resumo dos *Inputs* e *Outputs* processados pelo EnergyPlus. Após a introdução de todos os dados necessários, o programa calcula a quantidade de energia necessária para se manter as condições definidas para as zonas, de acordo com os dados operativos definidos.

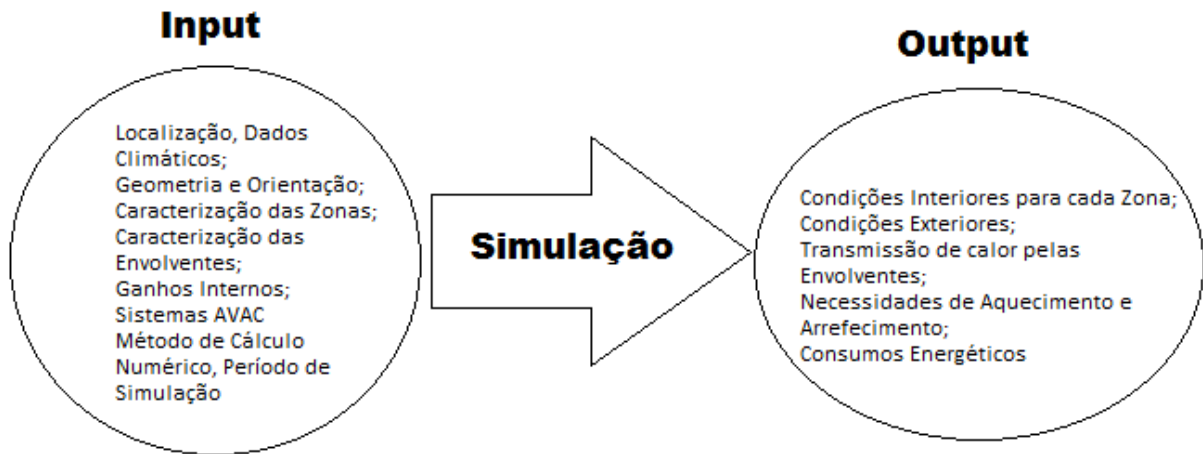


Figura 14 - Dados processados pelo DesignBuilder

Como procedimento de cálculo, o EnergyPlus calcula a transmissão de calor dos elementos opacos segundo a equação 6. Desta forma o fluxo de calor específico (q''_{ko} [W]) obtido é dependente da radiação solar incidente na superfície exterior, e da diferença de temperaturas interiores (i) e exteriores (o) em [K] em conjunto com os fatores de inércia térmica dos materiais constituintes do elemento opaco (X e Y [W*K⁻¹]).

$$q''_{ko}(t) = \sum_{j=0}^{\infty} X_j T_{o,t-j\delta} - \sum_{j=0}^{\infty} Y_j T_{i,t-j\delta} \quad (\text{Eq.6})$$

Para o cálculo das temperaturas envolvidas o EnergyPlus recorre a diferentes metodologias, nomeadamente à utilização de funções de transferência. A equação 7 demonstra uma das equações de cálculo numérico da temperatura na zona, utilizada pelo DesignBuilder.

$$T_z^t = \frac{\sum_{i=1}^{N_{si}} \dot{Q}_i^t + \dot{m}_{sys} C_p T_{supply}^t + \left(C_z \frac{T_z}{\delta t} + \sum_{i=1}^{N_s} h_i A_i T_{si} + \sum_{i=1}^{N_z} \dot{m}_i C_p T_{zi} + \dot{m}_{inf} C_p T_{\infty} \right)^{t-\delta t}}{\frac{C_z}{\delta t} + \left(\sum_{i=1}^{N_s} h_i A_i + \sum_{i=1}^{N_z} \dot{m}_i C_p + \dot{m}_{inf} C_p + \dot{m}_{sys} C_p \right)} \quad (\text{Eq.7})$$

A figura 15 demonstra de uma forma resumida a forma com que o EnergyPlus e o DesignBuilder interagem para se realizar a simulação dinâmica, em que Tz é a

temperatura da zona num determinado instante temporal em [°C], para mais detalhes sobre o desenvolvimento da equação o leitor deverá consultar o manual do EnergyPlus (EnergyPlus, 2018). Na primeira fase é necessário definir as condições base do modelo para ser pré-processado pelo DesignBuilder, este por sua vez cria um ficheiro de dados do tipo IDF para ser lido e processado pelo EnergyPlus.

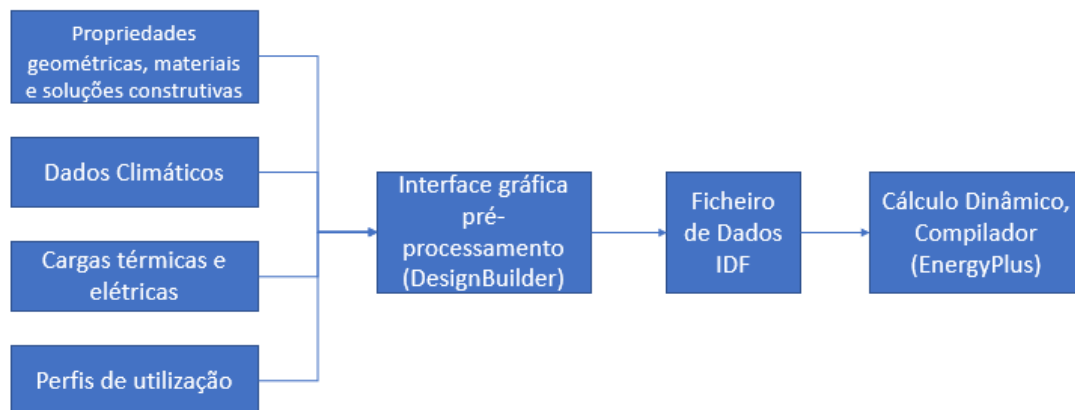


Figura 15 – Procedimento processamento de dados entre DesignBuilder e EnergyPlus

O EnergyPlus, por sua vez, foi criado e desenvolvido nos EUA como ferramenta informática de simulação energética de edifícios. Baseado em dois programas (DOE-2 e BLAST) com origem no final da década de 70 e muito utilizados ao longo da década de 80, em resposta à necessidade emergente de se adaptar medidas de eficiência energéticas.

Este programa realiza balanços térmicos do edifício, calculando as cargas térmicas de aquecimento e arrefecimento, bem como as cargas internas resultantes da dissipação térmica dos equipamentos elétricos, iluminação e dos próprios ocupantes. O EnergyPlus também permite uma integração simplificada dos vários sistemas que interagem fisicamente entre si. Temos como exemplo, as unidades produtoras de energia térmica, e o sistema de climatização associado, onde o programa reconhece a associação e durante os cálculos, dimensiona as propriedades da instalação. Uma desvantagem do EnergyPlus em si, estará na complexidade de introdução de dados, essa é a razão principal pelo que se recorre ao auxílio de uma interface gráfica como o DesignBuilder. Na figura 16 é possível observar de uma forma simplificada, como os diferentes módulos do EnergyPlus interagem entre si.

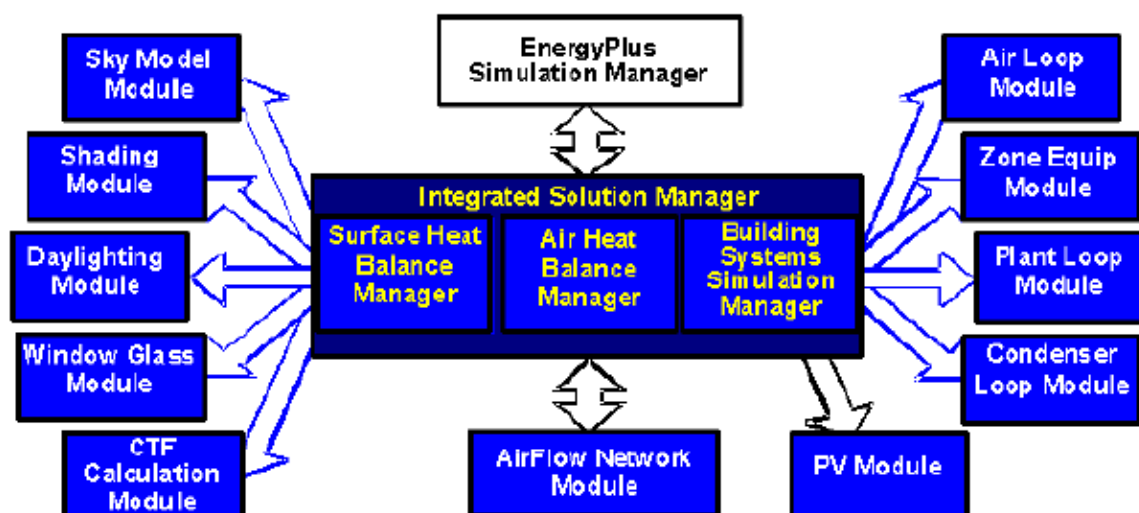


Figura 16 – Processamento de Cálculo EnergyPlus (NaturalWorks, 2018)

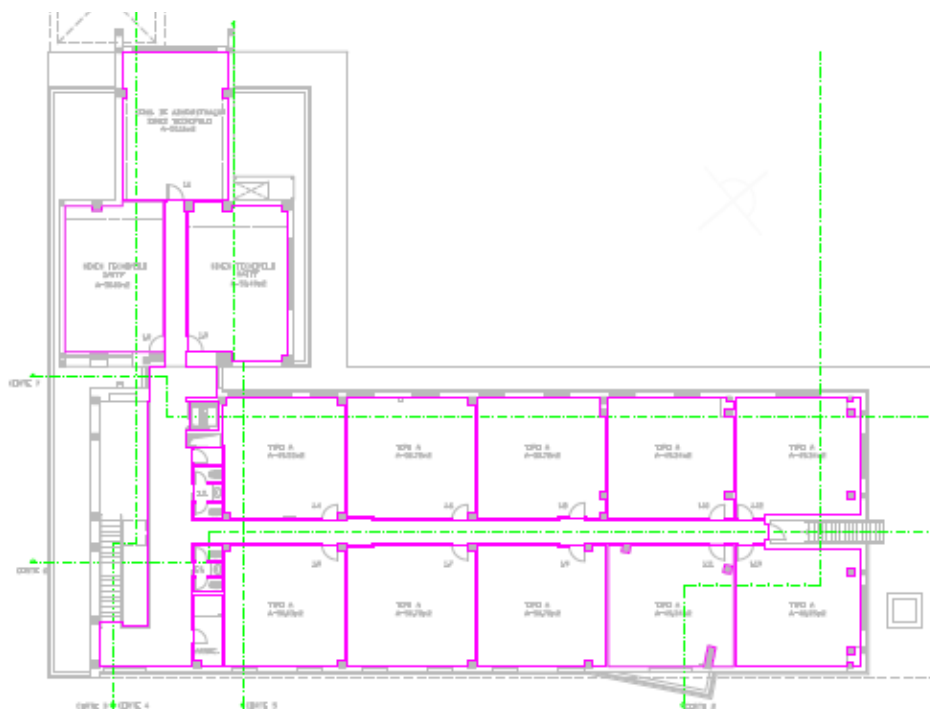
4.2. Geometria e Caracterização das soluções construtivas

4.2.1. Descrição do Edifício

O modelo em estudo é um edifício de escritórios existente, ao qual se aproveitou as peças desenhadas para se criar o modelo no DesignBuilder. É constituído por 2 pisos (0 e 1) com a disposição indicada na figura 17. Apresenta uma área total de pavimento 1420m² com um pé-direito médio de 2,6m no piso 0 e 2,8m no piso 1, em que a maioria dos espaços são escritórios, no entanto no piso 0 encontra-se um restaurante com zona de confeção de alimentos. As restantes zonas incluem as circulações, armazéns e despensas e Instalações Sanitárias.



a)



b)

Figura 17 – Planta do edifício – a)-Piso 0; b) Piso 1

O modelo apresenta cobertura plana e outra com uma inclinação ligeira, para efeitos de cálculo foi considerado o mesmo tipo de solução construtiva para ambos. Os sombreamentos existentes nas plantas foram também modelados para refletir a

solução arquitetónica assumida. Na figura 18 encontra-se o modelo geométrico do edifício criado no software DesignBuilder.

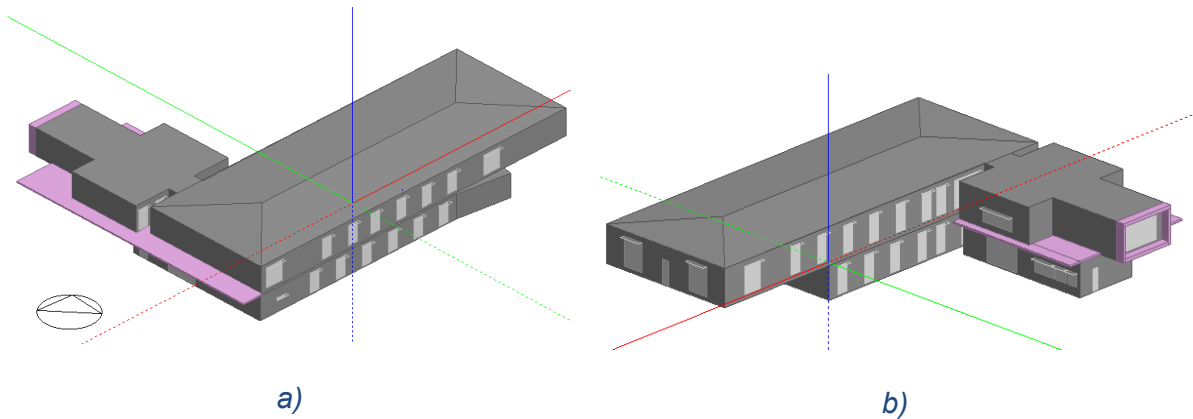


Figura 18 – Vistas do edifício – DesignBuilder

4.3. Condições Climáticas de estudo

Para efeitos de estudo, foram contabilizados quatro climas diferentes, estes sendo Lisboa, Barcelona, Graz e Varsóvia. Lisboa e Barcelona foram escolhidos para avaliar o impacto das soluções em climas temperados, que necessitam de arrefecimento considerável, porém diferentes entre si. Graz e Varsóvia foram escolhidos para fazer uma avaliação semelhante, mas ao nível das necessidades de aquecimento, visto ambos os locais possuírem um Inverno rigoroso, mas com condições diferentes entre si.

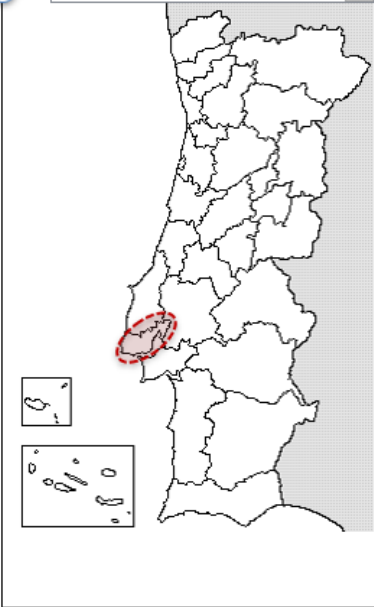
De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger temos: Lisboa e Barcelona, *Hot-summer Mediterranean climate – Csa*; Graz e Varsóvia, *Warm humid continental climate – Dfb*. Apesar, de acordo com esta classificação, termos apenas dois tipos de climas é interesse verificar as diferenças que existem no desempenho dos edifícios instalados no mesmo tipo de clima, mas em cidades e países diferentes. Apesar desta classificação, os climas classificados como semelhantes, possuem comportamentos diferentes, que vale a pena ter em conta, como se poderá observar nos resultados apresentados mais à frente.

Para o caso de Lisboa recorreu-se ao auxílio de uma folha de cálculo disponibilizada pelo Laboratório Nacional de Energia e Geologia, como apresentado na figura 19. Por referência a folha de cálculo com a seleção da zona da Grande Lisboa assume a uma altitude de 109 metros, latitude 38,9°N e longitude 9,2°W, que está adequado para efeitos de referência, estes dados podem ser alterados, mas não existe necessidade para efeitos do estudo em epígrafe.

Anos Meteorológicos de Referência para simulação dinâmica
 versão 1.05 (13 fevereiro 2014)

Seleção por município

Lisboa



preparar ficheiro

EPW (formato EnergyPlus Weather)

Zona climática

NUTS 3: Grande Lisboa
 Latitude: 38.9 °N (nominal)
 Longitude: 9.2 °W (nominal)
 Altitude: 109 m (referência)

Local específico

Município: Lisboa

Altitude: 109 m

Dados climáticos

	Referência	Neste local
Estação de aquecimento		
Período:	5.3	5.3 meses
T média:	10.8	10.8 °C
Graus-dia:	1071	1071 °C
Estação de arrefecimento		
T média:	21.7	21.7 °C

Zonas de verão e inverno

V 2 I 1


 Software para Políticas Públicas
Sistema Nacional de Certificação de Edifícios
Decreto-Lei 118/2013 de 20 agosto

Figura 19 – Ficheiro dados climáticos LNEG.

Quanto às restantes localizações, foi utilizado a base de dados existente no software DesignBuilder, na figura 20 estão indicadas as localizações geográficas das cidades em questão.



Figura 20 – Localizações Geográficas consideradas: (a) Barcelona; (b) Graz; (c) Varsóvia

4.3.1. Soluções Construtivas de Referência

Após identificação da zona climática de inverno consultando a tabela I.09 (tabela 8), presente na Portaria n.º 349-D/2013 de 2 de dezembro, determina-se qual o valor de coeficiente global de transmissão térmica superficial de referência para os edifícios (Uref).

Tabela 8 – Coeficientes de transmissão térmica de referência (RECS)

	Zona Climática		
	I1	I2	I3
Portugal Continental			
Zona corrente da envolvente	I1	I2	I3
Elementos opacos verticais exteriores ou interiores	0,70	0,60	0,50
Elementos opacos horizontais exteriores ou interiores	0,50	0,45	0,40
Vãos envidraçados exteriores (portas e janelas)	4,30	3,30	3,30

Para os restantes países europeus, foram utilizados os valores dos coeficientes globais de transferência típicos de cada região, ao qual a tabela 9, apresenta os valores considerados. (Eurima, 2018)

Tabela 9 – Coeficientes de transmissão térmica de referência considerados

Valores de referência U's [W/m²K]			
	Parede Exterior	Cobertura	Vãos Envidraçados
Lisboa	0.7	0.5	4.3
Barcelona	0.73	0.41	4.4
Graz	0.35	0.2	1.4
Varsóvia	0.23	0.18	1.1

Estes valores podem ser definidos diretamente no DesignBuilder, independentemente da disposição construtiva destes, ajustando automaticamente as espessuras dos materiais constituintes da envolvente até atingir o valor pretendido.

Quanto à disposição das camadas da solução construtiva, baseou-se na solução da arquitetura existente, adaptando as espessuras para corresponder aos valores de referência adotados. Na figura 21 é possível observar a representação do DesignBuilder das diferentes camadas da solução construtiva.



Figura 21 – Localização e configuração das camadas da solução construtiva de referência, exemplo de Lisboa– a) paredes exteriores, b) Cobertura

Vãos envidraçados

Utilizando uma metodologia semelhante, para os vãos envidraçados foi introduzido o valor do coeficiente global de transmissão de referência, que é de $4,30 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$. O fator de transmissão solar foi mantido visto este ser um valor comum, que pode ser aplicado nos diferentes modelos, na figura 22 é possível observar a interface de inserção dos dados relativamente aos vãos envidraçados no DesignBuilder.

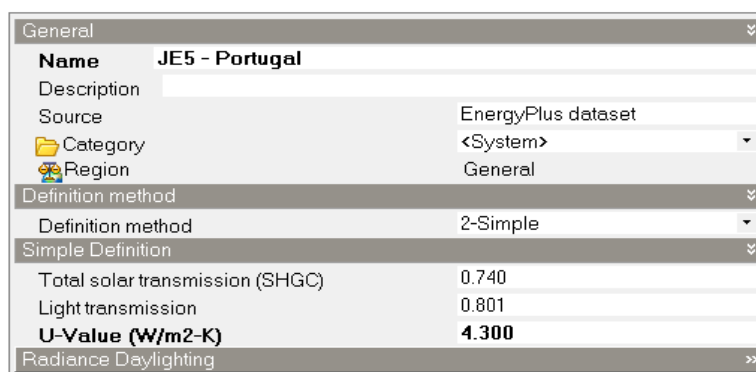


Figura 22 – Interface do DesignBuilder, caracterização dos vãos envidraçados

4.4. Cargas térmicas dos edifícios

Neste subcapítulo serão definidos os ganhos de carga térmica, que servirão como referência. Foi tido em conta a regulamentação em vigor, bem como as boas práticas de engenharia, no entanto não deverá ser considerado como um projeto de especialidade.

4.4.1. Caudais ar novo

Para se determinar o caudal de ar novo necessário a cada espaço recorreu-se ao método prescritivo, inclusive a as tabelas I.01 / I.04 / TI.05 da portaria N.º 353-A/2013 - Método de ventilação. Foi assumido uma eficácia de ventilação de 80%, que é a mais usual para o caso adotado.

Os requisitos de ocupação são por norma bastante empíricos, foi assumida uma densidade relativamente elevada, mas comum a um típico edifício de escritórios, com o auxílio da tabela I.04 definimos o tipo de espaço. Relativamente à ocupação, foram assumidos valores típicos, baseados nas dimensões das áreas da solução arquitetónica, ao qual em alguns casos (por exemplo: Restaurante) é possível visualizar os lugares sentados disponíveis na zona. A tabela 10 representa um excerto da ocupação e caudal de ar novo considerado.

Tabela 10 – Tabela Caudais de Ar Novo - Excerto

Sala N.º	Nome da Sala	Área Útil (m²)	Pé Direito (m)	Ocupação			METODO PRESCRITIVO - TABELA I.01 / TABELA I.04 / TABELA I.05 - PORTARIA N.º 253-A/2013 - Método de ventilação										Caudais projeto			
				Ocup.	m²/Ocup.	Ocup./m²	Tipo de Espaço (Tabela II.04)	Valores (ev) para diferentes métodos de ventilação (Tabela I.01)		Taxa de Metabolism o dos Ocupantes - M (met)	REQUISITO		OCUP.	ÁREA	Mínimo regulame ntar	Ar Novo			Ren	
								Configuração distribuição de ar na zona	EV		I/s.ocup	I/s.m²				I/s	I/s	I/s		I/s.ocup
0.1.	Escritório tipo A	53.71	2.6	6	9.0	0.12	Escritórios, Gabinetes, Secretarias, Salas de aula, Cinemas, Salas de espetáculo.	Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0.80	1.20	6.67	0.84	60	56.4	60	60	10	1.1	2.00	
0.2.	Escritório Tipo B	22.27	2.6	4	5.6	0.18	Escritórios, Gabinetes, Secretarias, Salas de aula, Cinemas, Salas de espetáculo.	Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0.80	1.20	6.67	0.84	40	23.39	40	40	10	1.8	3.00	
0.9.	Gabinete de direcção	27.51	2.6	4	6.9	0.15	Escritórios, Gabinetes, Secretarias, Salas de aula, Cinemas, Salas de espetáculo.	Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0.80	1.20	6.67	0.84	40	28.89	40	40	10	1.5	3.00	
0.14.	Restaurante	53.71	2.6	34	1.6	0.64	Escritórios, Gabinetes, Secretarias, Salas de aula, Cinemas, Salas de espetáculo.	Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0.80	1.20	6.67	0.84	340	56.4	340	340	10	6.3	9.00	

4.4.2. Iluminação

Para o cálculo dos ganhos através da iluminação, recorre-se aos Portaria n.º 17-A/2016 de 4 de fevereiro, onde se pode verificar os valores máximos de iluminação, fixando esse valor e assumindo uma potência típica de iluminação do tipo LED, o DesignBuilder assume uma solução com estes parâmetros de forma a contabilizar os ganhos térmicos que ocorrem.

$$DPI_{\text{corrigido}} = E \times \frac{DPI}{100_{\text{lux}}} \quad (\text{Eq. 8})$$

Em que:

$\frac{DPI}{100_{\text{lux}}}$ - Valor máximo de densidade de iluminação [(W/m²)/100_{lux}]

E – Nível de iluminância mantida [lux]

Utilizando a área conhecida de cada espaço do edifício, foi feita uma estimativa da potência de iluminação de cada espaço, o DesignBuilder faz o mesmo cálculo diretamente, apresentado pela seguinte fórmula:

$$P_i = \frac{A \times E \times DPI}{100} \quad (\text{Eq.9})$$

Em que:

P_i – Potência de iluminação [W]

A – Área do espaço [m²]

E – Nível de iluminância mantida [lux]

$\frac{DPI}{100}$ – Valor máximo de densidade de iluminação [(W/m²)/100_{lux}]

Na tabela 11, está indicado de forma resumida, alguns dos dados utilizados para efeitos de iluminação, de acordo com a metodologia considerada.

Tabela 11 – Tabela de Dados de Iluminação – Excerto

Sala Nº	Designação	Área Útil (m ²)	TIPOLOGIA DO ESPAÇO	Densidade iluminação [(w/m ²)/100lux]	Iluminância mantida (Lux)	Densidade iluminação Projeto (w/m ²)
0.1.	0.1. Escritório Tipo A	53.71	B	2.4	500	13
0.2.	0.2. Escritório Tipo B	22.27	B	2.4	500	13
0.9.	0.9.Gabinete de direcção	27.51	B	2.4	500	13
0.10.	0.10.Gabinete Gestor	23.41	B	2.4	500	13
0.11.	0.11.Pré Incubadora	52.81	E	2.4	500	13
0.12.	0.12.Gabinete Reuniões	20.74	B	2.4	500	13
0.14.	0.14.Restaurante	53.71	K	3.8	150	7

O *software* DesignBuilder calcula a solução de forma semelhante, pelo que só é necessário indicar a densidade de iluminação necessária [(w/m²)/100lux], em que vai utilizar a sua base de dados da iluminância [lux] a manter consoante a tipologia do espaço. Relativamente às frações dos ganhos de radiação (indicados como: *Return air fraction*, *Radiant fraction* e *Visible fraction*) utilizou-se os valores de referência do *software*, para representar luminárias típicas (figura 23).

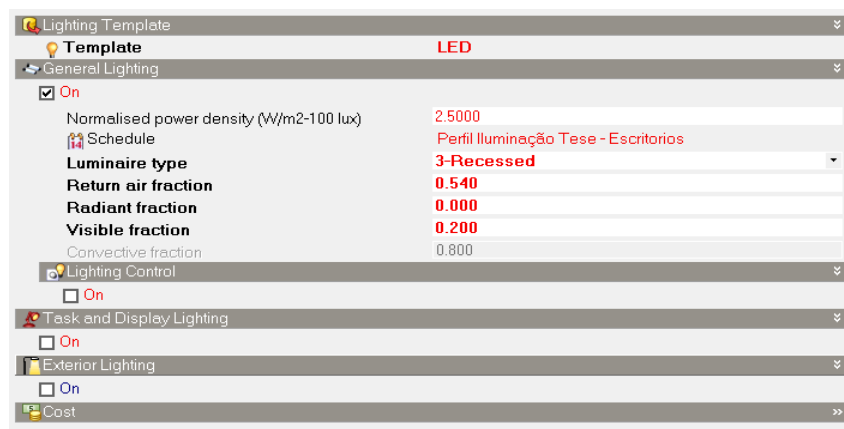


Figura 23 – Interface Input Dados de Iluminação: DesignBuilder

4.4.3. Equipamentos

Para determinação de ganhos térmicos derivado aos equipamentos foi feita uma estimativa em cada espaço, de acordo com a tipologia. Através da potência de cada equipamento e do número destes, é possível calcular a potência total instalada dos equipamentos elétricos para cada espaço, usualmente utiliza-se diferentes

coeficientes relativamente à dissipação térmica, mas para efeito de simplificação de cálculo irá ser assumido a potência de dissipação total (tabela 12).

Tabela 12 – Dados Dissipação Térmica Equipamentos

Sala Nº	Designação	Densidade de Iluminação (W/m ²)	Densidade de Ocupação (m ² /Pessoa)	Dissipação Equipamento			Obs.
				Equip. (W)	Coef. Diss. (%)	Carga (W)	
0.1.	0.1. Escritório Tipo A	13	8.95	233.85	100%	233.85	Climatizado
0.2.	0.2. Escritório Tipo B	13	5.57	96.96	100%	96.96	Climatizado
0.9.	0.9. Gabinete de direcção	13	6.88	119.78	100%	119.78	Climatizado
0.10.	0.10. Gabinete Gestor	13	11.71	210.69	100%	210.69	Climatizado
0.12.	0.12. Gabinete Reuniões	13	6.91	90.30	100%	90.30	Climatizado

4.4.4. Horários de Ocupação e Funcionamento.

Ocupação

Os horários de ocupação foram criados de acordo com os perfis de utilização típicos de escritórios, tendo em conta que o horário típico corresponde a 8h-18h, foi também criado horários para o restaurante, visto que o perfil de funcionamento deste é mais intenso no período das refeições ao longo do dia. O DesignBuilder permite criar horários em que a vantagem se reflete numa maior simplicidade dos dados de entrada, que permite melhorar o tempo de simulação ligeiramente, na figura 24 observa-se os valores de input para os horários de ocupação.

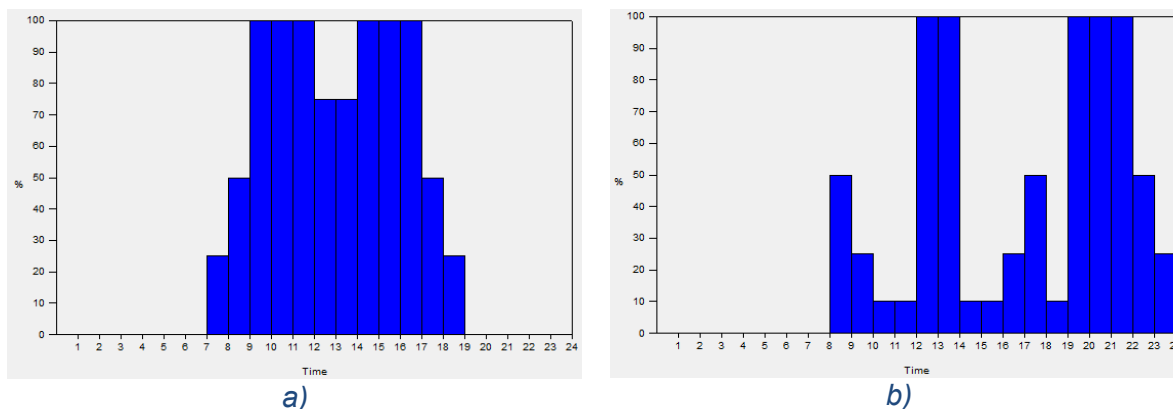


Figura 24 – Horário de Ocupação – a) Escritórios; b) Restaurante

Iluminação

Quanto aos horários de iluminação, para além de serem distintos entre os escritórios e o restaurante, também foram distinguidos de acordo com as estações, de forma a refletir melhor uma situação real. Torna-se útil diferenciar estes horários de forma a garantir que os ganhos térmicos interiores na estação de arrefecimento sejam sobredimensionados pelo software. (figura 25).

Restaurante

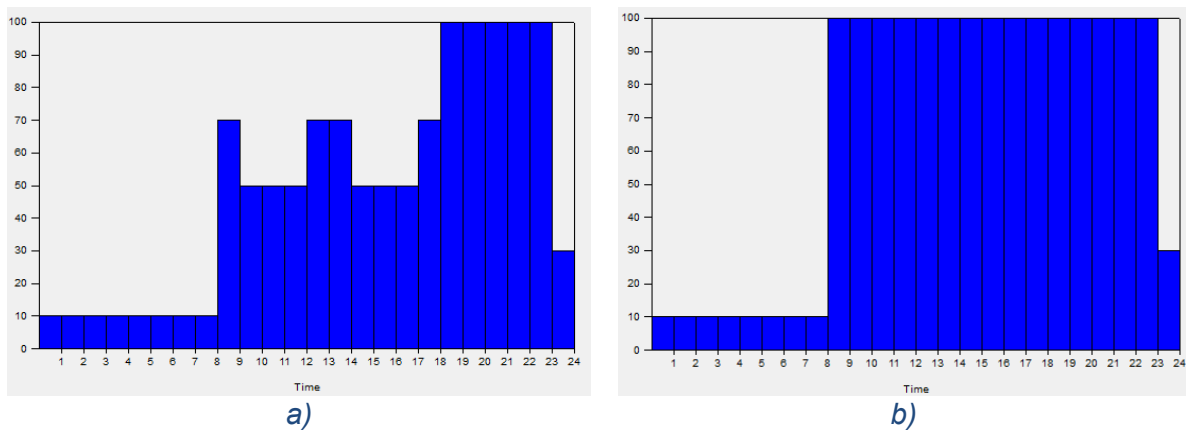


Figura 25 – Horário Iluminação Restaurante – a) Estação de Arrefecimento; b) Estação de Aquecimento

Escritórios

Da mesma forma que no Restaurante, nos escritórios foi tido em consideração a aplicação da racionalização de iluminação de acordo com a estação (figura 26).

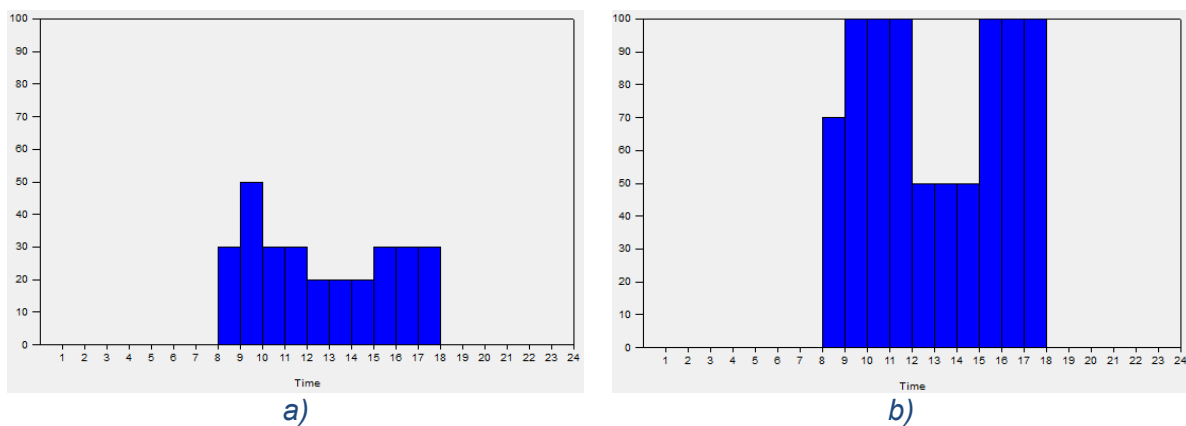


Figura 26 – Horário Iluminação Escritórios – a) Estação de Arrefecimento; b) Estação de Aquecimento

Equipamentos

Para os equipamentos a mesma abordagem foi utilizada de forma a diferenciar as zonas de escritórios e do restaurante. Contudo no restaurante as percentagens utilizadas são inferiores devido à elevada dissipação térmica que apresentam, pelo que se optou por limitar esse valor (figura 27).

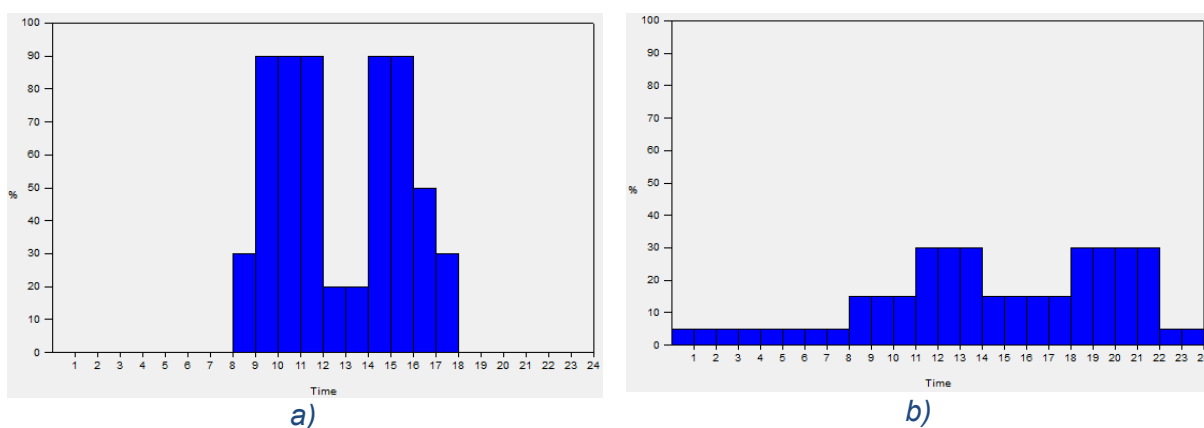


Figura 27 - Horário Equipamentos – a) Escritórios; b) Restaurante

4.5. Caracterização do sistema de AVAC

Após definir os dados relativamente aos ganhos e comportamento térmico das zonas e do edifício, procedeu-se à definição do sistema de AVAC para o edifício. Este será constituído por um equipamento *Chiller*/Bomba de calor representados individualmente, num sistema de 4 tubos a água, associado a uma UTAN e unidades terminais do tipo ventiloconvetor a 4 tubos, em que possuem 2 permutadores, um para a água fria e outro para água quente respetivamente. A UTAN possui baterias de calor e frio para preconditionar o ar novo e o respetivo ventilador, o conjunto é constituído por dois “*Decks*” em que na parte superior se encontra o ventilador de extração, de forma a contabilizar a extração de ar viciado nas zonas. Esta configuração servirá para se obter os dados relevantes das necessidades e consumos referentes ao sistema de AVAC para o edifício.

4.5.1. Geral

Foi considerado uma instalação a 4 tubos em que como unidades de produção térmica são um *Chiller* e uma bomba de calor, que irão fornecer água quente e fria para as baterias das Unidades de Tratamento de Ar novo e os ventiloconvectores. Escolheu-se por utilizar UTAN's separadas para a zona dos escritórios e do restaurante/zona de confeção, para facilitar a discriminação dos dados calculados (figura 28).

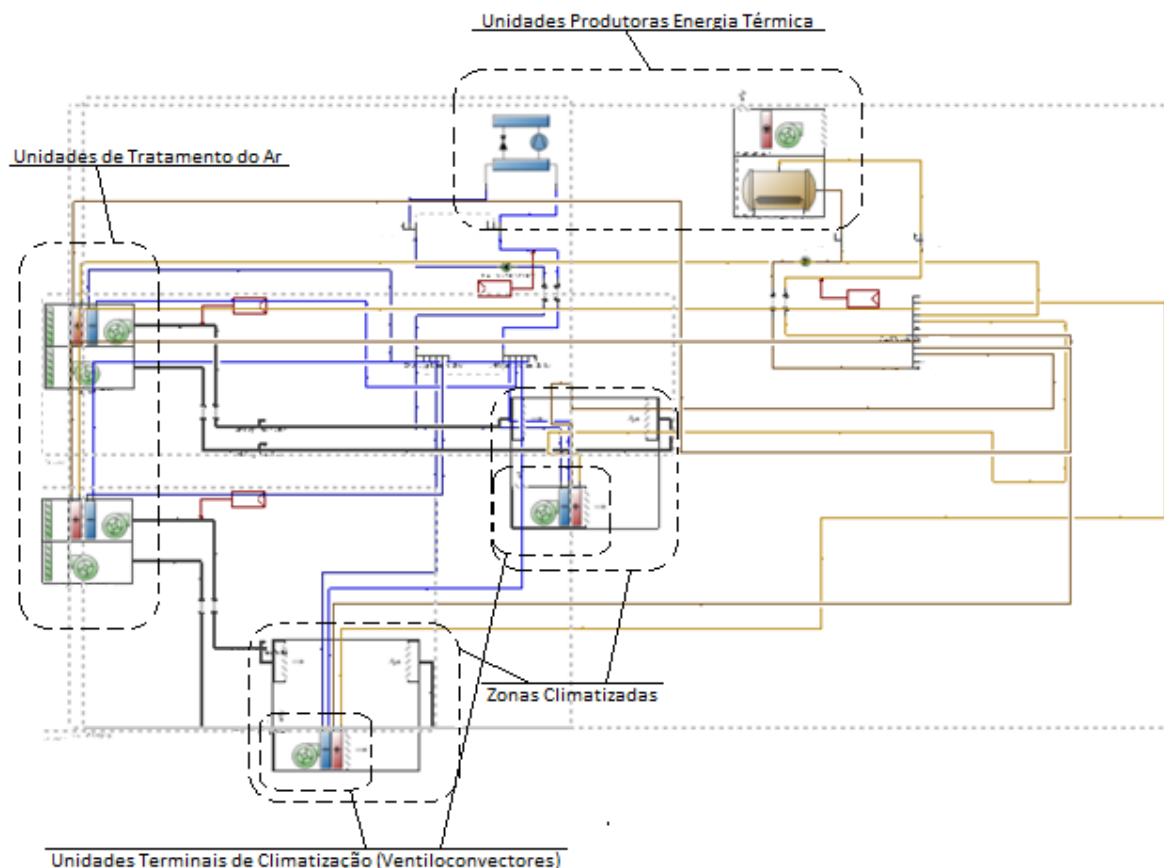


Figura 28 – Diagrama de Funcionamento sistema AVAC - DesignBuilder

4.5.2. Unidades de produção de energia térmica

CHILLER

O *Chiller* é um equipamento que remove calor de um fluido através de um ciclo de refrigeração por compressão ou absorção. Este fluido é depois circulado através de

um permutador de calor para arrefecer o equipamento ou outro fluido de trabalho (tal como água ou ar). Este processo cria uma quantidade de calor de rejeição, que por vezes pode ser aproveitado por um sistema de recuperação.

Água refrigerada é utilizada para arrefecer e desumidificar ar em médias e grandes instalações. Os *chillers* podem ser arrefecidos a água ou ar, ou ainda através de uma torre de refrigeração que pulveriza partículas de água que ao evaporarem absorvem o calor rejeitado. A figura 29 corresponde à representação visual do *Chiller* assumida pelo DesignBuilder.

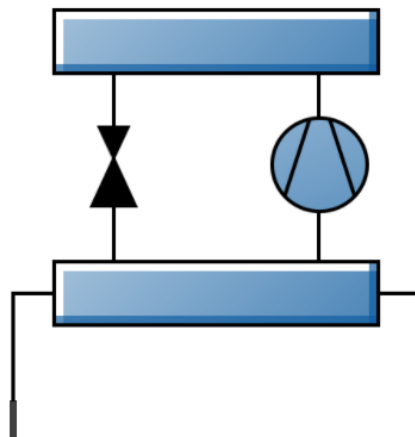


Figura 29 – Chiller -DesignBuilder

Em relação aos dados de caracterização do equipamento, representados nas figuras 30 e 31, grande parte dos valores assumidos pelo *software* são valores de referência usuais deste tipo de equipamento. Após alguns ajustes para dar mais rigor à simulação definiu-se os seguintes parâmetros.

General	
Name	Chiller 1 Trabalho
Source	
Category	Air Cooled
Chiller type	2-Electric EIR
Reference capacity (W)	Autosize
Reference COP	3.500
Compressor motor efficiency	1.000
Chiller flow mode	1-Constant flow
Sizing factor	1.000
Condenser	
Condenser type	1-Air cooled
Condenser fan power ratio	0.020
Temperatures	
Reference leaving chilled water temperature (°C)	7.000
Reference entering condenser fluid temperature (°C)	35.000
Flow Rates	
Reference chilled water flow rate (m3/s)	Autosize
Performance Curves	
<input checked="" type="checkbox"/> Cooling capacity function of temperature curve	DOE-2 Reciprocating/3.67COP CAPFT
<input checked="" type="checkbox"/> Electric input to cooling output ratio function of temperature curve	DOE-2 Reciprocating/3.67COP CAPFT
<input checked="" type="checkbox"/> Electric input to cooling output ratio function of part load ratio curve	DOE-2 Reciprocating/3.67COP CAPFT
Part Load Settings	
Minimum part load ratio	0.200
Maximum part load ratio	1.000
Optimum part load ratio	1.000
Minimum unloading ratio	0.200

Figura 30 – Interface Dados Chiller – DesignBuilder

General	
Name	CHW Loop Setpoint Manager
Type	1-Scheduled
Schedule	
Control variable	1-Temperature
Setpoint variable schedule	Chilled water flow set point temperature: Always 7 C Tese

Figura 31 – Interface Dados Chiller – DesignBuilder - Setpoint

Bomba de calor e depósito auxiliar

A bomba de calor é um equipamento que transfere energia térmica de uma fonte de calor para o espaço destinado. O sentido da transferência de calor é no sentido oposto ao da reação espontânea usual, em que o calor é absorvido de um espaço relativamente frio e depois rejeitado para um espaço mais quente. Para tal é utilizado uma pequena parte de energia externa, usualmente elétrica, para ser possível realizar esta transferência.

Enquanto que o ar condicionado e frigoríficos são exemplos familiares de bombas de calor, o termo “bomba de calor” é mais generalizado e aplicável a vários equipamentos de AVAC utilizados para aquecimento e arrefecimento dos espaços. Quando uma bomba de calor é utilizada para aquecimento, utiliza o mesmo ciclo básico de

refrigeração, mas na direção oposta, i.e., libertando o calor no espaço a condicionar em vez do meio envolvente, em que para tal, a bomba de calor retira energia da fonte fria. No modo de aquecimento, as bombas de calor apresentam uma eficácia entre 3 a 4 vezes superiores do que aquecimento através de resistências elétricas, usando a mesma quantidade de energia elétrica. No entanto, o custo de instalação da bomba de calor é superior, mas o custo é facilmente abatido nos gastos energéticos associados. A figura 32 indica a representação visual do equipamento em questão, por parte do DesignBuilder.

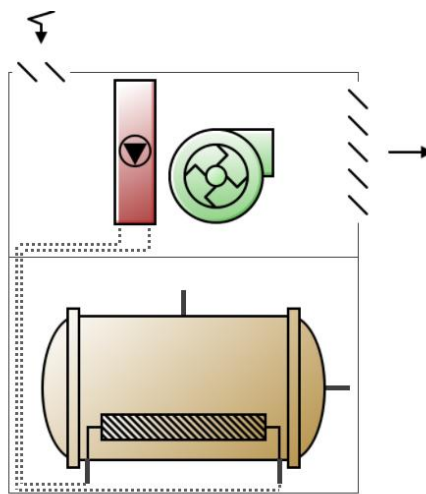


Figura 32 – Bomba de Calor e Depósito de Acumulação (DesignBuilder)

Os dados referentes à caracterização da bomba de calor encontram-se nas figuras 33 até 36. Tal como no caso anterior, vários dados de referência assumidos pelo DesignBuilder são típicos para o equipamento em questão, sendo necessário apenas uns ajustes.

General	
Name	Aux HW Loop HP Water Heater
Availability schedule	8:00 - 24:00 Mon - Fri
Compressor Settings	
Compressor setpoint temperature schedule	Hot Water flow set point temperature: Always 55.0 C Tese
Deadband temperature difference (deltaC)	5.00
Minimum inlet air temperature for compressor operation (°C)	-10.00
Compressor location	3-Outdoors
Flow Rate Settings	
Condenser water flow rate (m3/s)	Autocalculate
Evaporator air flow rate (m3/s)	Autocalculate
Inlet Air Settings	
Inlet air configuration	3-Outdoor air only
Fan Settings	
Fan placement	2-Draw through
Parasitic Load Settings	
On cycle parasitic electric load (W)	0.00
Off cycle parasitic electric load (W)	0.00
Parasitic heat rejection location	2-Outdoors

Figura 33 – Interface de input de dados para a bomba de calor – DesignBuilder

Tal como no caso do *chiller*, certos atributos, tais como o volume do depósito, podem ser dimensionados automaticamente pelo *software* de acordo com as necessidades do sistema.

General	
Name	Aux HW Loop HP Water Heater Water Heater
Type	1-Mixed
Tank volume (m3)	Autosize
External Heating Plant Connection	
<input checked="" type="checkbox"/> External heating plant connection	
Indirect water heating recovery time (hr)	1.50
Temperature Settings	
Setpoint temperature schedule	Hot Water flow set point temperature: Always 45.0 C Tese 2
Deadband temperature difference (deltaC)	5.00
Maximum temperature limit (°C)	90.00
Ambient Heat Transfer Settings	
Ambient temperature indicator	1-Schedule
Ambient temperature schedule	Water heater ambient temperature schedule: Always 20.00
Heat Loss Coefficients	
On-cycle loss coefficient to ambient temperature (W/K)	0.00
Off-cycle loss coefficient to ambient temperature	0.00

Figura 34 - Interface de input de dados para a bomba de calor - DesignBuilder –
Continuação 1

General	
Name	Aux HW Loop HP Water Heater HP Water Heating Coil
Rated heating capacity (W)	100000.00
Gross rated COP	4.000
Rated sensible heat ratio	0.7000
Evaporator Settings	
Rated evaporator inlet air dry-bulb temperature (°C)	29.40
Rated evaporator inlet air wet-bulb temperature (°C)	22.20
Rated evaporator air flow rate (m3/s)	Autocalculate
<input type="checkbox"/> Evaporator fan power included in rated COP	
Condenser Settings	
Rated condenser inlet water temperature (°C)	55.70
Rated condenser water flow rate (m3/s)	Autocalculate
<input type="checkbox"/> Condenser pump power included in rated COP	
<input type="checkbox"/> Condenser pump heat included in rated heating capacity and rated COP	
Condenser water pump power (W)	150.00
Fraction of condenser pump heat to water	0.200
Crankcase Heater Settings	
Crankcase heater capacity (W)	100.00
Maximum ambient temperature for crankcase heater operation (°C)	5.00
Performance Settings	
Evaporator air temperature type for curves	2-Wet-bulb temperature
<input checked="" type="checkbox"/> Heating capacity function of temperature	
<input checked="" type="checkbox"/> Heating capacity function of temperature curve	ASHP LowT CAPFT
<input type="checkbox"/> Heating capacity function of air flow fraction	
<input type="checkbox"/> Heating capacity function of water flow fraction	
<input checked="" type="checkbox"/> Heating COP function of temperature	
<input checked="" type="checkbox"/> Heating COP function of temperature curve	ASHP LowT COPFT
<input type="checkbox"/> Heating COP function of air flow fraction	
<input type="checkbox"/> Heating COP function of water flow fraction	

Figura 35 - Interface de input de dados para a bomba de calor – DesignBuilder – Continuação 2

General	
Name	Aux HW Loop Setpoint Manager
Type	1-Scheduled
Schedule	
Control variable	1-Temperature
Setpoint variable schedule	Hot Water flow set point temperature: Always 55.0 C Tese

Figura 36 - Interface de input de dados para a bomba de calor – DesignBuilder - Setpoint

4.5.3. Unidade de Tratamento do Ar Novo e Ventilador de Extração (UTAN + VE)

A UTAN (Unidade de Tratamento de Ar Novo) é um equipamento cuja função visa condicionar o ar novo antes de este entrar no espaço interior a que se destina. Usualmente possui baterias de calor e frio para manipular as condições do ar para ser

inserido no espaço. A figura 37 corresponde à representação visual do conjunto UTAN e VE (Ventilador de Extração).

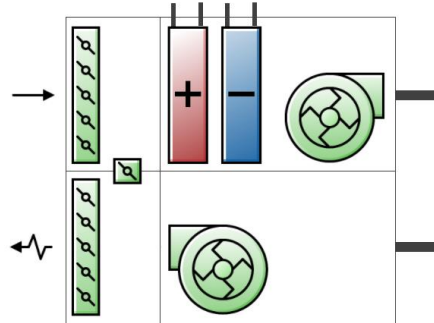


Figura 37 – UTAN e Ventilador de Extração – DesignBuilder

Relativamente à caracterização do equipamento, nas figuras 38 a 41 encontram-se os parâmetros de funcionamento adotados.

General	
Name	Air Loop
Sizing	
Design outdoor air flow rate (m3/s)	Autosize
Sizing option	1-Noncoincident
Type of load to size on	2-Ventilation requirement
System outdoor air method	1-Zone sum
Zone maximum outdoor air fraction	1.000
Heating	
Preheat design temperature (°C)	5.00
Preheat design humidity ratio	0.0080
Central heating design supply air temperature ...	22.00
100% outdoor air in heating	2-Yes
Central heating design supply air humidity ratio	0.008
Heating design air flow method	1-Design day
Cooling	
Precool design temperature (°C)	11.00
Precool design humidity ratio	0.0080
Central cooling design supply air temperature ...	24.00
100% outdoor air in cooling	2-Yes
Central cooling design supply air humidity ratio	0.0080
Cooling design air flow method	1-Design day

Figura 38 – Interface de input de dados para a UTAN e VE - DesignBuilder.

General	
Name	Air Loop Setpoint Manager
Type	1-Scheduled
Schedule	
Control variable	1-Temperature
Setpoint variable schedule	TESE_Air loop cooling set point temperature: Always 22.0 C

Figura 39 – Interface de input de dados para a UTAN e VE – DesignBuilder – Continuação 1

General	
Name	Air Loop AHU
Fan type	1-Constant volume
Design supply air flow rate (m3/s)	Autosize
Operation	
Availability schedule	8:00 - 18:00 Mon - Fri
Night Cycle	
<input type="checkbox"/> On	
Extract Fan	
<input checked="" type="checkbox"/> Include extract fan	
Mixed Mode Zone Equipment	
<input type="checkbox"/> Mixed mode on	

Figura 40 – Interface de input de dados para a UTAN e VE – DesignBuilder – Continuação 2

Recirculation	
<input type="checkbox"/> On	
Minimum outdoor air flow rate (m3/s)	Autosize
Maximum outdoor air flow rate (m3/s)	Autosize
Minimum limit type	2-Fixed minimum
Economiser (Free Cooling)	
Economiser control type	1-No economizer
Outdoor Air Schedules	
Demand Controlled Ventilation	
<input checked="" type="checkbox"/> Demand controlled ventilation	
System outdoor air method	1-Zone Sum
Zone maximum outdoor air fraction	1.00
Availability schedule	8:00 - 18:00 Mon - Fri
Heat Recovery	
<input type="checkbox"/> On	

Figura 41 - Interface de input de dados para a UTAN e VE – DesignBuilder – Continuação 3

4.5.4. Unidades Terminais de Climatização

O ventiloconvector é uma unidade constituída por um permutador ou conjunto de permutadores que podem servir para aquecimento ou arrefecimento. São unidades cujo fluido de trabalho é a água condicionada pelas unidades de produção de energia. Utilizados como unidades terminais que controlam as condições de temperatura do local a que se destinam. Possuem um controlo associado a um termóstato que por sua vez controla a quantidade de água a passar no permutador mediante uma válvula reguladora e/ou velocidade do ventilador.

Devido à sua simplicidade e flexibilidade, os ventiloconvectores são usualmente mais económicos a instalar do que sistemas do tipo “tudo-ar” de caudal de ar variável (VAV). Várias configurações estão disponíveis, incluindo unidades de conduta, consolas de chão ou teto, murais, etc. Na figura 42 encontra-se a representação visual do equipamento.

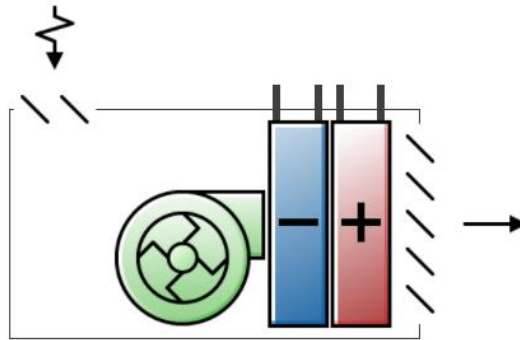


Figura 42 – Unidade do tipo Ventiloconvector – DesignBuilder

Quanto aos parâmetros deste equipamento, representados na figura 43, são talvez os mais simples, em que grande parte até será dimensionada de forma automática na simulação.

General	
Name	Piso0:0X1 4XRestaurante Fan Coil Unit
Maximum supply air flow rate (m3/s)	Autosize
Capacity control method	1-Constant fan variable water flow
Fan type	2-Constant volume fan
Outdoor Air Supply	
<input type="checkbox"/> Outdoor air supply	
Operation	
Availability schedule	
Heating Coil	
Maximum hot water flow rate (m3/s)	Autosize
Minimum hot water flow rate (m3/s)	0.000000
Cooling Coil	
Maximum cold water flow rate (m3/s)	Autosize
Minimum cold water flow rate (m3/s)	0.000000
Advanced	

Figura 43 - Interface de input de dados para Ventiloconvector– DesignBuilder

4.5.5. Caracterização das Zonas

Quanto à caracterização das zonas esta foi baseada segundo o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS). Foi tido em conta a tipologia referida anteriormente, mediante à atividade ao qual o espaço se destina, nomeadamente a zona de escritórios e o restaurante. Na figura 44 está representada a representação visual da zona, que inclui a unidade terminal

considerada. Os parâmetros de caracterização das zonas estão indicados na figura 45. As temperaturas interiores consideradas a manter nos espaços (escritórios e restaurante) foram de 22°C para aquecimento e 24°C para arrefecimento.

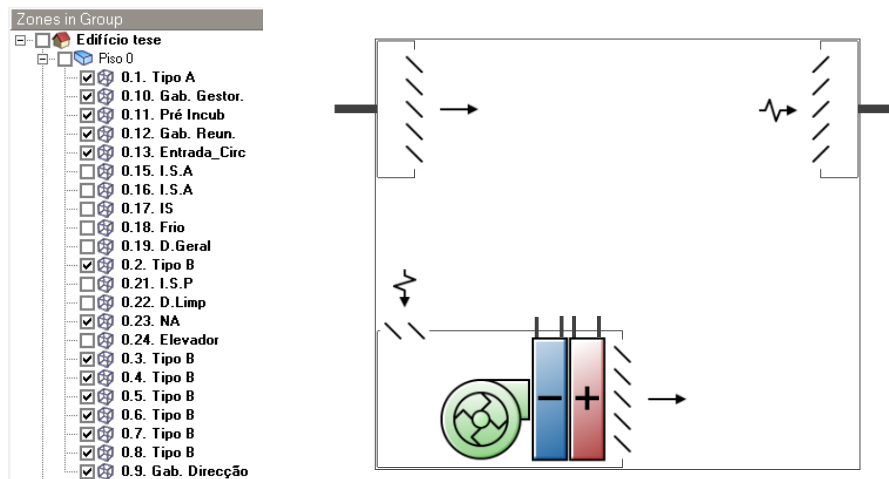


Figura 44 – Zona Climatizada – DesignBuilder – Exemplo Piso 0

General	
Name	Piso0:0X14XRestaurante
Humidistat Control	>>
CO2 and Contaminant Control	>>
Zone Air Distribution Effectiveness	>>
Sizing	
Cooling Sizing	
Cooling design supply air temperature input method	1-Supply air temperature
Cooling design supply air temperature (°C)	14.000
Cooling design supply air humidity ratio	0.009
Cooling minimum air flow fraction (turndown ratio)	0.000
Zone cooling sizing factor	1.150
Cooling design air flow method	1-Design day
Heating Sizing	
Heating design supply air temperature input method	1-Supply air temperature
Heating design supply air temperature (°C)	50.000
Heating design supply air humidity ratio	0.004
Zone heating sizing factor	1.250
Heating design air flow method	1-Design day
Outside Air Sizing	
Outside air method	3-Flow/Area
Outside air flow per zone floor area (m3/s-m2)	0.005275
Dedicated Outdoor Air System (DOAS)	
<input type="checkbox"/> Include DOAS system?	

Figura 45 - - Interface de input de dados para a zona (exemplo: Restaurante)– DesignBuilder

4.6. Condições de Simulação

4.6.1. Cenários de Referência

Numa abordagem inicial, serão considerados as condições climáticas, soluções construtivas e sistema de AVAC de referência, descritos ao longo do capítulo. Os resultados obtidos serão comparados às simulações realizadas com incorporação de PCM na envolvente construtiva e serão utilizados para o cálculo da aplicação de tanques PCM bem como para efeitos de comparação relativamente à solução inicial.

4.6.2. Incorporação de PCM nas soluções construtivas

Para as soluções com incorporação de PCM na envolvente, numa primeira abordagem, a aplicação foi feita adjacente à camada exterior (i.e., granito para as superfícies das paredes e asfalto para a superfície da cobertura). Esta localização foi definida tendo assumido que os ganhos de radiação e convecção do meio exterior seriam maiores e, portanto, permite uma maior amplitude de temperaturas nas camadas de PCM, promovendo as ocorrências de mudança de fase deste. A figura 46 representa a localização e espessura assumida pelo DesignBuilder para a camada de PCM. Este tipo de configuração será simulada para cada região como meio de comparação ao modelo de referência, contudo mais uma simulação foi feita para Lisboa com a camada de PCM mais perto da superfície interior como possível. Esta será comparada com as outras simulações, de forma a obter um melhor conhecimento sobre o comportamento térmico relacionado com a localização entre camadas (A. Lambrou, 2018).

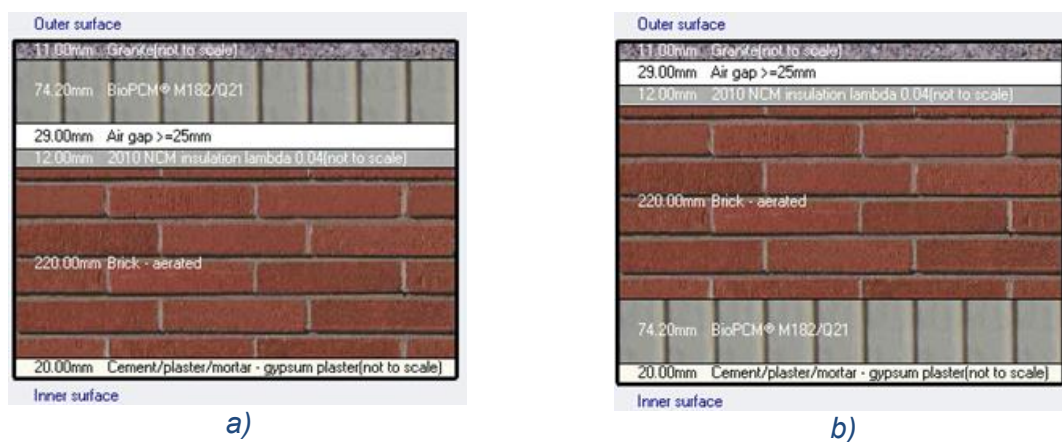


Figura 46 – Aplicação de PCM na solução construtiva – a) junto à superfície exterior; b) junto à superfície interior

4.6.3. Metodologia de análise – Incorporação de sistema de acumulação térmica com PCM

Para a análise descrita, recorre-se a um sistema de acumulação térmica latente (LTES) baseada na solução de projeto TESSe2b (Coelho, 2018). A solução é baseada em tanques modulares de frio (tanques CPCM) e de quente (HPCM), com os permutadores imersos no PCM correspondente a cada tanque. Infelizmente o DesignBuilder não possui as ferramentas necessárias para contabilizar a aplicação de acumulação térmica latente, pelo que será efetuada uma análise utilizando o Excel como ferramenta de cálculo, de forma a contabilizar o efeito dessa aplicação, aproveitando os dados dos resultados de referência (necessidades energéticas, consumos, etc.) e as características dos tanques de PCM de acordo com a sua aplicação estratégica. A figura 47 representa um esquema simplificado da integração dos tanques CPCM e HPCM no sistema de AVAC.

Os tanques estão associados ao chiller e bomba de calor, o sistema de distribuição está associado às UTAN's e ventiloconvectores. O objetivo do armazenamento térmico será complementar as necessidades de energia ao longo do dia. Desta forma é possível tirar vantagem do período com tarifa elétrica reduzida, contribuindo para a flexibilidade da rede elétrica e tirar vantagem das condições de operação com eficiências energéticas superiores.

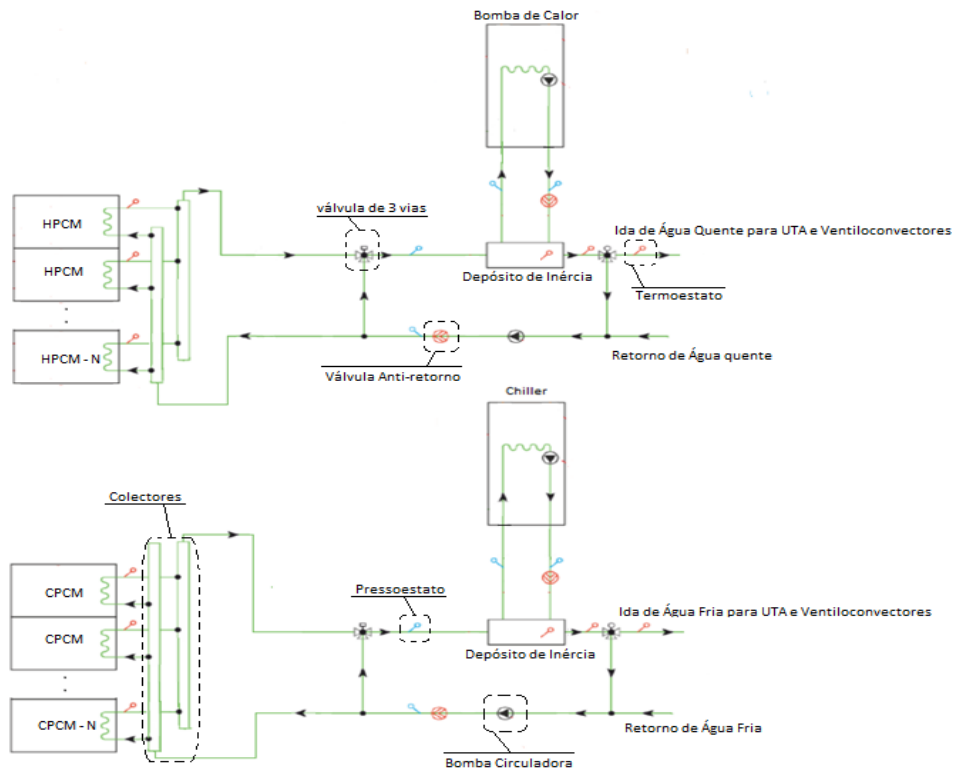


Figura 47 – Esquema simplificado da integração dos tanques PCM, com o sistema AVAC

Os modos de operação considerando os tanques de acumulação são os seguintes:

Operação de aquecimento: Carregamento dos tanques HPCM através das bombas de calor; fornecimento de aquecimento através dos tanques HPCM; fornecimento de aquecimento através das bombas de calor; bombas de calor a fornecer aquecimento ao edifício e a carregar os tanques HPCM em simultâneo.

Operação de arrefecimento: Carregamento dos tanques CPCM através do *chiller*; fornecimento de arrefecimento através dos tanques CPCM; fornecimento de arrefecimento através do *chiller*; *Chiller* a fornecer arrefecimento ao edifício e a carregar os tanques CPCM em simultâneo.

Os tanques de armazenamento foram baseados nos resultados do projeto TESSe2b. Os tanques foram desenhados de uma forma compacta e modular. Cada tanque é constituído por uma envolvente polimérica com uma tampa do mesmo material, em que o permutador se encontra imerso no PCM. A geometria e dimensões do tanque são iguais para o CPCM e HPCM. Na envolvente do tanque foi adicionado isolamento de poliuretano. O conjunto completo (tanque, alhetas, tampa, isolamento, apoios) é

colocado dentro de um invólucro metálico retangular, em que no topo é colocada a tampa metálica. Por último, de forma a facilitar o manuseamento e transporte do tanque, uma estrutura de apoio feita em madeira foi fabricada, na figura 49 é possível visualizar os tanques nos seus diferentes estados.

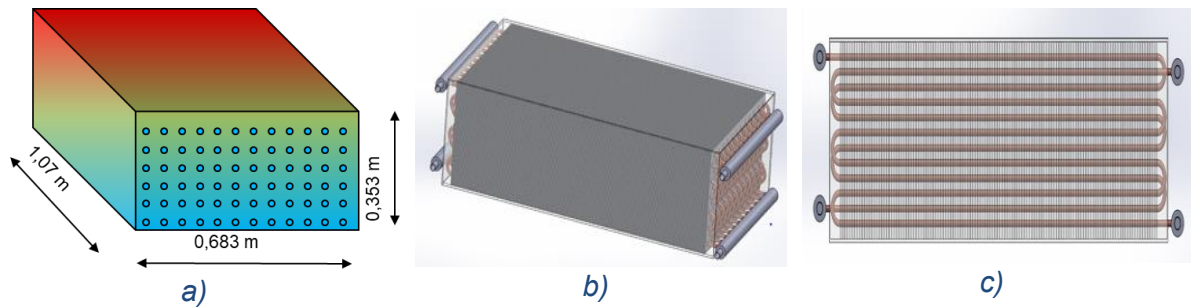


Figura 48 – Tanques PCM – Modelação Computacional – TESSe2b

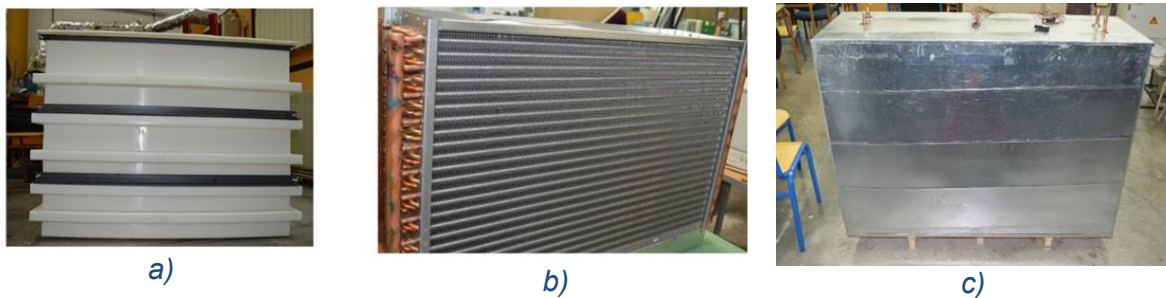


Figura 49 – Tanques PCM: a) – reservatório plástico; b) – Permutador de calor; c) Tanque PCM completo

Para o estudo foi utilizado PCM parafínico, sendo que o fornecedor é a PCM Products Ltd (U.K), parceira do projeto TESSe2b. O PCM parafínico utilizado identifica-se como A9 para o tanque CPCM e A44 para os tanques HPCM. A tabela 13 demonstra as principais propriedades destes PCM's e a figura 50 as características de cada tanque.

O projeto TESSe2b desenvolveu também uma solução que utiliza tanques com PCM de sais hidratados, as maiores desvantagens que estes apresentam são nomeadamente ao nível da corrosão, ao qual foi aplicada uma camada anticorrosiva para aumentar a vida útil do tanque, contudo não suporta tantos ciclos térmicos como no caso do tanque com PCM parafínico. Possuem também uma complexidade superior, o que incrementa o valor do seu fabrico. No entanto o uso de diferente tipo de PCM abre a possibilidade de se obter resultados interessantes. Em trabalhos

futuros irá ser abordado a utilização da solução de tanques PCM à base de sais hidratados.

Tanque HPCM				Tanque CPCM			
Material PCM	A44			Material PCM	A9		
Massa específica PCM	805 kg/m ³			Massa específica PCM	805 kg/m ³		
Delta h	268 kJ/kg			Delta h	180 kJ/kg		
Numero de tubos (6 m), (por cada permutador de calor)	12	12 *2 (disarg.)		Numero de tubos (6 m), (por cada permutador de calor)	12		
Numero de passagens por tubo	6			Numero de passagens por tubo	6		
Espaçamento entre tubos (mm)	55 (entre tubos do mesmo permutador)			Espaçamento entre Tubos (mm)	55		
L (m)	0.683	H (m)	0.353	C (m)	1.07		
Volume Total	0.257 m ³		257.4 litros	Volume Total	0.257 m ³		257.4 litros
Volume PCM (net):	0.2080 m ³		208.0 litros	Volume PCM (net):	0.214 m ³		214.3 litros
Massa PCM	167.5 kg			Massa PCM	172.5 kg		
Energia	44884.4 kJ	12.47 kWh		Energia	31052.6 kJ	8.63 kWh	
Capacidade Aquecimento	2.16 kW			Capacidade Arrefecimento	2.16 kW		
Densidade Armazenamento	48.4 kWh/m ³			Densidade Armazenamento Térmico	33.5 kWh/m ³		

a)

b)

Figura 50 – Características Tanques PCM – a) HPCM; b) CPCM

Tabela 13 – Propriedades PCM utilizados

Tipo de PCM	Ponto Fusão [°C]	Ponto Cristalização [°C]	Calor de Fusão [kJ/kg]		Condutividade Térmica [W/(m.K)]		Densidade [kg/m ³]	
			Sólido para Líquido	Líquido para Sólido	Fase Líquida	Fase Sólida	Fase Líquida	Fase Sólida
Cera Parafínica - A9	9	8	180	181	0.24	0.24	775	830
Cera Parafínica - A44	44	45,5	268	268	0.24	0.24	754	912

5. Análise de Resultados

5.1. Resultados referência

Terminada a fase de simulações para os modelos de referência, é possível observar vários resultados, ao qual as necessidades de aquecimento, de arrefecimento e os consumos energéticos ao longo do ano, foram analisadas com uma atenção especial. Estes resultados servem como comparação para o estudo do efeito da camada de PCM na aplicação da envolvente.

Tabela 14 – Resultados de Referência – Necessidades e consumos

	Necessidade de Aquecimento Anual [kWh]	Necessidade de Arrefecimento Anual [kWh]	Consumo Elétrico Aquecimento [€]	Consumo Elétrico Arrefecimento [€]	Consumo Total Eletricidade [€]
Lisboa	17543	62301	625	3072	3697
Barcelona	29494	48214	1130	2423	3553
Graz	50059	47234	2355	2190	4545
Varsóvia	51758	51100	2464	2308	4772

Observando a tabela 14, para os casos de referência, é possível identificar que Varsóvia possui as maiores necessidades de aquecimento, devido às suas condições climáticas adversas. Apesar de o clima ser mais frio do que por exemplo Barcelona, as necessidades de arrefecimento são maiores devido à inercia térmica superior. Estas diferenças também podem ser observadas para os consumos de energia elétrica para aquecimento e arrefecimento. No caso de Portugal, devido às suas condições climáticas moderadas no Inverno e relativamente intensas no Verão, é o que possui as menores necessidades de aquecimento face ao arrefecimento.

5.2. Resultados Aplicação PCM solução construtiva

Após simular os modelos com PCM incorporado, observando a tabela 15, é possível verificar que em geral, o efeito do PCM na envolvente térmica é muito reduzido ou desprezável. A maior redução ocorre para Barcelona, nas suas necessidades de aquecimento (-5,5%), contudo as suas necessidades de arrefecimento aumentam em +2,6%. Isto significa que no final do ano, os custos de eletricidade se mantêm praticamente os mesmos (-0,4%).

Em todas as localizações, as necessidades de aquecimento sofrem uma redução (desde -1,0% em Varsóvia até -5,5% em Barcelona). De uma forma análoga, as necessidades de arrefecimento sofrem um incremento (de +0,3% em Lisboa até +2,8% em Barcelona e Graz).

O efeito da temperatura de fusão do PCM (21°C ou 29°C) é desprezável para os casos estudados, tendo apenas um pequeno efeito no aumento das necessidades de arrefecimento em Lisboa, quando se utiliza um PCM com uma temperatura de fusão de 29°C em vez de 23°C.

Outra simulação foi realizada para verificar o comportamento do PCM numa localização mais próxima da superfície interior da envolvente térmica, considerando os resultados de alguns estudos, tais como o apresentado por Gao, Y. et al (Gao, 2017) em que foi concluído “a aplicação da camada de PCM pode reduzir a temperatura da superfície interior da parede e a flutuação do fluxo de calor, e quanto mais próximo à superfície interior, mais óbvio se torna o fenómeno, o que significa que melhor é o efeito de melhoria do conforto térmico interior e o desempenho da envolvente térmica”. Esta simulação foi efetuada para se averiguar o impacto de tal localização, portanto para este estudo só foi considerado o modelo de Lisboa, utilizando-se o BioPCM M182/Q21 e o BioPCM M182/Q29. Os resultados podem ser observados na tabela 16. Comparando os custos totais de eletricidade, o BioPCM M182/Q21 junto à superfície interior apresenta alguma melhoria subtil, no entanto continua a ser demasiado reduzida. A pior opção é o BioPCM M182/Q29 ao qual não demonstra qualquer vantagem. Um outro resultado interessante relativamente à utilização do BioPCM M182/Q23 junto à superfície interior, é o aumento das necessidades de arrefecimento, mas com custos de eletricidade inferiores. Isto tem a ver com o desfasamento do pico de arrefecimento da parte do Chiller para períodos com temperaturas do ar exterior inferiores, que por sua vez, permite o Chiller produzir frio com eficiências superiores.

Tabela 15 – Resultados Solução construtiva de Referência VS Incorporação PCM

	Necessidade de Aquecimento Anual [kWh]	Necessidade de Arrefecimento Anual [kWh]	Consumo Elétrico Aquecimento [€]	Consumo Elétrico Arrefecimento [€]	Consumo Total Eletricidade [€]
Lisboa (REF.)	17543	62301	625	3072	3697
Lisboa (Q21)	16973 (-3.2%)	62514 (+0.3%)	604 (-3.3%)	3122 (+1.6%)	3726 (+0.8%)
Lisboa (Q29)	16996 (-3.1%)	63519 (+2.0%)	605 (-3.2%)	3121 (+1.6%)	3726 (+0.8%)
Barcelona (REF.)	29494	48214	1130	2423	3553
Barcelona (Q21)	27862 (-5.5%)	49454 (+2.6%)	1065 (-6.7%)	2475 (+2.1%)	3540 (-0.4%)
Barcelona (Q29)	27893 (-5.4%)	49543 (+2.8%)	1066 (-5.7%)	2479 (+2.3%)	3545 (-0.2%)
Graz (REF.)	50059	47234	2355	2190	4545
Graz (Q21)	49041 (-2.0%)	48531 (+2.7%)	2304 (-2.2%)	2243 (+2.4%)	4547 (-0.1%)
Graz (Q29)	49052 (-2.0%)	48556 (+2.8%)	2304 (-2.2%)	2244 (+2.5%)	4548 (-0.1%)
Varsóvia (REF.)	51758	51100	2464	2308	4772
Varsóvia (Q21)	51248 (-1.0%)	52055 (+1.9%)	2437 (-1.1%)	2347 (+1.7%)	4784 (+0.3%)
Varsóvia (Q29)	51247 (-1.0%)	52087 (+1.9%)	2437 (-1.1%)	2349 (+1.8%)	4786 (+0.3%)

Tabela 16 - Resultados Solução construtiva de Referência VS Incorporação PCM Int. VS Incorporação PCM Ext.

	Necessidade de Aquecimento Anual [kWh]	Necessidade de Arrefecimento Anual [kWh]	Consumo Elétrico Aquecimento [€]	Consumo Elétrico Arrefecimento [€]	Consumo Total Eletricidade [€]
Lisboa (REF.)	17543	62301	625	3072	3697
Lisboa (Q21 ext)	16973 (-3.2%)	62514 (+0.3%)	604 (-3.3%)	3122 (+1.6%)	3726 (+0.8%)
Lisboa (Q29 ext)	16996 (-3.1%)	63519 (+2.0%)	605 (-3.2%)	3121 (+1.6%)	3726 (+0.8%)
Lisboa (Q21 int.)	16874 (-3.8%)	62775 (+0.8%)	600 (-4.0%)	3087 (+0.5%)	3687 (-0.3%)
Lisboa (Q29 int.)	17051 (-2.8%)	63597 (+2.1%)	607 (-2.9%)	3126 (+1.8%)	3733 (+1.0%)

5.3. Resultados Aplicação PCM TES

Um estudo foi efetuado para averiguar a influência da utilização de tanques HPCM e CPCM para efeitos de redução de custos energéticos e um aumento de eficiência energética.

O mesmo edifício foi simulado para as quatro zonas climáticas estabelecidas (Lisboa, Barcelona, Graz e Varsóvia) utilizando as envolventes térmicas respetivas de referência.

O maior objetivo da utilização de sistemas LTES é desviar a produção de energia térmica do horário diurno, para o noturno, o máximo possível, podendo contribuir para a flexibilidade da rede elétrica, para aumentar a eficiência energética do *Chiller* (durante a estação de arrefecimento) e para aproveitar a tarifa elétrica reduzida (considerando tarifário variável ao longo do dia).

Para avaliar a influência da alteração do horário de funcionamento do Chiller e Bomba de calor, em termos de eficiência energética, foi considerado as curvas de variação do COP de acordo com a temperatura exterior. Estas curvas são funções biquadráticas existentes na base de dados do software DesignBuilder. O COP nominal considerado para o Chiller foi de 3,5 e para a Bomba de calor foi de 4. Durante a estação de arrefecimento é vantajoso utilizar o Chiller durante o período noturno, quando a temperatura exterior é inferior em relação ao dia, aumentando assim a

eficiência do Chiller. No entanto, durante a estação de aquecimento ocorre o oposto, a eficiência da Bomba de calor diminui.

Para estudar a influência da alteração horária do funcionamento em termos de custos energéticos, foi considerado duas tarifas típicas de energia elétrica diferentes, 0,20€/kWh (período entre as 8h – 24h), e 0,10€/kWh (período entre 0h – 7h), que coincidem com as tarifas consideradas nas tabelas 14 a 16.

Para cada localização foi estudada a influência do número de tanques HPCM e CPCM para o custo anual de energia elétrica e eficiência energética. A figura 51 representa a evolução dos custos anuais, representado no eixo das ordenadas do lado esquerdo e analogamente, no eixo direito está representada a variação da eficiência energética do *Chiller* para diferentes números de tanques CPCM, comparando com os resultados do modelo de referência (Tabela 14).

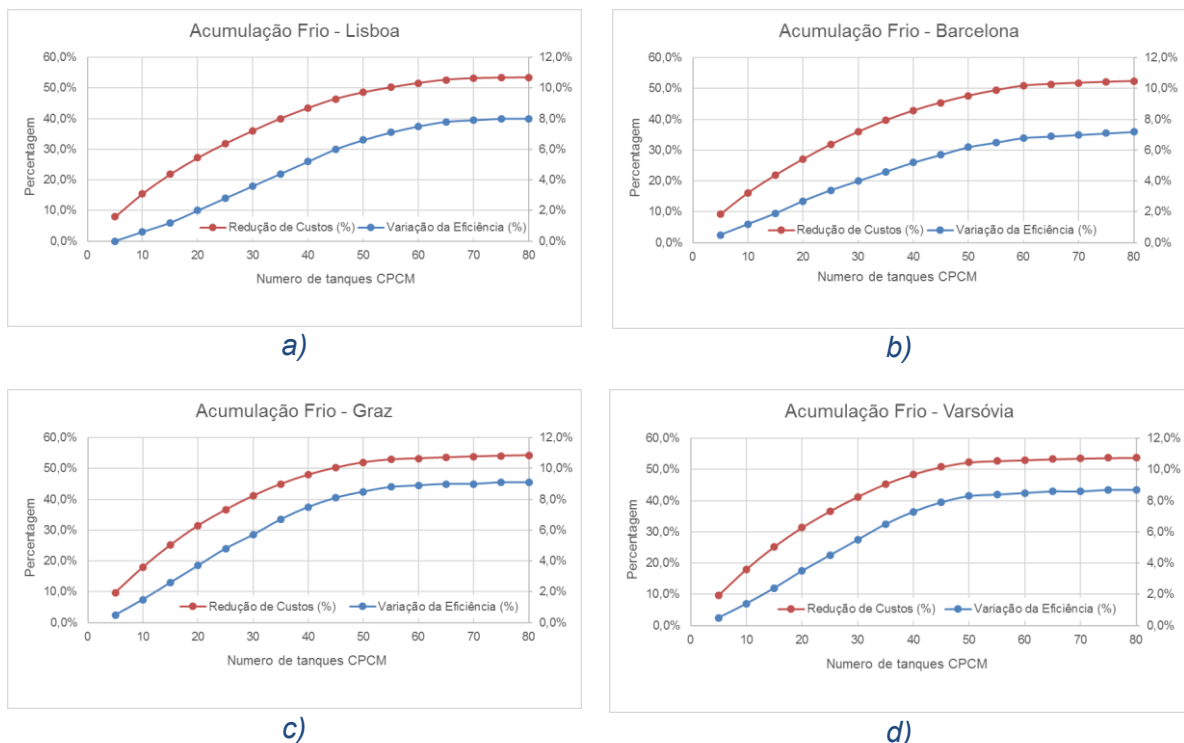


Figura 51 - Evolução dos custos anuais e variação da eficiência VS Nº Tanques CPCM: a) Lisboa; b) Barcelona; c) Graz; d) Varsóvia

De forma a fixar a redução de custos a 30%, estimando-se um período de retorno entre os 7 e 9 anos, obtem-se o número de tanques indicado na tabela 17.

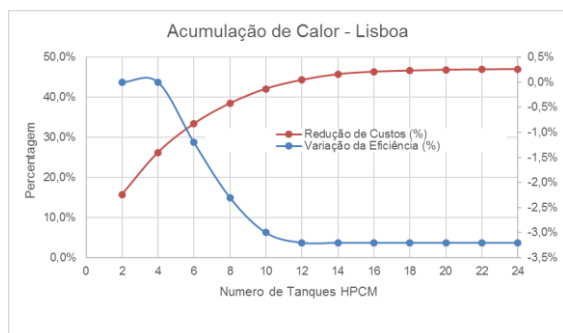
Tabela 17 -- Número de Tanques CPCM ideal por local simulado – a) Lisboa; b) Barcelona; c) Graz, d) Varsóvia

Numero de tanques	25	
Volume Total	6.436 m ³	6435.5 litros
Energia	776315.4 kJ	215.64 kWh
Capacidade Arrefecimento	54 kW	
<i>a)</i>		
Numero de tanques	25	
Volume Total	6.436 m ³	6435.5 litros
Energia	776315.4 kJ	215.64 kWh
Capacidade Arrefecimento	54 kW	
<i>b)</i>		
Numero de tanques	20	
Volume Total	5.148 m ³	5148.4 litros
Energia	621052.3 kJ	172.51 kWh
Capacidade Arrefecimento	43.2 kW	
<i>c)</i>		
Numero de tanques	16	
Volume Total	4.119 m ³	4118.8 litros
Energia	496841.8 kJ	138.01 kWh
Capacidade Arrefecimento	34.56 kW	
<i>d)</i>		

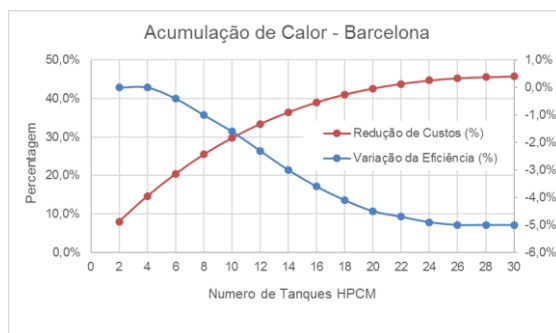
Analisando a figura 51 é possível observar que para Lisboa e Barcelona, a redução dos custos estabiliza a partir de 60 tanques CPCM, enquanto que para Graz e Varsóvia isso ocorre a partir dos 50 tanques CPCM. Para todas as localizações é possível reduzir os custos de energia elétrica anual em 50%.

Analisando a variação da eficiência energética do *Chiller*, é possível observar que a alteração do horário de operação para o período noturno permite aumentar a eficiência entre 7% a 9%. Portanto a redução do custo no modo de arrefecimento tem duas componentes, tarifas de energia elétrica inferiores à noite e maior eficiência do *Chiller* devido às temperaturas mais baixas. A redução máxima dos custos de eletricidade para arrefecimento é entre os 52% (para Barcelona) e 54% (para Graz).

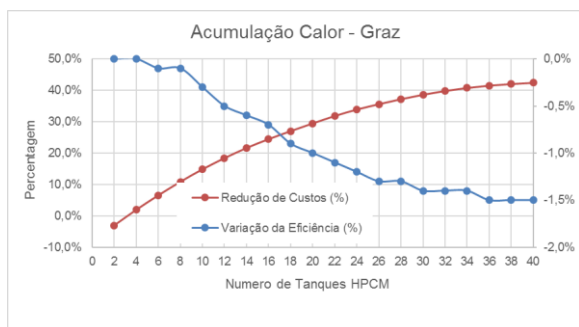
A figura 52 representa a evolução dos custos anuais em aquecimento e variação da eficiência energética da Bomba de calor utilizando a mesma representação que a figura anterior, para números diferentes de tanques HPCM. É possível verificar que para Lisboa a redução dos custos estabiliza a partir de 16 tanques HPCM, para Barcelona a partir de 25, enquanto que para Graz e Varsóvia acontece a partir de 38 tanques. Este número é muito dependente das condições climáticas de cada local.



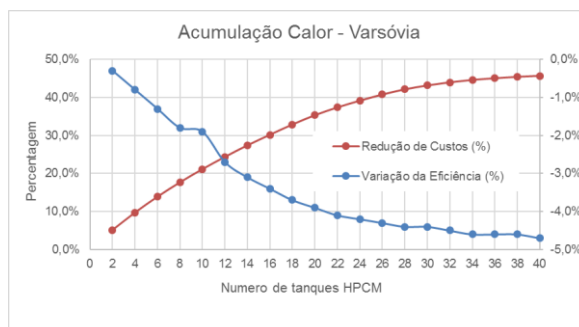
a)



b)



c)



d)

Figura 52 - Evolução dos custos anuais e variação da eficiência VS Nº Tanques HPCM: a) Lisboa; b) Barcelona; c) Graz; d) Varsóvia

Tabela 18 - Número de Tanques HPCM por local simulado – a) Lisboa; b) Barcelona; c) Graz, d) Varsóvia

Numero de tanques	6	
Volume Total	1.545 m ³	1544.5 litros
Energia	269306.2 kJ	74.81 kWh
Capacidade Aquecimento	12.96 kW	

a)

Numero de tanques	10	
Volume Total	2.574 m ³	2574.2 litros
Energia	448843.6 kJ	124.68 kWh
Capacidade Aquecimento	21.6 kW	

b)

Numero de tanques	22	
Volume Total	5.663 m ³	5663.3 litros
Energia	987456.0 kJ	274.29 kWh
Capacidade Aquecimento	47.52 kW	

c)

Numero de tanques	20	
Volume Total	5.148 m ³	5148.4 litros
Energia	897687.3 kJ	249.36 kWh
Capacidade Aquecimento	43.2 kW	

d)

Analisando a variação da eficiência energética da Bomba de calor é possível observar que a alteração de horário de operação para o período noturno diminui a eficiência entre 1,5% (para Graz) até 5% (para Barcelona), dependendo mais uma vez, das condições climáticas.

Apesar da diminuição da eficiência da Bomba de calor, os custos de energia para aquecimento podem ser reduzidos por causa das tarifas elétricas inferiores à noite. As reduções máximas dos custos de aquecimento são entre os 42% para (para Graz) e 47% (para Lisboa).

O retorno do investimento depende dos custos de eletricidade, número de tanques PCM, das necessidades de aquecimento e arrefecimento do edifício, o seu período de funcionamento e as condições climáticas de cada local.

Com a incorporação do sistema de acumulação térmica, torna-se possível a aplicação de um controlo de gestão energético interessante. Como mencionado anteriormente, consegue-se compensar o desfasamento entre as necessidades e disponibilidade energética. Nas tabelas 19 e 20, observa-se de forma resumida a quantificação energética associada a essa aplicação. No caso do arrefecimento, é possível uma transferência de produção térmica para o horário entre os 53,6% (Varsóvia), e os 64,3% (Lisboa). No aquecimento obtemos valores superiores, variando entre os 63% (Barcelona), até 80,5 (Graz).

Tabela 19 – Produção de Energia – Aplicação de tanques CPCM – a) Lisboa; b) Barcelona, c) Graz, d) Varsóvia

Análise Energética Arrefecimento (anual)	
Necessidades de Arrefecimento Edifício (kWh)	62301
Necessidades de Arrefecimento Edifício Mai-Out (kWh)	62301
Necessidades de Arrefecimento Edifício Mai-Out (kWh) 08:00 - 24:00	62077
Necessidades de Arrefecimento Edifício Mai-Out (kWh) 00:00 - 07:00	224
Fornecimento Energia Térmica Arrefecimento, alterado para o horário nocturno, 00:00 - 07:00	39937
Percentagem carga térmica transferida para o período nocturno	64.3%

a)

Análise Energética Arrefecimento (anual)	
Necessidades de Arrefecimento Edifício (kWh)	48214
Necessidades de Arrefecimento Edifício Mai-Out (kWh)	48214
Necessidades de Arrefecimento Edifício Mai-Out (kWh) 08:00 - 24:00	48018
Necessidades de Arrefecimento Edifício Mai-Out (kWh) 00:00 - 07:00	196
Fornecimento Energia Térmica Arrefecimento, alterado para o horário nocturno, 00:00 - 07:00	30142
Percentagem carga térmica transferida para o período nocturno	62.8%

b)

Análise Energética Arrefecimento (anual)	
Necessidades de Arrefecimento Edifício (kWh)	47234
Necessidades de Arrefecimento Edifício Mai-Out (kWh)	47234
Necessidades de Arrefecimento Edifício Mai-Out (kWh) 08:00 - 24:00	47138
Necessidades de Arrefecimento Edifício Mai-Out (kWh) 00:00 - 07:00	95
Fornecimento Energia Térmica Arrefecimento, alterado para o horário nocturno, 00:00 - 07:00	29363
Percentagem carga térmica transferida para o período nocturno	62.3%

c)

Análise Energética Arrefecimento (anual)	
Necessidades de Arrefecimento Edifício (kWh)	51100
Necessidades de Arrefecimento Edifício Mai-Out (kWh)	51100
Necessidades de Arrefecimento Edifício Mai-Out (kWh) 08:00 - 24:00	50992
Necessidades de Arrefecimento Edifício Mai-Out (kWh) 00:00 - 07:00	108
Fornecimento Energia Térmica Arrefecimento, alterado para o horário nocturno, 00:00 - 07:00	27329
Percentagem carga térmica transferida para o período nocturno	53.6%

d)

Tabela 20 – Produção de Energia – Aplicação de tanques HPCM – a) Lisboa; b) Barcelona, c) Graz, d) Varsóvia

Análise Energética Aquecimento (anual)	
Necessidades de Aquecimento Edifício (kWh)	17543
Necessidades de Aquecimento Edifício Mai-Out (kWh)	17543
Necessidades de Aquecimento Edifício Mai-Out (kWh) 08:00 - 24:00	16706
Necessidades de Aquecimento Edifício Mai-Out (kWh) 00:00 - 07:00	836
Fornecimento Energia Térmica Aquecimento, alterado para o horário nocturno, 00:00 - 07:00	11710
Percentagem carga térmica transferida para o período nocturno	70.1%

a)

Análise Energética Aquecimento (anual)	
Necessidades de Aquecimento Edifício (kWh)	29494
Necessidades de Aquecimento Edifício Mai-Out (kWh)	29494
Necessidades de Aquecimento Edifício Mai-Out (kWh) 08:00 - 24:00	28239
Necessidades de Aquecimento Edifício Mai-Out (kWh) 00:00 - 07:00	1255
Fornecimento Energia Térmica Aquecimento, alterado para o horário nocturno, 00:00 - 07:00	17791
Percentagem carga térmica transferida para o período nocturno	63.0%

b)

Análise Energética Aquecimento (anual)	
Necessidades de Aquecimento Edifício (kWh)	50059
Necessidades de Aquecimento Edifício Mai-Out (kWh)	50059
Necessidades de Aquecimento Edifício Mai-Out (kWh) 08:00 -	47928
Necessidades de Aquecimento Edifício Mai-Out (kWh) 00:00 - 07:00	2131
Fornecimento Energia Térmica Aquecimento, alterado para o horário nocturno, 00:00 - 07:00	38585
Percentagem carga térmica transferida para o período nocturno	80.5%

c)

Análise Energética Aquecimento (anual)	
Necessidades de Aquecimento Edifício (kWh)	51758
Necessidades de Aquecimento Edifício Mai-Out (kWh)	51758
Necessidades de Aquecimento Edifício Mai-Out (kWh) 08:00 -	49534
Necessidades de Aquecimento Edifício Mai-Out (kWh) 00:00 - 07:00	2224
Fornecimento Energia Térmica Aquecimento, alterado para o horário nocturno, 00:00 - 07:00	39647
Percentagem carga térmica transferida para o período nocturno	80.0%

d)

Analisando os resultados deste estudo, considerando os parâmetros mencionados, para se atingir um período de retorno de investimento entre os 7 e 9 anos, o custo de cada tanque PCM deverá rondar os 300€. Este valor é muito reduzido, significando que para este tipo de aplicações é necessário ainda muita investigação para se reduzir o custo associado destas soluções. No entanto, de acordo com resultados obtidos do projeto TESSe2b, as soluções utilizando LTES são promissoras quando integradas em sistemas de energias renováveis, nomeadamente solar e geotérmica, e para diferentes tipos de edifícios, por exemplo, edifícios residenciais unifamiliares com maiores períodos de utilização e amplitude de ganhos de cargas térmicas ao longo do dia. Por outro lado, o estudo presente não considera sistemas de controlo inteligentes que poderiam tirar mais partido das soluções estudadas.

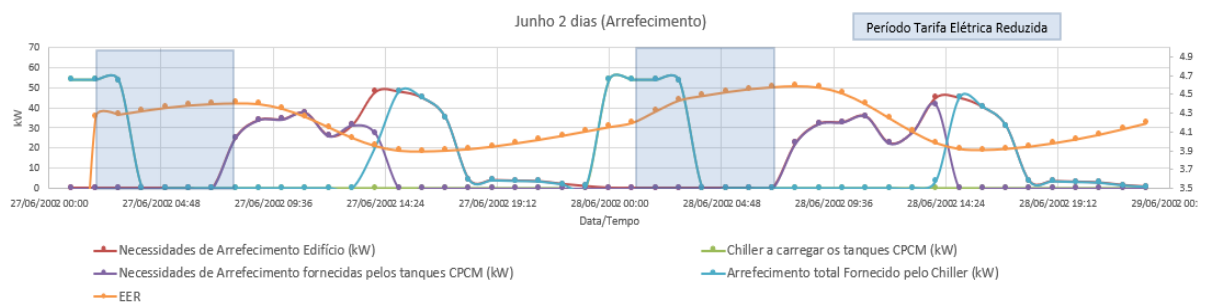
A análise seguinte foi feita tendo em conta o objetivo de reduzir os custos de eletricidade para aquecimento e arrefecimento para cerca de 30%, com cada tanque de PCM a rondar os 300€ e um período de retorno de investimento entre 7 a 9 anos. A tabela 21 mostra os resultados desta análise.

Tabela 21 – Número ótimo de tanques consoante localização

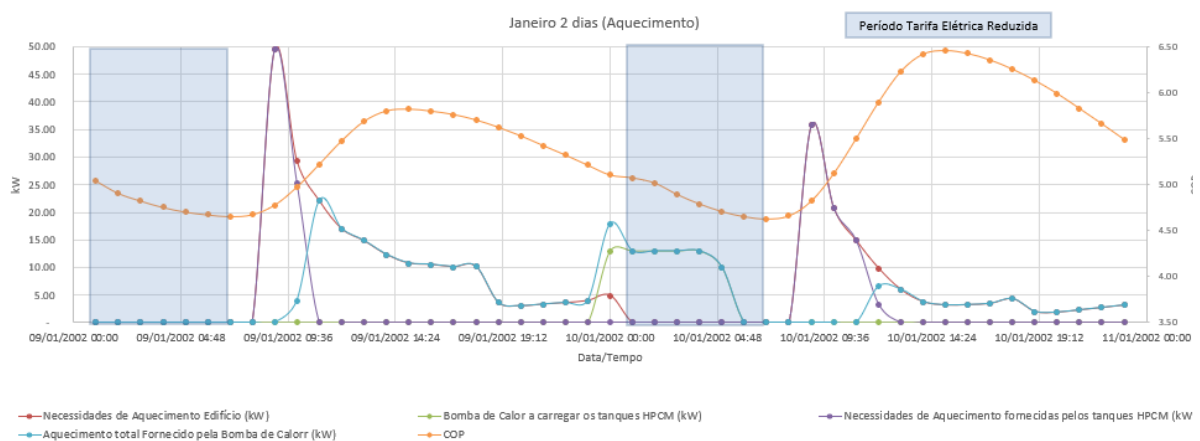
	Lisboa	Barcelona	Graz	Varsóvia
Nº de tanques CPCM	25	25	20	20
Nº de tanques HPCM	6	10	22	16

A figura 53 representa a operação do sistema para dois dias típicos de arrefecimento e de aquecimento para o caso de Lisboa, foi considerado o número de tanques apresentados na tabela 21.

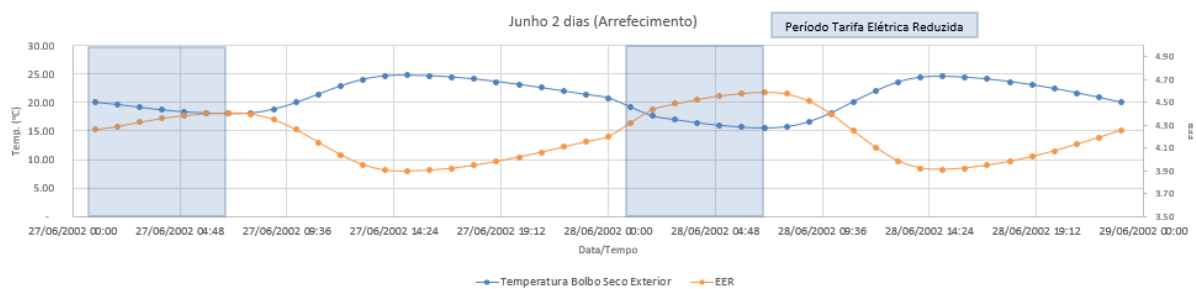
É possível observar que o período do carregamento dos tanques PCM corresponde com a tarifa de energia elétrica inferior (figura 53.a). Durante o dia, as necessidades de arrefecimento e aquecimento são satisfeitas primeiramente pelos tanques PCM, em que as unidades produtoras de energia térmica (*Chiller* e Bomba de Calor) apenas operam quando os tanques esgotarem a energia que foi acumulada no período noturno. Na figura 53.b é possível observar que o período noturno corresponde a um incremento dos valores de eficiência do *Chiller*, contudo no caso da Bomba de Calor (figura 53.c) ocorre o análogo, isto deve-se à temperatura ambiente é inferior e propícia para a produção de frio, visto que assim o *Chiller* consegue rejeitar a carga térmica mais facilmente, mas deteriora a capacidade de absorção de energia térmica do ambiente pela parte da Bomba de Calor.



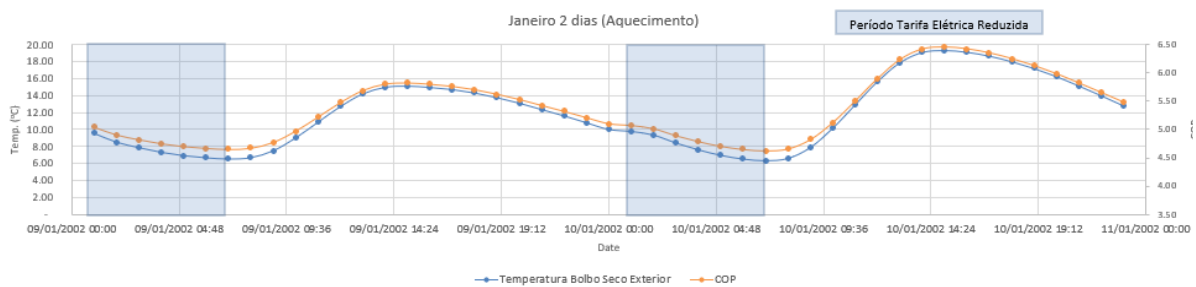
a)



b)



c)



d)

Figura 53 – Gráficos de operação do sistema LTES durante dois dias típicos mediante estação, caso de Lisboa – a) Balanço energético diário - Arrefecimento ; b) Balanço energético diário - Aquecimento , c) Variação do EER ao longo do dia , d) Variação do COP ao longo do dia.

5.4. Resultados de análise com incorporação de Painéis Fotovoltaicos.

Outra vantagem do armazenamento térmico será produzir aquecimento ou arrefecimento em períodos em que há disponibilidade de energia elétrica através da produção fotovoltaica. Para esse efeito, procedeu-se à simulação da incorporação de painéis solares para se estudar a viabilidade da aplicação de um sistema de geração de energia elétrica auxiliar, recorrendo-se a fontes de energia renovável.

Para estudar esta possibilidade foram feitas simulações energéticas, considerando uma área aproximada 206 m² de painéis fotovoltaicos instalados no edifício, para as localizações zonas estudadas. Na figura 54, está representado a visualização da aplicação mencionada.

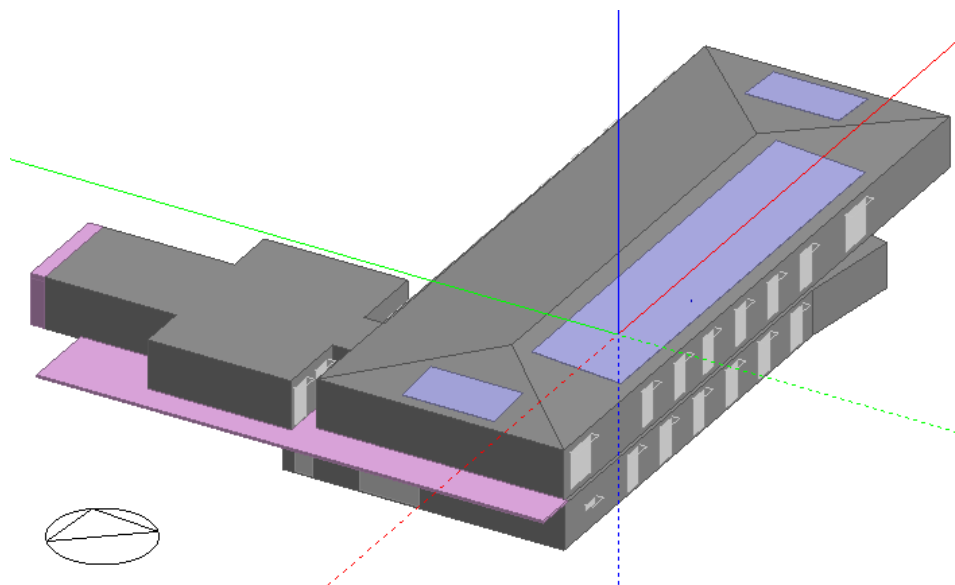


Figura 54 – Vista do edifício com aplicação de painéis fotovoltaicos

Na tabela 22 mostra-se a quantidade de energia elétrica anual produzida pelos painéis fotovoltaicos, em comparação com o consumo total do edifício, que inclui todos os sistemas e equipamentos que consomem energia elétrica.

Tabela 22 – Produção anual de energia elétrica fotovoltaica face aos consumos totais do edifício

Local	Produção Fotovoltaico [kW]	Consumo total edifício [kW/h]	Consumo Satisfeito pelo Fotovoltaico [kW/h]
Lisboa	47.324	117.231	37.724
Barcelona	39.639	117.789	32.442
Graz	32.208	125.570	27.082
Varsóvia	28.622	127.270	24.342

Como se pode observar na tabela, a aplicação do sistema fotovoltaico por si, ajuda a reduzir o consumo de eletricidade proveniente da rede. Contudo também é observável, que uma porção considerável de energia produzida pelo sistema fotovoltaico, não é aproveitada devido ao desfasamento entre disponibilidade e

necessidade energética. Sem meios de acumulação de energia elétrica, abre a possibilidade de aproveitar o excedente para auxiliar o carregamento dos tanques PCM.

Em seguida estimou-se qual seria o melhor aproveitamento da energia elétrica fotovoltaica sempre que houvesse excesso desta relativamente ao consumo, servindo para produzir arrefecimento ou aquecimento, sendo o seu excesso armazenado nos tanques de PCM para ser utilizado posteriormente. Desta forma consegue-se aumentar a produção de arrefecimento ou aquecimento de forma gratuita através da energia elétrica fotovoltaica. Na tabela 23 encontra-se de forma resumida os resultados tendo em conta a influência do excedente do sistema fotovoltaico de uma forma direta, sem fazer uso da tarifa reduzida, em comparação com o carregamento no período noturno. Para efeitos de comparação, foram utilizadas as mesmas tarifas de anteriormente e a poupança associada da utilização de PCM sem a influência do fotovoltaico. Podemos observar que apesar de o sistema fotovoltaico apresentar uma poupança individual superior, se for utilizado no período diurno, é muito mais apelativo recorrer-se à poupança ligeiramente inferior associada em combinação com a utilização da tarifa noturna. À primeira vista este valor parece aquém do espetável, contudo é de recordar que se está a aproveitar energia excedente do sistema fotovoltaico, que por si só, é uma vantagem a considerar.

Tabela 23 – Poupança associada à influência do sistema fotovoltaico

Local	Poupança PCM sem fotovoltaico - carregamento noturno (tarifa noturna) [%/€*anual]	Poupança PCM adicional com fotovoltaico - carregamento diurno (tarifa normal) [%/€*anual]	Poupança PCM adicional com fotovoltaico - carregamento noturno (tarifa noturna) [%/€*anual]
Lisboa	32,09	3,42	0,56
Barcelona	31,16	1,79	0,58
Graz	33,43	0,63	0,21
Varsóvia	31,06	0,29	0,22

6. Conclusões

O efeito da utilização de PCM na eficiência energética de um edifício de serviços foi analisado. Foi considerado a utilização de PCM de uma forma passiva, através da inclusão destes na envolvente térmica tendo em consideração a sua temperatura de fusão compreendida entre os 21°C e os 29°C, e de uma forma ativa, através da utilização de tanques de acumulação térmica para quente e frio, Utilizando para tal materiais de mudança de fase parafínicos cujo ponto de fusão para o tanque HPCM (A44) é de 44°C e para o tanque CPCM (A9) é de 9°C conectados ao sistema *Chiller*/Bomba de calor.

Em termos gerais, a utilização de PCM's em edifícios de serviço, neste caso escritórios e restaurante, não é uma opção muito atrativa, existindo ainda muito desenvolvimento a realizar, contudo apresenta um potencial difícil de ignorar.

A utilização de PCM's na envolvente térmica deste tipo de edifício, não apresenta benefícios, ao contrário do que acontece com edifícios de habitação unifamiliares. Estas vantagens inferiores estão relacionadas com os ganhos de carga térmica elevados, e amplitude de transferência de calor pela envolvente térmica reduzida, tornando o impacto na melhoria da eficiência energética menos visível sendo que nos melhores casos apresenta uma poupança energética na ordem de 1%.

A utilização de tanques de PCM para armazenamento de energia térmica é também menos atrativa do que o seu uso em edifícios residenciais. No entanto, a redução de custos dos tanques de PCM, com integração em sistemas de energia renovável, tais como solar e geotérmica e associado a um sistema de controlo inteligente adequado, pode tornar a sua utilização muito mais viável e atrativa nos edifícios de serviços.

No estudo efetuado, a utilização dos tanques permite tirar vantagem das tarifas elétricas, contribuindo para a flexibilidade da rede. Para a estação de arrefecimento também se obteve vantagens quanto ao aumento da eficiência energética do *Chiller*. A redução dos custos para arrefecimento foram cerca de 50% e para aquecimento cerca de 45% o que ainda é bastante considerável.

O impacto do sistema fotovoltaico não demonstrou ser muito significativo, contudo foi comprovado que é possível aproveitar os excedentes energéticos, que seriam desperdiçados de outra forma.

A evolução tecnológica da utilização de PCM's foi sujeita a grandes avanços nos últimos anos, sendo mais do que pertinente estudar o seu uso nas várias aplicações.

7. Desenvolvimento de Trabalho Futuro.

Um dos objetivos principais de desenvolvimento de trabalho futuro, será a redução de custos do tanque PCM de forma a tornar o investimento económico mais atraente. Isto envolve o estudo das várias combinações com sistemas de AVAC para vários tipos de edifícios e condições climáticas, de forma a encontrar um conjunto de soluções caso a caso e criar uma base de dados.

Estudos adicionais serão efetuados relativamente à aplicação na envolvente térmica, incluindo a remoção do isolamento considerado, combinações de camadas de PCM diferentes mediante orientação geográfica, outras configurações da envolvente, por exemplo paredes de *trombe*.

Quanto à aplicação LTES, será estudada as aplicações de energias renováveis existentes, tais como solar e geotérmica, visto que esta tecnologia tem um grande potencial sinérgico com estes sistemas, ao qual é possível assim obter rendimentos energéticos elevados. Para tal também será necessário estudar e implementar um sistema de controlo que tire o máximo partido destas instalações.

8. Bibliografia

- A. Lambrou, L. C. (2018). EinB2018 – 7th International Conference “ENERGY in BUILDINGS 2018. *STUDY OF THE APLICATION OF THE THERMAL ENERGY STORAGE IN AN OFFICE BUILDING*.
- A. Sharma, V. T. (2009). *Review on thermal energy storage with phase change materials and applications*. (Vol. 13). Renewable and Sustainable Energy Reviews.
- Abhat, A. (1983). *Low-Temperature Latent-Heat Thermal-Energy Storage - Heat-Storage Materials*. (Vol. 30). Solar Energy.
- Agyenim F, H. N. (2010). *A review of materials, heat transfer and phase change problem formulation for latent heat thermal energy storage systems (LHTESS)*, 14, p. 14.
- Alawadhi, & E. a. (2011). *Building roof with conical holes containing PCM to reduce the cooling load: Numerical study*. (Vol. 52). Energy Conversion and Management.
- BASF, & Micronal. (2017).
- Brown, G. (1990). *The BRIS simulation program for thermal design of buildings and their services* (Vol. 4). Energy and Buildings.
- Cabeza, L. F. (2012). *Next Generation Cost Effective Phase Materials For Increased Energy*.
- Cabeza, L. F., Castell, A., Barreneche, C., de Gracia, A., & Fernández, A. I. (2011). Materials used as PCM in thermal energy storage in buildings: A review.
- Cabeza, L. F., Castellón, C., Nogués, M., Medrano, M., Leppers, R., & Zubillaga, O. (2007). *Use of microencapsulated PCM in concrete walls for energy savings*. (Vols. 39, nº2). Energy and Buildings. .
- Clarke, J. A. (2001). *Energy simulation in building design*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Coelho, L. G. (2018). *TESSe2b project (presentation)*. Aix-les Bains, France: Workshop - The Future of Energy Storage - SP2018, 27th-29th, June. Obtido de <http://www.tesse2b.eu/>
- Comission, E. (2018). Obtido de [ec.europa.eu](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en): https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en
- DGEG. (2015). Obtido de http://www.ordemengenheiros.pt/fotos/dossier_artigo/m_195735622526530493abc7.1_pedroa_lbuquerqe.pdf .
- E2Vent. (2018). *e2vent.eu*. Obtido de [e2vent.eu](http://www.e2vent.eu): <http://www.e2vent.eu>
- EnergyPlus. (2018). *EnergyPlus - Engineering Reference*. Obtido de [EnergyPlus - Engineering Reference](http://www.energyplus.net/):

https://energyplus.net/sites/all/modules/custom/nrel_custom/pdfs/pdfs_v8.9.0/EngineeringReference.pdf

EPBD. (2018). *Review EPBD*. Obtido de <http://www.buildup.eu/en/news/reviewed-epbd-upcoming-new-targets-energy-efficiency-buildings>

Eurima, E. (2018). <https://www.eurima.org>. Obtido de https://www.eurima.org:https://www.ecofys.com/files/files/ecofys_2007_uvaluesenergyperformancebuildings.pdf

Ferreira da Silva, N. (2009). Incorporação de Materiais de Mudança de Fase em Materiais de Construção.

Gao, Y. G. (2017). Influence of the PCM Layer Location on the Mutlilayer Wall Thermal Performance. (O. J. Efficiency, Ed.) *Influence of the PCM Layer Location on the Mutlilayer Wall Thermal Performance*, 6, pp. 1-13.

H. Mehling, L. C. (2008). *Heat and cold storage with PCM*. Verlag Berlin Heidelberg.

Hunger, M., Entrop, A., Mandilaras, I., Brouwers, H., & Founti, M. (2009). *The direct incorporation of micro-encapsulated Phase Change Materials in the concrete mixing process. A feasibility study*. (Vols. s.n.). Rotterdam.

Kaasinen, H. (1992). *The absorption of phase change substances into commonly used building materials* (Vol. 27. nº2). Solar Energy Materials and Solar Cells. .

Kang, Y., & Y.J.Y., Z. (2003). *Modeling and experimental study on an innovative passive cooling system*, 35, pp. 417- 425.

Khudhair, A. M. (2004). *Review on energy conservation in building applications with thermal storage by latent heat using phase change materials*. (Vols. 45, nº 2). Energy conversion and management.

Kusuda, T. (1999). *Early history and future prospects of building system simulation*. IBPSA Proceedings.

Kuznik, F., J. V., & Noel, J. (2008). *Optimization of a phase change material wallboard for building use.*, 28, pp. 1291-1298.

Mehling, D. a. (2008). *Heat and cold storage with PCM: An up to date introduction into basics and applications*. Springer.

NaturalWorks. (2018). *natural-works.com*. Obtido de natural-works.com: <http://www.natural-works.com>

P. Pardo, A. D.-M. (2014). *A review on high temperature thermochemical heat energy storage*. (Vol. 32). Renewable and Sustainable Energy Reviews.

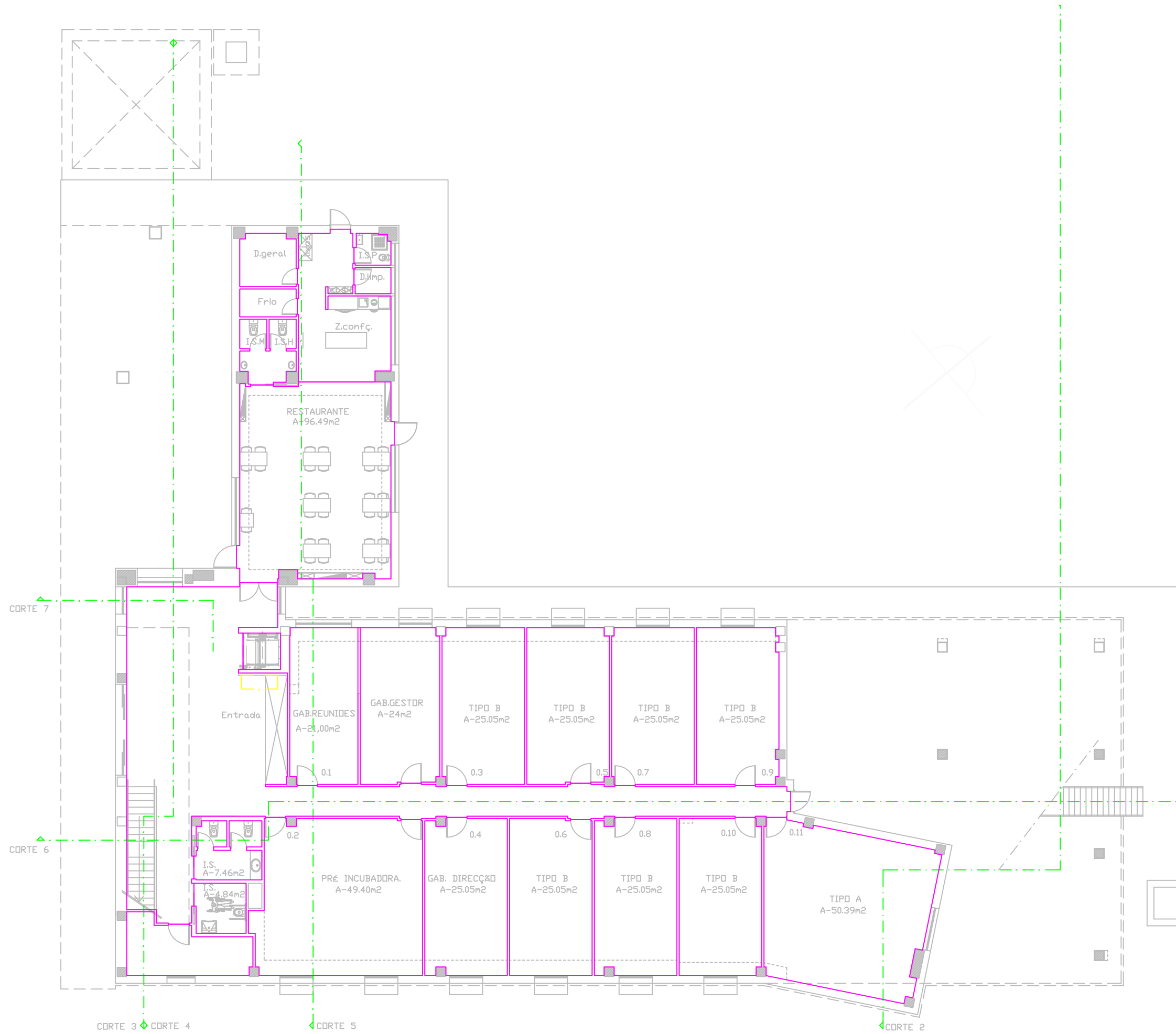
Pasupathy, A. V. (2008). *Phase change material-based building architecture for thermal management in residential and commercial establishments*. Renewable & Sustainable Energy Reviews. 12 39-64.

- Pasupathy, A. V. (2008). *Effect of double layer phase change material in building roof for year round thermal management.*, 40, 193-203. Energy and Buildings. .
- Project-Create. (2018). *createproject.eu*. Obtido de createproject.eu: <http://www.createproject.eu>
- R. Domański, G. F. (1998). *Thermoeconomic analysis of sensible heat, thermal energy storage systems.* (Vol. 18). Applied Thermal Engineering. .
- Regin AF, S. S. (2008). *Heat transfer characteristics of thermal energy storage system using PCM capsules: A review.*, 12(2438-58).
- S.D. Sharma, K. S. (2005). *Latent Heat Storage Materials and Systems: A Review.* (Vol. 2). International Journal of Green Energy. .
- Sá, A. M. (2012). *Comportamento térmico de edifícios em Portugal usando materiais de mudança de fase.*, Tese de Doutoramento em Engenharia Civil. FEUP.
- Sá, A. M. (2013). *Sustentabilidade na construção: comportamento térmico de edifícios em Portugal usando materiais de mudança de fase.*
- Salunkhe, P. B., & Shembekar, P. S. (2012). A review on effect of phase change material encapsulation on the thermal performance of a system. 16, n°8, pp. 5603-5616.
- Scores-Rroject. (2018). *scores-project.eu*. Obtido de scores-project.eu: <http://www.scores-project.eu/home>
- Sharma A, T. V. (2009). *Review on thermal energy storage with phase change materials and applications.* Renewable and Sustainable Energy Reviews.
- Sharma SD, S. K. (2005). Latent Heat Storage Materials and Systems: A Review. International Journal of Green Energy.
- TESSe2b. (2018). *tesse2b.eu*. Obtido de tesse2b.eu: <http://www.tesse2b.eu>
- Tools, B. D. (2018). *Best Directory | Building Energy Software Tools*. Obtido de Best Directory | Building Energy Software Tools: <http://www.buildingenergysoftwaretools.com>
- Turnpenny, J.R., D. E., & Reay, D. (2001). *Novel ventilation system for reducing air conditioning in buildings. Part II: testing of prototype.*, 12, pp. 1203-1217.
- Wilde, P. d. (2018). *Building Performance Analysis*. Chichester: Wiley-Blackwell.
- Zalba B, M. J. (2003). *Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications.*, 23, pp. 251-83.
- Zhou, D., Zhao, C. Y., & Tian, Y. (2012). *Review on thermal energy storage with phase change materials (PCMs) in building applications.* (Vol. 92). Applied Energy. .

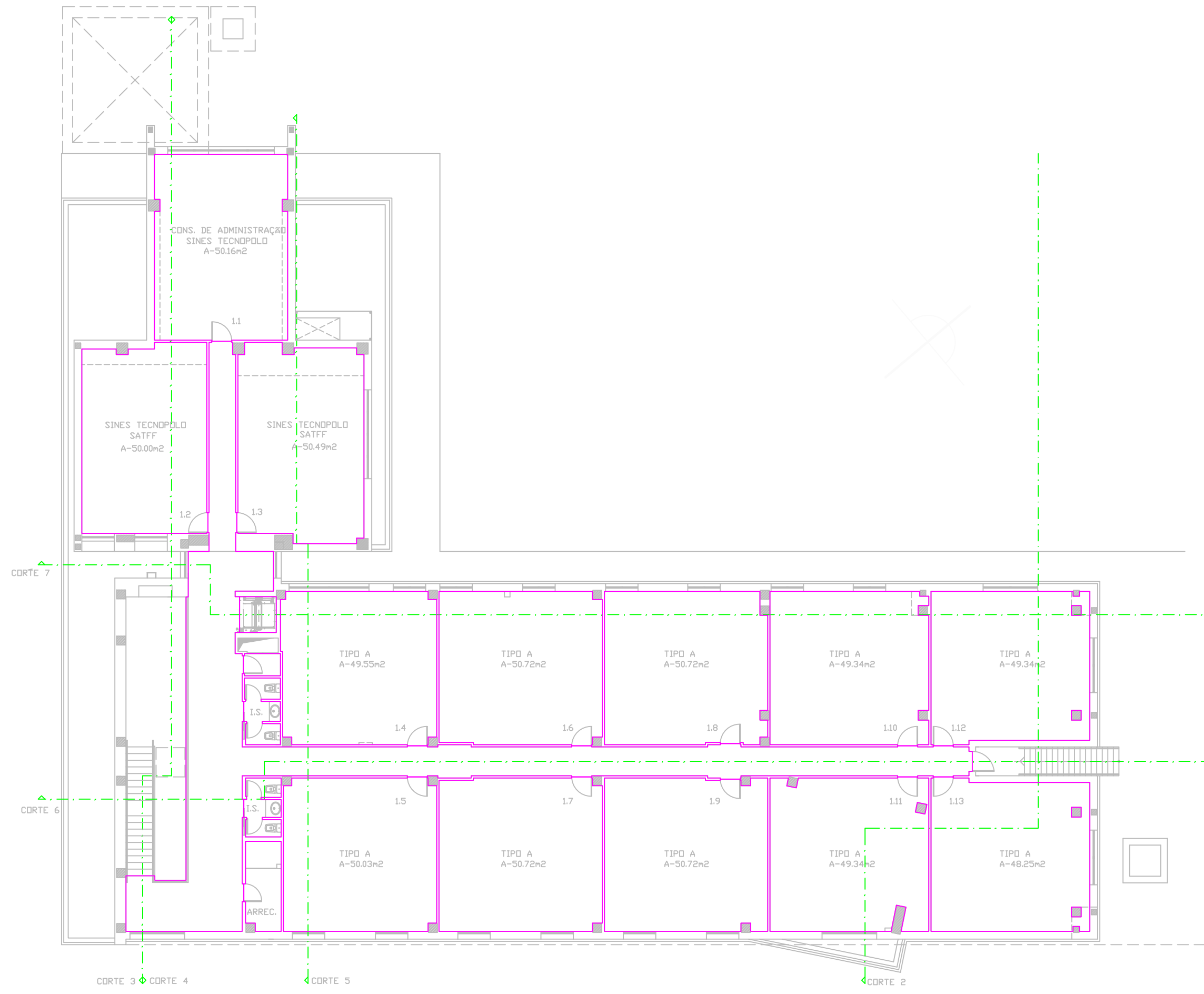
Acknowledgment: Part of this work was developed under the TESSe2b project. The TESSe2b project has received funding from the European Union's Horizon 2020 Research and Innovation Programme, under the Grant Agreement number 680555. This document reflects only the author's view and the Commission is not responsible for any use that may be made of the information it contains.

Anexo I – Plantas de Arquitetura

Piso 0



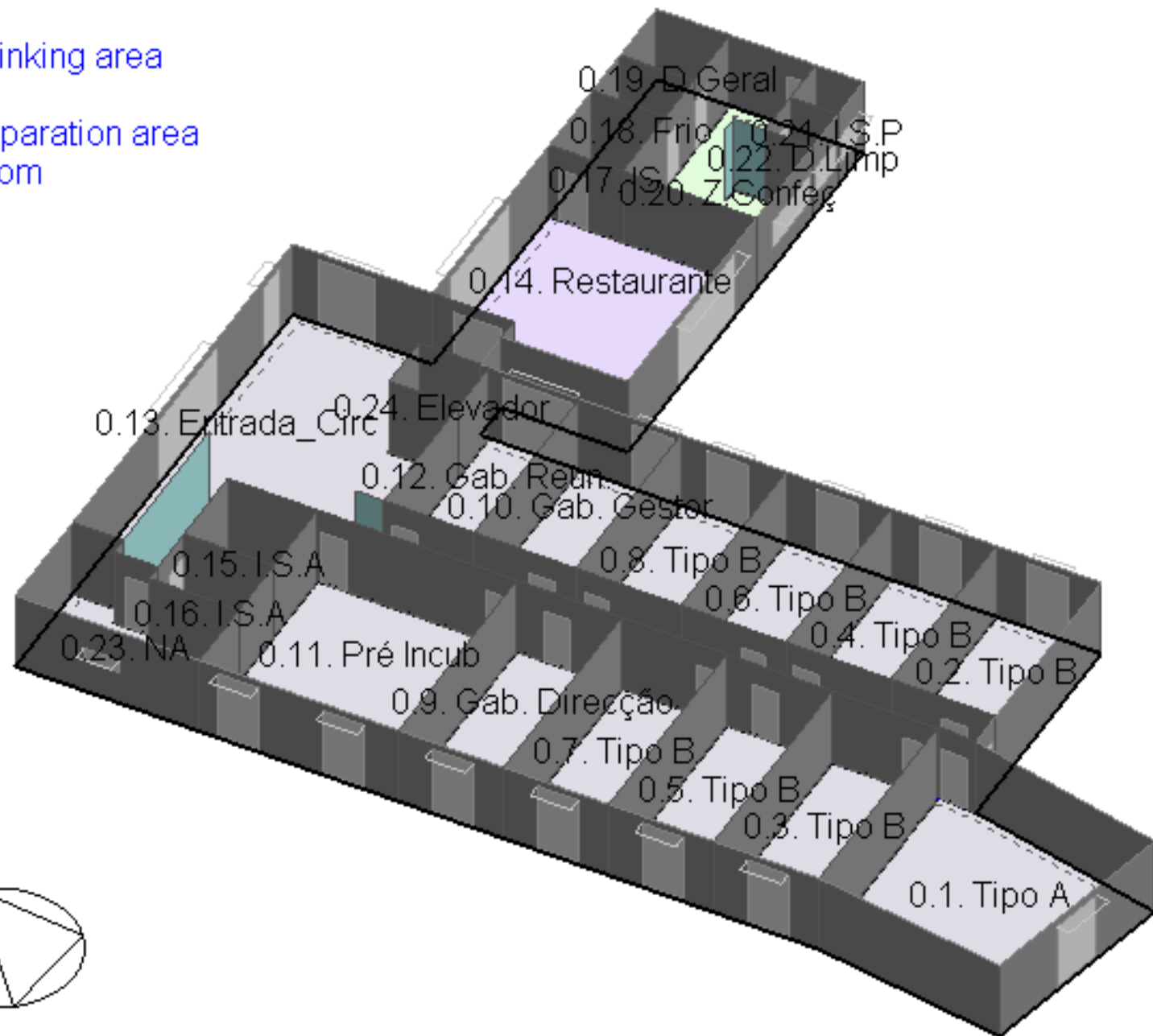
Piso 1



Anexo II – Vista dos Pisos (DesignBuilder)

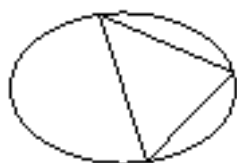
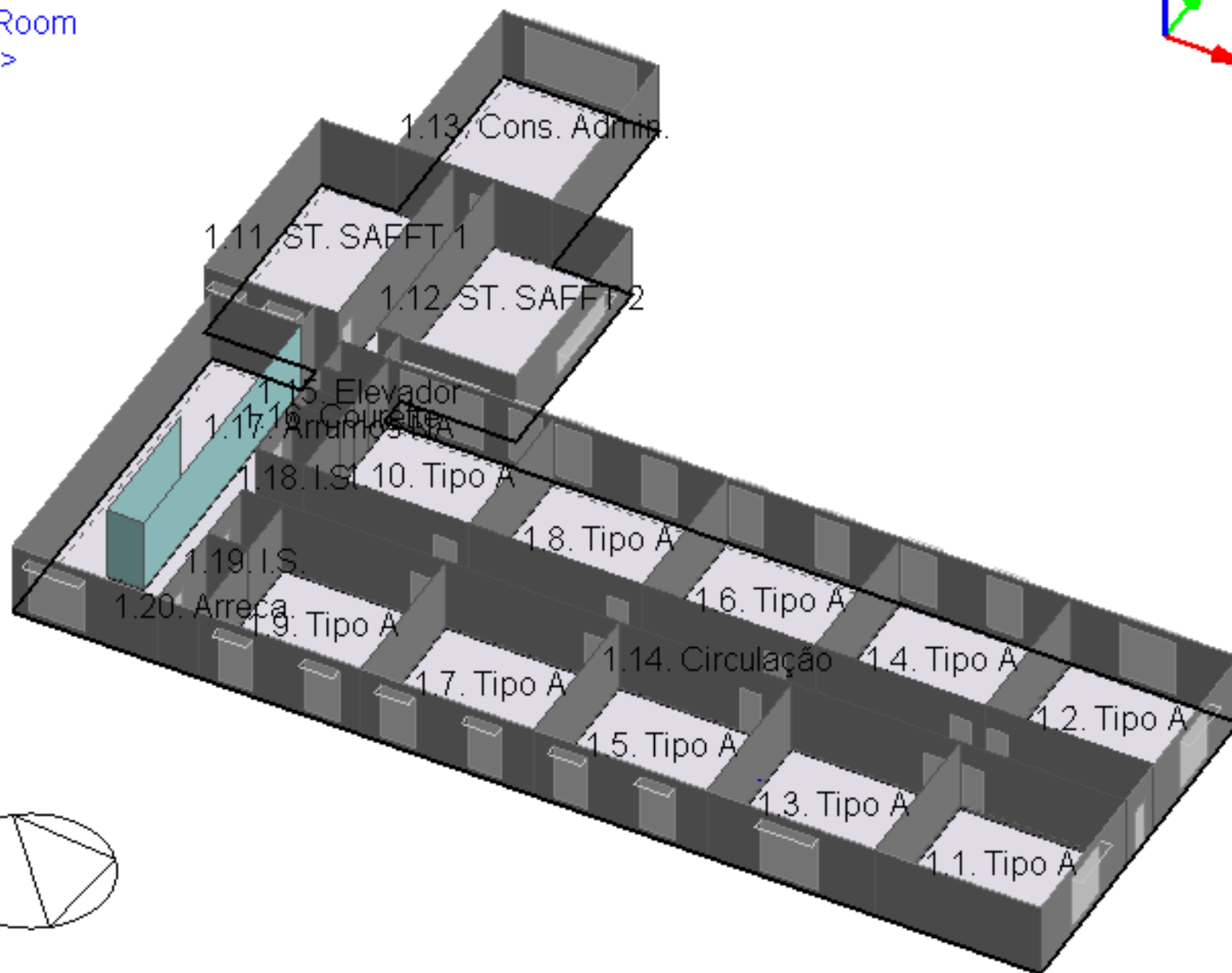
Piso 0

- Generic Office Area
- <None>
- Eating/drinking area
- Toilet
- Food preparation area
- Store Room



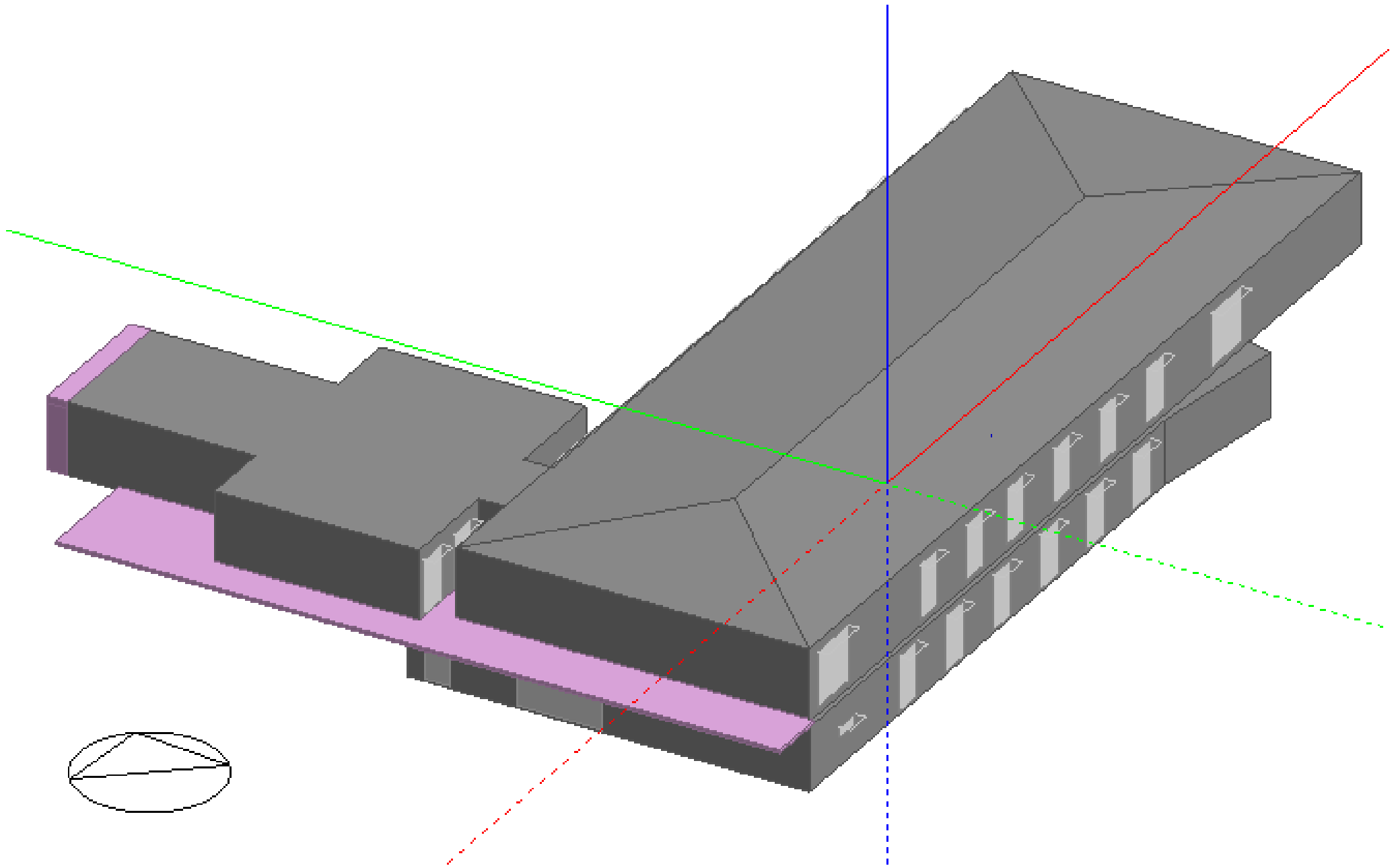
Piso 1

- Generic Office Area
- Toilet
- Store Room
- <None>

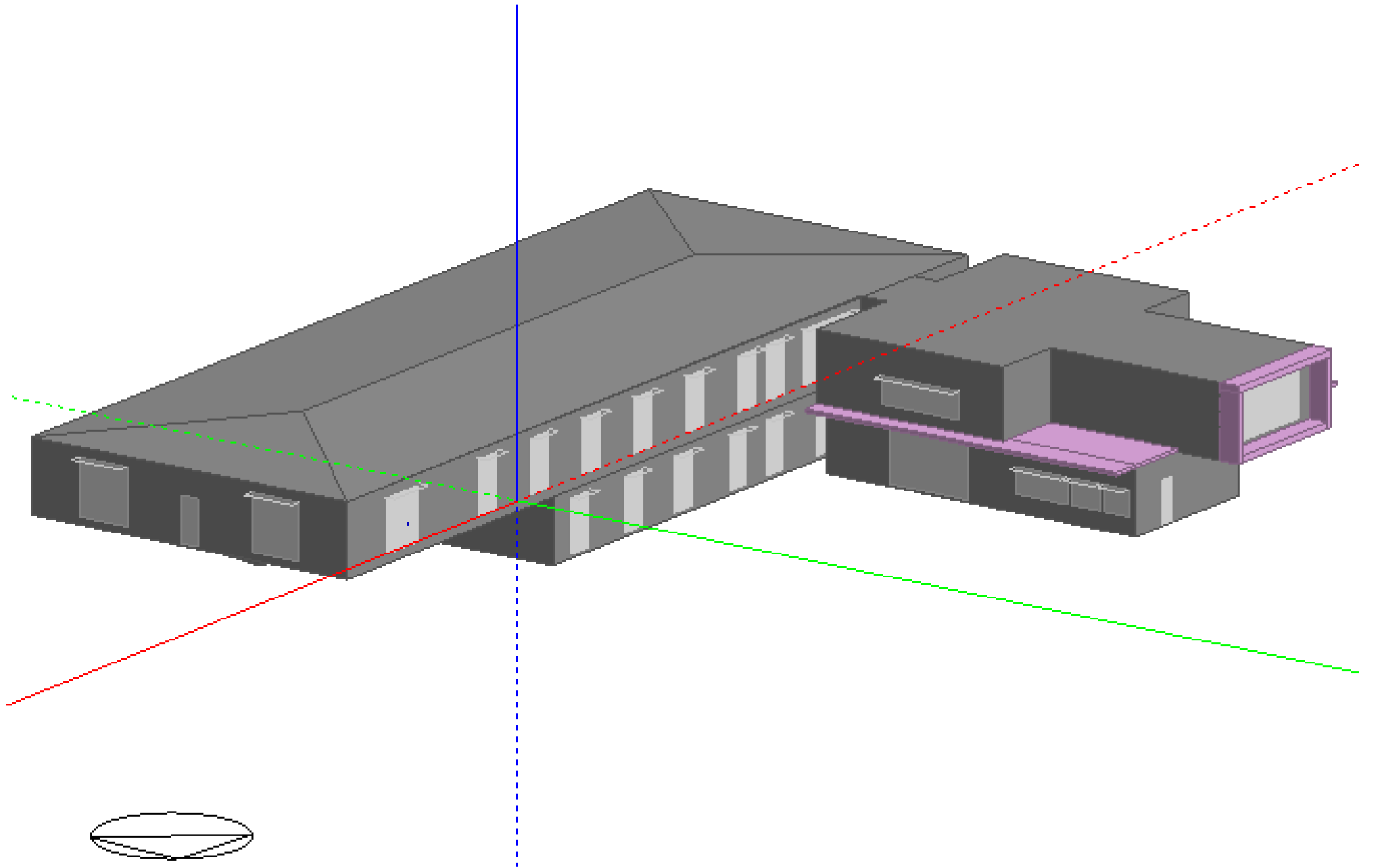


Anexo III – Vistas do Edifício Modelo (DesignBuilder)

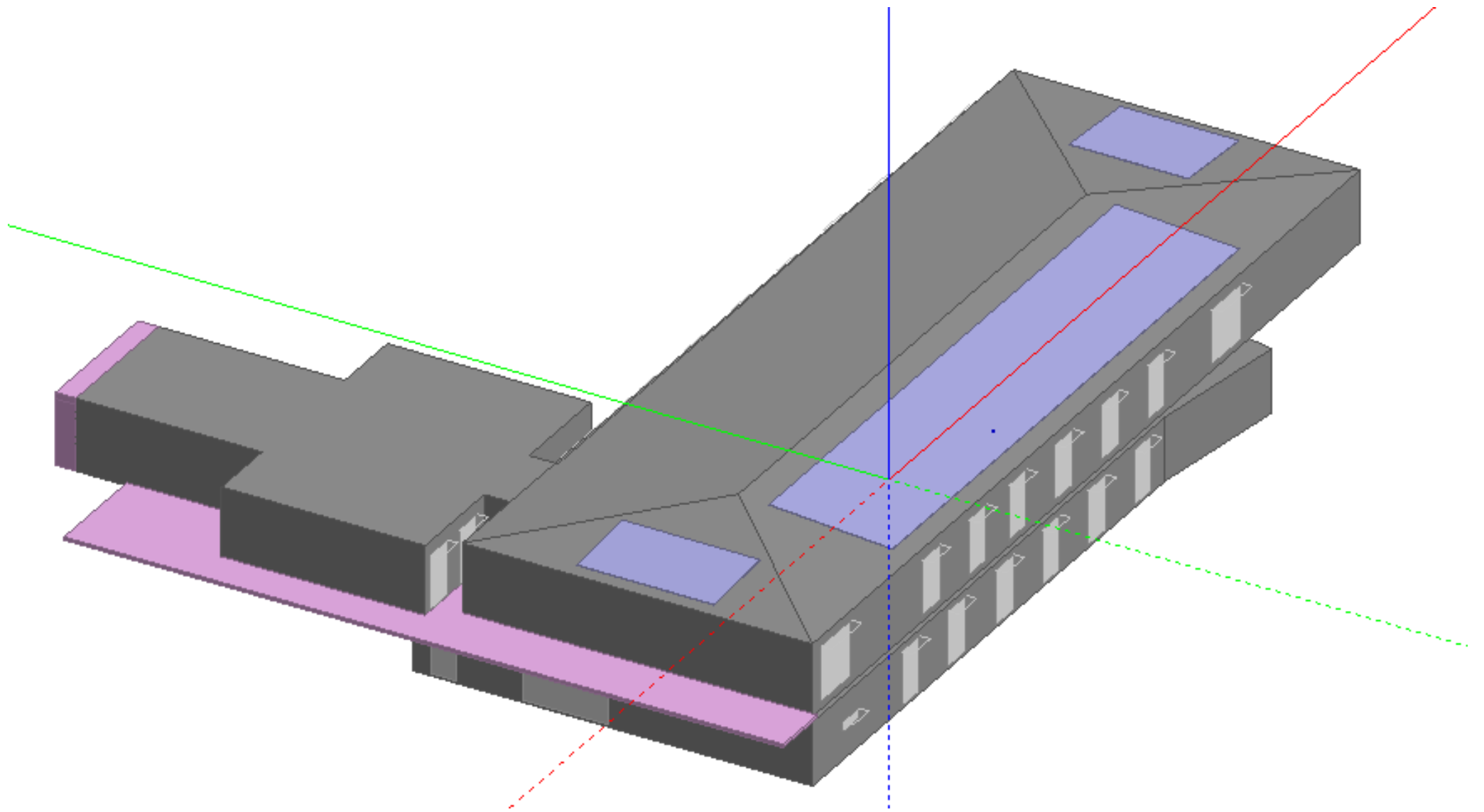
Vista 1



Vista 2



Vista com Fotovoltaico



Anexo IV – Tabela de Caudais de Ar Novo

Sala N.º	Nome da Sala	Área Útil (m²)	Pé Direito (m)	Volume (m³)	Espaço climatizado?	Ocupação			METODO PRESCRITIVO - TABELA I.01 / TABELA I.04 / TABELA I.05 - PORTARIA N.º 253-A/2013 - Método de ventilação										Caudais projeto						
						Ocup.	m²/Ocup.	Ocup./m²	Tipo de Espaço (Tabela II.04)	Valores de eficácia (ev) para diferentes métodos de ventilação (Tabela I.01)		Taxa de Metabolismo dos Ocupantes - M (met)	REQUISITO		OCCUP.	ÁREA	Mínimo regulamentar	Ar Novo			CO₂ (ppm)		Extracção		Ren
										Configuração da distribuição de ar na zona	ev		l/s.ocup	l/s.m²				l/s	l/s	l/s	l/s.ocup	l/s.m²	Ext.	Int.	
0.1.	0.1.Tipo A	53,71	2,6	140	SIM	6	9,0	0,12	Escritórios, Gabinetes, Secretarias, Salas de aula, Cinemas, Salas de espetáculo, Salas de Refeições, Lojas e similares, Museus e galerias, Salas de convívio, Salas de atividade de estabelecimentos de geriatria e similares.	Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0,80	1,20	6,67	0,84	60	56,4	60	60	10	1,1	350	878	na	NA	2,00
0.2.	0.2.Tipo B	22,27	2,6	58	SIM	4	5,6	0,18	Escritórios, Gabinetes, Secretarias, Salas de aula, Cinemas, Salas de espetáculo, Salas de Refeições, Lojas e similares, Museus e galerias, Salas de convívio, Salas de atividade de estabelecimentos de geriatria e similares.	Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0,80	1,20	6,67	0,84	40	23,39	40	40	10	1,8	350	878	na	NA	3,00
0.3.	0.3.Tipo B	27,51	2,6	72	SIM	4	6,9	0,15	Escritórios, Gabinetes, Secretarias, Salas de aula, Cinemas, Salas de espetáculo, Salas de Refeições, Lojas e similares, Museus e galerias, Salas de convívio, Salas de atividade de estabelecimentos de geriatria e similares.	Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0,80	1,20	6,67	0,84	40	28,89	40	40	10	1,5	350	878	na	NA	3,00
0.4.	0.4.Tipo B	24,28	2,6	63	SIM	4	6,1	0,17	Escritórios, Gabinetes, Secretarias, Salas de aula, Cinemas, Salas de espetáculo, Salas de Refeições, Lojas e similares, Museus e galerias, Salas de convívio, Salas de atividade de estabelecimentos de geriatria e similares.	Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0,80	1,20	6,67	0,84	40	25,5	40	40	10	1,6	350	878	na	NA	3,00
0.5.	0.5.Tipo B	27,51	2,6	72	SIM	4	6,9	0,15	Escritórios, Gabinetes, Secretarias, Salas de aula, Cinemas, Salas de espetáculo, Salas de Refeições, Lojas e similares, Museus e galerias, Salas de convívio, Salas de atividade de estabelecimentos de geriatria e similares.	Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0,80	1,20	6,67	0,84	40	28,89	40	40	10	1,5	350	878	na	NA	3,00
0.6.	0.6.Tipo B	24,28	2,6	63	SIM	4	6,1	0,17	Escritórios, Gabinetes, Secretarias, Salas de aula, Cinemas, Salas de espetáculo, Salas de Refeições, Lojas e similares, Museus e galerias, Salas de convívio, Salas de atividade de estabelecimentos de geriatria e similares.	Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0,80	1,20	6,67	0,84	40	25,5	40	40	10	1,6	350	878	na	NA	3,00
0.7.	0.7.Tipo B	27,51	2,6	72	SIM	4	6,9	0,15	Escritórios, Gabinetes, Secretarias, Salas de aula, Cinemas, Salas de espetáculo, Salas de Refeições, Lojas e similares, Museus e galerias, Salas de convívio, Salas de atividade de estabelecimentos de geriatria e similares.	Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0,80	1,20	6,67	0,84	40	28,89	40	40	10	1,5	350	878	na	NA	3,00

0.8.	0.8.Tipo B	24,28	2,6	63	SIM	4	6,1	0,17	Escritórios, Gabinetes, Secretarias, Salas de aula, Cinemas, Salas de espetáculo, Salas de Refeições, Lojas e similares, Museus e galerias, Salas de convivio, Salas de atividade de estabelecimentos de geriatria e similares.	Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0,80	1,20	6,67	0,84	40	25,5	40	40	10	1,6	350	878	na	NA	3,00
0.9.	0.9.Gabinete de direção	27,51	2,6	72	SIM	4	6,9	0,15	Escritórios, Gabinetes, Secretarias, Salas de aula, Cinemas, Salas de espetáculo, Salas de Refeições, Lojas e similares, Museus e galerias, Salas de convivio, Salas de atividade de estabelecimentos de geriatria e similares.	Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0,80	1,20	6,67	0,84	40	28,89	40	40	10	1,5	350	878	na	NA	3,00
0.10.	0.10.Gabinete Gestor	23,41	2,6	61	SIM	2	11,7	0,09	Escritórios, Gabinetes, Secretarias, Salas de aula, Cinemas, Salas de espetáculo, Salas de Refeições, Lojas e similares, Museus e galerias, Salas de convivio, Salas de atividade de estabelecimentos de geriatria e similares.	Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0,80	1,20	6,67	0,84	20	24,59	25	25	13	1,1	350	772	na	NA	2,00
0.11.	0.11.Pré Incubadora	52,81	2,6	137	SIM	6	8,8	0,12	Laboratórios, Ateliers, Salas de Desenho e Trabalhos Oficiais, Cafés, Bares, Salas de Jogos e similares.	Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0,80	1,75	9,72	0,84	127,61	55,46	128	130	22	2,5	350	594	na	NA	4,00
0.12.	0.12.Gabinete Reuniões	20,74	2,6	54	SIM	3	6,9	0,15	Escritórios, Gabinetes, Secretarias, Salas de aula, Cinemas, Salas de espetáculo, Salas de Refeições, Lojas e similares, Museus e galerias, Salas de convivio, Salas de atividade de estabelecimentos de geriatria e similares.	Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0,80	1,20	6,67	0,84	30	21,78	30	30	10	1,4	350	878	na	NA	3,00
0.13.	0.13.Entrada/Circulação	114,42	2,6	297	NÃO	-	-	0	Escritórios, Gabinetes, Secretarias, Salas de aula, Cinemas, Salas de espetáculo, Salas de Refeições, Lojas e similares, Museus e galerias, Salas de convivio, Salas de atividade de estabelecimentos de geriatria e similares.	Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0,80	1,20	6,67	0,84	120,15	121	125	0	1,1	350	NA	na	NA	2,00	
0.14.	0.14.Restaurante	53,71	2,6	140	SIM	34	1,6	0,64	Escritórios, Gabinetes, Secretarias, Salas de aula, Cinemas, Salas de espetáculo, Salas de Refeições, Lojas e similares, Museus e galerias, Salas de convivio, Salas de atividade de estabelecimentos de geriatria e similares.	Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0,80	1,20	6,67	0,84	340	56,4	340	340	10	6,3	350	878	na	NA	9,00
0.15.	0.15.IS A	8,81	2,6	23	NÃO	-	-	0	Instalação sanitária privada funcionamento contínuo	Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0,80	1,00	12,50	2,78	30,62	31	35	0	4,0	350	NA	na	NA	6,00	
0.16.	0.16.IS A	6,95	2,6	18	NÃO	-	-	0	Instalação sanitária privada funcionamento contínuo	Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0,80	1,00	12,50	2,78	24,16	25	25	0	3,6	350	NA	na	NA	5,00	
0.17.	0.17. IS	6,15	2,6	16	NÃO	-	-	0	Instalação sanitária pública	Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0,80	1,00	25,00	2,78	21,38	22	25	0	4,1	350	NA	na	NA	6,00	

0.18.	0.18. Frio	3,92	2,6	10	NÃO	-	0		Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0,80	NA	NA	NA	NA	NA	5	0	1,3	350	NA	na	NA	2,00	
0.19.	0.19. D. Geral	4,51	2,6	12	NÃO	-	0		Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0,80	NA	NA	NA	NA	NA	5	0	1,1	350	NA	na	NA	2,00	
0.20.	0.20. Zona de Confeção	25,33	2,6	66	SIM	3	8,4	0,12	Escritórios, Gabinetes, Secretarias, Salas de aula, Cinemas, Salas de espetáculo, Salas de Refeições, Lojas e similares, Museus e galerias, Salas de convívio, Salas de atividade de estabelecimentos de geriatria e similares.	0,80	1,20	6,67	0,84	30	26,6	30	30	10	1,2	350	878	na	NA	2,00
0.21.	0.21. IS.P	1,71	2,6	4	NÃO	-	0		Instalação sanitária privada funcionamento contínuo	0,80	1,00	12,50	2,78		5,95	6	10	0	5,8	350	NA	na	NA	9,00
0.22.	0.22. D.Limp	2,10	2,6	5	NÃO	-	0		Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0,80	NA	NA	NA	NA	NA	5	0	2,4	350	NA	na	NA	4,00	
0.23.	0.23. NA	16,56	2,6	43	NÃO	-	0		Escritórios, Gabinetes, Secretarias, Salas de aula, Cinemas, Salas de espetáculo, Salas de Refeições, Lojas e similares, Museus e galerias, Salas de convívio, Salas de atividade de estabelecimentos de geriatria e similares.	0,80	1,20	6,67	0,84		17,39	18	20	0	1,2	350	NA	na	NA	2,00
0.24.	0.24. Elevador	4,55	2,6	12	NÃO	-	0		Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0,80	NA	NA	NA	NA	NA	5	0	1,1	350	NA	na	NA	2,00	
											NA	NA	NA	NA	NA		0		350	NA	na	NA		
1.1.	1.1.Tipo A	44,21	2,8	124	SIM	4	11,1	0,10	Escritórios, Gabinetes, Secretarias, Salas de aula, Cinemas, Salas de espetáculo, Salas de Refeições, Lojas e similares, Museus e galerias, Salas de convívio, Salas de atividade de estabelecimentos de geriatria e similares.	0,80	1,20	6,67	0,84	40	46,43	47	50	13	1,1	350	772	na	NA	2,00
1.2.	1.2.Tipo A	44,91	2,8	126	SIM	4	11,2	0,09	Escritórios, Gabinetes, Secretarias, Salas de aula, Cinemas, Salas de espetáculo, Salas de Refeições, Lojas e similares, Museus e galerias, Salas de convívio, Salas de atividade de estabelecimentos de geriatria e similares.	0,80	1,20	6,67	0,84	40	47,16	48	50	13	1,1	350	772	na	NA	2,00

1.3.	1.3.Tipo A	46,87	2,8	131	SIM	4	11,7	0,09	Escritórios, Gabinetes, Secretarias, Salas de aula, Cinemas, Salas de espetáculo, Salas de Refeições, Lojas e similares, Museus e galerias, Salas de convivio, Salas de atividade de estabelecimentos de geriatria e similares.	Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0,80	1,20	6,67	0,84	40	49,22	50	50	13	1,1	350	772	na	NA	2,00
1.4.	1.4.Tipo A	47,53	2,8	133	SIM	4	11,9	0,09	Escritórios, Gabinetes, Secretarias, Salas de aula, Cinemas, Salas de espetáculo, Salas de Refeições, Lojas e similares, Museus e galerias, Salas de convivio, Salas de atividade de estabelecimentos de geriatria e similares.	Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0,80	1,20	6,67	0,84	40	49,91	50	50	13	1,1	350	772	na	NA	2,00
1.5.	1.5.Tipo A	48,14	2,8	135	SIM	4	12,0	0,09	Escritórios, Gabinetes, Secretarias, Salas de aula, Cinemas, Salas de espetáculo, Salas de Refeições, Lojas e similares, Museus e galerias, Salas de convivio, Salas de atividade de estabelecimentos de geriatria e similares.	Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0,80	1,20	6,67	0,84	40	50,55	51	55	14	1,1	350	734	na	NA	2,00
1.6.	1.6.Tipo A	48,19	2,8	135	SIM	4	12,0	0,09	Escritórios, Gabinetes, Secretarias, Salas de aula, Cinemas, Salas de espetáculo, Salas de Refeições, Lojas e similares, Museus e galerias, Salas de convivio, Salas de atividade de estabelecimentos de geriatria e similares.	Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0,80	1,20	6,67	0,84	40	50,6	51	55	14	1,1	350	734	na	NA	2,00
1.7.	1.7.Tipo A	48,14	2,8	135	SIM	4	12,0	0,09	Escritórios, Gabinetes, Secretarias, Salas de aula, Cinemas, Salas de espetáculo, Salas de Refeições, Lojas e similares, Museus e galerias, Salas de convivio, Salas de atividade de estabelecimentos de geriatria e similares.	Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0,80	1,20	6,67	0,84	40	50,55	51	55	14	1,1	350	734	na	NA	2,00
1.8.	1.8.Tipo A	48,19	2,8	135	SIM	4	12,0	0,09	Escritórios, Gabinetes, Secretarias, Salas de aula, Cinemas, Salas de espetáculo, Salas de Refeições, Lojas e similares, Museus e galerias, Salas de convivio, Salas de atividade de estabelecimentos de geriatria e similares.	Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0,80	1,20	6,67	0,84	40	50,6	51	55	14	1,1	350	734	na	NA	2,00
1.9.	1.9.Tipo A	45,19	2,8	127	SIM	4	11,3	0,09	Escritórios, Gabinetes, Secretarias, Salas de aula, Cinemas, Salas de espetáculo, Salas de Refeições, Lojas e similares, Museus e galerias, Salas de convivio, Salas de atividade de estabelecimentos de geriatria e similares.	Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0,80	1,20	6,67	0,84	40	47,45	48	50	13	1,1	350	772	na	NA	2,00
1.10.	1.10.Tipo A	46,09	2,8	129	SIM	4	11,5	0,09	Escritórios, Gabinetes, Secretarias, Salas de aula, Cinemas, Salas de espetáculo, Salas de Refeições, Lojas e similares, Museus e galerias, Salas de convivio, Salas de atividade de estabelecimentos de geriatria e similares.	Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0,80	1,20	6,67	0,84	40	48,4	49	50	13	1,1	350	772	na	NA	2,00
1.11.	1.11.ST SAFFT	47,91	2,8	134	SIM	5	9,6	0,11	Escritórios, Gabinetes, Secretarias, Salas de aula, Cinemas, Salas de espetáculo, Salas de Refeições, Lojas e similares, Museus e galerias, Salas de convivio, Salas de atividade de estabelecimentos de geriatria e similares.	Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0,80	1,20	6,67	0,84	50	50,31	51	55	11	1,1	350	830	na	NA	2,00

1.12.	1.12.ST SAFFT	49,78	2,8	139	SIM	5	10,0	0,11	Escritórios, Gabinetes, Secretarias, Salas de aula, Cinemas, Salas de espetáculo, Salas de Refeições, Lojas e similares, Museus e galerias, Salas de convivio, Salas de atividade de estabelecimentos de geriatria e similares.	Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0,80	1,20	6,67	0,84	50	52,27	53	55	11	1,1	350	830	na	NA	2,00
1.13.	1.13. Consult. Admin.	49,80	2,8	139	SIM	4	12,5	0,09	Escritórios, Gabinetes, Secretarias, Salas de aula, Cinemas, Salas de espetáculo, Salas de Refeições, Lojas e similares, Museus e galerias, Salas de convivio, Salas de atividade de estabelecimentos de geriatria e similares.	Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0,80	1,20	6,67	0,84	40	52,29	53	55	14	1,1	350	734	na	NA	2,00
1.14.	1.14.Circulação	190,33	2,8	533	NÃO	-	-	0	Escritórios, Gabinetes, Secretarias, Salas de aula, Cinemas, Salas de espetáculo, Salas de Refeições, Lojas e similares, Museus e galerias, Salas de convivio, Salas de atividade de estabelecimentos de geriatria e similares.	Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0,80	1,20	6,67	0,84		199,85	200	200	0	1,1	350	NA	na	NA	2,00
1.15.	1.15.Elevador	2,87	2,8	8	NÃO	-	-	0		Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0,80	NA	NA	NA	NA	NA		5	0	1,7	350	NA	na	NA	3,00
1.16.	1.16.Courette	2,31	2,8	6	NÃO	-	-	0		Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0,80	NA	NA	NA	NA	NA		5	0	2,2	350	NA	na	NA	3,00
1.17.	1.17.Arrumos NA	1,19	2,8	3	NÃO	-	-	0		Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0,80	NA	NA	NA	NA	NA		5	0	4,2	350	NA	na	NA	6,00
1.18.	1.18. I.S.	5,58	2,8	16	NÃO	-	-	0	Instalação sanitária pública	Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0,80	1,00	25,00	2,78		19,4	20	20	0	3,6	350	NA	na	NA	5,00
1.19.	1.19. I.S.	4,56	2,8	13	NÃO	-	-	0	Instalação sanitária pública	Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0,80	1,00	25,00	2,78		15,85	16	20	0	4,4	350	NA	na	NA	6,00
1.20.	1.20. Arrecadação	6,14	2,8	17	NÃO	-	-	0		Insuflação pelo teto, de ar quente pelo menos 8°C acima da temperatura do local e extração/retorno pelo teto	0,80	NA	NA	NA	NA	NA		10	0	1,6	350	NA	na	NA	3,00
		1.432	-	3.890	-	140	10,2	0,10										2.145							

Anexo V – Tabela de Dados de Dissipação do Equipamento

Sala Nº	Designação	Renovações Horárias (1/h)	Densidade de Iluminação (W/m²)	Densidade de Ocupação (m²/Pessoa)	Dissipação Equipamento					Condições Ambiente		Ar Novo (l/s)	Extracção Localizada		Obs.
					Equip. (W)	Coef. Pot. (%)	Coef. Extr. (%)	Coef. Simult. (%)	Carga (W)	Temp. (°C)	Hum. (%)		Nº Pontos	Caudal (l/s)	
0.1.	0.1. Tipo A	2	13	8,95	233,85	100%	100%	100%	233,85	22±2	N/C	50,00	N/C	N/C	Climatizado
0.2.	0.2. Tipo B	3	13	5,57	96,96	100%	100%	100%	96,96	22±2	N/C	35,00	N/C	N/C	Climatizado
0.3.	0.3. Tipo B	2	13	6,88	119,78	100%	100%	100%	119,78	22±2	N/C	35,00	N/C	N/C	Climatizado
0.4.	0.4. Tipo B	2	13	6,07	105,72	100%	100%	100%	105,72	22±2	N/C	35,00	N/C	N/C	Climatizado
0.5.	0.5. Tipo B	2	13	6,88	119,78	100%	100%	100%	119,78	22±2	N/C	35,00	N/C	N/C	Climatizado
0.6.	0.6. Tipo B	2	13	6,07	105,72	100%	100%	100%	105,72	22±2	N/C	35,00	N/C	N/C	Climatizado
0.7.	0.7. Tipo B	2	13	6,88	119,78	100%	100%	100%	119,78	22±2	N/C	35,00	N/C	N/C	Climatizado
0.8.	0.8. Tipo B	3	13	6,07	105,72	100%	100%	100%	105,72	22±2	N/C	40,00	N/C	N/C	Climatizado
0.9.	0.9. Gabinete de direcção	2	13	6,88	119,78	100%	100%	100%	119,78	22±2	N/C	35,00	N/C	N/C	Climatizado
0.10.	0.10. Gabinete Gestor	2	13	11,71	210,69	100%	100%	100%	210,69	22±2	N/C	20,00	N/C	N/C	Climatizado
0.11.	0.11. Pré Incubadora	3	13	8,80	229,93	100%	100%	100%	229,93	22±2	N/C	105,00	N/C	N/C	Climatizado
0.12.	0.12. Gabinete Reuniões	2	13	6,91	90,30	100%	100%	100%	90,30	22±2	N/C	25,00	N/C	N/C	Climatizado
0.13.	0.13. Entrada/Circulação	2	9	-	0,00	100%	100%	100%	0,00	22±2	N/C	100,00	N/C	N/C	Não Climatizado
0.14.	0.14. Restaurante	8	7	1,58	0,00	100%	100%	100%	0,00	22±2	N/C	275,00	N/C	N/C	Climatizado
0.15.	0.15. IS A	4	9	-	0,00	100%	100%	100%	0,00	22±2	N/C	25,00	N/C	N/C	Não Climatizado
0.16.	0.16. IS A	4	9	-	0,00	100%	100%	100%	0,00	22±2	N/C	20,00	N/C	N/C	Não Climatizado
0.17.	0.17. IS	5	9	-	0,00	100%	100%	100%	0,00	22±2	N/C	20,00	N/C	N/C	Não Climatizado
0.18.	0.18. Frio	2	0	-	0,00	100%	100%	100%	0,00	22±2	N/C	5,00	N/C	N/C	Não Climatizado
0.19.	0.19. D. Geral	2	0	-	0,00	100%	100%	100%	0,00	22±2	N/C	5,00	N/C	N/C	Não Climatizado
0.20.	0.20. Zona de Confeção	2	18	8,44	973,89	100%	100%	100%	973,89	22±2	N/C	25,00	N/C	N/C	Climatizado
0.21.	0.21. IS.P	5	9	-	0,00	100%	100%	100%	0,00	22±2	N/C	5,00	N/C	N/C	Não Climatizado
0.22.	0.22. D.Limp	4	0	-	0,00	100%	100%	100%	0,00	22±2	N/C	5,00	N/C	N/C	Não Climatizado
0.23.	0.23. NA	2	9	-	0,00	100%	100%	100%	0,00	22±2	N/C	15,00	N/C	N/C	Não Climatizado
0.24.	0.24. Elevador	2,00	9	-	0,00	100%	100%	100%	0,00	22±2	N/C	5,00	N/C	N/C	Não Climatizado
1.1.	1.1. Tipo A	2	13	11,05	192,49	100%	100%	100%	192,49	22±2	N/C	40,00	N/C	N/C	Climatizado
1.2.	1.2. Tipo A	2	13	11,23	195,54	100%	100%	100%	195,54	22±2	N/C	40,00	N/C	N/C	Climatizado
1.3.	1.3. Tipo A	2	13	11,72	204,07	100%	100%	100%	204,07	22±2	N/C	40,00	N/C	N/C	Climatizado
1.4.	1.4. Tipo A	2	13	11,88	206,95	100%	100%	100%	206,95	22±2	N/C	40,00	N/C	N/C	Climatizado
1.5.	1.5. Tipo A	2	13	12,04	209,60	100%	100%	100%	209,60	22±2	N/C	45,00	N/C	N/C	Climatizado
1.6.	1.6. Tipo A	2	13	12,05	209,82	100%	100%	100%	209,82	22±2	N/C	45,00	N/C	N/C	Climatizado
1.7.	1.7. Tipo A	2	13	12,04	209,60	100%	100%	100%	209,60	22±2	N/C	45,00	N/C	N/C	Climatizado
1.8.	1.8. Tipo A	2	13	12,05	209,82	100%	100%	100%	209,82	22±2	N/C	45,00	N/C	N/C	Climatizado
1.9.	1.9. Tipo A	2	13	11,30	196,76	100%	100%	100%	196,76	22±2	N/C	40,00	N/C	N/C	Climatizado
1.10.	1.10. Tipo A	2	13	11,52	200,68	100%	100%	100%	200,68	22±2	N/C	40,00	N/C	N/C	Climatizado
1.11.	1.11. ST SAFFT	2	13	9,58	208,60	100%	100%	100%	208,60	22±2	N/C	45,00	N/C	N/C	Climatizado
1.12.	1.12. ST SAFFT	2	13	9,96	216,74	100%	100%	100%	216,74	22±2	N/C	45,00	N/C	N/C	Climatizado
1.13.	1.13. Consult. Admin.	2	13	12,45	216,83	100%	100%	100%	216,83	22±2	N/C	45,00	N/C	N/C	Climatizado
1.14.	1.14. Circulação	2	9	-	0,00	100%	100%	100%	0,00	22±2	N/C	160,00	N/C	N/C	Não Climatizado
1.15.	1.15. Elevador	3	9	-	0,00	100%	100%	100%	0,00	22±2	N/C	5,00	N/C	N/C	Não Climatizado
1.16.	1.16. Courette	3	0	-	0,00	100%	100%	100%	0,00	22±2	N/C	5,00	N/C	N/C	Não Climatizado
1.17.	1.17. Arrumos NA	6	0	-	0,00	100%	100%	100%	0,00	22±2	N/C	5,00	N/C	N/C	Não Climatizado
1.18.	1.18. I.S.	5	9	-	0,00	100%	100%	100%	0,00	22±2	N/C	20,00	N/C	N/C	Não Climatizado
1.19.	1.19. I.S.	5	9	-	0,00	100%	100%	100%	0,00	22±2	N/C	15,00	N/C	N/C	Não Climatizado
1.20.	1.20. Arrecadação	3	0	-	0,00	100%	100%	100%	0,00	22±2	N/C	10,00	N/C	N/C	Não Climatizado
Totais		-	-	-	5.309				5.309	-	-	1.765	0	0	

Anexo VI – Tabela de Dados de Iluminação

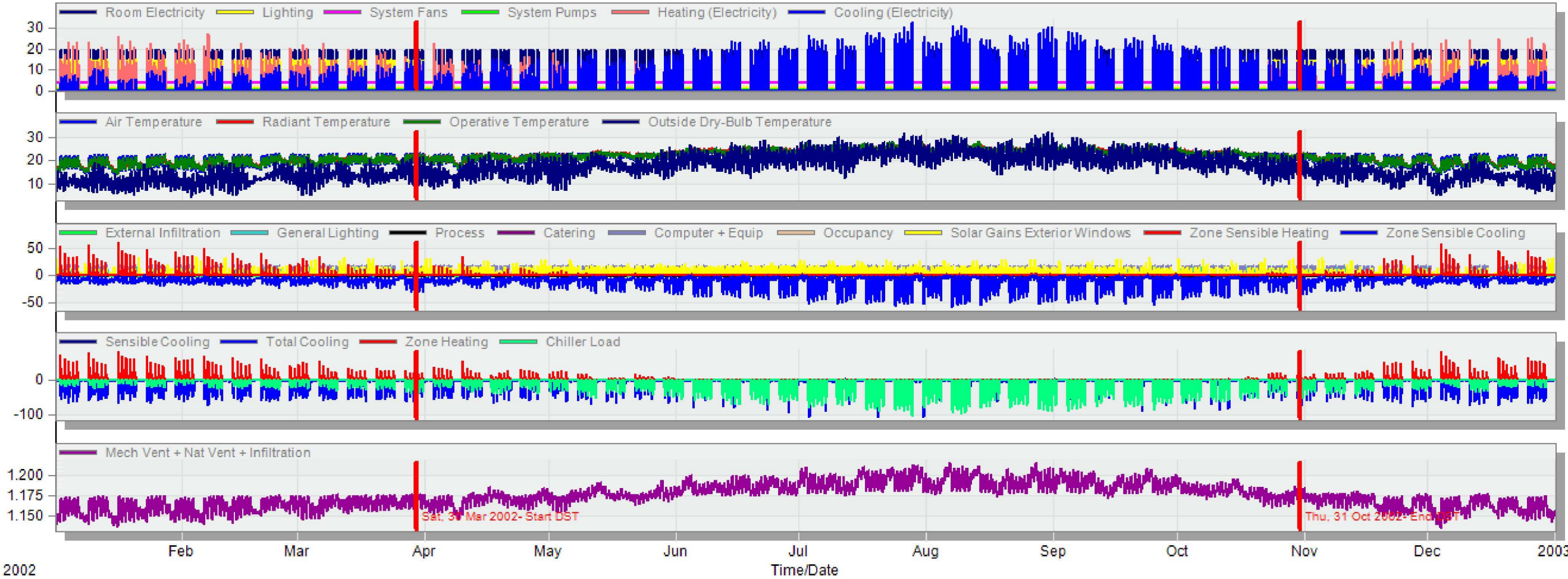
Sala Nº	Piso	Designação	Área Útil (m²)	TIPOLOGIA DO ESPAÇO	Densidade iluminação [(w/m2)/100lux]	Space	Maintained Luminance at work	Densidade iluminação Projeto (w/m2)
0.1.	0	0.1. Tipo A	53,71	B	2,4	Single Offices	500	13
0.2.	0	0.2.Tipo B	22,27	B	2,4	Single Offices	500	13
0.3.	0	0.3.Tipo B	27,51	B	2,4	Single Offices	500	13
0.4.	0	0.4.Tipo B	24,28	B	2,4	Single Offices	500	13
0.5.	0	0.5.Tipo B	27,51	B	2,4	Single Offices	500	13
0.6.	0	0.6.Tipo B	24,28	B	2,4	Single Offices	500	13
0.7.	0	0.7.Tipo B	27,51	B	2,4	Single Offices	500	13
0.8.	0	0.8.Tipo B	24,28	B	2,4	Single Offices	500	13
0.9.	0	0.9.Gabinete de direcção	27,51	B	2,4	Single Offices	500	13
0.10.	0	0.10.Gabinete Gestor	23,41	B	2,4	Single Offices	500	13
0.11.	0	0.11.Pré Incubadora	52,81	E	2,4	Laboratory	500	13
0.12.	0	0.12.Gabinete Reuniões	20,74	B	2,4	Single Offices	500	13
0.13.	0	0.13.Entrada/Circulação	114,42	K	3,8	Internal Corridors	200	9
0.14.	0	0.14.Restaurante	53,71	K	3,8	Restaurant dining room	150	7
0.15.	0	0.15.IS A	8,81	K	3,8	Toilets	200	9
0.16.	0	0.16.IS A	6,95	K	3,8	Toilets	200	9
0.17.	0	0.17. IS	6,15	K	3,8	Toilets	200	9
0.18.	0	0.18. Frio	3,92	A	2,1	Storage Rooms, Janitors' Closets	200	5
0.19.	0	0.19. D. Geral	4,51	H	3,4	Storage Rooms, Janitors' Closets	200	8
0.20.	0	0.20. Zona de Confeccção	25,33	H	3,4	Lecture hall	500	18
0.21.	0	0.21. IS.P	1,71	K	3,8	Toilets	200	9
0.22.	0	0.22. D.Limp	2,10	H	3,4	Storage Rooms, Janitors' Closets	200	8
0.23.	0	0.23. NA	16,56	K	3,8	Corridor	100	5
0.24.	0	0.24. Elevador	4,55	K	3,8	Elevator Lobbies, Public Corridors	200	9
								1
1.1.	1	1.1.Tipo A	44,21	B	2,4	Single Offices	500	13
1.2.	1	1.2.Tipo A	44,91	B	2,4	Single Offices	500	13
1.3.	1	1.3.Tipo A	46,87	B	2,4	Single Offices	500	13
1.4.	1	1.4.Tipo A	47,53	B	2,4	Single Offices	500	13
1.5.	1	1.5.Tipo A	48,14	B	2,4	Single Offices	500	13
1.6.	1	1.6.Tipo A	48,19	B	2,4	Single Offices	500	13
1.7.	1	1.7.Tipo A	48,14	B	2,4	Single Offices	500	13
1.8.	1	1.8.Tipo A	48,19	B	2,4	Single Offices	500	13
1.9.	1	1.9.Tipo A	45,19	B	2,4	Single Offices	500	13
1.10.	1	1.10.Tipo A	46,09	B	2,4	Single Offices	500	13
1.11.	1	1.11.ST SAFFT	47,91	B	2,4	Single Offices	500	13
1.12.	1	1.12.ST SAFFT	49,78	B	2,4	Single Offices	500	13
1.13.	1	1.13. Consult. Admin.	49,80	B	2,4	Single Offices	500	13
1.14.	1	1.14.Circulação	190,33	K	3,8	Internal Corridors	200	9
1.15.	1	1.15.Elevador	2,87	K	3,8	Elevator Lobbies, Public Corridors	200	9
1.16.	1	1.16.Courette						1
1.17.	1	1.17.Arrumos NA	1,19	H	3,4	Storage Rooms, Janitors' Closets	200	8
1.18.	1	1.18. I.S.	5,58	K	3,8	Toilets	200	9
1.19.	1	1.19. I.S.	4,56	K	3,8	Toilets	200	9
1.20.	1	1.20. Arrecadação	6,14	H	3,4	Storage Rooms, Janitors' Closets	200	8

Anexo VII – Gráficos de Resultados de Referência (DesignBuilder)

Lisboa

Temperatures, Heat Gains and Energy Consumption - 20180217, Edificio tese
1 Jan - 31 Dec, Hourly

EnergyPlus Output

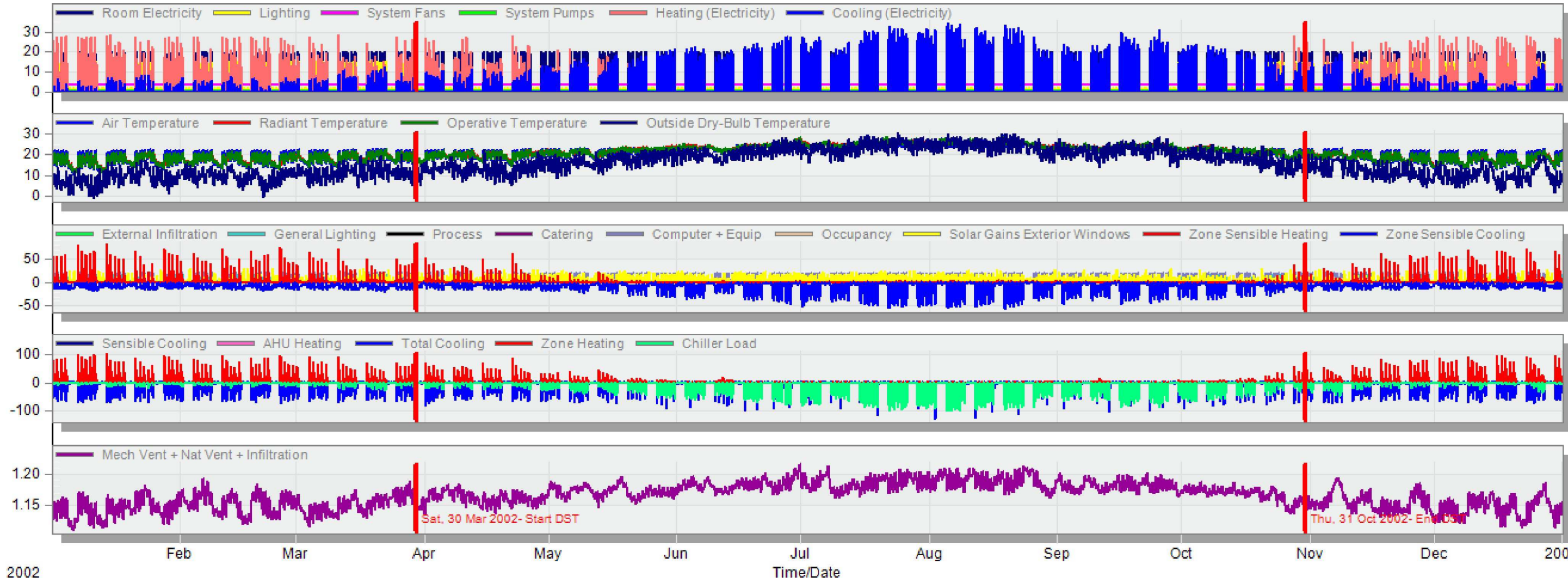


Barcelona

Temperatures, Heat Gains and Energy Consumption - 20180217, Edificio tese

1 Jan - 31 Dec, Hourly

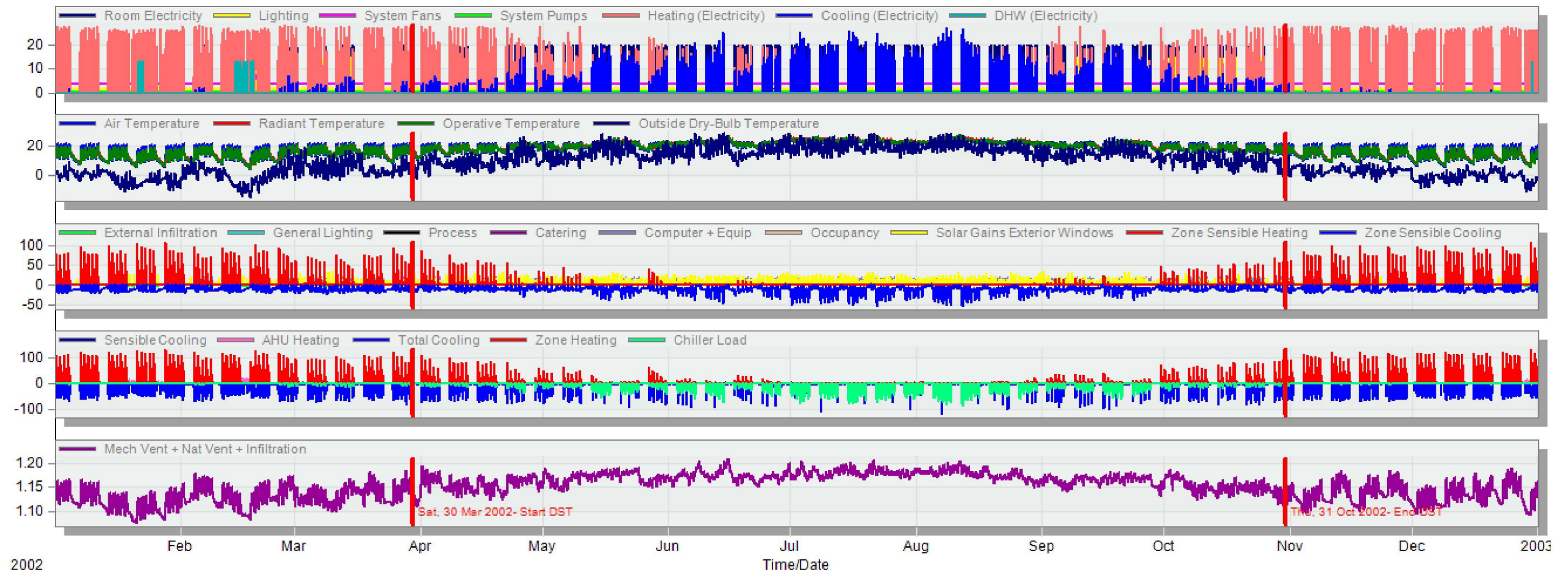
EnergyPlus Output



Graz

Temperatures, Heat Gains and Energy Consumption - 20180217, Edificio tese
1 Jan - 31 Dec, Hourly

EnergyPlus Output

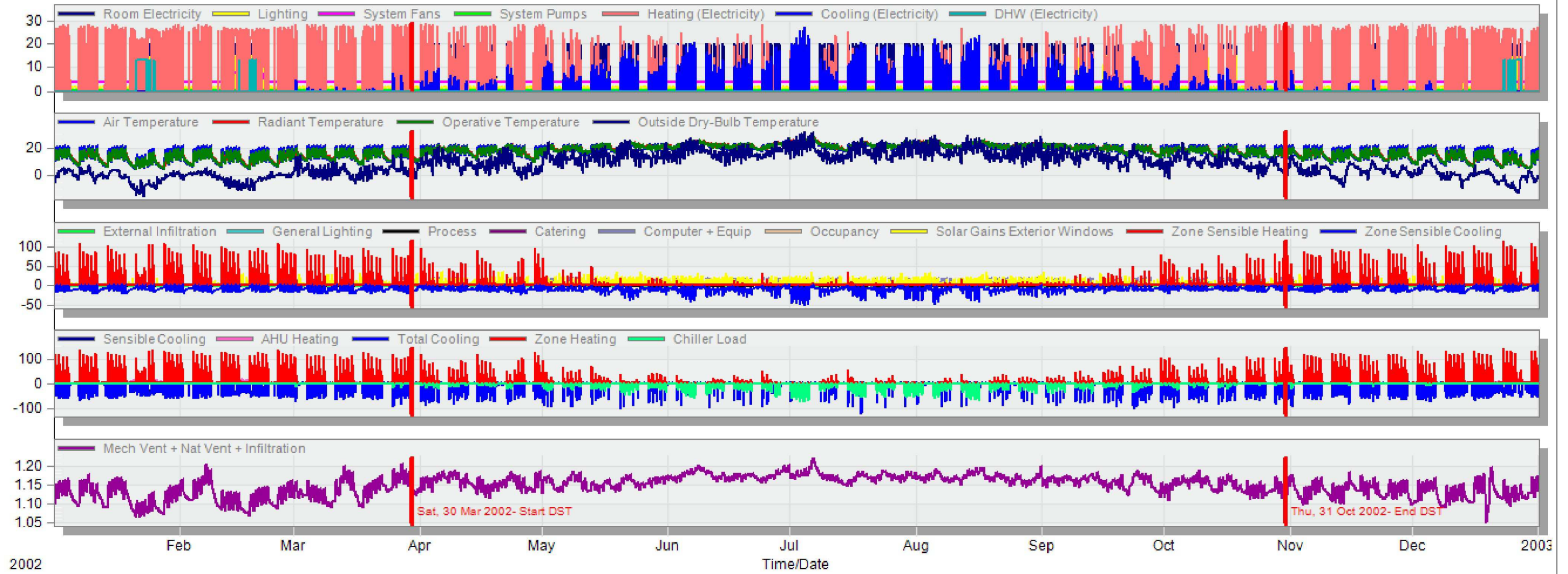


Varsóvia

Temperatures, Heat Gains and Energy Consumption - 20180217, Edifício tese

1 Jan - 31 Dec, Hourly

EnergyPlus Output



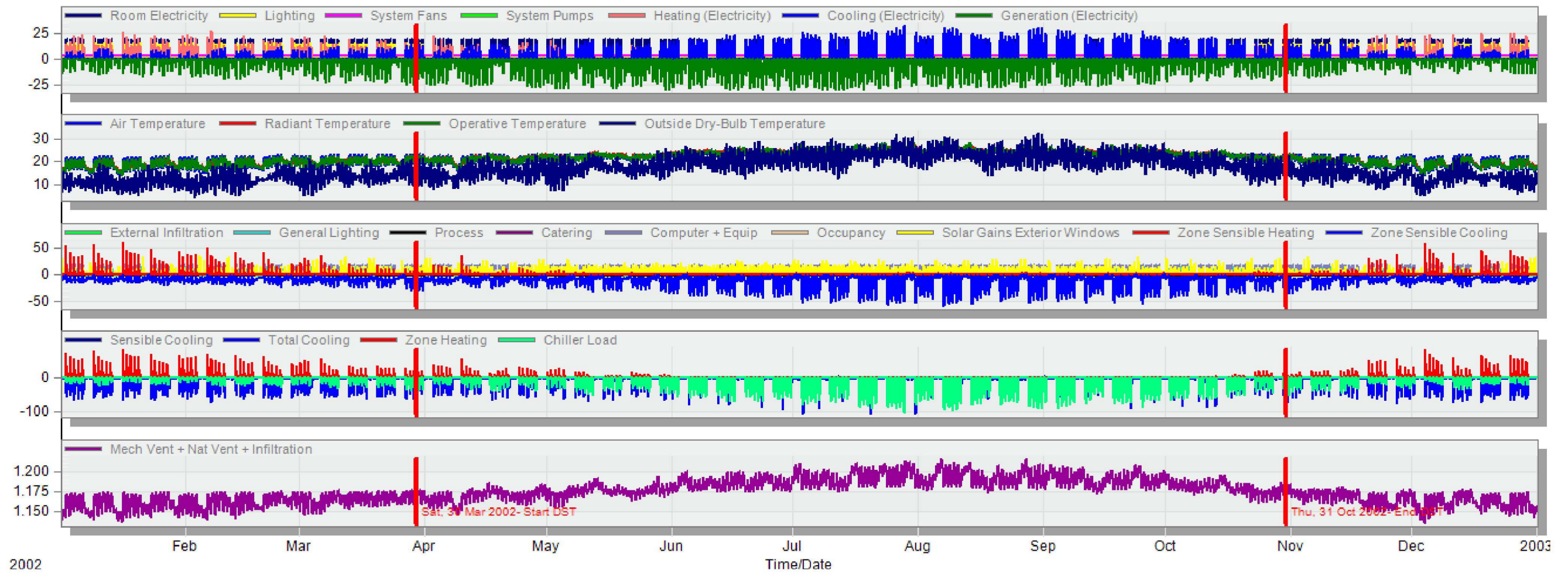
Anexo VIII - Gráficos
de Resultados de
Aplicação de Painéis
Fotovoltaicos
(DesignBuilder)

Lisboa

Temperatures, Heat Gains and Energy Consumption - 20180217, Edifício tese

1 Jan - 31 Dec, Hourly

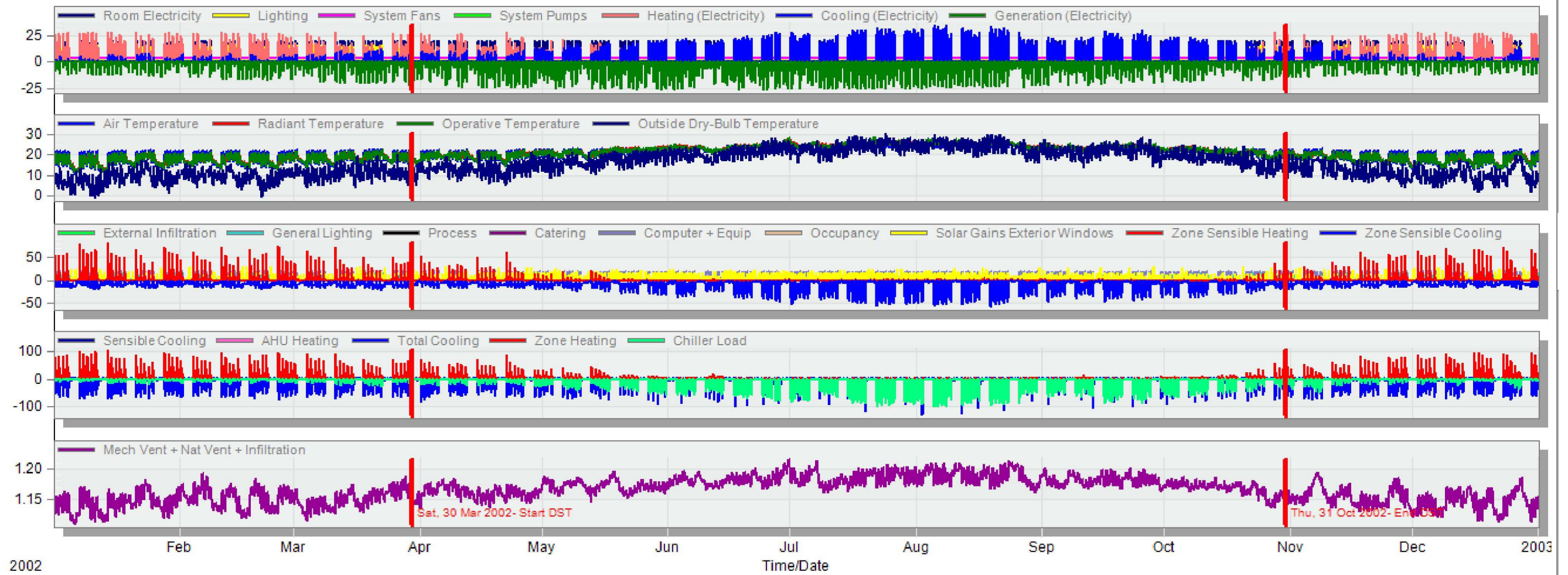
EnergyPlus Output



Barcelona

Temperatures, Heat Gains and Energy Consumption - 20180217, Edificio tese
1 Jan - 31 Dec, Hourly

EnergyPlus Output

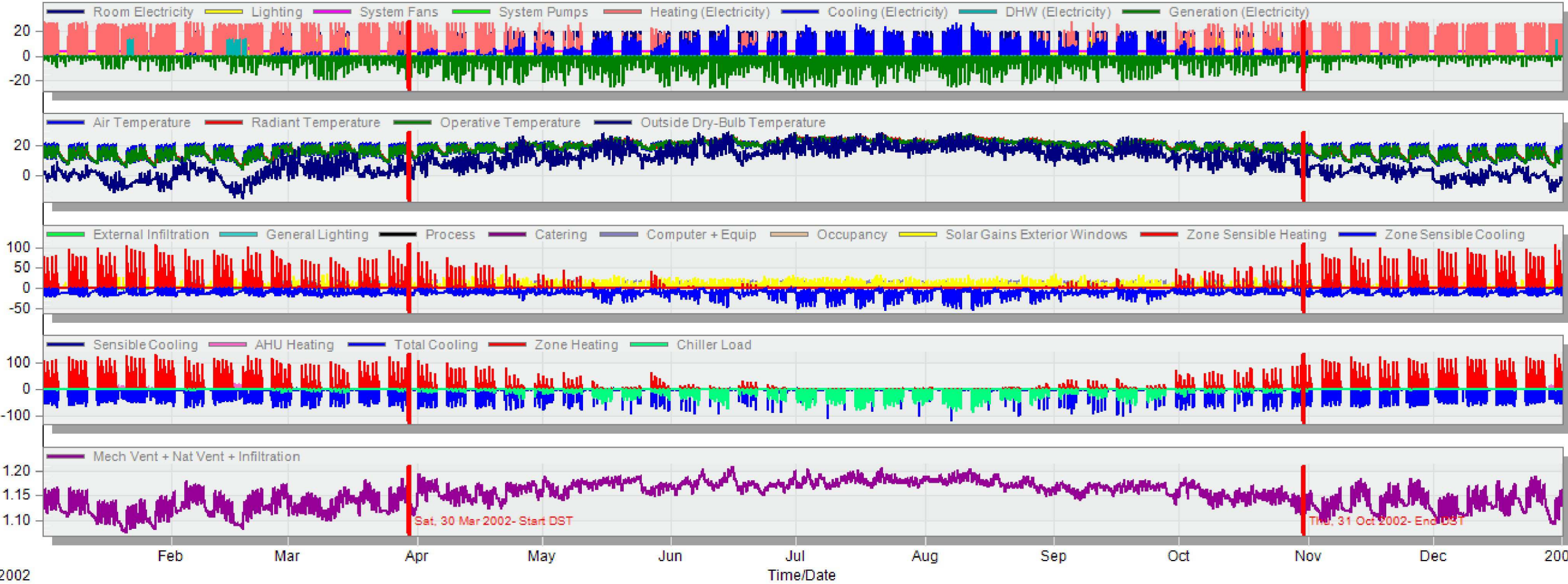


Graz

Temperatures, Heat Gains and Energy Consumption - 20180217, Edifício tese

1 Jan - 31 Dec, Hourly

EnergyPlus Output

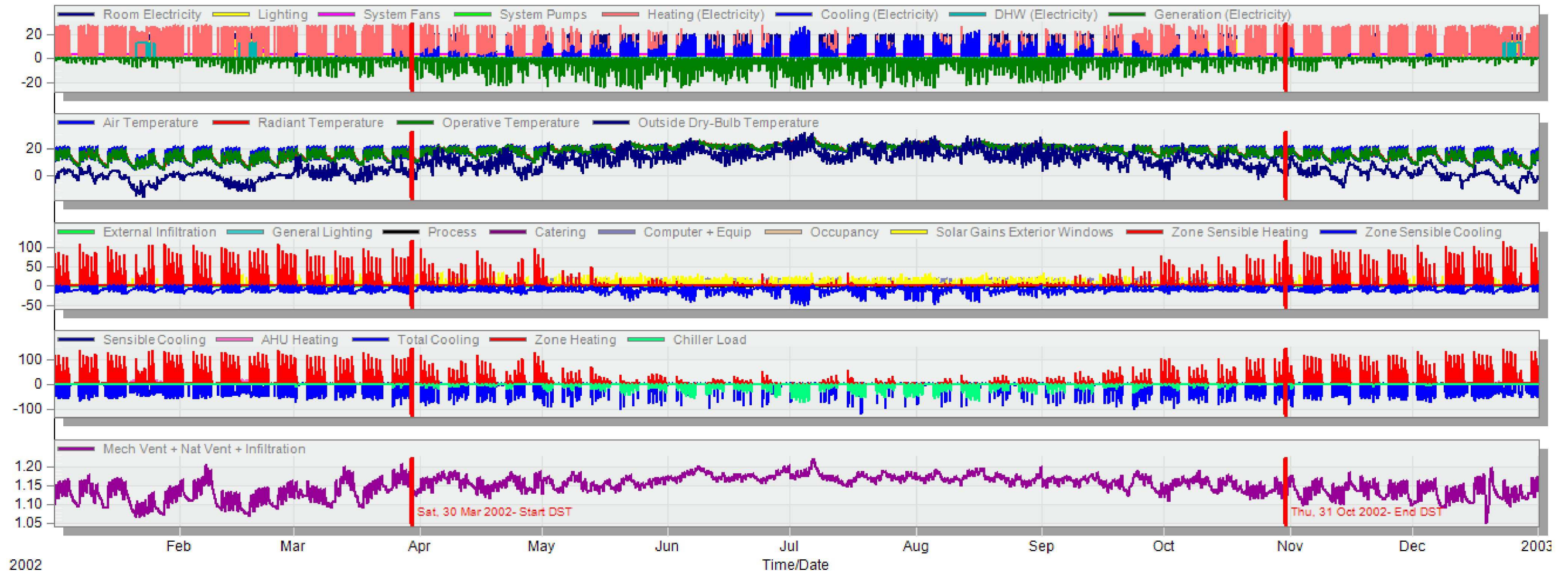


Varsóvia

Temperatures, Heat Gains and Energy Consumption - 20180217, Edifício tese

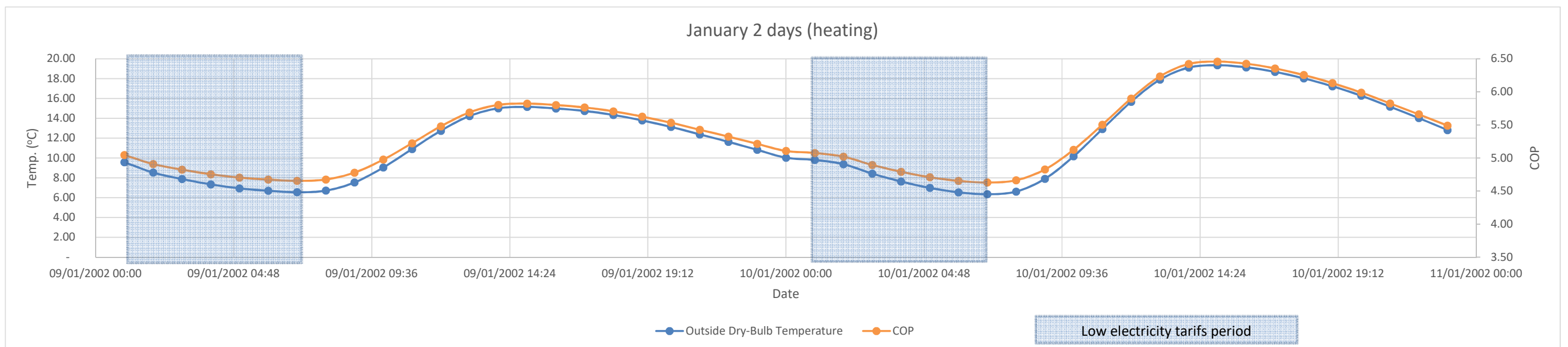
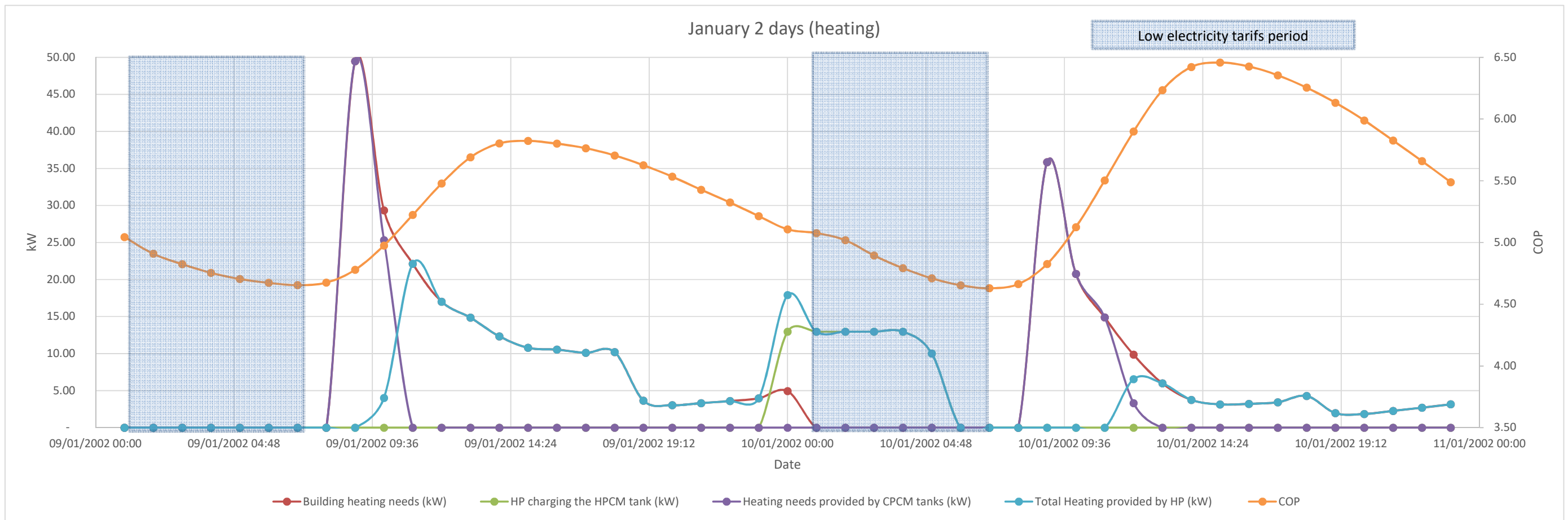
1 Jan - 31 Dec, Hourly

EnergyPlus Output

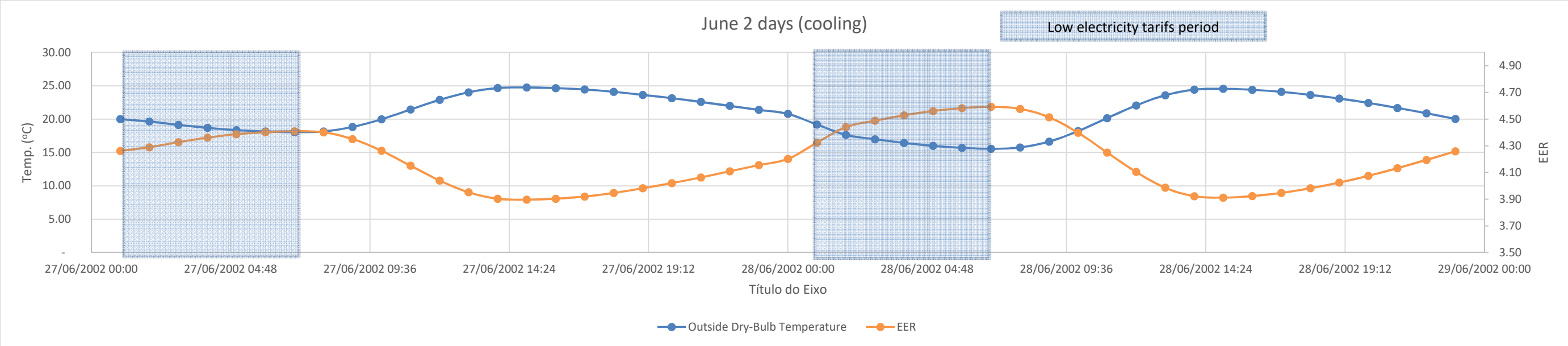
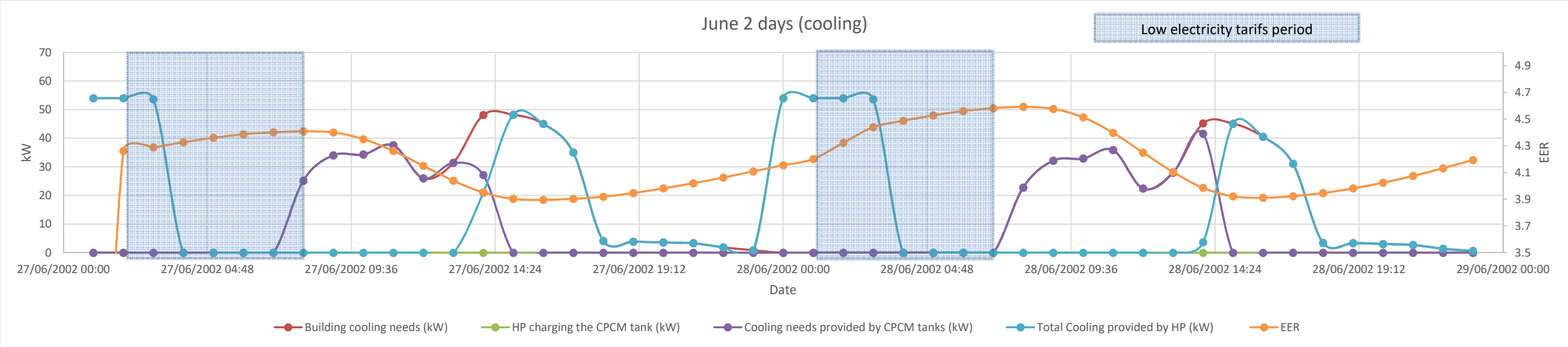


Anexo IX – Resultados Aplicação de PCM em LTES

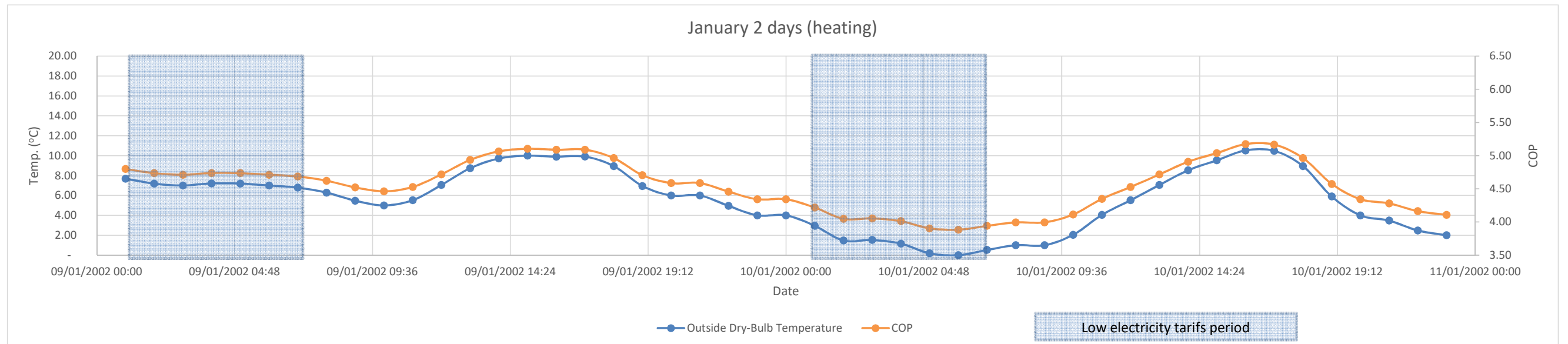
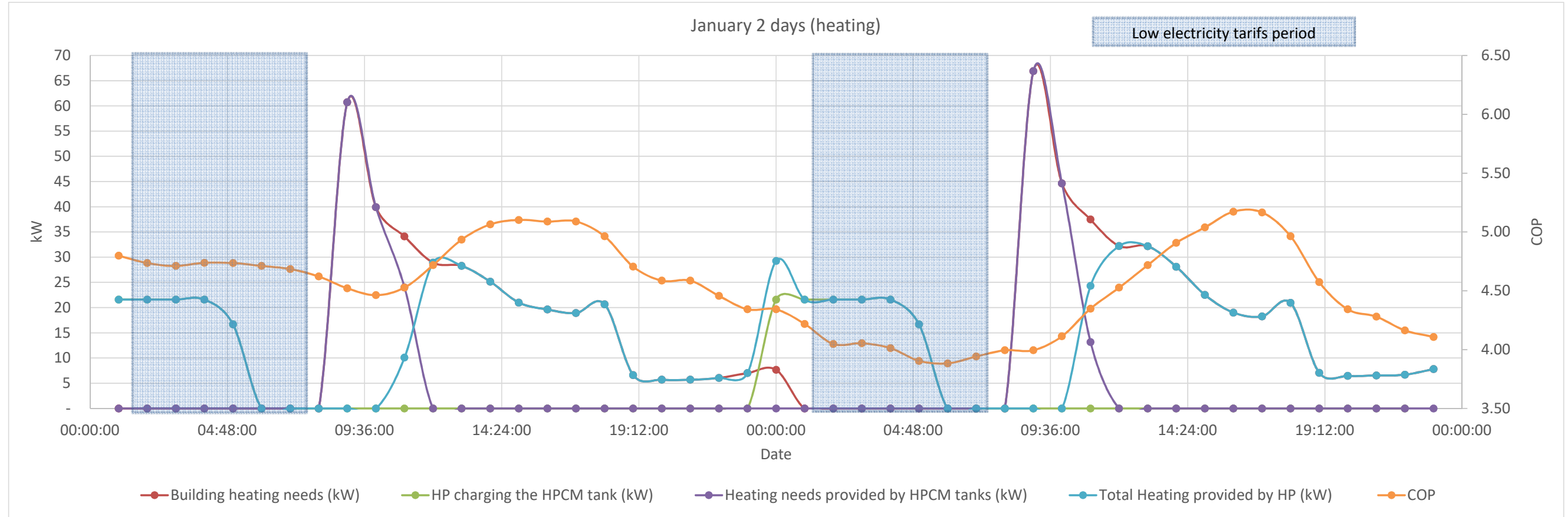
Lisboa - Aquecimento



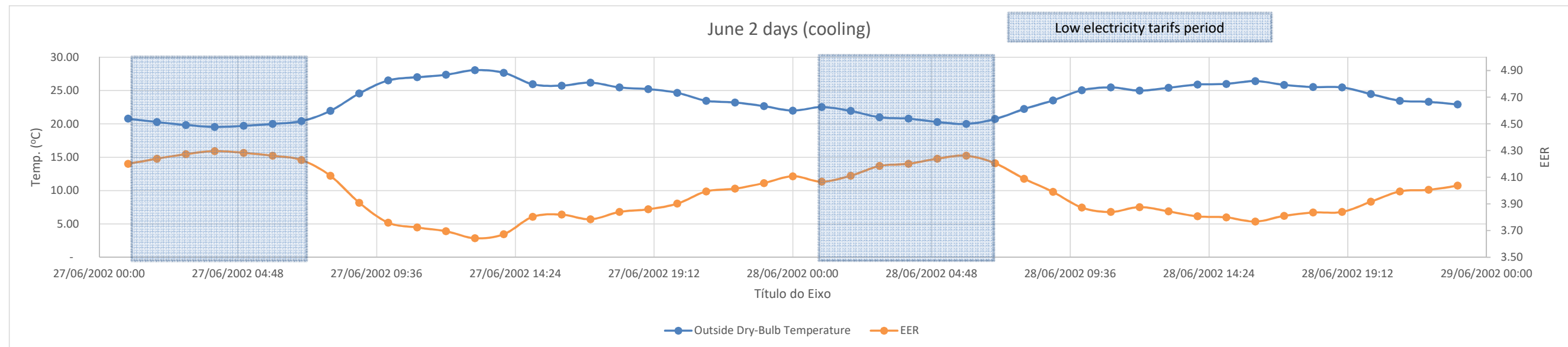
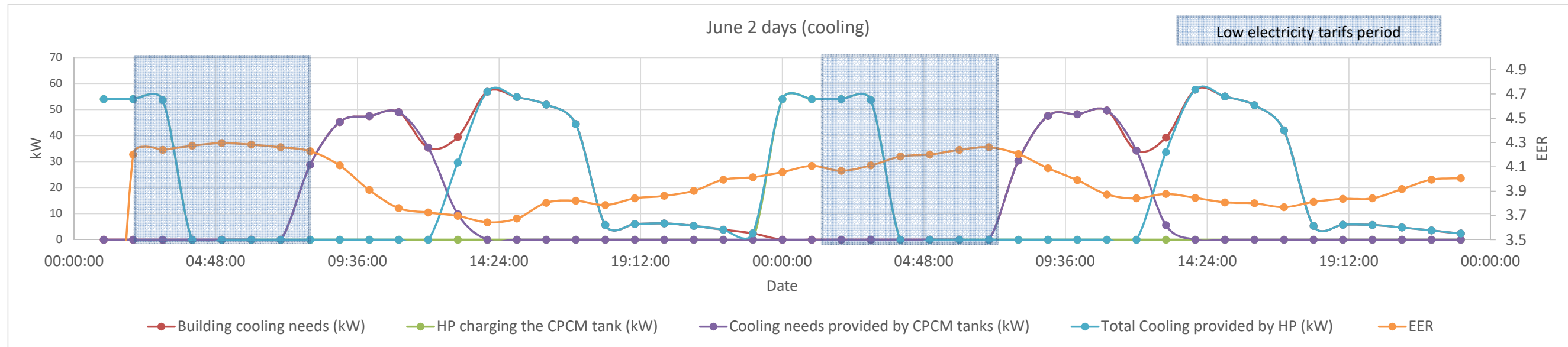
Lisboa - Arrefecimento



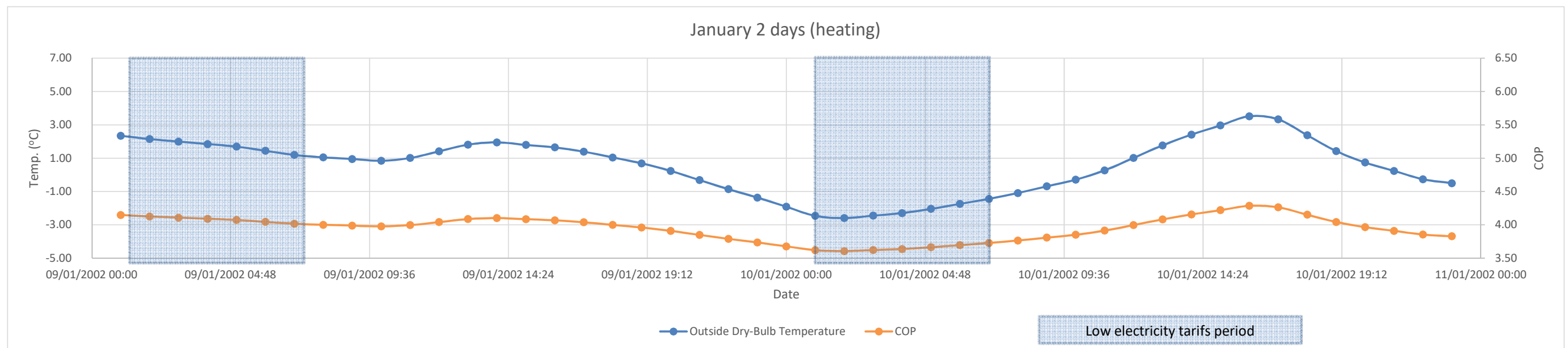
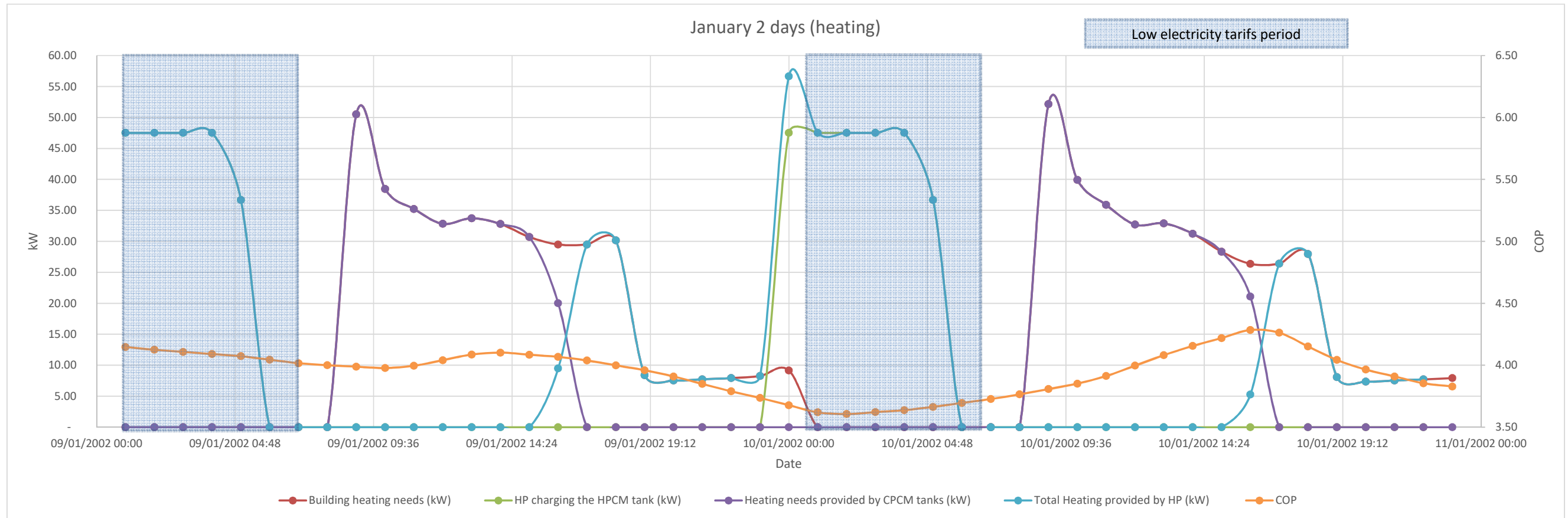
Barcelona - Aquecimento



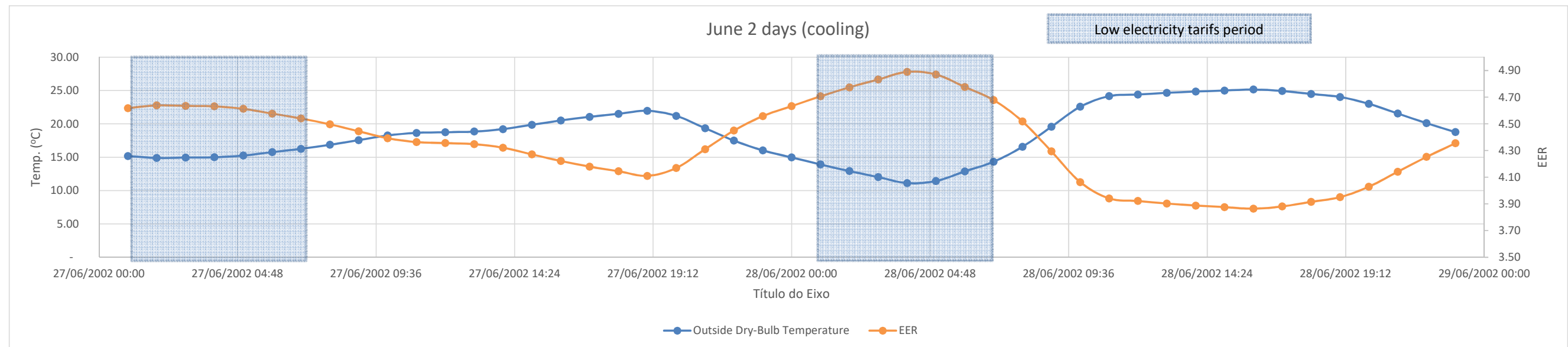
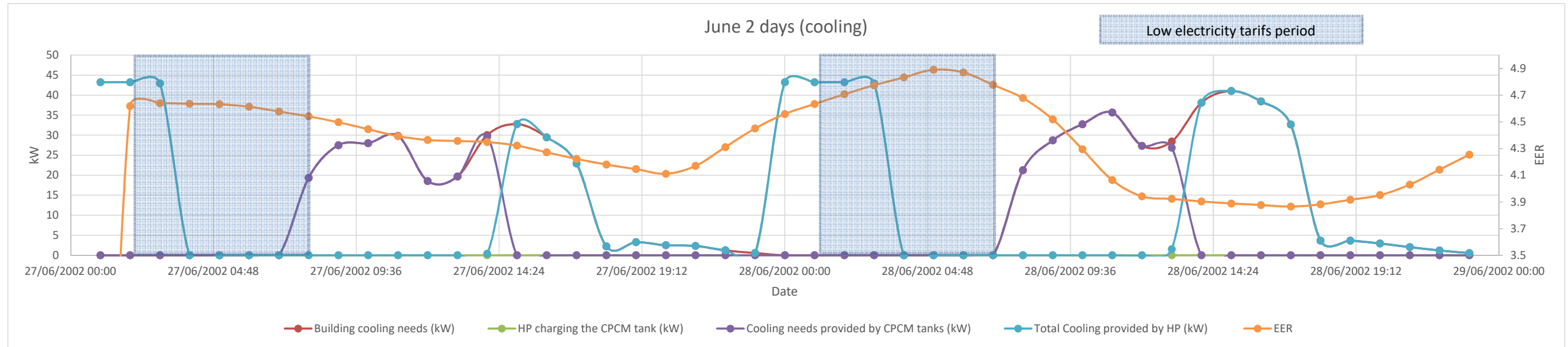
Barcelona - Arrefecimento



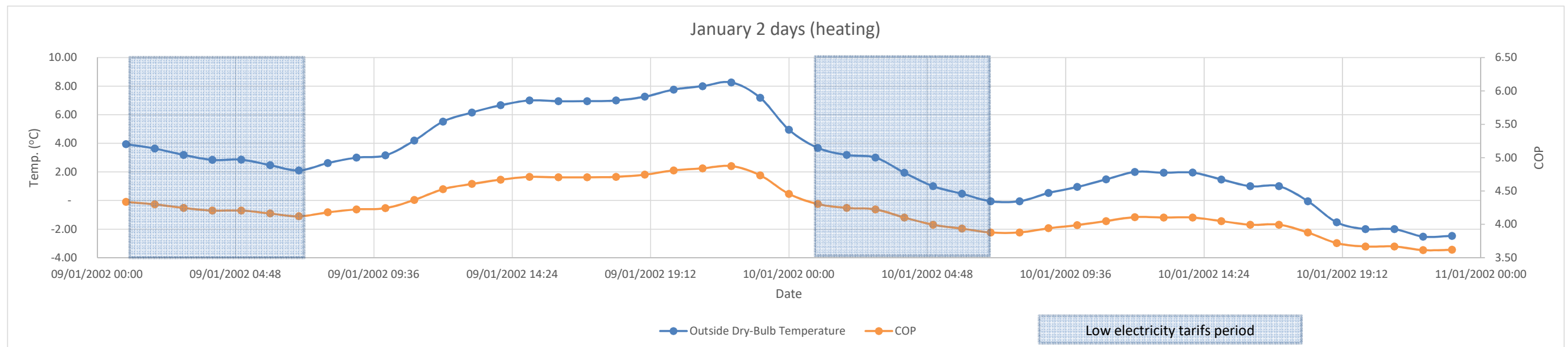
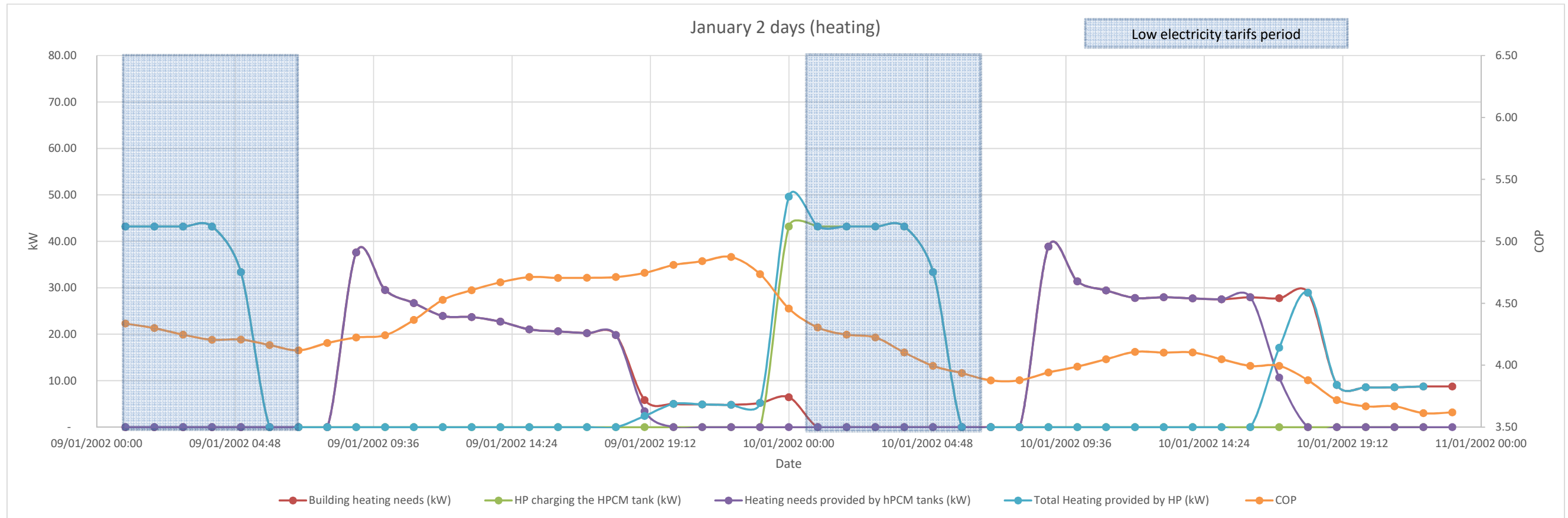
Graz - Aquecimento



Graz - Arrefecimento



Varsóvia - Aquecimento



Varsóvia - Arrefecimento

