



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

# **ESTUDO SOBRE CÁLCULO DOS NÍVEIS ÓTIMOS DE RENTABILIDADE DOS REQUISITOS MÍNIMOS DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS E COMPONENTES DE EDIFÍCIOS**

**Contribuições para o estudo dos edifícios de escritórios:  
Construção nova**

Direção-Geral de Energia e Geologia

Lisboa • dezembro de 2014

**I&D EDIFÍCIOS**

**RELATÓRIO 473/2014 – DED/NAICI**

## **Título**

### **ESTUDO SOBRE CÁLCULO DOS NÍVEIS ÓTIMOS DE RENTABILIDADE DOS REQUISITOS MÍNIMOS DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS E COMPONENTES DE EDIFÍCIOS**

Contribuições para o estudo dos edifícios de escritórios: Construção nova

## **Autoria**

DEPARTAMENTO DE EDIFÍCIOS

**Armando Pinto**

Investigador Auxiliar, Núcleo de Acústica, Iluminação, Componentes e Instalações

Copyright © LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL, I. P.

AV DO BRASIL 101 • 1700-066 LISBOA

e-mail: [lnec@lnec.pt](mailto:lnec@lnec.pt)

[www.lnec.pt](http://www.lnec.pt)

Relatório 473/2014

Proc. 0809/122/1951202

# ESTUDO SOBRE CÁLCULO DOS NÍVEIS ÓTIMOS DE RENTABILIDADE DOS REQUISITOS MÍNIMOS DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS E COMPONENTES DE EDIFÍCIOS

Contribuições para o estudo dos edifícios de escritórios: Construção Nova

## Resumo

---

No âmbito das preocupações com a eficiência energética dos edifícios e com as exigências decorrentes do estabelecimento de requisitos mínimos de desempenho energético dos edifícios, baseados em níveis ótimos de rentabilidade em conformidade com as exigências da Diretiva 2010/31/EU recast, o LNEC colaborou na realização do estudo Português aplicável aos edifícios novos de comércio e serviços. Neste relatório, reúne-se parte das contribuições do LNEC para o estudo de edifícios de escritórios novos e apresentam-se as principais conclusões.

Palavras-chave: Energia / Eficiência energética / Custo ótimo / EPBDrecast / RECS

## STUDY ABOUT COST-OPTIMAL LEVELS OF MINIMUM ENERGY PERFORMANCE REQUIREMENTS FOR BUILDINGS AND BUILDING ELEMENTS

Contributions to the study of office buildings: New Constructions

## Abstract

---

Regarding the concerns about the energy efficiency of buildings and the minimum energy performance requirements of buildings supported by cost-optimal levels studies in accordance with Directive 2010/31 / EU recast, LNEC collaborated in the Portuguese study about Commercial and Service buildings. This report collects a part of LNEC's contributions to the study about new office buildings and presents the main conclusions.

Keywords: Energy / Energy efficiency / Cost optimal / EPBDrecast / RECS





# Índice

|   |   |    |
|---|---|----|
| 1 | Introdução .....  | 1  |
| 2 | Síntese dos resultados.....   | 2  |
| 3 | Conclusões.....   | 10 |
|   | Referências Bibliográficas .....  | 11 |
|   | Anexos.....   | 13 |
|   | ANEXO I Resultados do estudo dos níveis ótimos do edifício de escritórios: Construção nova 15       |    |
|   | ANEXO II Análise de sensibilidade da qualidade térmica da envolvente opaca e <i>free cool</i> ..... | 49 |
|   | ANEXO III Sistema de ventilação dos edifícios tipo Hotel e Escritórios .....                        | 65 |
|   | ANEXO IV Definição da solução de referência de fachada-cortina.....                                 | 77 |

## Índice de figuras

|   |   |
|---|---|
| Figura 1 – Resultados com os sistemas das soluções ótimas, Sistema S4: EER=3.8, COP=4.2 (taxa de desconto 3%, custo médio, VRF) ..... | 3 |
| Figura 2 – Resultados com os sistemas das soluções ótimas Sistema S7: EER=3.2, COP=3.3 (taxa de desconto 3%, custo médio) .....       | 3 |
| Figura 3 – Análise de sensibilidade dos níveis ótimos, climatização VRF .....   | 6 |
| Figura 4 – Resultados da análise do edifício sem sistema fotovoltaico (sistema S5: EER=2.7, COP=2.8) .....                            | 6 |
| Figura 5 – Resultados da análise do edifício com sistema fotovoltaico (sistema S5: EER=2.7, COP=2.8) .....                            | 7 |
| Figura 6 – Comparação do IEE do edifício com a solução ótima, IEE de referência do RECS e proposta de ajustamento .....               | 8 |

## Índice de quadros

|   |   |
|---|---|
| Quadro 1 – Resumo dos valores das soluções ótimas e RECS..... | 4 |
|---|---|



# 1 | Introdução

No âmbito do previsto no n.º 1 do artigo 4.º da Diretiva sobre a eficiência energética de edifícios [1], foi desenvolvido um estudo sobre os níveis ótimos de rentabilidade de medidas de eficiência energética nos edifícios de acordo com a metodologia especificada no Regulamento Delegado [2]. Efetivamente, “os Estados-Membros deverão utilizar este quadro para comparar os resultados com os requisitos mínimos de desempenho energético que tenham aprovado. Caso se verifiquem discrepâncias significativas, isto é, que excedam 15%, entre os níveis ótimos de rentabilidade calculados para os requisitos mínimos de desempenho energético e os requisitos mínimos de desempenho energético em vigor, os Estados-Membros deverão justificar a diferença ou prever medidas adequadas para reduzir essa discrepância” [1].

Neste documento reúnem-se as contribuições para o grupo de trabalho formado pela DGEG, ADENE, LNEG e LNEC e os principais resultados do estudo realizado sobre um edifício de referência virtual, da tipologia “escritórios novos” e situado em Lisboa, para apreciação dos requisitos regulamentares [3] e [4]. As contribuições foram as seguintes:

- DOC 03 - Estudo sobre cálculo dos níveis ótimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético dos edifícios e componentes de edifícios de comércio e serviços. Definição da solução de fachada cortina, de 2014-10-09 (ver anexo IV).
- DOC 04 - Estudo sobre cálculo dos níveis ótimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético dos edifícios e componentes de edifícios de comércio e serviços. Sistema de ventilação dos edifícios do tipo hotel e escritórios, de 2014-11-06 (ver anexo IIII).
- DOC 05 - Estudo sobre cálculo dos níveis ótimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético dos edifícios e componentes de edifícios de comércio e serviços. Análise de sensibilidade da qualidade térmica da envolvente opaca e *free cool*, de 2014-12-24 (ver anexo II).
- DOC 06 - Estudo sobre cálculo dos níveis ótimos de rentabilidade dos requisitos mínimos de desempenho energético dos edifícios e componentes de edifícios de comércio e serviços. Resultados do estudo dos níveis ótimos do edifício de escritórios: construção nova, de 2014-12-31 (ver anexo I).

Os DOC 01 e 02 referem-se ao estudo dos edifícios do tipo hotel e não são incluídos neste relatório.

No capítulo 2 apresentam-se os principais resultados e conclusões do estudo realizado sobre o edifício de referência da tipologia “escritórios novos” situado em Lisboa e que constam do Anexo I.

## 2 | Síntese dos resultados

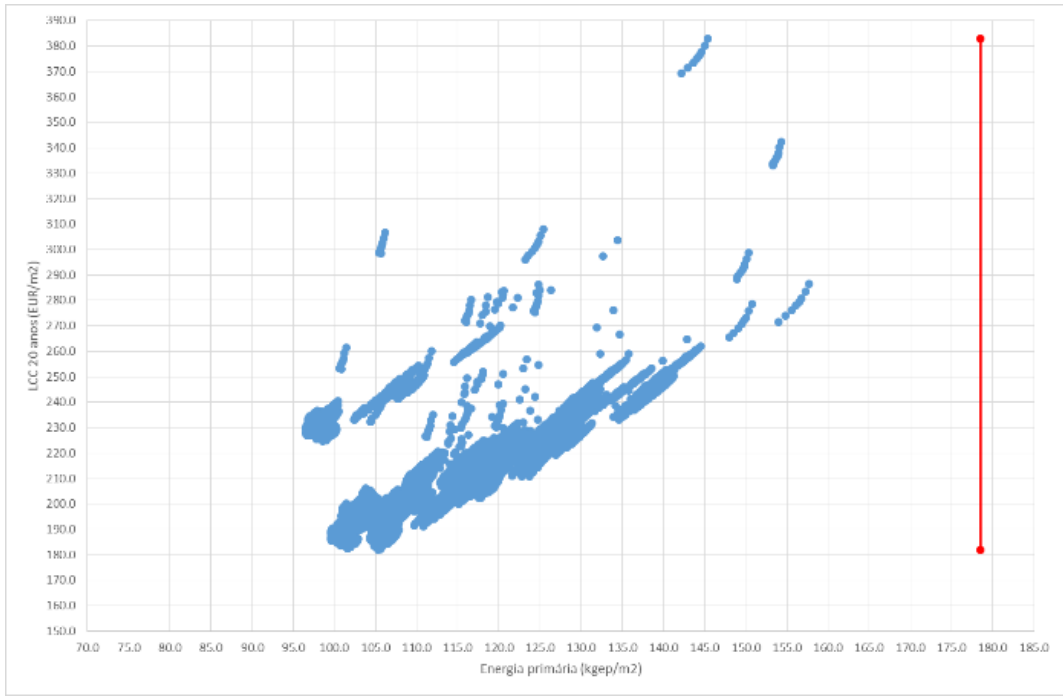
Os resultados do estudo dos custos ótimos do edifício de “escritórios novos”, situado em Lisboa (zona Climática (I1,V3), constam do Anexo I a este relatório. As estimativas das necessidades energéticas baseiam-se em simulações dinâmicas multizona com o modelo EnergyPlus, versão 8.1.009. Na Figura 2 e na Figura 3 apresentam-se os resultados da análise das variantes das soluções construtivas, sistemas e instalações, para a solução ótima de climatização com sistema de Volume (caudal volúmico) de Refrigerante Variável VRF<sup>1</sup> e com sistema de bomba de calor ar-água (“chiller”). No Quadro 1 apresentam-se as características de desempenho energético das soluções ótimas para o edifício de escritórios com o sistema VRF, com o sistema “Chiller”, com ventilação natural e com ventilação mecânica (ver Anexo I). Nesse quadro também se encontram indicados os valores utilizados no cálculo do limite regulamentar do Regulamento de Eficiência Energética dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) [3].

Nas legendas das figuras e do quadro as siglas têm o seguinte significado:

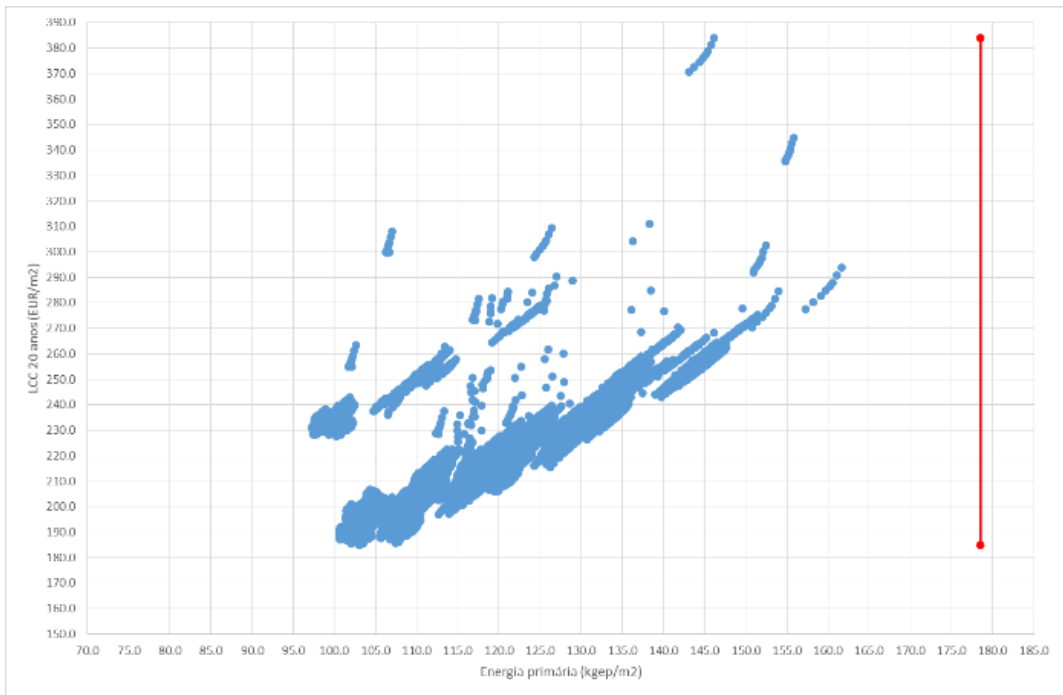
- IEE – indicador de eficiência energética, expressa as necessidades de energia primária do edifício, por ano e por metro quadrado em kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup> [3].
- LCC20 anos – é o custo de ciclo de vida do edifício para um período de 20 anos, descontando o valor residual e no qual estão omissas as parcelas comuns às variantes de eficiência energética estudadas, sendo expresso em EUR/m<sup>2</sup>.
- RPLN – Sistema de regulação do fluxo luminoso (iluminação artificial) em função do aproveitamento da luz natural (regulação por luz natural).
- EER – *Energy Efficiency Ratio* dos sistemas de arrefecimento.
- COP – *Coefficient of Performance* dos sistemas de aquecimento do tipo bomba de calor.

---

<sup>1</sup> VRF Variable Refrigerant Flow



**Figura 1 – Resultados com os sistemas das soluções ótimas, Sistema S4: EER=3.8, COP=4.2 (taxa desconto 3%, custo médio, VRF)**



**Figura 2 – Resultados com os sistemas das soluções ótimas Sistema S7: EER=3.2, COP=3.3 (taxa de desconto 3%, custo médio)**

Quadro 1 – Resumo dos valores das soluções ótimas e RECS

|  | RECS                                 | Ventilação Natural                   | Ventilação Mecânica                                     | Ventilação Natural                                      | Ventilação Mecânica                                     |
|--|--------------------------------------|--------------------------------------|---|---|---|
| Climatização                                   | Chiller                              | VRF                                  |   | Chiller   |   |
| IEE (kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> )       | 179                                  | 105                                  | 109   | 103   | 111   |
| LCC 20 anos (€/m <sup>2</sup> )                | -                                    | 182                                  | 198   | 185   | 201   |
| U <sub>Pavimento</sub> (W/(m <sup>2</sup> .K)) | 0.50                                 | 2.6 (0 cm)                           | 2.6 (0 cm)  | 2.6 (0 cm)  | 2.6 (0 cm)  |
| U <sub>Parede</sub> (W/(m <sup>2</sup> .K))    | 0.70                                 | 1.3 (0 cm)                           | 1.3 (0 cm)  | 1.3 (0 cm)  | 1.3 (0 cm)  |
| U <sub>Cobertura</sub> (W/(m <sup>2</sup> .K)) | 0.50                                 | 1.0 (2 cm)                           | 1.0 (2 cm)  | 1.0 (2 cm)  | 1.0 (2 cm)  |
| Janela U <sub>w</sub> (W/(m <sup>2</sup> .K))  | 4.3                                  | 5.9                                  | 5.9   | 5.9   | 5.9   |
| Janela g                                       | 0.20                                 | 0.50                                 | 0.50  | 0.50  | 0.50  |
| Proteção solar                                 | -                                    | Exterior                             | Exterior  | Exterior  | Exterior  |
| Iluminação                                     | 12.5 W/m <sup>2</sup>                | 9 W/m <sup>2</sup>                   | 9 W/m <sup>2</sup>                                      | 9 W/m <sup>2</sup>                                      | 9 W/m <sup>2</sup>                                      |
| Controlo RPLN                                  | sim                                  | sim                                  | sim   | sim   | sim   |
| Ventilação                                     | VM 1<br>Ventilação com caudal mínimo | VN 1<br>Ventilação com caudal mínimo | VM 2<br>Ventilação com “free cool” de 2 h <sup>-1</sup> | VN 2<br>Ventilação com “free cool” de 2 h <sup>-1</sup> | VM 2<br>Ventilação com “free cool” de 2 h <sup>-1</sup> |
| Recuperação calor Ventilação                   | Não                                  | Não                                  | Não   | Não   | Não   |
| SFP (W/(m <sup>3</sup> /s))                    | 2000                                 | 850                                  | -   | 850   | -   |
| Climatização                                   | S5                                   | S4                                   | S4  | S7  | S7  |
| COP  | 2.8                                  | 4.2                                  | 4.2   | 3.30  | 3.30  |
| EER  | 2.7                                  | 3.8                                  | 3.8   | 3.20  | 3.20  |

Resultados referentes ao cenário macroeconómico, custo médios de energia e CO<sub>2</sub> e taxa de desconto de 3%

Da análise dos resultados da Figura 2 verifica-se que a generalidade das soluções conduz a necessidades de energia primária (IEE) inferiores ao limite regulamentar aplicável a este edifício de referência virtual situado em Lisboa, que são de 179 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>.

Desta análise dos resultados obtidos pode concluir-se o seguinte:

1. Ao nível das soluções construtivas e seu isolamento térmico, as soluções ótimas são iguais entre sistemas VRF e Chiller e conclui-se que as soluções de referência regulamentares são suficientemente restritivas.
2. Ao nível da proteção solar, o regulamento deve privilegiar vidros de maior fator solar e proteções solares exteriores, em vez de especificar apenas um valor para o fator solar de 0,20, que pode conduzir a resultados indesejáveis se forem adotados vidros com baixa transmitância luminosa.



3. O valor de SFP<sup>2</sup> regulamentar em vigor em 2014 é excessivo (2000 W/(m<sup>3</sup>/s)), sendo considerado satisfatório o que vigorará a partir de 2015 (1250 W/(m<sup>3</sup>/s)), ou poderia ser adotado um valor intermédio de (1500 W/(m<sup>3</sup>/s)).
4. O sistema de referência de ventilação deve prever a implementação de arrefecimento gratuito com um caudal de pelo menos 2 h<sup>-1</sup> (ver resultados de análise mais detalhada no Anexo II). Para caudais superiores as poupanças de energia não compensam os custos de investimento adicionais. Para edifícios com maiores cargas térmicas internas, este caudal de free cooling ótimo de 2 h<sup>-1</sup>, pode tomar os valores de 3 a 5 renovações de ar por hora.
5. Ao nível da eficiência nominal dos sistema de climatização, afigura-se ser possível incrementar ligeiramente as exigências de desempenho para os sistemas VRF e para os *chiller* Bomba de calor (EER<sub>vrf</sub>=3.5, EER<sub>chillerBomba de calor</sub>=2.9, em vez de 2.7 existente no RECS).
6. A implementação de sistemas fotovoltaicos é viável no cenário macroeconómico.

Na Figura 3, apresenta-se um dos resultados da análise da sensibilidade dos níveis ótimos de energia primária, tendo em conta as seguintes variáveis:

1. taxas de desconto de 1%, 2%, 3%, 4%, 6%, 8% e 10%,
2. três cenários de custos de energia e de CO<sub>2</sub> (cenário médio, baixo e alto),
3. variações de mais e de menos 50% em relação aos custos das soluções construtivas indicadas no Anexo I.

Na Figura 3 com um círculo a laranja representa-se a solução correspondente à condição de análise deste estudo, ou seja, custos médios e taxa de desconto de 3%. Os círculos azuis representam as soluções ótimas para várias taxas de desconto e cenários de custos de energia. Os triângulos cinzentos representam as soluções ótimas da análise de sensibilidade à alteração dos custos das soluções construtivas, considerando a taxa de desconto de 3% e custos médios de energia e CO<sub>2</sub>.

Existem variações nos níveis ótimos de energia primária com esses fatores, que tornam mais viável a adoção de ventilação mais eficiente e isolamento das janelas e da cobertura por vezes ligeiramente pior (custos de construção elevados, custos de energia baixos) e outras melhor (cenários de custos de construção baixos e custos de energia elevados). Considera-se razoável a condição de custos médios e a adoção da taxa de desconto de 3%.

---

<sup>2</sup> SFP, *specific fan power*

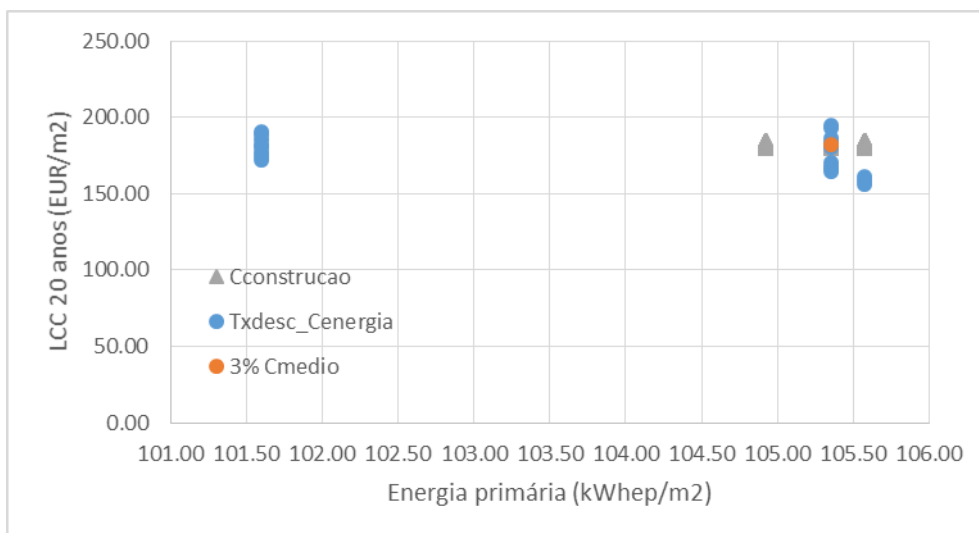


Figura 3 – Análise de sensibilidade dos níveis ótimos, climatização VRF

Seguidamente apresentam-se os resultados da análise do edifício com sistema de climatização S5, sem sistema fotovoltaico (Figura 4) e com sistema fotovoltaico de 45 kW (Figura 5). Da comparação destes dois resultados, verifica-se que a implementação do sistema fotovoltaico permite reduzir os custos do ciclo de vida e o nível ótimo de energia primária.

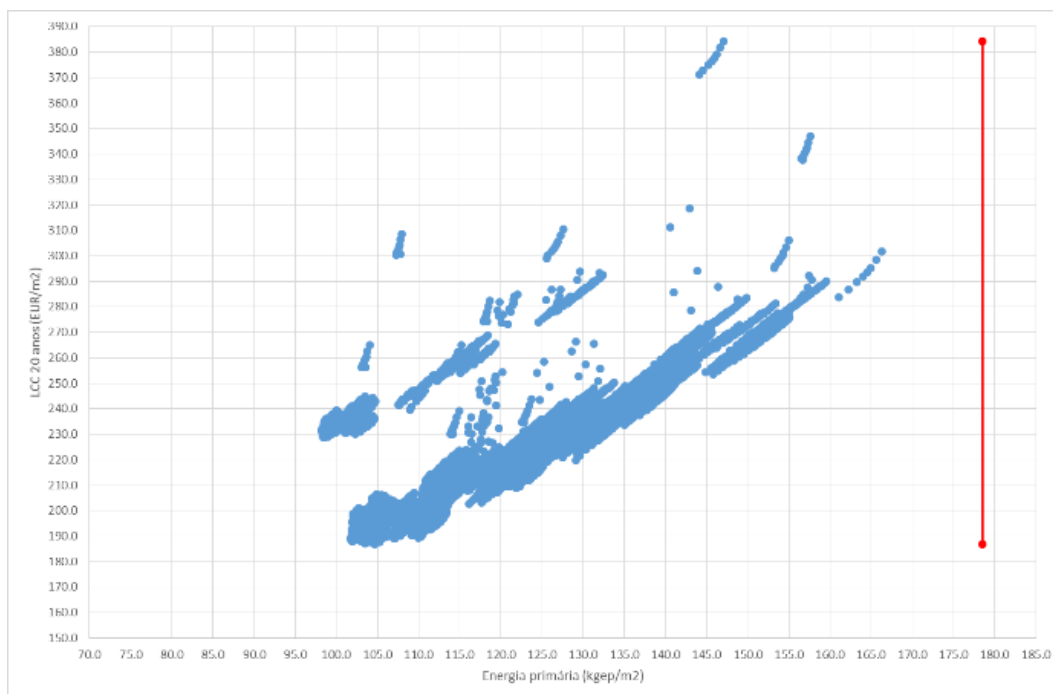


Figura 4 – Resultados da análise do edifício sem sistema fotovoltaico (sistema S5: EER=2.7, COP=2.8)

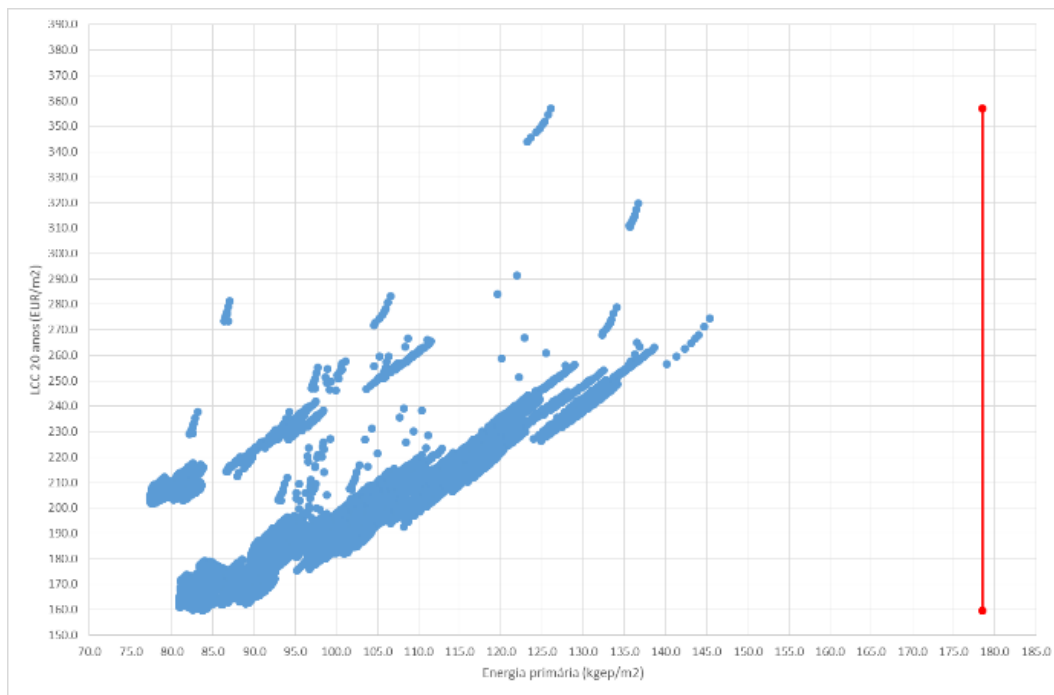


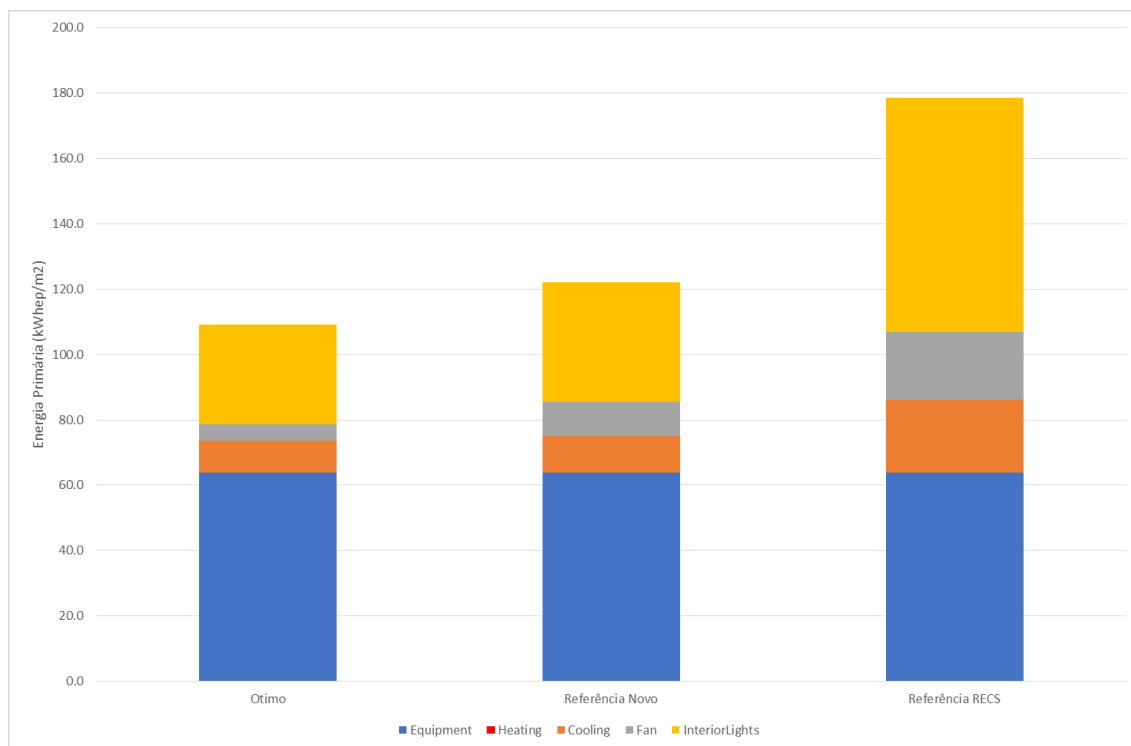
Figura 5 – Resultados da análise do edifício com sistema fotovoltaico (sistema S5: EER=2.7, COP=2.8)

Para reduzir as diferenças entre as soluções ótimas e o limite regulamentar (IEE de referência) a não mais de 15%, foi realizada uma análise mantendo todos os parâmetros de referência do RECS [3], com exceção do ajustamento dos seguintes fatores no edifício de referência:

1. Vãos envidraçados com  $U_w=3.8 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ , proteção solar exterior e vidro com fator solar de 0.50, em vez de  $U_w=4.3 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$  e fator solar de 0.20;
2. Nas zonas próximas das fachadas (até profundidade de 6 m) foi adotado controlo da iluminação artificial com controlo por disponibilidade da luz natural (fator de controlo da iluminação artificial de sensivelmente 0.5);
3. Nos espaços do tipo “open space” foi adotado uma densidade de potência de iluminação (DPI/100 lx) de 1.8 em vez de 2.5;
4. Foi adotado sistema de ventilação mecânica equilibrado, com SFP de  $1430 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{s})$  e com possibilidade de arrefecimento gratuito e noturno com caudal até  $2 \text{ h}^{-1}$ ;
5. Foi adotado sistema de climatização com COP=3.9 e EER=3.5.

Com os pressupostos anteriores, o valor de  $IEE_{ref}$  passa a ser de  $122 \text{ kWh}/\text{m}^2$ , ou seja, um valor satisfatório porque se situa apenas 12% acima do nível ótimo de  $109 \text{ kWh}/\text{m}^2$  do edifício com sistema mecânico de ventilação (Figura 6). Podem ser estudadas outras alternativas para definir o  $IEE_{ref}$ , mas esta aproxima a repartição de consumos do  $IEE_{ref}$  do IEE das soluções ótimas (Figura 6).

De forma complementar, atendendo à viabilidade técnica e económica da integração de sistemas fotovoltaicos para autoconsumo, estes também devem ser incorporados no edifício de referência do RECS.



**Figura 6 – Comparação do IEE do edifício com a solução ótima, IEE de referência do RECS e proposta de ajustamento**

Considera-se que esta grande diferença (70%) entre as soluções ótimas (103 a 109 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>) e IEE<sub>ref</sub> (179 kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>), se deve a vários fatores e opções, como por exemplo:

- O limite regulamentar do RECS foi estabelecido de forma a não incluir medidas especiais de eficiência energética, para que estas pudessem ser valorizadas em termos de classificação energética do edifício.
- Nesse sentido, o sistema de iluminação do limite regulamentar apresenta DPI/100lx de 12.5 W/(m<sup>2</sup>.100 lx), que é um valor substancialmente superior ao atualmente alcançável em espaços do tipo “open space” de 1.8 ou 1.3 W/(m<sup>2</sup>.100 lx), devendo ser aprofundados estudos de forma a atualizar os valores DPI/100 lx.
- Por outro lado, na avaliação do IEE do edifício pode ser considerado o efeito dos sistemas de regulação de iluminação artificial com base na disponibilidade de luz natural, enquanto no edifício que serviu para o cálculo do limite regulamentar esses sistemas não são considerados, o que explica parte da diferença entre o edifício virtual e o limite regulamentar.
- Nos edifícios com ventilação mecânica, o RECS tem SFP de 2000 W/(m<sup>3</sup>/s), que é um valor elevado. O valor que irá vigorar a partir de 2015 (1250 W/(m<sup>3</sup>/s)) reduz a diferença.

- O facto dos sistemas de ventilação adotados no cálculo do limite regulamentar não incluírem arrefecimento gratuito, aumenta as necessidades de arrefecimento por comparação às soluções ótimas. Este aspeto deve ser ponderado e incluído no limite regulamentar.
- Apesar da ventilação natural ser a solução ótima, considera-se que a continuação da adoção da solução de ventilação mecânica por defeito é satisfatória, podendo ser ponderada a existência de limites regulamentares para edifícios com ventilação natural e para edifícios com ventilação mecânica.
- Os valores de COP e EER afiguram-se relativamente baixos, face aos produtos disponíveis no mercado, havendo potencial para aumentar os valores de referência ( $EER_{VRF}=3.5$ ,  $EER_{Bomba\ de\ calor\ ar-\acute{a}gua}=2.9$ , em vez de  $EER_{ref}=2.7$ ). Aqui há a necessidade de distinguir as diferentes tecnologias.
- O nível de isolamento térmico da envolvente é adequado, pois, as soluções ótimas têm de uma forma geral U superiores aos de referência do RECS.
- Em relação à proteção solar, seria importante considerar a existência de proteção solar exterior, vidro de fator solar 0.50 e transmitância luminosa de 70%, para ser possível potenciar o aproveitamento da luz natural. Deste modo, o  $\tau_{solar}$  em vez de ter um valor fixo de 0,20 passa a ter valores de 0,50, quando a radiação solar é baixa e permite aproveitamento da luz natural, e de 0,06, quando a radiação solar incidente no vão é mais intensa.
- Face à viabilidade de integração de soluções fotovoltaicas, as mesmas devem ser ponderadas.

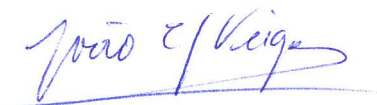
### 3 | Conclusões

Neste relatório documentam-se as contribuições para o estudo dos níveis ótimos de rentabilidade de edifícios de comércio e serviços, da tipologia “escritórios novos” situados em Lisboa. Deste estudo conclui-se que o valor limite regulamentar ( $IEE_{ref}$ ) é significativamente superior ao valor de IEE das soluções ótimas, havendo a necessidade de racionalizar as soluções de referência para o cálculo do  $IEE_{ref}$ , que passam essencialmente por incrementar a exigência ao nível da eficiência energética dos sistemas de climatização, de ventilação, de iluminação e de controlo, como referido no capítulo anterior e no Anexo I. Efetivamente, ao nível da qualidade térmica da envolvente, os valores de  $U_{ref}$  do RECS [3] são inferiores (mais isolantes) do que os das soluções ótimas. Ao nível da proteção solar dos vãos, preconiza-se que a solução de referência seja a de uma janela com  $U_w=3.8 \text{ W(m}^2\cdot\text{K)}$ , vidro com fator solar de 0.5 e transmitância luminosa de 70% e proteção solar exterior com fator solar  $g$  de 0,09, em vez de  $U_w=4.3 \text{ W(m}^2\cdot\text{K)}$  e  $g=0.20$ .

Lisboa, LNEC, dezembro de 2014

VISTOS

O Chefe do Núcleo de Acústica, Iluminação,  
Componentes e Instalações



João C. Godinho Viegas

AUTORIA



Armando Pinto

Investigador Auxiliar

O Diretor do Departamento de Edifício



Jorge M. Grandão Lopes

## Referências Bibliográficas

- [1] - Diretiva 2010/31/EU, de 19 de Maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios (reformulação). Jornal Oficial da Comissão Europeia, 18.6.2010.
- [2] - Regulamento Delegado (UE) n.º 244/2012 da comissão de 16 de janeiro de 2012 que complementa a Diretiva 2010/31/EU
- [3] - Portaria n.º 349-D/2013 de 2 de dezembro, Regulamento de eficiência energética dos edifícios de comércio e serviços (RECS).
- [4] - SCE Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto.





## Anexos

---



## ANEXO I

Resultados do estudo dos níveis ótimos do edifício de escritórios:  
Construção nova



**ESTUDO SOBRE CÁLCULO DOS NÍVEIS ÓTIMOS DE RENTABILIDADE DOS REQUISITOS MÍNIMOS DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS E COMPONENTES DE EDIFÍCIOS DE COMÉRCIO E SERVIÇOS**

Resultados do estudo dos níveis ótimos do edifício de escritórios: Construção Nova

Lisboa: LNEC, Armando Pinto, 2014-12-31

Índice

|   |    |
|---|----|
| 1 - Edifício de referência do tipo escritórios Novo .....   | 3  |
| 1.1 - Aspetos gerais .....  | 3  |
| 1.2 - Materiais de construção .....   | 4  |
| 1.3 - Ocupação .....  | 4  |
| 1.4 - Equipamentos .....  | 5  |
| 1.5 - Iluminação .....  | 5  |
| 1.6 - Infiltrações e ventilação .....   | 6  |
| 1.7 - Sistema de climatização .....   | 6  |
| 2 - Resultados do estudo .....  | 8  |
| 2.1 - Aspetos gerais .....  | 8  |
| 2.2 – Todos os resultados sem fotovoltaico: Perspetiva macroeconómica .....                       | 9  |
| 2.3 – Todos os resultados sem fotovoltaico: perspetiva financeira .....                           | 13 |
| 2.4 - Todos os resultados com sistema fotovoltaico: Perspetiva Macroeconómica .....               | 13 |
| 2.5 – Resumo .....  | 14 |
| 3 – Limite regulamentar IEE de referência .....   | 16 |
| 4 - Análise dos requisitos regulamentares .....   | 17 |
| 5 - Análise comparativa entre os níveis de rentabilidade óptima e requisitos regulamentares ..... | 19 |
| Referências .....   | 20 |
| Anexos .....  | 21 |
| Anexo I – Descrição e Custo das soluções .....  | 21 |
| Fachada e paredes .....   | 21 |
| Cobertura .....   | 21 |
| Pavimento .....   | 22 |
| Vãos envidraçados .....   | 22 |
| Proteção solar .....  | 22 |
| Sistema de ventilação .....   | 23 |
| Sistema de climatização .....   | 23 |



|  |    |
|--|----|
| Sistema de iluminação.....   | 23 |
| Sistema fotovoltaico.....  | 24 |
| Anexo II - Custo da eletricidade e das emissões de CO <sub>2</sub> ..... | 25 |
| Anexo III – Custos do ciclo de vida .....                                | 27 |

## 1 - EDIFÍCIO DE REFERÊNCIA DO TIPO ESCRITÓRIOS NOVO

### 1.1 - Aspetos gerais

O edifício de escritórios é constituído por cinco pisos de escritórios e por um espaço não útil enterrado do tipo garagem e arrecadação. O piso tipo é constituído por um núcleo central com 155 m<sup>2</sup> com elevadores, escadas e instalações sanitárias e por um open space com 1141 m<sup>2</sup>. O modelo do edifício encontra-se na Figura 1. Para efeitos de análise do comportamento térmico e energético, a zona da periferia do open space é subdividida em zonas com 6 m de profundidade. O edifício tem uma planta quadrada de 36 m de lado e cada piso tem um pé direito de 3.4 m e tem uma área envidraçada de 43% da área de fachada, em conformidade com os dados do SCE de escritórios novos [1]. No Quadro 1 encontram-se as principais características geométricas do edifício tipo e no Quadro 2 as características climáticas.

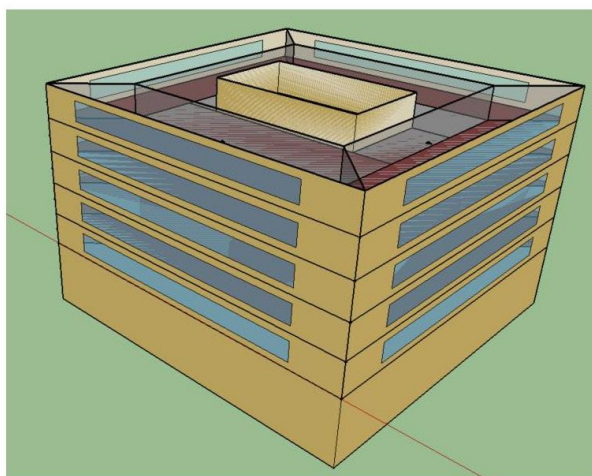


Figura 1 – Perspetiva do edifício de escritórios

Quadro 1 – Características geométricas do edifício

| Característica                           | Valor          |
|--|----------------|
| Área útil de pavimento (m <sup>2</sup> ) | 6480           |
| Pé direito médio (m)                     | 3.4            |
| Área de cobertura(m <sup>2</sup> )       | 1296           |
| Área de pavimento(m <sup>2</sup> )       | 1296           |
| Área de fachada(m <sup>2</sup> )         | 2448           |
| Área de janelas e WWR (m <sup>2</sup> )  | 1053 (WWR=43%) |

Quadro 2 – Características climáticas

| Local  | Altitude | Zona  | Temperatura média inverno | GD18 | T média est. Arrefecimento |
|--------|----------|-------|---------------------------|------|----------------------------|
| Lisboa | 54 m     | I1-V3 | 11.0                      | 978  | 22.3°C                     |



## 1.2 - Materiais de construção

Para realizar a análise da eficiência energética foram adotados vários cenários para a qualidade térmica da envolvente, por exemplo:

- Isolamento térmico da parede: 0 cm, 2 cm, 4 cm, 6 cm, 8 cm e 10 cm, 15 cm e 20 cm, cor clara pelo exterior.
- Isolamento térmico da cobertura: 0 cm, 2 cm, 4 cm, 6 cm, 8 cm e 10 cm, 15 cm e 20 cm, cor clara pelo exterior.
- Isolamento térmico do pavimento: 0 cm, 2 cm, 4 cm e 6 cm.
- Isolamento térmico dos vãos envidraçados: 2.7 W/(m<sup>2</sup>.K), 3.8 W/(m<sup>2</sup>.K) e 5.9 W/(m<sup>2</sup>.K)
- Fator solar dos vidros: Vidro simples: 0.85, 0.50, 0.20 e 0.13; Vidro duplo 0.75, 0.50, 0.20 e 0.13
- Proteção solar do tipo veneziano: aplicação pelo exterior (g=0.09) e aplicação pelo interior (g=0.59).

No Quadro 3 e no Quadro 4 apresentam-se as características térmicas das soluções construtivas consideradas. As soluções 1 atualmente não são utilizadas, destinando-se apenas a avaliar tendências.

Quadro 3 – Coeficiente de transmissão térmica dos elementos opacos da envolvente do edifício W/(m<sup>2</sup>.K)

| Solução    | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6     | 7     | 8     | Ref         |
|------------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------------|
| Designação | 0 cm | 2 cm | 4 cm | 6 cm | 8 cm | 10 cm | 15 cm | 20 cm | -           |
| Parede     | 1.25 | 0.80 | 0.55 | 0.45 | 0.35 | 0.30  | 0.20  | 0.17  | <b>0.70</b> |
| Cobertura  | 1.95 | 1.00 | 0.65 | 0.50 | 0.40 | 0.33  | 0.23  | 0.18  | <b>0.50</b> |
| Pavimento  | 2.6  | 1.15 | 0.70 | 0.55 | -    | -     | -     | -     | <b>0.50</b> |

Quadro 4 – Envidraçados exteriores

| Solução                              | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | Ref         |
|--------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------|
| U <sub>w</sub> (W/m <sup>2</sup> .K) | 5.9  | 5.9  | 5.9  | 5.9  | 3.8  | 3.8  | 3.8  | 3.8  | 2.7  | 2.7  | 2.7  | 2.7  | <b>4.3</b>  |
| g <sub>v</sub>                       | 0.85 | 0.50 | 0.20 | 0.13 | 0.75 | 0.50 | 0.20 | 0.13 | 0.75 | 0.50 | 0.20 | 0.13 | <b>0.20</b> |

## 1.3 - Ocupação

A zona do open space considera-se que tem uma taxa de ocupação de 15 m<sup>2</sup>/pessoa. Na zona das escadas, considera-se que a ocupação é esporádica e portanto ocupação nula.

O perfil horário de ocupação do open space segue o definido no Decreto-Lei n.º 79/2006 [12].

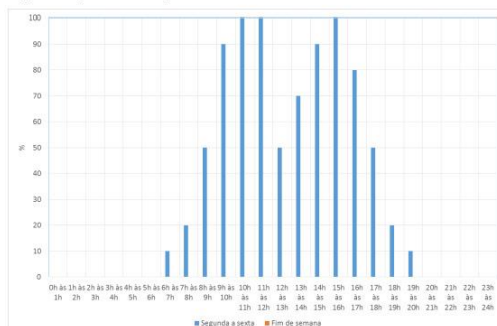


Figura 2 – Perfil de ocupação

## 1.4 - Equipamentos

Como fontes de calor internas consideram-se os equipamentos elétricos e eletrónicos tipicamente existentes nos edifícios de escritórios. Para esse efeito, na zona do open space é considerado um consumo de energia de equipamentos elétricos de  $10 \text{ W/m}^2$ .

O perfil horário de equipamentos do open space segue o definido no Decreto-Lei n.º 79/2006 [12]. Tendo em conta as preocupações com a redução do consumo de energia de stand by, durante o período noturno e aos fins de semana adota-se apenas o consumo de 5% da potência dos equipamentos.

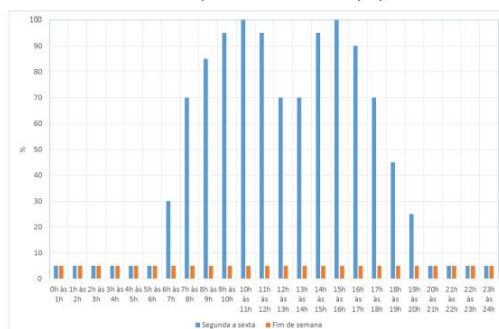


Figura 3 – Perfil de equipamentos

## 1.5 - Iluminação

Na análise do desempenho térmico e energético do edifício foram consideradas 3 soluções de iluminação:

- LF1: Iluminação fluorescente, com densidade de  $11.1 \text{ W/m}^2$  ( $\text{DPI}/100\text{lx}=2.2$ ).
- LF2: Iluminação fluorescente, com densidade de  $9.0 \text{ W/m}^2$  ( $\text{DPI}/100\text{lx}=1.8$ ).
- LED: Iluminação LED, com densidade de  $6.5 \text{ W/m}^2$  ( $\text{DPI}/100\text{lx}=1.3$ )<sup>1</sup>.

O perfil horário de iluminação do open space segue o definido no Decreto-Lei n.º 79/2006 [12]. Durante a noite, tendo em conta as preocupações com a redução do consumo de energia, nas quais se desliga quase a totalidade da iluminação interior, considera-se um consumo correspondente a 1% da potência. Durante o dia, nas zonas próximas da fachada, considera-se a possibilidade de regulação do fluxo luminoso em função da disponibilidade da luz natural, tendo sido adotado um set point de 500 lx.

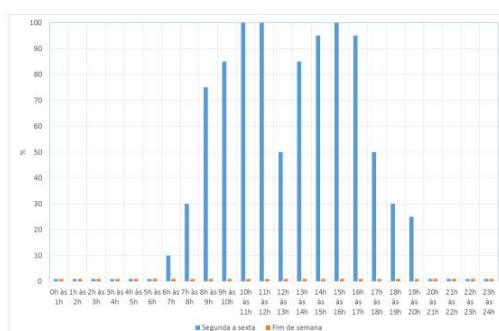


Figura 4 – Perfil de iluminação

<sup>1</sup> No caso de estudo luminotécnico detalhado da zona do open space com iluminação fluorescente T5 é possível alcançar  $\text{DPI}/100\text{lx}$  de 1,4 ( $6,7 \text{ W/m}^2$ ). Neste estudo foi adotado um valor mais conservativo  $\text{DPI}/100\text{lx}$  de 1,8 ( $9 \text{ W/m}^2$ ).

## 1.6 - Infiltrações e ventilação

A zona central das escadas considera-se que tem ocupação esporádica e que tem ventilação por via de ar transferido do open space.

Os materiais do edifício são predominantemente (mais de 75%) de baixa emissão poluente, devendo ser assegurado um caudal mínimo de ar novo de  $2 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$  [10].

Considerando que na envolvente do edifício a quantidade de frinchas é limitada e que a permeabilidade ao ar da é conferida essencialmente pela permeabilidade ao ar das janelas, admite-se que nos períodos em que o sistema de ventilação está desligado existe um caudal de infiltração de ar de  $0,1 \text{ h}^{-1}$ . Quando o sistema de ventilação está ligado, devido ao desequilíbrio dos caudais de ar, considera-se que o caudal de infiltrações de ar é zero.

Foram adotados os seguintes cenários para a ventilação:

- Ventilação entre as 6h00 e as 19h00 e HVAC das 8h às 19h00.
- Ventilação natural; com caudal contante de  $0.54 \text{ h}^{-1}$  e com possibilidade de free cooling 2, 3, 5, 7.5 e  $10 \text{ h}^{-1}$  Rph (designações (VN1, VN2, VN3, VN5, VN75, VN10).
- Ventilação mecânica; caudal contante de  $0.74 \text{ h}^{-1}$  e com possibilidade de free cooling 2, 3, 5, 7.5 e  $10 \text{ h}^{-1}$  Rph (VM 1, VM 2, VM 3, VM 5, VM 75, VM 10)..
- Ventilação mecânica com recuperação de calor com eficiência de 70%; caudal contante de  $0.74 \text{ h}^{-1}$  e com possibilidade de free cooling 2, 3, 5, 7.5 e  $10 \text{ h}^{-1}$  Rph (VM-HR 1, VM-HR 2, VM-HR 3, VM-HR 5, VM-HR 75, VM-HR 10).

Quadro 5 – Valores de SFP das soluções de ventilação mecânica

| Solução                                  | RECS | RECS<br>1 jan 2015 | Vent Mec Com recup<br>Calor | Vent Mec Sem recup<br>Calor |
|--|------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| SFP ( $\text{W}/(\text{m}^3/\text{s})$ ) | 2000 | 1250               | 1330<br>(1500 Ins+1000 Ext) | 850<br>(1110 Ins+600 Ext)   |

## 1.7 - Sistema de climatização

Com base na simulação térmica é estimada uma necessidade de arrefecimento do edifício de 285 kW. Para a climatização preconiza-se:

Sistema VRF:

- uma máquina por piso, potência de arrefecimento de pelo menos 57 kW. As unidades exteriores situam-se na cobertura.
- em cada piso, para climatizar cada uma das 4 zonas próximas da fachada 4 unidades de teto de 3 kW (48 kW total das 4 fachadas)
- em cada piso, para climatizar a zona central 4 unidades de teto de 4 kW (16 kW) na zona central.

Sistema Chiller/bomba de calor com ventilo convectoros:

- uma máquina com 285 kW de potência de arrefecimento. A unidade exterior situa-se na cobertura.
- 60 ventiloconvectoros de 5 kW.

Na análise técnica e económica são considerados os sistemas com as características indicadas no Quadro 6. No Quadro 7 apresenta-se o valor de COP e EER adotado no cálculo do limite regulamentar. Como set-points para o HVAC foram adotadas temperaturas de 20 e de 25°C.

Quadro 6 – Características dos sistemas AVAC

| <b>Tipo de sistema</b> | <b>Designação</b> | <b>COP</b> | <b>EER</b> |
|------------------------|-------------------|------------|------------|
| VRF                    | S0                | 3.21       | 2.81       |
| VRF                    | S1                | 3.30       | 2.90       |
| VRF                    | S2                | 3.41       | 3.01       |
| VRF                    | S3                | 3.61       | 3.21       |
| VRF                    | S4                | 4.20       | 3.80       |
| CH                     | S5                | 2.80       | 2.70       |
| CH                     | S6                | 3.00       | 2.90       |
| CH                     | S7                | 3.30       | 3.20       |
| CH                     | S8                | 3.98       | 3.55       |

Quadro 7 – Características dos sistemas AVAC de referência do RECS

| <b>Tipo de sistema</b>     | <b>COP</b> | <b>EER</b> |
|----------------------------|------------|------------|
| VRF/Chiller bomba de calor | 2.80       | 2.70       |

## 2 - RESULTADOS DO ESTUDO

### 2.1 - Aspetos gerais

Na realização deste estudo foram efetuadas diversas simulações do comportamento térmico e energético do edifício com os parâmetros atrás definidos, que perfizeram um total de 94000 pacotes de medidas. A estimativa das necessidades energéticas do edifício foi realizada com o modelo EnergyPlus v8.1.009. Nesta fase do estudo, a conversão das necessidades térmicas em energia final foi realizado de forma aproximada pelas expressões (1) e (2). O índice de eficiência energética do edifício (IEE) é determinado pela expressão (3). As parcelas,  $IEE_S$  referem-se aos consumos regulados (5),  $IEE_T$  reporta-se aos consumos de energia não regulados (6) e  $IEE_{ren}$  corresponde à produção de energia proveniente de fontes renováveis (7). Os fatores de conversão da energia final em energia primária ( $F_{pu,i}$ ), estão indicados no Quadro 8. As emissões equivalentes de CO<sub>2</sub> são determinadas pela expressão (4). Todos os termos estão explicados na legislação [9].

$$E_{\text{aquecimento,eletricidade}} = \text{Nec. Aquecimento} / \text{COP} \quad (\text{kWh.ano}) \quad (1)$$

$$E_{\text{arrefecimento,eletricidade}} = \text{Nec. Arrefecimento} / \text{EER} \quad (\text{kWh.ano}) \quad (2)$$

$$IEE = IEE_S + IEE_T - IEE_{ren} \quad (\text{kWh}_{ep}/\text{m}^2.\text{ano}) \quad (3)$$

$$\text{CO}_2 = F_{\text{CO}_2} IEE \quad (\text{kgCO}_2/\text{m}^2.\text{ano}) \quad (4)$$

$$IEE_S = \frac{1}{A_p} \sum_i (E_{S,i} \cdot F_{pu,i}) \quad (\text{kWh}_{ep}/\text{m}^2.\text{ano}) \quad (5)$$

$$IEE_T = \frac{1}{A_p} \sum_i (E_{T,i} \cdot F_{pu,i}) \quad (\text{kWh}_{ep}/\text{m}^2.\text{ano}) \quad (6)$$

$$IEE_{ren} = \frac{1}{A_p} \sum_i (E_{ren,i} \cdot F_{pu,i}) \quad (\text{kWh}_{ep}/\text{m}^2.\text{ano}) \quad (7)$$

Quadro 8 - Fatores de conversão de energia final em energia primária e emissões de CO<sub>2</sub>

|  | $F_{pu}$<br>( $\text{kWh}_{EP}/\text{kWh}$ ) | $F_{CO_2}$<br>( $\text{kgCO}_2/\text{kWh}_{ep}$ ) |
|--|--|---|
| Eletricidade, independentemente da origem (renovável ou não renovável) | 2,5  | 0,144   |
| Gasóleo  | 1,0  | 0,267   |
| Gás natural  | 1,0  | 0,202   |
| GPL  | 1,0  | 0,170   |
| Renovável  | 1,0  | 0,000   |

Fonte: (Despacho (extrato) n.º 15793-D/2013 [13].

Nas secções seguintes apresenta-se um resumo dos resultados obtidos e indicações sobre as soluções ótimas para o edifício com ventilação mecânica e com ventilação natural.

Os resultados apresentados referem-se à perspetiva macroeconómica, um período de 20 anos, taxa de desconto de 3% e custos médios de energia. Os custos de referência dos pacotes de soluções encontram-se no anexo I, os custos de energia encontram-se no anexo II e os custos do ciclo de vida de variantes no anexo III. Neste cálculo, os custos comuns a todos os pacotes de soluções estão omissos no valor de LCC (Life Cycle Cost) de 20 anos do edifício de referência, em conformidade com o preconizado no Regulamento Delegado [4].

Também foi realizado o cálculo na perspectiva financeira e foi realizada uma análise de sensibilidade dos resultados para diferentes taxas de desconto, custos de energia e CO<sub>2</sub>, bem como a variações dos custos das soluções construtivas.

Nas secções seguintes apresentam-se os resultados referentes às condições de referência deste estudo, ou seja, avaliação macroeconómica, taxa de desconto de 3% e custos médios de energia e CO<sub>2</sub>. Nas figuras seguintes, inclui-se com uma linha vermelha o valor limite regulamentar aplicável a este edifício [9].

## 2.2- Todos os resultados sem fotovoltaico: Perspetiva macroeconómica

Na Figura 5 apresentam-se os resultados LCC vs Eprimária para taxa de desconto de 3% e sistema de climatização S5, com os valores COP e EER iguais ao aplicável ao do valor limite regulamentar [9]. No Quadro 9 descrevem-se as características das soluções ótimas, para a condição de ventilação natural (nem sempre aplicável), ventilação mecânica e climatização com sistema VRF e com Chiller e Bomba de Calor.

De uma forma geral todas as soluções satisfazem ao RECS [9], porque a DPI do limite regulamentar é de 2.5 W/100lx e na prática o mercado atualmente tem soluções com DPI de 1.3 W/100lx, o que reduz em muito o consumo de energia de iluminação e de arrefecimento. Além disso, tendo este edifício uma grande área envidraçada, no edifício de referência o consumo de energia tem em conta o fator de disponibilidade de luz natural (0.8 e valor inferior quando é realizada a simulação com controlo DALI) o que reduz ainda mais o consumo de energia no edifício de referência face ao limite regulamentar. Por outro lado, o consumo de energia dos ventiladores no limite regulamentar (2000 W/(m<sup>3</sup>/s)) é muito superior à atual prática do mercado e aos valores já preconizados na legislação para 2015 (1250 W/(m<sup>3</sup>/s)).

Analisando as soluções ótimas, verifica-se que ao nível da qualidade térmica da envolvente as soluções apresentam baixo nível de isolamento térmico no pavimento em contacto com a garagem, nas paredes e nos vãos envidraçados, isolamento térmico moderado na cobertura (1.0 W/m<sup>2</sup>.K). A solução ótima tem proteção solar exterior.

Efetivamente, o edifício é dominado pelas necessidades de arrefecimento, iluminação e ventilação, pelo que atendendo ao clima moderado de Lisboa, em média é benéfico não ter elevados níveis de isolamento térmico para permitir o arrefecimento do edifício. Contudo, nos dias mais quentes o isolamento térmico da envolvente é benéfico, mas não é viável economicamente (Figura 7).

Ao nível do sistema da ventilação, regista-se que a solução ótima é constituída por uma solução de ventilação natural N1 (sem arrefecimento gratuito diurno e arrefecimento noturno automático) com sistema VRF e com arrefecimento gratuito (N2) no caso de climatização com chiller. Efetivamente, devido ao ERR mais baixo da solução chiller ótima (EER=3.2), do que a da solução VRF (EER=3.8), torna-se viável economicamente a solução N2. No caso da ventilação mecânica, a solução ótima é a M2 (ventilação mecânica, sem recuperação de calor e com sistema de arrefecimento gratuito e noturno), independentemente do sistema de climatização. O sistema de iluminação ótimo é o LF2.

Na Figura 7, apresenta-se a evolução dos custos da energia de climatização e dos custos do ciclo de vida do edifício de escritórios em função da variação da espessura do nível de isolamento térmico da cobertura e do tipo de sistema de ventilação mecânica. Os valores referem-se ao cenário com iluminação LF2, paredes e pavimento com 2 cm de isolamento, janela  $U_w=3.8$  W/(m<sup>2</sup>.K),  $g=0.5$  e proteção solar exterior. Dessa figura é notória a vantagem da utilização da solução de arrefecimento gratuito para reduzir os custos do ciclo de vida, a energia de climatização e a valorização da qualidade térmica da envolvente. Dessa figura também se regista que na solução de arrefecimento gratuito ao se melhorar a qualidade térmica da envolvente (nesta caso isolamento da



cobertura) se reduz a energia de climatização face à solução sem isolamento térmico (espessuras de 2, 4 e 6 cm), mas que essa redução não compensa os custos de investimento para espessuras acima de 4 cm. Na solução sem free cool, as necessidades térmicas de uma forma geral aumentam com o aumento da qualidade térmica da envolvente.

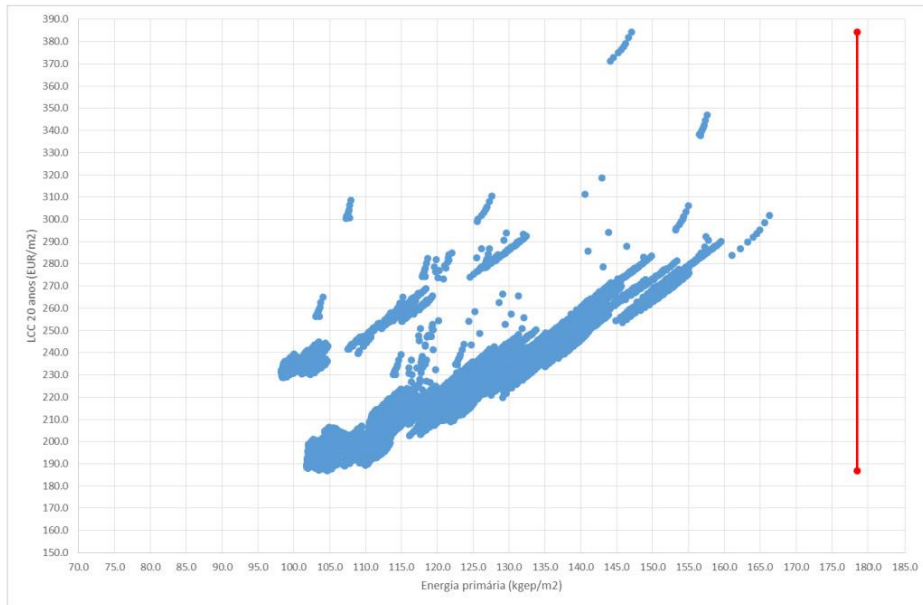


Figura 5 – Resultados da análise do edifício (Sistema de climatização S5)

Quadro 9 - Soluções ótimas do edifício de escritórios novo

| HVAC    | Ventilação | Pav  | Par  | Cob  | $U_w$ | $g_r$ | Somb | Iluminação | HVAC | Ventilação | LCC (EUR/m <sup>2</sup> ) | Ep (kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> ) |
|---------|------------|------|------|------|-------|-------|------|------------|------|------------|---------------------------|---|
| VRF     | Natural    | 0 cm | 0 cm | 2 cm | 5.9   | 0.50  | ES   | LF2        | S4   | N 1        | 182                       | 105                                     |
| VRF     | Mecânica   | 0 cm | 0 cm | 2 cm | 5.9   | 0.50  | ES   | LF2        | S4   | M 2        | 198                       | 109                                     |
| Chiller | Natural    | 0 cm | 0 cm | 2 cm | 5.9   | 0.50  | ES   | LF2        | S7   | N 2        | 185                       | 103                                     |
| Chiller | Mecânica   | 0 cm | 0 cm | 2 cm | 5.9   | 0.50  | ES   | LF2        | S7   | M 2        | 201                       | 111                                     |

Nota: Perspetiva macroeconómica, taxa desconto de 3% e custos médios.

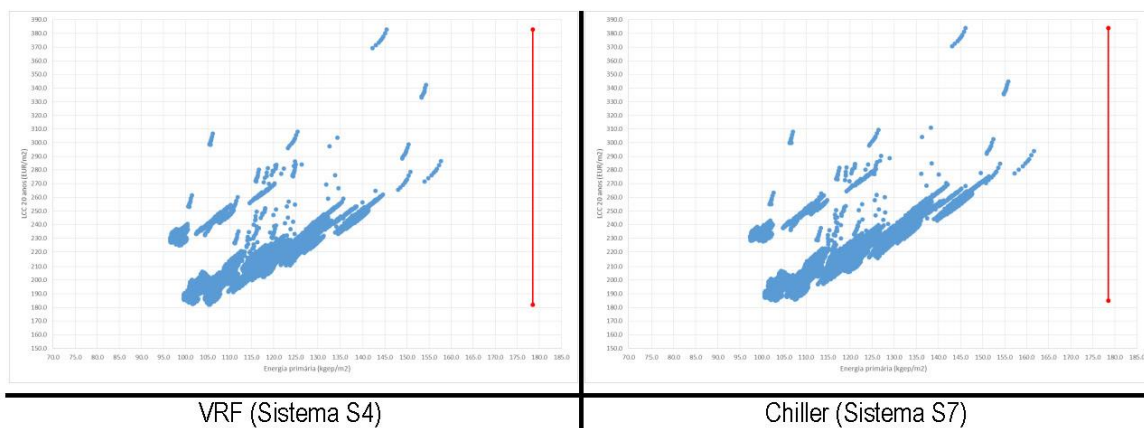


Figura 6 – Resultados com os sistemas das soluções ótimas

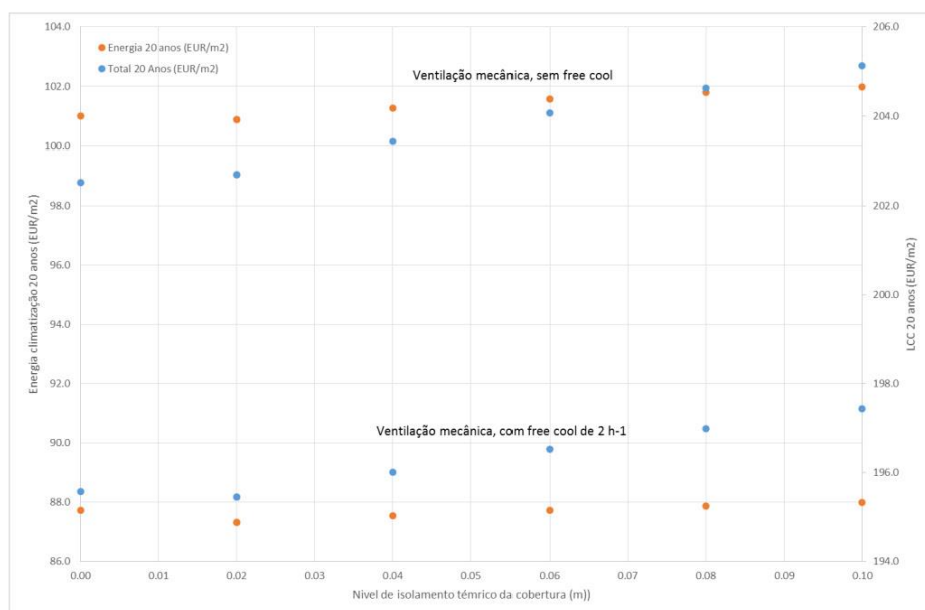


Figura 7 – Análise do efeito da variação do isolamento térmico da cobertura e da solução de ventilação mecânica

Na Figura 8 apresentam-se os resultados da análise de sensibilidade dos níveis ótimos de rentabilidade do edifício com sistema de climatização VRF (sistemas S0 a S4). Com um círculo a laranja representa-se a solução correspondente à condição de análise deste estudo, ou seja custos médios e taxa de desconto de 3%. Os círculos azuis representam as soluções ótimas para várias taxas de desconto e cenários de custos de energia. Os triângulos cinzentos representam as soluções ótimas da análise de sensibilidade à alteração dos custos das soluções construtivas em mais e menos 50% do valor indicado no anexo I, considerando a taxa de desconto de 3% e custos médios de energia e CO2.

Da Figura 8 verifica-se que para a condição de custo de construção médio existe uma alteração importante dos níveis ótimos de energia primária de cerca de 105.5 para 101.5 kWhep/m<sup>2</sup> (círculos azuis) com a variação da taxa de desconto e dos custos de energia, pelo facto de com taxas de desconto superiores a 6% e custos de energia médios/altos passar a ser viável adotar a solução de ventilação N2 em vez da N1. Os pontos a azul de 105.6 kWhep/m<sup>2</sup>, corresponde a adotar cobertura sem isolamento térmico, que é a solução ótima em cenários de custo baixos de energia e taxas de desconto superiores a 6%.

A variação dos custos das soluções construtivas (triângulos cinzentos) tem um efeito limitado nos níveis ótimos de energia (variação de 105.4 a 105.6 kWhep/m<sup>2</sup>), pelo facto de em alguns casos passar a ser ótimo colocar envidraçados com  $U_w=3.8 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$  e noutros casos passar a ser ótimo adotar cobertura sem isolamento térmico.

A adoção da taxa de desconto de 3% e custos médios é razoável para avaliar os níveis ótimos de rentabilidade (círculo laranja na figura).



Na Figura 9 apresentam-se os resultados da análise de sensibilidade dos níveis ótimos de rentabilidade do edifício com sistema de climatização Chiller Bomba de calor (sistemas S5 a S8). Da figura verifica-se que para a condição de custo de construção médio existe uma alteração importante dos níveis ótimos de energia primária de cerca de 102.1 para 107.5 kWhep/m<sup>2</sup> (círculos azuis) com a variação da taxa de desconto e dos custos de energia, pelo facto de com taxas de desconto inferiores a 6% e custos de energia baixos não ser viável adotar a solução de ventilação N2, sendo a solução ótima a N1. Os pontos a azul de 102.1 kWhep/m<sup>2</sup>, correspondem a adotar janelas com  $U_w=3.8 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$  em vez de janelas com  $U_w=5.9 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ .

A variação dos custos das soluções construtivas (triângulos cinzentos) tem um efeito limitado nos níveis ótimos de energia (variação de 103.0 a 102.1 kWhep/m<sup>2</sup>), pelo facto de em alguns caso passar a ser ótimo colocar envidraçados com  $U_w=3.8 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ . A adoção da taxa de desconto de 3% e custos médios é razoável para avaliar os níveis ótimos de rentabilidade (círculo laranja na figura).

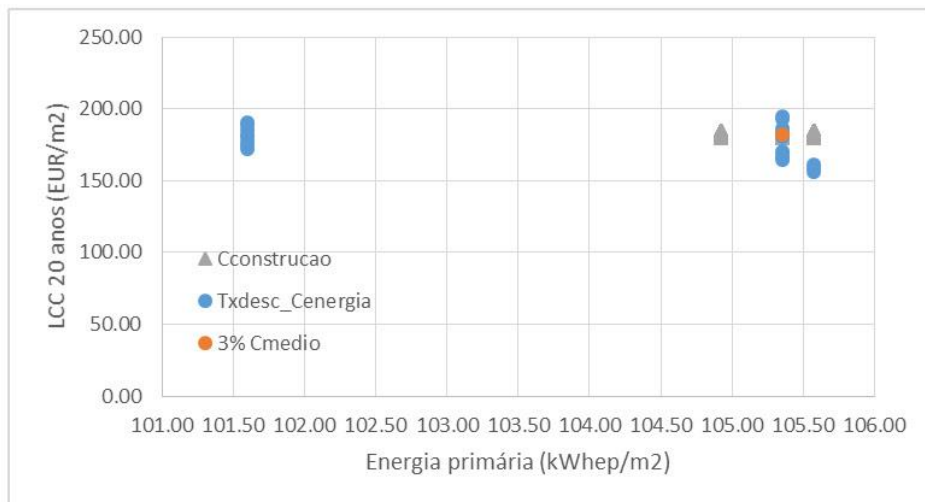


Figura 8 – Análise de sensibilidade dos níveis ótimos, climatização VRF

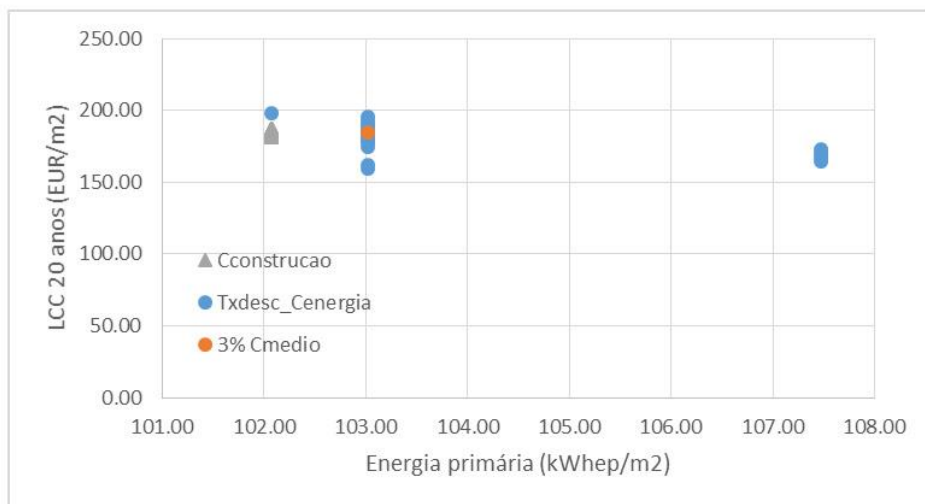


Figura 9 – Análise de sensibilidade dos níveis ótimos, climatização Chiller

### 2.3- Todos os resultados sem fotovoltaico: perspectiva financeira

Na Figura 10 apresentam-se os resultados LCC vs Eprimária para taxa de desconto de 3% e sistema de climatização S5, com os valores COP e EER iguais ao aplicável ao do valor limite regulamentar [9] na perspectiva financeira. Na perspectiva financeira, existe uma alteração dos custos do ciclo de vida, mas não existe alteração nas soluções ótimas e respetiva energia primária, em relação às soluções indicadas na secção 2.2.

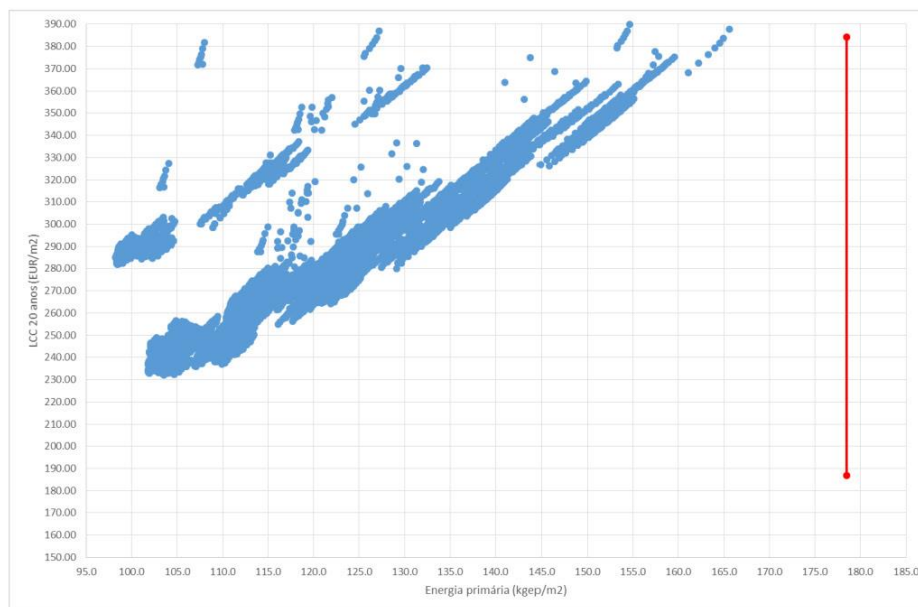


Figura 10 – Resultados da análise do edifício perspectiva financeira (Sistema de climatização S5)

### 2.4 - Todos os resultados com sistema fotovoltaico: Perspetiva Macroeconómica

Na Figura 11 apresentam-se os resultados LCC vs Eprimária para o edifício com sistema fotovoltaico de 45 kW, para a avaliação macroeconómica, taxa de desconto de 3%, sistema de climatização S5.

Na análise do sistema PV foi considerado que apenas a componente produzida e não superior ao consumo de energia do edifício era deduzida às necessidades de energia elétrica do edifício. Ou seja, dos cerca de 68650 kWh produzidos pelo sistema fotovoltaico com módulos policristalinos, apenas 54220 kWh reduzem o consumo de energia elétrica do edifício, pois os restantes 14430 kWh são produzidos ao fim de semana e noutros períodos de baixo consumo (Figura 12). Esta componente não contabilizada, corresponde a cerca de 20% da energia elétrica anual produzida pelo sistema fotovoltaico. Nesta fase, as preocupações incidiram apenas no desempenho do edifício e respetivas soluções, pelo que a análise incidiu na redução das necessidades energéticas do mesmo, sendo considerada apenas a possibilidade de autoconsumo em conformidade com o RECS [9]. A estimativa da produção de energia elétrica foi realizada com o modelo EnergyPlus.

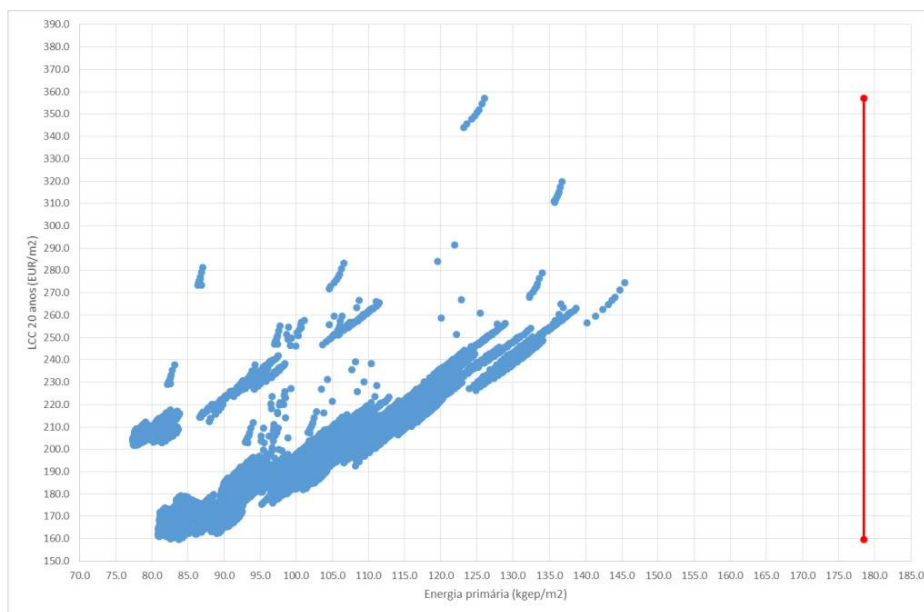


Figura 11 – Resultados da análise do edifício com sistema fotovoltaico (Sistema de climatização S5)

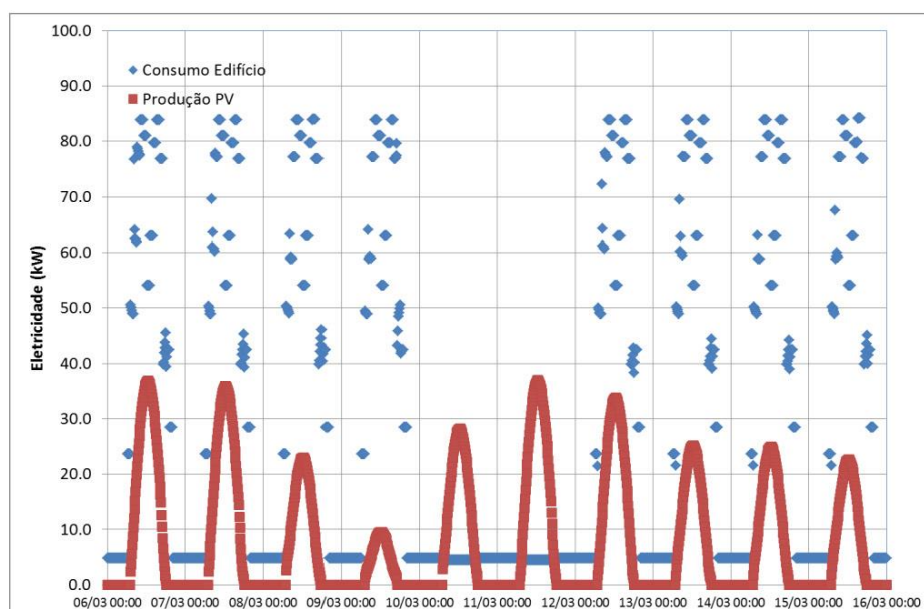


Figura 12 - Energia elétrica, perfil de consumo do edifício e de produção do sistema fotovoltaico

## 2.5 – Resumo

No anexo III, apresentam-se quadros resumos das variantes estudadas. No Quadro 10 resumem-se os resultados dos níveis ótimos para o edifício de escritórios com o sistema VRF, com o sistema Chiller e com ventilação natural e mecânica. Nesse quadro também se encontram indicados os valores utilizados no cálculo do limite regulamentar do RECS [9], que neste caso é diferente do edifício de referência por ter uma área de fachada envidraçada de 30%, em vez dos 43% deste edifício de referência virtual. Ao nível das soluções construtivas os ótimos são iguais e conclui-se que as soluções de referência regulamentares são suficientemente restritivas. Ao nível da proteção solar, o regulamento deve privilegiar vidro de maior fator solar e

proteções solares exteriores, em vez de especificar apenas um fator solar, que pode conduzir a resultados perniciosos se forem adotados vidros com baixa transmitância luminosa. O valor de SFP regulamentar em vigor em 2014 é excessivo ( $2000 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{s})$ ), sendo considerado satisfatório um valor intermédio de  $1500 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{s})$ , ou que vigorará a partir de 2015 ( $1250 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{s})$ ). O sistema de referência de ventilação deve prever a implementação de arrefecimento gratuito de pelo menos 2 renovações de ar por hora. Ao nível da eficiência nominal dos sistemas de climatização, afigura-se ser possível incrementar ligeiramente as exigências de desempenho para os sistemas VRF e para os chiller bomba de calor ( $\text{EER}_{\text{VRF}}=3.5$ ,  $\text{EER}_{\text{chillerBomba de calor}}=2.9$ ).

Quadro 10 – Resumo dos valores das soluções ótimas e RECS

|   | RECS                               | Ventilação Natural                  | Ventilação Mecânica                                   | Ventilação Natural                                    | Ventilação Mecânica                                    |
|---|------------------------------------|-------------------------------------|---|---|--|
| IEE ( $\text{kWh}/\text{m}^2$ )                                   | 179                                | 105                                 | 109   | 103   | 111  |
| LCC   | -                                  | 182                                 | 198   | 185   | 201  |
| $U_{\text{Pavimento}}$ ( $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ) | 0.50                               | 2.6 (0 cm)                          | 2.6 (0 cm)  | 2.6 (0 cm)  | 2.6 (0 cm)   |
| $U_{\text{Parede}}$ ( $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ )    | 0.70                               | 1.3 (0 cm)                          | 1.3 (0 cm)  | 1.3 (0 cm)  | 1.3 (0 cm)   |
| $U_{\text{Cobertura}}$ ( $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ) | 0.50                               | 1.0 (2 cm)                          | 1.0 (2 cm)  | 1.0 (2 cm)  | 1.0 (2 cm)   |
| Janela $U_w$ ( $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ )           | 4.3                                | 5.9                                 | 5.9   | 5.9   | 5.9  |
| Janela g  | 0.20                               | 0.50                                | 0.50  | 0.50  | 0.50   |
| Proteção solar  | -                                  | Exterior                            | Exterior  | Exterior  | Exterior   |
| Iluminação  | $12.5 \text{ W}/\text{m}^2$        | $9 \text{ W}/\text{m}^2$            | $9 \text{ W}/\text{m}^2$                              | $9 \text{ W}/\text{m}^2$                              | $9 \text{ W}/\text{m}^2$                               |
| Ventilação  | M1<br>Ventilação com caudal mínimo | N 1<br>Ventilação com caudal mínimo | M 2<br>Ventilação com free cool de $2 \text{ h}^{-1}$ | N 2<br>Ventilação com free cool de $2 \text{ h}^{-1}$ | VM 2<br>Ventilação com free cool de $2 \text{ h}^{-1}$ |
| Recuperação calor Ventilação                                      | Não                                | Não                                 | Não   | Não   | Não  |
| SFP ( $\text{W}/(\text{m}^3/\text{s})$ )                          | 2000                               | -                                   | 850   | -   | 850  |
| Climatização  | S5                                 | S4                                  | S4  | S7  | S7   |
| COP   | 2.8                                | 4.2                                 | 4.2   | 3.3   | 3.3  |
| EER   | 2.7                                | 3.8                                 | 3.8   | 3.2   | 3.2  |

### 3 – LIMITE REGULAMENTAR IEE DE REFERÊNCIA

O IEE de referência foi determinado seguindo os pressupostos definidos na Portaria n.º 349D/2013, sendo de referir os seguintes aspetos:

- O nível de isolamento térmico da envolvente opaca foi ajustado para se obterem os valores de  $U_{ref}$  de  $0.5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  na cobertura e pavimento e de  $0.7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  nas paredes.
- A área de vãos envidraçados foi reduzida de 43% da área das fachadas para 30%.
- Os vãos envidraçados foram ajustados para terem  $U_w=4.3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  e um fator solar constante de 0.15.
- A densidade de potência de iluminação foi ajustada para  $12,5 \text{ W}/\text{m}^2$ , não sendo a mesma afetada por eventuais sistemas de controlo.
- A potência específica de ventilação foi ajustada para  $2000 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{s})$ , foi considerado o caudal de ar novo do método prescritivo entre as 9h00 e as 19h00, afetado pela eficácia de remoção de poluentes de 0,80.
- Foi considerado AVAC com COP=2.8 e EER=2.7.

Com estes pressupostos obteve-se um valor  $IEE_{ref}$  de  $179 \text{ kWh}/\text{m}^2$ .

#### 4 - ANÁLISE DOS REQUISITOS REGULAMENTARES

Comparando o  $IEE_{ref}$  com os valores IEE dos níveis ótimos do ciclo de vida de custo do edifício de referência (Figura 13), verifica-se que este ( $179 \text{ kWh/m}^2$ ) se encontra mais de 15% acima dos níveis ótimos sem sistema fotovoltaico e com ventilação natural ( $103 \text{ kWh/m}^2$ ), bem como ao valor correspondente à solução de ventilação mecânica ( $109 \text{ kWh/m}^2$ ). Na análise dos níveis ótimos considera-se que o edifício tem ventilação mecânica, por corresponder à situação mais típica.

As causas da diferença entre IEE ótimo e  $IEE_{ref}$  são várias como foi referido na secção 2.2, por exemplo a diferença na densidade de potência da iluminação de referência e controlo, a proteção solar dos vãos, a ventilação e a eficiência dos sistemas de climatização. Efetivamente, o nível de isolamento térmico da envolvente de referência é compatível com os valores correspondentes às soluções dos níveis ótimos.

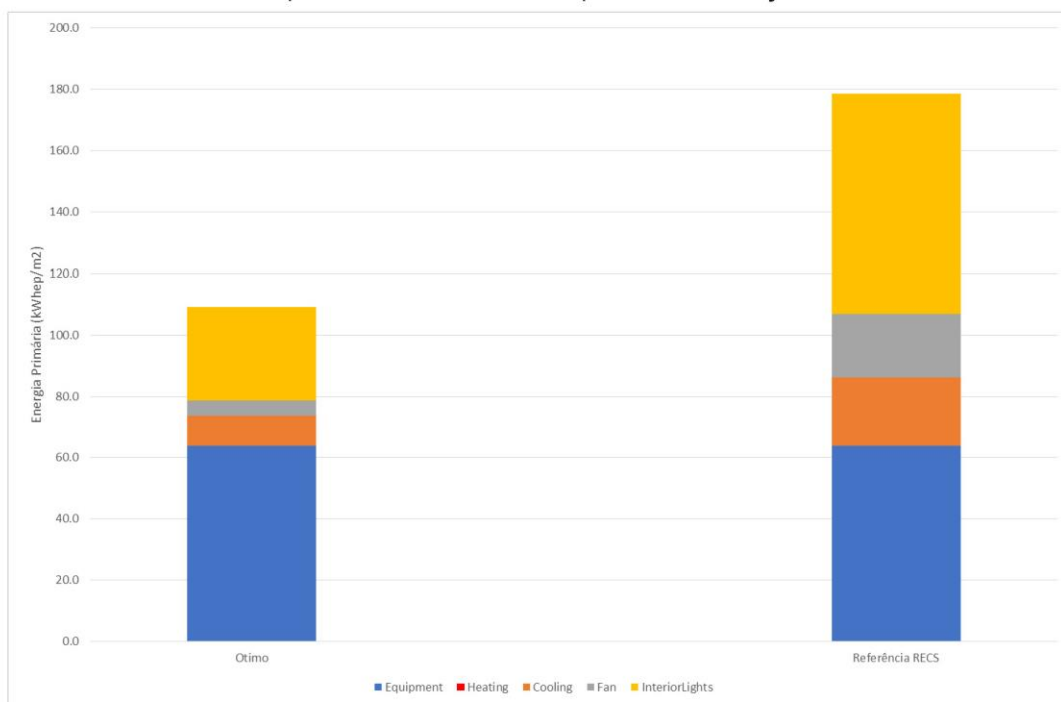


Figura 13 – Comparação do IEE do edifício com a solução ótima e o IEE de referência do RECS

Foi realizada uma análise mantendo todos os parâmetros de referência, com exceção do ajustamento dos seguintes fatores no edifício de referência:

1. Vãos envidraçados com  $U_w=3.8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , proteção solar exterior ( $g=0.09$ ) e vidro com fator solar de 0.50, em vez de  $U_w=4.3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  e fator solar de 0.15;
2. Nas zonas próximas das fachadas (até profundidade de 6 m) foi adotado controlo DALI (fator de controlo da iluminação artificial de sensivelmente 0.5).
3. Nos espaços do tipo open space foi adotado DPI/100 lx de 1.8 em vez de 2.5.
4. Foi adotado sistema de ventilação mecânica equilibrado, com SFP de  $1430 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{s})$  e com possibilidade de free cooling com caudal até  $2 \text{ h}^{-1}$ .
5. Foi adotado sistema com COP=3.9 e EER=3.5.



Com estes pressupostos o  $IEE_{ref}$  passa a ser de 122.2 kWh/m<sup>2</sup>, ou seja, um valor satisfatório porque se situa apenas 12% acima do nível ótimo de 109 kWh/m<sup>2</sup> para a ventilação mecânica, Figura 14. Podem ser estudadas outras alternativas para definir o  $IEE_{ref}$ , mas esta aproxima a repartição de consumos do  $IEE_{ref}$  ao  $IEE$  das soluções ótimas.

De forma complementar, atendendo à viabilidade técnica e económica da integração de sistemas fotovoltaicos para autoconsumo, estes também devem ser incorporados no edifício de referência do RECS.

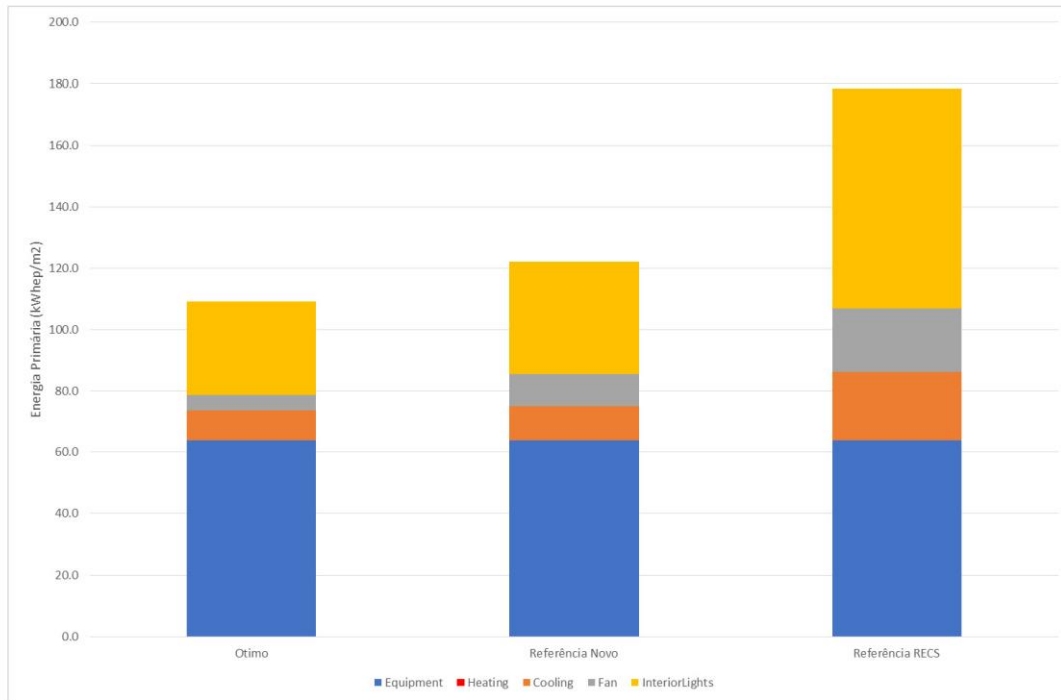


Figura 14 – Comparação do IEE do edifício com a solução ótima, IEE de referência do RECS e proposta de ajustamento

## 5 - ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS NÍVEIS DE RENTABILIDADE ÓTIMA E REQUISITOS REGULAMENTARES

A análise comparativa entre os níveis de rentabilidade ótima e os requisitos em vigor impostos pelo Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto em que a determinação da diferença entre os dois níveis resulta da expressão 1, de modo a garantir e verificar o estabelecimento dos requisitos mínimos de desempenho energético em função dos níveis ótimos de rentabilidade conforme preconizado na Diretiva 2010/31/UE. No Quadro 11, encontram-se os resultados obtidos, sendo perceptível que o limite regulamentar é mais de 15% superior às soluções ótimas.

$$\text{Diferença} = \frac{\text{nível ótimo de rentabilidade} \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \cdot \text{a} \right] - \text{requisitos mínimos de desempenho atuais} \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \cdot \text{a} \right]}{\text{nível ótimo de rentabilidade} \left[ \text{kWh/m}^2 \cdot \text{a} \right]}$$

Quadro 11 - Quadro comparativo de edifícios escritórios novos

| Nível ótimo de nível ótimo de rentabilidade<br>[kWh/m <sup>2</sup> .a] | Requisitos mínimos de desempenho atuais<br>[kWh/m <sup>2</sup> .a] | Diferença<br>(%) |
|--|--|------------------|
| 109  | 179  | 64%              |
| 103  | 179  | 74%              |

### Justificação da diferença:

O limite regulamentar do RECS foi estabelecido de forma a não incluir medidas especiais de eficiência energética, para que estas pudessem ser valorizadas em termos de classificação energética do edifício.

Nesse sentido, o sistema de iluminação do limite regulamentar apresenta DPI/100lx muito superior ao atualmente alcançável em espaços do tipo open space, devendo ser aprofundados estudos de forma atualizar os valores DPI/100 lx. RECS DPI/100lx=2.5; soluções atuais DPI/100lx=1.8.

Por outro lado, no edifício pode ser considerado o efeito dos sistemas DALI, enquanto na referência esses sistemas não são considerados, o que explica parte da diferença entre o edifício virtual e o limite regulamentar.

Nos edifícios com ventilação mecânica, o RECS tem SFP de 2000 o que é um valor elevado. O valor que irá vigorar a partir de 2015 (1250), reduz este problema como se mostrou na secção 4, apesar de poder ser restritivo.

O facto dos sistemas de ventilação do limite regulamentar não incluírem sistema de free cooling, agrava as necessidades de arrefecimento do limite regulamentar, por comparação à prática. Este aspeto deve ser ponderado e incluído no cálculo do limite regulamentar.

Apesar da ventilação natural ser a solução ótima, considera-se que a continuação da adoção da solução de ventilação mecânica por defeito é satisfatória, podendo ser ponderada a existência de limites regulamentares diferentes para edifícios com ventilação natural e para os edifícios com ventilação mecânica.

Os valores de COP e EER afiguram-se relativamente baixos, face aos produtos disponíveis no mercado, havendo potencial para aumentar os valores de referência como referido no capítulo 4. Aqui há a necessidade de distinguir as diferentes tecnologias.

O nível de isolamento térmico da envolvente é adequado pois as soluções ótimas de uma forma geral têm U inferiores aos de referência do RECS. Em relação à proteção solar, seria importante considerar a existência de proteção solar exterior ( $g_{nc}=0.09$ ), vidro de fator solar 0.50 e transmitância luminosa de 70%.

Face à viabilidade de integração de soluções fotovoltaicas, as mesmas devem ser ponderadas.



Lisboa, LNEC 31 de dezembro de 2014.  
Armando Pinto

## REFERÊNCIAS

- [1] - Sistema de Certificação Energética, ADENE. <http://www.adene.pt/sce>
- [2] - Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013 publicação dos parâmetros para o zonamento climático e respetivos dados.
- [3] - ENERGY PLUS, versão 8.1.009.
- [4] - Regulamento Delegado (UE) n.º 244/2012 da comissão de 16 de janeiro de 2012 que complementa a Diretiva 2010/31/UE
- [5] - EN 15459: 2006 - Energy Efficiency for Buildings — Standard economic evaluation procedure for energy systems in buildings. Bruxelas: CEN.
- [6] - Brandão de Vasconcelos, A. B. - "Construção energeticamente sustentável. Metodologia de apoio à decisão em intervenções de reabilitação de edifícios". Lisboa, IST/LNEC, dezembro de 2014. Versão provisória da dissertação de doutoramento em curso no LNEC, no âmbito do protocolo IST/LNEC.
- [7] - Pina dos Santos, C., Matias, L., Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos edifícios, ICT Informação técnica, edifícios –ITE 50, LNEC (2006).
- [8] - Diretiva 2010/31/EU, de 19 de Maio de 2010 Relativa ao desempenho energético dos edifícios (reformulação).
- [9] - Portaria n.º 349-D/2013 de 2 de dezembro. Regulamento de desempenho energético dos edifícios de comércio e serviços (RECS) - Requisitos de conceção para edifícios novos e intervenções.
- [10] - RECS - Portaria n.º 349-D/2013 de 2 de dezembro. Regulamento de desempenho energético dos edifícios de comércio e serviços (RECS) - Requisitos de ventilação e qualidade do ar interior.
- [11] - Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto. Sistema de Certificação Energética de Edifícios (SCE).
- [12] - Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de abril. Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE).
- [13] - Despacho (extrato) n.º 15793-D/2013. Publicação dos fatores de conversão entre energia útil e energia primária a utilizar na determinação das necessidades nominais anuais de energia primária.

## **ANEXOS**

### **ANEXO I – DESCRIÇÃO E CUSTO DAS SOLUÇÕES**

Na realização da análise dos custos de ciclo de vida das soluções foram adotados os valores indicados nos quadros seguintes. Os valores das soluções construtivas correspondem a valores típicos existentes na base de dados de custos do LNEC correspondentes a obras novas até 2013 [6]. Os dados adotados para as soluções construtivas, os custos de investimento, vida útil e custos de manutenção, foram adaptados do estudo de doutoramento [6].

Os custos dos sistemas e instalações, resultam de orçamentos referentes a obra nova de 2014 e que atendem à especificidade da tipologia do edifício de referência. Os períodos de vida útil dos sistemas e de manutenção baseiam-se na norma EN 15459 [5] e na informação técnica de fabricantes.

Como referido nos aspetos metodológicos da análise comparativa, no cálculo do LCC de 20 anos, para cada solução construtiva/sistemas, para a solução menos eficiente adota-se o custo 0 (omite-se o valor comum a todas as soluções), sendo as soluções mais eficientes avaliadas tendo em conta apenas o diferencial de custo.

Os custos dos sistemas de climatização, ventilação, iluminação e fotovoltaico referem-se à totalidade do edifício de referência.

#### **Fachada e paredes**

No estudo [6] estão a ser caracterizados diferentes tipos de soluções de fachada, nomeadamente a solução ETICS com isolamento de EPS, fachada ventilada com revestimento metálico e isolamento a lã mineral, fachada cortina de alumínio e vidro com isolamento de lã mineral, parede dupla com isolamento de lã mineral. Em cada solução, a variação de custo é sensivelmente linear com a espessura de isolante térmico, tendo o valor de sensivelmente 1,14 €/cm com isolamento de EPS e 1,00 €/cm no caso de isolamento de lã mineral. A utilização de paredes se isolante térmico já não é uma prática de construção em Portugal, pelo que o importante é a comparação de diferentes níveis de isolamento, não sendo por isso importante o facto de não se considerar o acréscimo inicial de aplicação de parede com isolamento face a parede sem isolamento.

Neste estudo foi adotada como fachada exterior opaca a solução ETICS, sendo a mesma constituída pelo revestimento exterior, camada de isolante térmico de EPS (1,15 €/cm), tijolo cerâmico de 22 cm e revestimento interior de estuque. As características térmicas estão indicadas no Quadro 3. Vida útil do ETICS é de 25 anos. Os custos de manutenção são iguais para todas as variantes, pelo que são omissos. Neste estudo de níveis ótimos não se pretende comparar soluções construtivas diferentes, pois são diversas as razões que levam à adoção de fachadas cortina, fachas ventiladas, ETICS. Em última análise, o desempenho das fachadas depende essencialmente do nível de isolante térmico, que aqui é avaliado.

#### **Cobertura**

No estudo é considerada uma cobertura em terraço, constituída do interior para o exterior por: placa de gesso cartonado, espaço de ar, laje de betão, camada de forma, membrana de impermeabilização, isolamento térmico de XPS incorporado em placas de betão poroso. Em cada solução, a variação de custo é sensivelmente linear com a espessura de isolante térmico, tendo o valor de sensivelmente 1,10 €/cm com isolamento de XPS. As características térmicas estão indicadas no Quadro 3. Vida útil do ETICS é de 25 anos. Os custos de

manutenção são iguais para todas as variantes, pelo que são omissos. A vida útil da solução é superior a 20 anos, sendo adotado o valor de 20 anos. Os custos de manutenção são iguais para todas as variantes, pelo que são omissos.

### Pavimento

No estudo é considerado um pavimento sobre garagem, constituída da garagem para o interior por: laje de betão, camada de regularização, isolante térmico, camada de proteção, revestimento cerâmico. Em cada solução, a variação de custo é sensivelmente linear com a espessura de isolante térmico, tendo o valor de sensivelmente 1,35 €/cm com isolamento de XPS. As características térmicas estão indicadas no Quadro 3. A vida útil da solução é superior a 20 anos, sendo adotado o valor de 20 anos devido à probabilidade de substituição periódica do pavimento. Os custos de manutenção são iguais para todas as variantes, pelo que são omissos.

### Vãos envidraçados

No estudo são considerados três níveis de isolamento térmico das janelas, e quatro tipos de fator solar. Mantendo o racional de colocar a zero o custo comum a todas as soluções considera-se a janela com  $U=5.9$  e  $g=0.85$  de custo zero, sendo indicado no quadro seguinte o acréscimo de custo considerado para cada variante. A vida útil da solução é superior a 25 anos, sendo adotado o valor de 25 anos. Os custos de manutenção são iguais para todas as variantes, pelo que são omitidos.

| $U_w$<br>( $W/(m^2.K)$ ) | Fator solar<br>(g) | Custo de investimento<br>Relativo (€/m <sup>2</sup> ) |
|--------------------------|--------------------|---|
| 5.9                      | 0.85               | 0   |
| 5.9                      | 0.50               | 10  |
| 5.9                      | 0.20               | 53  |
| 5.9                      | 0.13               | 63  |
| 3.8                      | 0.75               | 20  |
| 3.8                      | 0.50               | 30  |
| 3.8                      | 0.20               | 73  |
| 3.8                      | 0.13               | 83  |
| 2.7                      | 0.75               | 43  |
| 2.7                      | 0.50               | 53  |
| 2.7                      | 0.20               | 96  |
| 2.7                      | 0.13               | 106   |

### Proteção solar

Neste estudo considera-se que a proteção solar dos vãos é realizada com base em estores venezianos, que podem ser aplicado pelo exterior (ES) ou pelo interior (IS). Os estores exteriores têm um custo de investimento de 100€/m<sup>2</sup>, têm uma vida útil de 20 anos e um custo de manutenção de 4€/m<sup>2</sup>. Os estores interiores têm um custo de investimento de 70€/m<sup>2</sup>, têm uma vida útil de 10 anos e um custo de manutenção de 2€/m<sup>2</sup>.

## Sistema de ventilação

No caso da ventilação foi considerando-se uma estimativa do custo global da instalação, indicando-se no quadro seguinte os respetivos valores.

| Ventilação | Custo Investimento (€) | Vida Útil UTA (anos)                             | Manutenção (%investimento) | Custo Manutenção (EUR) | Observações   |
|------------|------------------------|--|----------------------------|------------------------|---|
| VM         | 48 857                 | UTA 20 anos, Conduatas, 30 anos                  | 3% UTA, 2%condutas         | 1 243                  | A manutenção inclui a manutenção preventiva e limpeza |
| VM-HR      | 59 893                 | UTA 20 anos, Conduatas, 30 anos                  | 3% UTA, 2%condutas         | 1 574                  |   |
| N          | 34 333                 | Grelhas de ventilação 20 anos, conduatas 30 anos | 2%                         | 910                    |   |

VM- ventilação mecânica; VM-HR, ventilação mecânica com recuperação de calor; N – ventilação natural

## Sistema de climatização

Como o RECS tem exigências específicas diferentes para sistemas novos do tipo expansão direta e do tipo tudo água, os custos e a análise LCC é realizada de forma distinta para o edifício de referência com cada um desses sistemas. Nesse sentido, no quadro seguinte são apresentados os incrementos de custo associados à melhoria da eficiência dos sistemas, omitindo-se os custos iguais comuns a todas as soluções para prevenir comparações inadequadas entre sistemas de expansão direta com sistemas a água. Lembra-se que o Regulamento delegado [4] refere a possibilidade de se omitirem custos iguais para as diferentes soluções.

| Sistema                        | Custo relativo Investimento (€) | Vida Útil UTA (anos) | Manutenção (%investimento) | Custo relativo Manutenção (€) | Observações   |
|--------------------------------|---------------------------------|----------------------|----------------------------|-------------------------------|---|
| <b>Sistema expansão direta</b> |                                 |                      |                            |                               |   |
| VRF-S0<br>(COP=3.21, EER=2.81) | 0                               | 20                   | (1)                        | 0                             | A manutenção inclui a manutenção periódica preventiva e limpeza |
| VRF-S1<br>(COP=3.3, EER=2.9)   | 699                             | 20                   | (1)                        | 14                            |   |
| VRF-S2<br>(COP=3.41, EER=3.01) | 1,553                           | 20                   | (1)                        | 31                            |   |
| VRF-S3<br>(COP=3.61, EER=3.21) | 3,107                           | 20                   | (1)                        | 62                            |   |
| VRF-S4<br>(COP=4.2, EER=3.8)   | 7,691                           | 20                   | (1)                        | 154                           |   |
| <b>Sistema a água</b>          |                                 |                      |                            |                               |   |
| CH-S5<br>(COP=2.8, EER=2.7)    | 0                               | 20                   | (1)                        | 0                             | A manutenção inclui a manutenção periódica preventiva e limpeza |
| CH-S6<br>(COP=3, EER=2.9)      | 2485                            | 20                   | (1)                        | 50                            |   |
| CH-S7<br>(COP=3.3, EER=3.2)    | 6214                            | 20                   | (1)                        | 124                           |   |
| CH-S8<br>(COP=4.15, EER=4.1)   | 52316                           | 20                   | (1)                        | 1046                          |   |

(1): Custo de manutenção foi considerado o valor de 2% para as unidades exteriores e de 1% para as unidades interiores e tubagens.

## Sistema de iluminação

| Iluminação | Custo | Vida Útil | Custo | Observações |
|------------|-------|-----------|-------|-------------|
|------------|-------|-----------|-------|-------------|

|      | Investimento<br>(€) | (anos)                              | Manutenção<br>(EUR) |  |
|------|---------------------|-------------------------------------|---------------------|--|
| LF 1 | 200 466             | Luminária 20 anos, lâmpada 3.4 anos | 3 550               | A manutenção inclui a manutenção preventiva e limpeza e exclui substituição de lâmpadas. |
| LF 2 | 310 994             | Luminária 20 anos, lâmpada 8 anos   | 3 120               |  |
| LED  | 331 173             | 9,6 anos                            | 560                 |  |

### Sistema fotovoltaico

| Fotovoltaico       | Custo Investimento<br>(€) | Vida Útil<br>(anos) | Manutenção<br>(%investimento) | Custo Manutenção<br>(EUR) | Observações   |
|--------------------|---------------------------|---------------------|-------------------------------|---------------------------|---|
| PV 45 kW (23%Acob) | 72 450                    | 25                  | 2%                            | 1 450                     | A manutenção inclui a manutenção preventiva e limpeza |

## ANEXO II - CUSTO DA ELETRICIDADE E DAS EMISSÕES DE CO<sub>2</sub>

Nos cálculos foram adotados os valores indicados no quadro abaixo, em que os custos da eletricidade tiveram por base a informação disponibilizada pela Direção Geral de Energia e Geologia conta os dados os cenários de evolução dos custos marginais de produção. Os custos de CO<sub>2</sub> e respetiva evolução seguiram o especificado no regulamento delegado [4].

Quadro 12 – Custos de energia e CO<sub>2</sub>: Estudo macroeconómico

| (Ano) | Eletricidade EUR/kWh |        |        | EUR/ton CO <sub>2</sub> |       |       |
|-------|----------------------|--------|--------|-------------------------|-------|-------|
|       | Alto                 | Média  | Baixo  | Alto                    | Média | Baixo |
| 2014  | 0.1763               | 0.1597 | 0.1329 | 25.00                   | 25.00 | 16.50 |
| 2015  | 0.1778               | 0.1588 | 0.1303 | 25.00                   | 25.00 | 16.50 |
| 2016  | 0.1794               | 0.1605 | 0.1307 | 25.00                   | 25.00 | 16.50 |
| 2017  | 0.1886               | 0.1764 | 0.1471 | 25.00                   | 25.00 | 16.50 |
| 2018  | 0.1919               | 0.1834 | 0.1630 | 25.00                   | 25.00 | 16.50 |
| 2019  | 0.1965               | 0.1879 | 0.1671 | 25.00                   | 25.00 | 16.50 |
| 2020  | 0.1985               | 0.1910 | 0.1690 | 38.00                   | 34.00 | 20.00 |
| 2021  | 0.2020               | 0.1946 | 0.1744 | 38.00                   | 34.00 | 20.00 |
| 2022  | 0.2043               | 0.1922 | 0.1578 | 38.00                   | 34.00 | 20.00 |
| 2023  | 0.2066               | 0.1933 | 0.1553 | 38.00                   | 34.00 | 20.00 |
| 2024  | 0.2088               | 0.1950 | 0.1632 | 38.00                   | 34.00 | 20.00 |
| 2025  | 0.2114               | 0.1953 | 0.1618 | 60.00                   | 51.00 | 36.00 |
| 2026  | 0.2140               | 0.1956 | 0.1605 | 60.00                   | 51.00 | 36.00 |
| 2027  | 0.2166               | 0.1960 | 0.1591 | 60.00                   | 51.00 | 36.00 |
| 2028  | 0.2192               | 0.1963 | 0.1578 | 60.00                   | 51.00 | 36.00 |
| 2029  | 0.2218               | 0.1966 | 0.1564 | 60.00                   | 51.00 | 36.00 |
| 2030  | 0.2218               | 0.1966 | 0.1564 | 64.00                   | 53.00 | 50.00 |
| 2031  | 0.2218               | 0.1966 | 0.1564 | 64.00                   | 53.00 | 50.00 |
| 2032  | 0.2218               | 0.1966 | 0.1564 | 64.00                   | 53.00 | 50.00 |
| 2033  | 0.2218               | 0.1966 | 0.1564 | 64.00                   | 53.00 | 50.00 |
| 2034  | 0.2218               | 0.1966 | 0.1564 | 64.00                   | 53.00 | 50.00 |

Quadro 13 – Custos de energia: Estudo financeiro

| Ano  | Alto<br>(€/MWh) | Média<br>(€/MWh) | Baixo<br>(€/MWh) |
|------|-----------------|------------------|------------------|
| 2014 | 0.2591          | 0.2347           | 0.1953           |
| 2015 | 0.2613          | 0.2334           | 0.1915           |
| 2016 | 0.2636          | 0.2359           | 0.1921           |
| 2017 | 0.2772          | 0.2593           | 0.2161           |
| 2018 | 0.2820          | 0.2695           | 0.2395           |
| 2019 | 0.2888          | 0.2761           | 0.2456           |
| 2020 | 0.2918          | 0.2807           | 0.2483           |
| 2021 | 0.2969          | 0.2861           | 0.2564           |
| 2022 | 0.3002          | 0.2825           | 0.2320           |
| 2023 | 0.3036          | 0.2840           | 0.2283           |
| 2024 | 0.3069          | 0.2866           | 0.2398           |
| 2025 | 0.3107          | 0.2870           | 0.2378           |
| 2026 | 0.3145          | 0.2875           | 0.2358           |
| 2027 | 0.3183          | 0.2880           | 0.2339           |
| 2028 | 0.3222          | 0.2885           | 0.2319           |
| 2029 | 0.3260          | 0.2890           | 0.2299           |
| 2030 | 0.3260          | 0.2890           | 0.2299           |
| 2031 | 0.3260          | 0.2890           | 0.2299           |
| 2032 | 0.3260          | 0.2890           | 0.2299           |
| 2033 | 0.3260          | 0.2890           | 0.2299           |
| 2034 | 0.3260          | 0.2890           | 0.2299           |

No estudo, foi adotado o tarifário para a MT normal indicado no Quadro 14, que tem os horários indicados na Figura 15.

Quadro 14 – Tarifária diária de energia elétrica

| EUR/kWh     | Inverno | Verão  |
|-------------|---------|--------|
| Ponta       | 0.2343  | 0.2410 |
| Cheias      | 0.1780  | 0.1790 |
| Vazio       | 0.1237  | 0.1305 |
| Super vazio | 0.1056  | 0.1163 |

Valor médio diário de 0.1597 EUR/kWh

| Período de hora legal de Inverno |                                | Período de hora legal de Verão |   |
|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---|
| Ponta:                           | 17.00/21.00 h                  | Ponta:                         | 09.00/11.30 h<br>19.30/21.00 h                  |
| Cheias:                          | 08.00/17.00 h<br>21.00/22.00 h | Cheias:                        | 08.00/09.00 h<br>11.30/19.30 h<br>21.00/22.00 h |
| Vazio Normal:                    | 05.30/08.00 h<br>22.00/01.30 h | Vazio Normal:                  | 05.30/08.00 h<br>22.00/01.30 h                  |
| Super Vazio:                     | 01.30/05.30 h                  | Super Vazio:                   | 01.30/05.30 h                                   |

Figura 15 - Tarifário do tarifário de energia elétrica

### ANEXO III – CUSTOS DO CICLO DE VIDA

No Quadro 15 indicam-se as variantes seleccionadas para permitir colocar em evidência algumas tendências dos resultados deste estudo de um edifício de escritório novo situado em Lisboa. No Quadro 16 apresentam-se os resultados das necessidades energéticas do edifício associadas às variantes. No Quadro 17 apresentam-se os resultados da análise macroeconómica das variantes e no Quadro 18 os resultados da análise financeira. Na Figura 16 apresentam-se os resultados das variantes num gráfico Eprimária vs LCC.

A Variante V0 corresponde de forma aproximada ao edifício de referência com uma envolvente com a qualidade térmica e sistemas equivalentes aos preconizados no RECS [9]. A comparação de V1 com V0, mostra o impacto que o controlo DALI e uma iluminação mais atual tem nas necessidades nominais de energia e no LCC. V2 corresponde à solução ótima (sem PV) aplicável ao edifício com ventilação natural e V3 aos edifícios com ventilação mecânica. V4 e V5 correspondem às soluções ótimas com o sistema bomba de calor (ar-água).

Por razões de qualidade térmica e prevenção de risco de ocorrência de condensações, considera-se como solução de qualidade mínima a utilização de 2 cm de isolamento nos pavimentos e paredes e cobertura, e janelas com  $U=3.8$  e fator solar de 0.5, o que corresponde à solução V6, com ventilação natural e V7 com ventilação mecânica. Comparando V3 com V7 regista-se um pequeno acréscimo das necessidades de energia primária, o que se considera aceitável e muito inferior ao valor de 15%. A generalidade dos cenários subsequentes reporta-se ao edifício com ventilação mecânica e caudal de arrefecimento gratuito e noturno de  $2 \text{ h}^{-1}$  (VM 2). V7 a V12 destina-se a permitir comparar a influência de diferentes soluções de vãos envidraçados (envidraçado + proteção solar), de onde é perceptível a vantagem da solução  $U=3.8, g=0.5$  e proteção solar exterior, dado ser aquela que reduz as necessidades de arrefecimento e de iluminação do edifício. V8, ( $U=3.8, g=0.13$ ) reduz as necessidades de arrefecimento, mas aumenta as necessidades de iluminação. V9 reduz ligeiramente as necessidades de iluminação, mas aumenta as necessidades de arrefecimento. A adoção de proteção solar interior com vidro  $U=3.8, g=0.5$ , aumenta as necessidades de arrefecimento em relação a V7. A adoção de um vão mais isolante (V13), não melhora o comportamento, pois reduz a dissipação de calor, aumentando ligeiramente as necessidades de arrefecimento de V7. A utilização da iluminação LED (V14), permite reduzir as necessidades energéticas do edifício, mas não é viável economicamente para os cenários definidos. V15 a V23 mostram a influência dos diferentes sistemas de climatização. V24 e V25, ilustram o efeito da instalação do sistema fotovoltaico no edifício base e na solução ótima. A solução V25 corresponde à solução ótima deste estudo.



Quadro 15 – Variantes seleccionadas

| Variante           | Pav   | Parede | Cob   | Envidraçado | Estore | Light   | Vent | Sistema | PV   |
|--------------------|-------|--------|-------|-------------|--------|---------|------|---------|------|
| V0 (base)          | F2 cm | W4 cm  | R4 cm | U3.8, g0.5  | ES     | LF1 Sdl | VM 1 | S5      | -    |
| V1                 | F2 cm | W4 cm  | R4 cm | U3.8, g0.5  | ES     | LF2     | VM 1 | S5      | -    |
| V2 (ótima)         | F0 cm | W0 cm  | R2 cm | U5.9, g0.5  | ES     | LF2     | N 1  | S4      | -    |
| V3                 | F0 cm | W0 cm  | R2 cm | U5.9, g0.5  | ES     | LF2     | VM 2 | S4      | -    |
| V4                 | F0 cm | W0 cm  | R2 cm | U5.9, g0.5  | ES     | LF2     | N 2  | S7      | -    |
| V5                 | F0 cm | W0 cm  | R2 cm | U5.9, g0.5  | ES     | LF2     | VM 2 | S7      | -    |
| V6                 | F2 cm | W2 cm  | R2 cm | U3.8, g0.5  | ES     | LF2     | N 2  | S4      | -    |
| V7                 | F2 cm | W2 cm  | R2 cm | U3.8, g0.5  | ES     | LF2     | VM 2 | S4      | -    |
| V8                 | F2 cm | W2 cm  | R2 cm | U3.8, g0.13 | ES     | LF2     | VM 2 | S4      | -    |
| V9                 | F2 cm | W2 cm  | R2 cm | U3.8, g0.75 | ES     | LF2     | VM 2 | S4      | -    |
| V10                | F2 cm | W2 cm  | R2 cm | U3.8, g0.13 | IS     | LF2     | VM 2 | S4      | -    |
| V11                | F2 cm | W2 cm  | R2 cm | U3.8, g0.5  | IS     | LF2     | VM 2 | S4      | -    |
| V12                | F2 cm | W2 cm  | R2 cm | U3.8, g0.75 | IS     | LF2     | VM 2 | S4      | -    |
| V13                | F2 cm | W2 cm  | R2 cm | U2.7, g0.5  | ES     | LF2     | VM 2 | S4      | -    |
| V14                | F2 cm | W2 cm  | R2 cm | U3.8, g0.5  | ES     | LED     | VM 2 | S4      | -    |
| V15                | F2 cm | W2 cm  | R2 cm | U3.8, g0.5  | ES     | LF2     | VM 2 | S0      | -    |
| V16                | F2 cm | W2 cm  | R2 cm | U3.8, g0.5  | ES     | LF2     | VM 2 | S1      | -    |
| V17                | F2 cm | W2 cm  | R2 cm | U3.8, g0.5  | ES     | LF2     | VM 2 | S2      | -    |
| V18                | F2 cm | W2 cm  | R2 cm | U3.8, g0.5  | ES     | LF2     | VM 2 | S3      | -    |
| V19                | F2 cm | W2 cm  | R2 cm | U3.8, g0.5  | ES     | LF2     | VM 2 | S4      | -    |
| V20                | F2 cm | W2 cm  | R2 cm | U3.8, g0.5  | ES     | LF2     | VM 2 | S5      | -    |
| V21                | F2 cm | W2 cm  | R2 cm | U3.8, g0.5  | ES     | LF2     | VM 2 | S6      | -    |
| V22                | F2 cm | W2 cm  | R2 cm | U3.8, g0.5  | ES     | LF2     | VM 2 | S7      | -    |
| V23                | F2 cm | W2 cm  | R2 cm | U3.8, g0.5  | ES     | LF2     | VM 2 | S8      | -    |
| V24 (base com PV)  | F2 cm | W4 cm  | R4 cm | U3.8, g0.5  | ES     | LF1 Sdl | VM 1 | S5      | PV45 |
| V25 (ótima com PV) | F0 cm | W0 cm  | R2 cm | U5.9, g0.5  | ES     | LF2     | N 1  | S4      | PV45 |

Quadro 16 – Necessidades de energia das variantes

| Variante | Necessidades de Energia (kWh/m²) |               | Utilização de Energia (kWh/m²) |               |            |            |              | Energia produzida (kWh/m²) | Energia fornecida por fonte (kWh/m²) | Energia Primária (kWh <sub>p</sub> /m²) | Redução de Energia Primária |
|----------|----------------------------------|---------------|--------------------------------|---------------|------------|------------|--------------|----------------------------|--------------------------------------|---|-----------------------------|
|          | Aquecimento                      | Arrefecimento | Aquecimento                    | Arrefecimento | Ventilação | Iluminação | Equipamentos |                            |                                      |   |                             |
| V0       | 0.0                              | 28.7          | 0.0                            | 10.6          | 3.5        | 25.6       | 25.5         | 0.0                        | 65.3                                 | 163.3                                   | 0%                          |
| V1       | 0.0                              | 19.6          | 0.0                            | 7.2           | 3.5        | 12.2       | 25.5         | 0.0                        | 48.5                                 | 121.1                                   | -26%                        |
| V2       | 0.2                              | 16.9          | 0.1                            | 4.4           | 0.0        | 12.2       | 25.5         | 0.0                        | 42.1                                 | 105.3                                   | -35%                        |
| V3       | 0.3                              | 14.6          | 0.1                            | 3.8           | 2.1        | 12.2       | 25.5         | 0.0                        | 43.6                                 | 109.1                                   | -33%                        |
| V4       | 0.2                              | 11.2          | 0.1                            | 3.5           | 0.0        | 12.1       | 25.5         | 0.0                        | 41.2                                 | 103.0                                   | -37%                        |
| V5       | 0.3                              | 14.6          | 0.1                            | 4.6           | 2.1        | 12.2       | 25.5         | 0.0                        | 44.4                                 | 111.0                                   | -32%                        |
| V6       | 0.0                              | 11.0          | 0.0                            | 2.9           | 0.0        | 12.2       | 25.5         | 0.0                        | 40.6                                 | 101.5                                   | -38%                        |
| V7       | 0.1                              | 15.2          | 0.0                            | 4.0           | 2.2        | 12.2       | 25.5         | 0.0                        | 43.8                                 | 109.5                                   | -33%                        |
| V8       | 0.2                              | 7.2           | 0.0                            | 1.9           | 2.1        | 14.9       | 25.5         | 0.0                        | 44.4                                 | 111.1                                   | -32%                        |
| V9       | 0.0                              | 23.3          | 0.0                            | 6.1           | 2.2        | 12.1       | 25.5         | 0.0                        | 46.0                                 | 114.9                                   | -30%                        |
| V10      | 0.1                              | 7.3           | 0.0                            | 1.9           | 2.1        | 14.9       | 25.5         | 0.0                        | 44.4                                 | 111.1                                   | -32%                        |
| V11      | 0.0                              | 28.4          | 0.0                            | 7.5           | 2.2        | 12.2       | 25.5         | 0.0                        | 47.4                                 | 118.4                                   | -27%                        |
| V12      | 0.0                              | 44.0          | 0.0                            | 11.6          | 2.3        | 12.1       | 25.5         | 0.0                        | 51.5                                 | 128.6                                   | -21%                        |
| V13      | 0.0                              | 15.9          | 0.0                            | 4.2           | 2.2        | 12.2       | 25.5         | 0.0                        | 44.0                                 | 110.1                                   | -33%                        |
| V14      | 0.1                              | 13.6          | 0.0                            | 3.6           | 2.1        | 8.8        | 25.5         | 0.0                        | 40.0                                 | 100.0                                   | -39%                        |
| V15      | 0.1                              | 15.2          | 0.0                            | 5.4           | 2.2        | 12.2       | 25.5         | 0.0                        | 45.2                                 | 113.1                                   | -31%                        |
| V16      | 0.1                              | 15.2          | 0.0                            | 5.2           | 2.2        | 12.2       | 25.5         | 0.0                        | 45.1                                 | 112.6                                   | -31%                        |
| V17      | 0.1                              | 15.2          | 0.0                            | 5.0           | 2.2        | 12.2       | 25.5         | 0.0                        | 44.9                                 | 112.2                                   | -31%                        |
| V18      | 0.1                              | 15.2          | 0.0                            | 4.7           | 2.2        | 12.2       | 25.5         | 0.0                        | 44.5                                 | 111.4                                   | -32%                        |
| V19      | 0.1                              | 15.2          | 0.0                            | 4.0           | 2.2        | 12.2       | 25.5         | 0.0                        | 43.8                                 | 109.5                                   | -33%                        |
| V20      | 0.1                              | 15.2          | 0.0                            | 5.6           | 2.2        | 12.2       | 25.5         | 0.0                        | 45.4                                 | 113.6                                   | -30%                        |
| V21      | 0.1                              | 15.2          | 0.0                            | 5.2           | 2.2        | 12.2       | 25.5         | 0.0                        | 45.1                                 | 112.6                                   | -31%                        |
| V22      | 0.1                              | 15.2          | 0.0                            | 4.7           | 2.2        | 12.2       | 25.5         | 0.0                        | 44.6                                 | 111.4                                   | -32%                        |
| V23      | 0.1                              | 15.2          | 0.0                            | 3.7           | 2.2        | 12.2       | 25.5         | 0.0                        | 43.5                                 | 108.8                                   | -33%                        |
| V24      | 0.0                              | 28.7          | 0.0                            | 10.6          | 3.5        | 25.6       | 25.5         | 8.4                        | 56.9                                 | 142.4                                   | -13%                        |
| V25      | 0.2                              | 16.9          | 0.1                            | 4.4           | 0.0        | 12.2       | 25.5         | 8.4                        | 33.8                                 | 84.4                                    | -48%                        |

Quadro 17 – Resultados dos custos: perspetiva macroeconómica

| Variante           | Custo do Investimento Inicial (2014) (EUR/m2) | Custos de Utilização 20 anos (manutenção+substituição) (EUR/m2) | Custos de Energia 20 anos (EUR/m2) | Custos das emissões de gases com efeito de estufa 20 anos (EUR/m2) | Valor Residual (EUR/m2) | Custo Global Calculado (EUR/m2) |
|--------------------|---|---|------------------------------------|--|-------------------------|---------------------------------|
| V0 (base)          | 62.0  | 29.6  | 181.8                              | 19.2   | 2.9                     | 289.7                           |
| V1                 | 79.1  | 24.4  | 103.4                              | 14.2   | 2.9                     | 218.2                           |
| V2 (ótima)         | 72.8  | 23.5  | 74.8                               | 12.4   | 1.4                     | 182.0                           |
| V3                 | 80.7  | 26.8  | 80.1                               | 12.8   | 2.3                     | 198.2                           |
| V4                 | 78.2  | 25.9  | 70.2                               | 12.1   | 1.4                     | 185.0                           |
| V5                 | 80.4  | 26.8  | 83.5                               | 13.0   | 2.3                     | 201.4                           |
| V6                 | 82.7  | 26.0  | 67.3                               | 11.9   | 2.4                     | 185.5                           |
| V7                 | 84.9  | 26.8  | 80.9                               | 12.9   | 3.3                     | 202.2                           |
| V8                 | 93.5  | 26.8  | 84.1                               | 13.0   | 5.3                     | 212.2                           |
| V9                 | 83.3  | 26.8  | 90.7                               | 13.5   | 2.9                     | 211.5                           |
| V10                | 88.7  | 30.5  | 84.1                               | 13.0   | 5.3                     | 210.9                           |
| V11                | 80.1  | 30.5  | 97.5                               | 13.9   | 3.3                     | 218.6                           |
| V12                | 78.4  | 30.5  | 116.4                              | 15.1   | 2.9                     | 237.5                           |
| V13                | 88.7  | 26.8  | 81.9                               | 12.9   | 4.2                     | 206.1                           |
| V14                | 88.1  | 84.5  | 61.7                               | 11.6   | 17.6                    | 228.3                           |
| V15                | 83.8  | 26.5  | 87.3                               | 13.3   | 3.3                     | 207.5                           |
| V16                | 83.9  | 26.5  | 86.5                               | 13.2   | 3.3                     | 206.8                           |
| V17                | 84.0  | 26.6  | 85.7                               | 13.2   | 3.3                     | 206.1                           |
| V18                | 84.2  | 26.6  | 84.2                               | 13.1   | 3.3                     | 204.9                           |
| V19                | 84.9  | 26.8  | 80.9                               | 12.9   | 3.3                     | 202.2                           |
| V20                | 83.8  | 26.5  | 88.3                               | 13.3   | 3.3                     | 208.6                           |
| V21                | 84.1  | 26.6  | 86.6                               | 13.2   | 3.3                     | 207.2                           |
| V22                | 84.7  | 26.8  | 84.3                               | 13.1   | 3.3                     | 205.6                           |
| V23                | 91.8  | 28.9  | 79.6                               | 12.8   | 3.3                     | 209.8                           |
| V24 (base com PV)  | 73.2  | 32.8  | 144.2                              | 16.7   | 4.4                     | 262.5                           |
| V25 (ótima com PV) | 84.0  | 26.7  | 37.3                               | 9.9  | 3.0                     | 154.9                           |

Quadro 18 – Resultados dos custos: perspectiva Financeira

| Variante           | Custo do Investimento Inicial (2014) (EUR/m <sup>2</sup> ) | Custos de Utilização 20 anos (manutenção+substituição) (EUR/m <sup>2</sup> ) | Custos de Energia 20 anos (EUR/m <sup>2</sup> ) | Custos das emissões de gases com efeito de estufa 20 anos (EUR/m <sup>2</sup> ) | Valor Residual (EUR/m <sup>2</sup> ) | Custo Global Calculado (EUR/m <sup>2</sup> ) |
|--------------------|--|--|---|---|--------------------------------------|--|
| V0 (base sem PV)   | 76.3   | 36.4   | 267.2   | 0.0   | 3.5                                  | 376.3  |
| V1                 | 97.2   | 30.1   | 152.0   | 0.0   | 3.6                                  | 275.7  |
| V2 (ótima Sem PV)  | 89.5   | 28.9   | 110.0   | 0.0   | 1.8                                  | 226.6  |
| V3                 | 99.2   | 33.0   | 117.8   | 0.0   | 2.8                                  | 247.2  |
| V4                 | 96.2   | 31.9   | 103.1   | 0.0   | 1.8                                  | 229.5  |
| V5                 | 98.9   | 32.9   | 122.7   | 0.0   | 2.8                                  | 251.7  |
| V6                 | 101.8  | 32.0   | 98.9  | 0.0   | 3.0                                  | 229.7  |
| V7                 | 104.5  | 33.0   | 118.9   | 0.0   | 4.1                                  | 252.3  |
| V8                 | 115.1  | 33.0   | 123.6   | 0.0   | 6.6                                  | 265.1  |
| V9                 | 102.5  | 33.0   | 133.4   | 0.0   | 3.6                                  | 265.3  |
| V10                | 109.1  | 37.5   | 123.6   | 0.0   | 6.6                                  | 263.6  |
| V11                | 98.5   | 37.5   | 143.3   | 0.0   | 4.1                                  | 275.2  |
| V12                | 96.5   | 37.5   | 171.1   | 0.0   | 3.6                                  | 301.5  |
| V13                | 109.1  | 33.0   | 120.3   | 0.0   | 5.2                                  | 257.3  |
| V14                | 108.3  | 104.0  | 90.6  | 0.0   | 21.6                                 | 281.3  |
| V15                | 103.0  | 32.6   | 128.3   | 0.0   | 4.1                                  | 259.9  |
| V16                | 103.1  | 32.6   | 127.2   | 0.0   | 4.1                                  | 258.9  |
| V17                | 103.3  | 32.7   | 125.9   | 0.0   | 4.1                                  | 257.8  |
| V18                | 103.6  | 32.8   | 123.8   | 0.0   | 4.1                                  | 256.1  |
| V19                | 104.5  | 33.0   | 118.9   | 0.0   | 4.1                                  | 252.3  |
| V20                | 103.0  | 32.6   | 129.8   | 0.0   | 4.1                                  | 261.3  |
| V21                | 103.5  | 32.7   | 127.2   | 0.0   | 4.1                                  | 259.4  |
| V22                | 104.2  | 32.9   | 123.9   | 0.0   | 4.1                                  | 257.0  |
| V23                | 112.9  | 35.5   | 117.0   | 0.0   | 4.1                                  | 261.4  |
| V24 (base com PV)  | 90.0   | 40.4   | 212.0   | 0.0   | 5.4                                  | 336.9  |
| V25 (ótima com PV) | 103.3  | 32.8   | 54.8  | 0.0   | 3.7                                  | 187.2  |

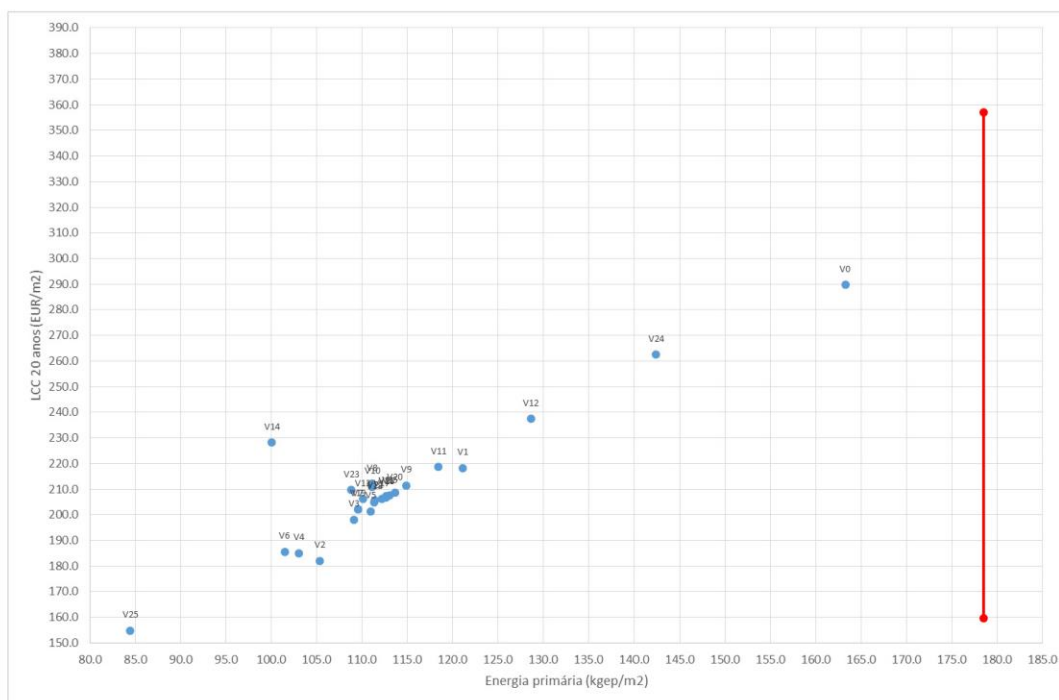


Figura 16 – Resultados variantes seleccionadas

## ANEXO II

Análise de sensibilidade da qualidade térmica da envolvente opaca  
e *free cool*



**ESTUDO SOBRE CÁLCULO DOS NÍVEIS ÓTIMOS DE RENTABILIDADE DOS REQUISITOS MÍNIMOS DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS E COMPONENTES DE EDIFÍCIOS DE COMÉRCIO E SERVIÇOS**

Edifícios de escritório: Análise de sensibilidade da qualidade térmica da envolvente opaca

Lisboa: LNEC, Armando Pinto, 2014-12-24

Índice

|  |    |
|--|----|
| 1 - Introdução .....   | 2  |
| 2 - Caso de estudo .....   | 2  |
| 3 – Conclusões.....  | 3  |
| 3.1 – Aspetos detalhados.....  | 3  |
| 3.2 - Implicações no estudo .....  | 4  |
| Anexo - Resultados .....   | 5  |
| 1 - Simulação RECS com os perfis e as condições RSECE .....  | 5  |
| 2 - Simulação RECS com os perfis e as condições RSECE e implementação de free cooling .....  | 6  |
| 3 - Simulação RECS com os perfis e as condições base, iluminação 11 W/m <sup>2</sup> e free cooling .....  | 7  |
| 4 - Simulação RECS com os perfis e as condições base, iluminação 11 W/m <sup>2</sup> com controlo DALI e free cooling .                                | 8  |
| 5 - Simulação RECS com os perfis e as condições base, iluminação 9 W/m <sup>2</sup> com controlo DALI e free cooling ...                               | 9  |
| 6 - Simulação RECS com os perfis e as condições base, iluminação 6.5 W/m <sup>2</sup> com controlo DALI e free cooling .....                           | 10 |
| 7 - Simulação RECS com os perfil base, iluminação de 6.5 W/m <sup>2</sup> e controlo DALI free cooling caudal constante                                | 11 |
| 8 - Simulação RECS com os perfis e as condições base, iluminação 6.5 W/m <sup>2</sup> com DALI e free cooling caudal variável e Localidade quente..... | 12 |
| 9 - Simulação RECS com os perfis e as condições base, iluminação 6.5 W/m <sup>2</sup> com DALI e free cooling caudal variável e Localidade Fria.....   | 13 |

## 1 - INTRODUÇÃO

No âmbito do estudo dos níveis ótimos de rentabilidade de soluções de eficiência energética de edifícios, foi realizada uma análise de alguns pressupostos da simulação do edifício de escritórios, de forma a permitir obter resultados consistentes com o comportamento térmico e energético dos edifícios e de forma a permitir estabelecer as variáveis do estudo paramétrico. Por exemplo, pretende-se que a melhoria da qualidade térmica da envolvente não se repercuta num aumento das necessidades térmicas, em concordância com o comportamento normal dos edifícios.

## 2 - CASO DE ESTUDO

As soluções base de arquitetura, materiais e princípios foram definidos com a informação da base de dados do SCE, com os requisitos regulamentares do RECS e com alguns dados do RSECE.

Fora apreciadas as soluções indicadas no Quadro 1. Na simulação foi adotada uma taxa de ocupação de 15 m<sup>2</sup>/p. A simulação 1, corresponde basicamente à prática habitual de simulação, em que a ventilação e climatização do espaço é realizada das 6h até às 19 h. No caso 2, foi incluída a possibilidade de free cooling, com caudais de 2 h<sup>-1</sup>, 5 h<sup>-1</sup> e 10 h<sup>-1</sup>. No free cool existe a possibilidade de admitir 100% do valor de Rph entre as 4 e as 6h, sendo que das 6 às 19h se adota 50% desse valor. No caso 3 foi ajustado o nível de iluminação e equipamentos para valores mais atuais. Nos cenários 4, 5 e 6 foi incluído o controlo DALI nas zonas próximas da fachada e foram avaliadas diferentes densidades de potência de iluminação, correspondentes a soluções com lâmpadas T8, T5 e LED. O caso 7, distingue-se do caso 6, pelo facto de ser ter assumido free-cool com possibilidade de adotar o caudal de ar exterior Rph desde as 4h até às 19h.

Quadro 1 – Resumos das soluções estudadas

|   | Controlo Iluminação | Potência de iluminação            | Potência de equipamentos          | Free cool                                  | Isolamento elementos opacos                                       |
|---|---------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--|---|
| 1 | Sem DL              | 11 W/m <sup>2</sup> , 5% à noite  | 15 W/m <sup>2</sup> e 15% à noite | Sem free cool, caudal constante das 6-19 h | Pavimento 02 cm, parede e cobertura espessura isolamento variável |
| 2 | Sem DL              | 11 W/m <sup>2</sup> , 5% à noite  | 15 W/m <sup>2</sup> e 15% à noite | Free cool 100%Rph 4-6 e 50%Rph 6-19 h      | Pavimento 02 cm, parede e cobertura espessura isolamento variável |
| 3 | Sem DL              | 11 W/m <sup>2</sup> , 1% à noite  | 10 W/m <sup>2</sup> e 5% à noite  | Free cool 4-6 e 50% 6-19 h                 | Pavimento 02 cm, parede e cobertura espessura isolamento variável |
| 4 | Com DL              | 11 W/m <sup>2</sup> , 1% à noite  | 10 W/m <sup>2</sup> e 5% à noite  | Free cool 4-6 e 50% 6-19 h                 | Pavimento 02 cm, parede e cobertura espessura isolamento variável |
| 5 | Com DL              | 9 W/m <sup>2</sup> , 1% à noite   | 10 W/m <sup>2</sup> e 5% à noite  | Free cool 4-6 e 50% 6-19 h                 | Pavimento 02 cm, parede e cobertura espessura isolamento variável |
| 6 | Com DL              | 6.5 W/m <sup>2</sup> , 1% à noite | 10 W/m <sup>2</sup> e 5% à noite  | Free cool 4-6 e 50% 6-19 h                 | Pavimento 02 cm, parede e cobertura espessura isolamento variável |
| 7 | Com DL              | 6.5 W/m <sup>2</sup> , 1% à noite | 10 W/m <sup>2</sup> e 5% à noite  | Free cool 100% 4-6 e 100% 6-19 h           | Pavimento 02 cm, parede e cobertura espessura isolamento variável |

Todos os casos foram analisados para o clima de Lisboa, sendo efetuada a avaliação da influência da variação do nível de isolamento térmico da parede e da cobertura, tendo sido adotadas espessuras de referência de isolamento térmico de 0, 2, 4, 6, 8, 10, 15 e 20 cm. Foi analisado o cenário base de caudal de ar exterior contante e a possibilidade de existir free cooling com caudais de 2, 5 e 10 h<sup>-1</sup>. Em todos os casos foi adotado caixilharia com vidro duplo (U<sub>w</sub>=3.8), fator solar de 0.50, transmitância luminosa de 70% e proteção solar exterior.



Além destes casos, como consequência das principais conclusões, foi realizada a avaliação do caso 6, num clima I1V3 (caso 8) e também num clima I3V1 (caso 9). Os resultados das cerca de 288 simulações encontram-se no anexo.

### 3 - CONCLUSÕES

#### 3.1 - Aspetos detalhados

No anexo são apresentados os diversos resultados do estudo destinado a afinar as condições de simulação para determinar os níveis ótimos de rentabilidade.

Como se conclui dos resultados da secção 1, em Lisboa, a adoção das condições RSECE, sem free cooling e sem controlo DALI, proporcionam uma relação inversa entre as necessidades térmicas e o nível de isolamento térmico da envolvente opaca, o que não se afigura aceitável.

Implementando um sistema de free cooling, em que nas situações de temperatura exterior inferior em 1°C à temperatura interior se aumenta o caudal de ar exterior para Rph entre as 4h e as 6h e 50% de Rph entre as 6h e as 19h, constata-se um redução das necessidades de arrefecimento de 10 kWh/m<sup>2</sup> para um caudal de free cooling de 5 h<sup>-1</sup> e uma redução de 24 kWh/m<sup>2</sup> para um caudal de 10 h<sup>-1</sup> (ver secção 2). No caso do cenário com free cooling de 10 h<sup>-1</sup>, deixa de existir a relação inversa entre qualidade térmica da envolvente opaca e as necessidades térmicas do edifício.

Como uma parte das necessidades de arrefecimento se reportam ao arrefecimento inicial/matinal do edifício, o perfil de iluminação e de equipamento do RSECE foi ajustado nos períodos da noite e de fim de semana de 5% para 1% na iluminação e de 15% para 5% nos equipamentos. A potência dos equipamentos foi também reduzida de 15 W/m<sup>2</sup> para 10 W/m<sup>2</sup>. Com estas novas condições (secção 3), com free cooling de 5 h<sup>-1</sup> e 10 h<sup>-1</sup>, tem-se que as soluções com isolante térmico apresentam melhor desempenho térmico do que sem isolamento térmico. Com free cooling as necessidades de arrefecimento são de aproximadamente 16 kWh/m<sup>2</sup>, enquanto sem free cooling são de 27 kWh/m<sup>2</sup> e continuam a apresentar uma relação inversa com a qualidade térmica da envolvente opaca. Atendendo à grande área envidraçada do edifício, à probabilidade da iluminação na zona das fachadas se encontrar desligada quando existe luz natural suficiente, apresentam-se resultados admitindo a existência de sensores DALI na secção 4 considerando iluminação fluorescente com lâmpadas T8 (11.1 W/m<sup>2</sup>), na secção 5 considerando a utilização de lâmpadas T5 (9W/m<sup>2</sup>) e na secção 6 considerando a utilização de LED (6.5 W/m<sup>2</sup>). Nestes três casos, com free cooling, regista-se uma redução das necessidades de arrefecimento com a melhoria da qualidade térmica da envolvente, sendo essa melhoria tanto mais significativa quanto menor é a potência de iluminação e maior o caudal de free cooling. Destes 3 resultados, regista-se a importância de ponderar na análise dos custos do ciclo de vida o efeito da ventilação, pois ao se aumentar o caudal de free-cooling, reduzem-se as necessidades térmicas mas aumenta-se o consumo de energia nos ventiladores e os custos da própria instalação. A adoção de um caudal de free cooling variável nos períodos de não ocupação/períodos de ocupação afigura-se vantajosa, pois comparando os resultados da secção 7 com os da secção 6, conclui-se que a adoção de um caudal contante (maior nos períodos de não ocupação) não se traduz numa redução das necessidades de arrefecimento, mas aumenta significativamente o consumo de energia dos ventiladores, não devendo ser a opção a adotar neste estudo.

Na Figura 1 apresenta-se a evolução do quociente entre as necessidades térmicas de arrefecimento do edifício e as necessidades térmicas do edifício com cobertura e paredes sem isolamento térmico, tendo como base o mês de agosto e o cenário definido na secção 6. Dessa figura conclui-se que na situação de caudal constante, existe

uma relação inversa entre as necessidades de arrefecimento e a qualidade térmica da envolvente opaca. Quando existe free cooling, de uma forma geral existe uma redução dessas necessidades com o aumento do isolamento térmico, evidenciando que nos períodos quentes é conveniente ter um edifício com algum nível de isolamento térmico, em oposição ao que se conclui dos resultados da secção 1.

Esta mesma tendência é confirmada quando se estuda o edifício em locais de clima quente (ver secção 8, zona climática I1V3), onde se justifica melhorar a qualidade térmica dos elementos opacos quando existe free cooling. Nos locais de clima frio (ver secção 9, zona climática I3,V1), as necessidades térmicas são dominadas pelo aquecimento e aí existe uma relação direta entre a melhoria da qualidade térmica da envolvente opaca e a redução das necessidades térmicas do edifício, independentemente da existência de free cooling.

### 3.2 - Implicações no estudo

No estudo dos níveis ótimos de rentabilidade, para evitar ter resultados desfasados do comportamento normal dos edifícios e evitar resultados em que ao se melhorar a qualidade térmica do edifício se aumentam as suas necessidades térmicas, preconiza-se que na simulação também sejam adotados os seguintes pressupostos:

- Adotar a possibilidade de existência de free cooling. Nos edifícios dominados pelo arrefecimento é fundamental ponderar o free cooling como estratégia para otimizar o comportamento térmico do edifício e não penalizar a qualidade térmica da envolvente do edifício. Deste modo, o aumento do isolamento térmico é provável que não melhore muito o desempenho do edifício, mas não o piora!
- Para maximizar o efeito da qualidade térmica da envolvente é importante reduzir o nível das cargas térmicas internas. Considera-se importante adotar à noite e aos fins de semana o valor de 1% no perfil de iluminação e 5% no perfil de equipamentos, incluir efeito do sistema de controlo DALI e adotar uma densidade de potência de 10 W/m<sup>2</sup> nos equipamentos. Estes aspetos são concordantes com as tecnologias disponíveis, sistemas de controlo e práticas.

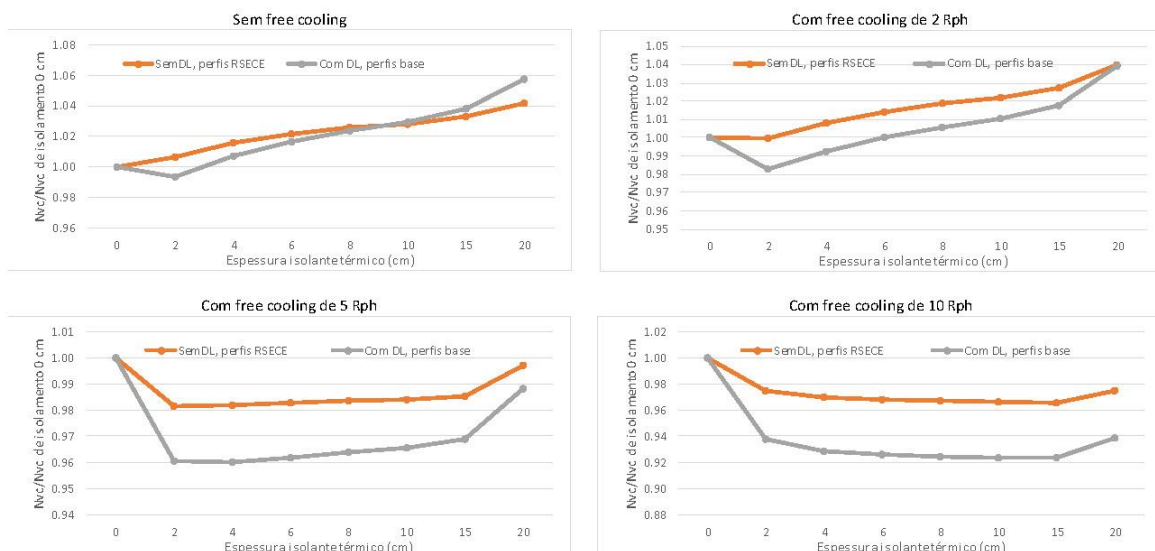


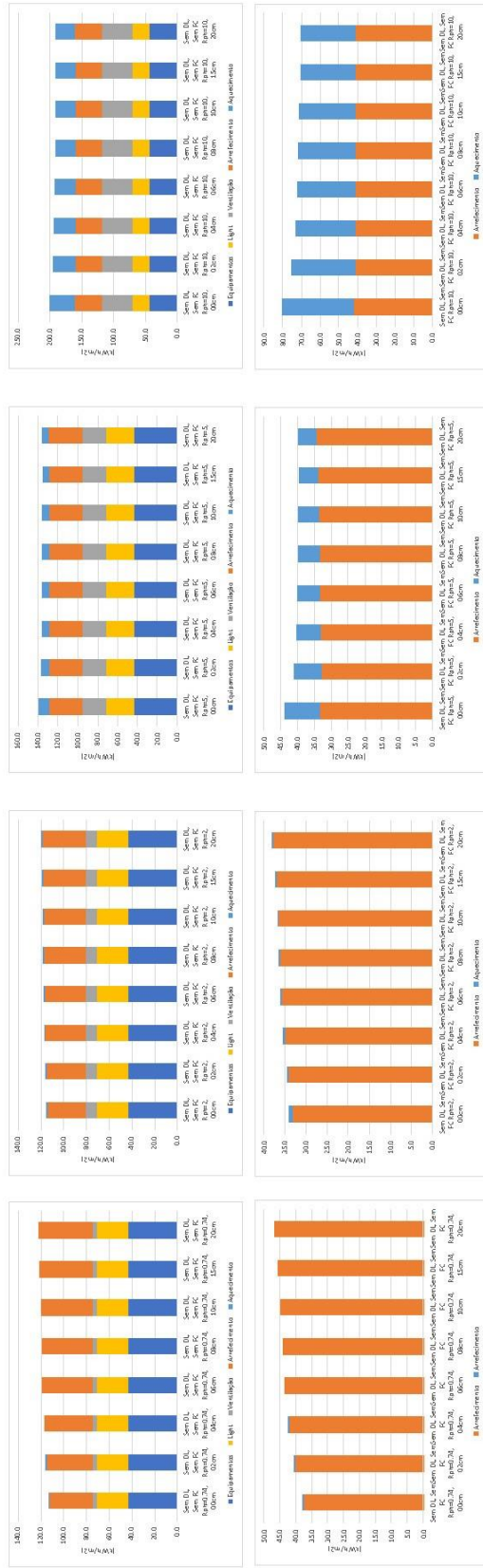
Figura 1 – Variação das necessidades térmicas de arrefecimento para diferentes caudais de free cooling e isolamento da envolvente opaca (caso 06)

## ANEXO - RESULTADOS

### 1 - SIMULAÇÃO RECS COM OS PERFS E AS CONDIÇÕES RSECE

Ocupação: 15 m<sup>2</sup>/p e perfil RSECE; iluminação 11 W/m<sup>2</sup> e perfil RSECE; equipamentos 15 W/m<sup>2</sup> e perfil RSECE; climatização e ventilação das 6h00 às 19h00.

No cenário de caudal mínimo e de free cooling com 2 h<sup>-1</sup>, as necessidades térmicas aumentam com o nível de isolamento da envolvente opaca (Paredes e cobertura). Nos cenários de free cooling com 5 h<sup>-1</sup> e 10 h<sup>-1</sup>, existe uma redução das necessidades térmicas com o nível de isolamento térmico, contudo as necessidades térmicas são superiores às dos dois cenários iniciais, não sendo viável a sua adoção.



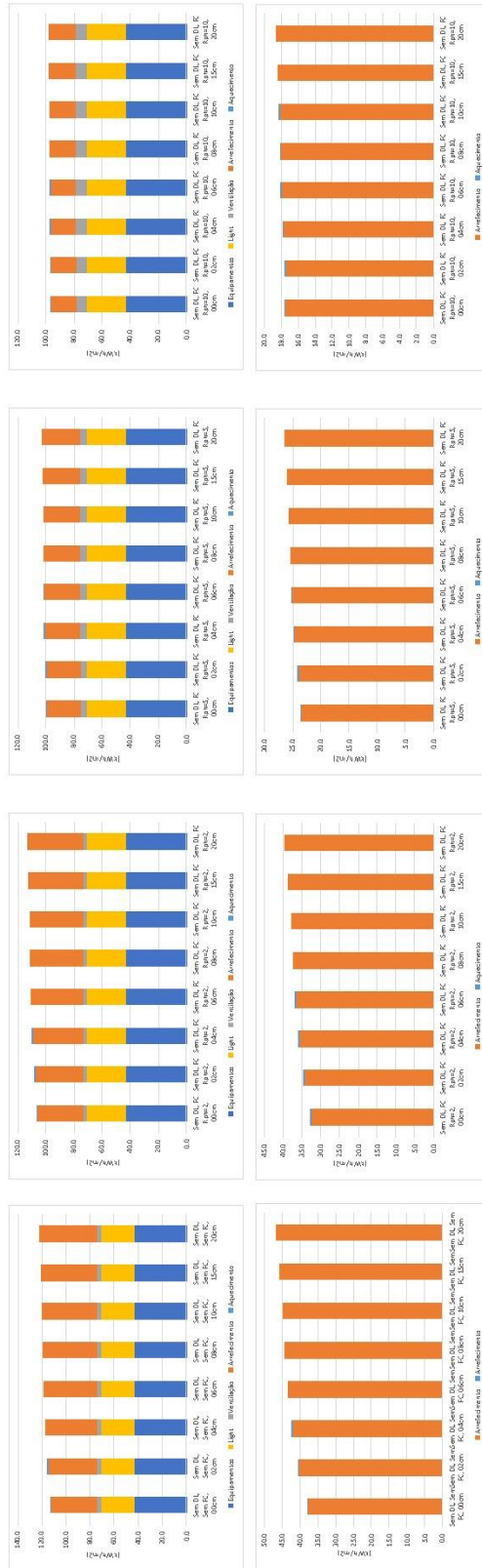
Nas figuras de baixo apresenta-se a soma das necessidades térmica de aquecimento mais as de arrefecimento.

Nas figuras de cima apresenta-se a soma das necessidades térmica de aquecimento, mais as de arrefecimento, mais as de arrefecimento de energia elétrica de equipamentos, iluminação e ventiladores.

## 2 - SIMULAÇÃO RECS COM OS PERFIS E AS CONDIÇÕES RSECE E IMPLEMENTAÇÃO DE FREE COOLING

Ocupação: 15 m<sup>2</sup>/p e perfil RSECE; iluminação 11 W/m<sup>2</sup> e perfil RSECE; equipamentos 15 W/m<sup>2</sup> e perfil RSECE, climatização e ventilação das 6h00 às 19h00. Free cooling entre as 4h e as 6 h com o caudal Rph e entre as 6h e as 19h com metade desse caudal de ar.

Verifica-se uma redução significativa das necessidades térmicas em todos os cenários. Ao se aumentar o nível de isolamento térmico continua a registar-se um aumento das necessidades térmicas, não sendo esse aumento tão importante como no caso indicado na secção 1.

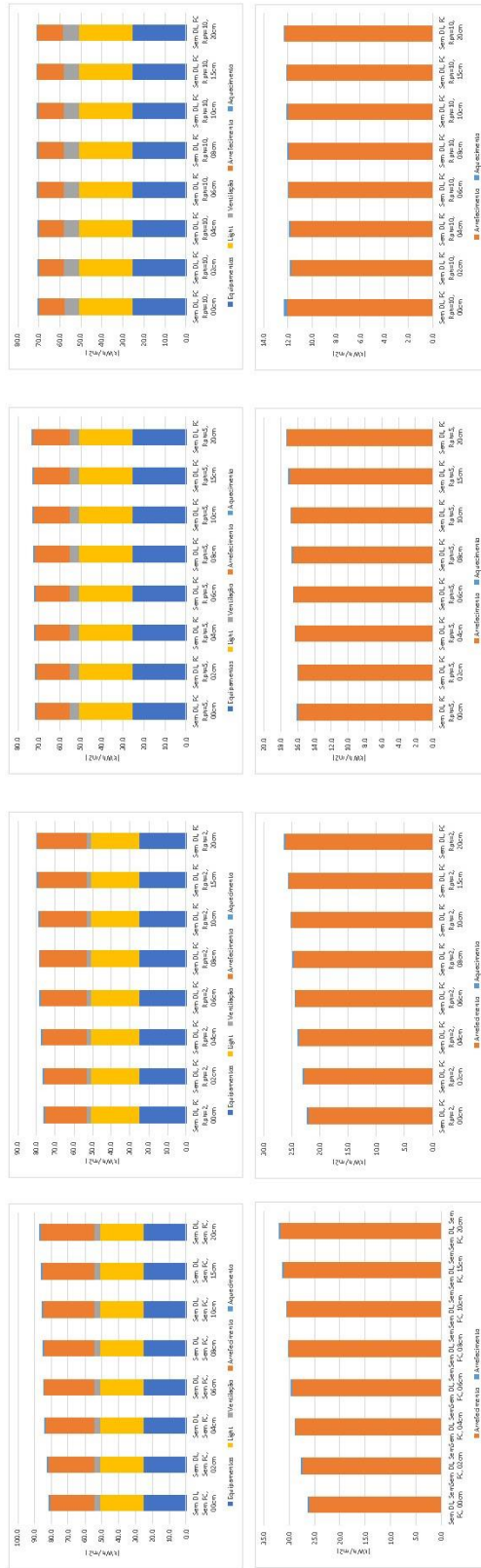




### 3 - SIMULAÇÃO RECS COM OS PERFIS E AS CONDIÇÕES BASE, ILUMINAÇÃO 11 W/m<sup>2</sup> E FREE COOLING

Ocupação: 15 m<sup>2</sup>/p e perfil RSECE; Iluminação 11 W/m<sup>2</sup> e perfil RSECE, em que à noite se adota 1% em vez de 5%; equipamentos 15 W/m<sup>2</sup> e perfil RSECE, em que à noite e aos fins-de semana se adota 5% em vez de 15%, climatização e ventilação das 6h às 19h. Free cooling entre as 4h e as 6 h com o caudal Rph e entre as 6h e as 19h com metade desse caudal de ar.

Verifica-se uma redução significativa das necessidades térmicas em todos os cenários. Nos cenários com maior caudal de free cooling, ao se aumentar o nível de isolamento térmico regista-se uma redução das necessidades térmicas.

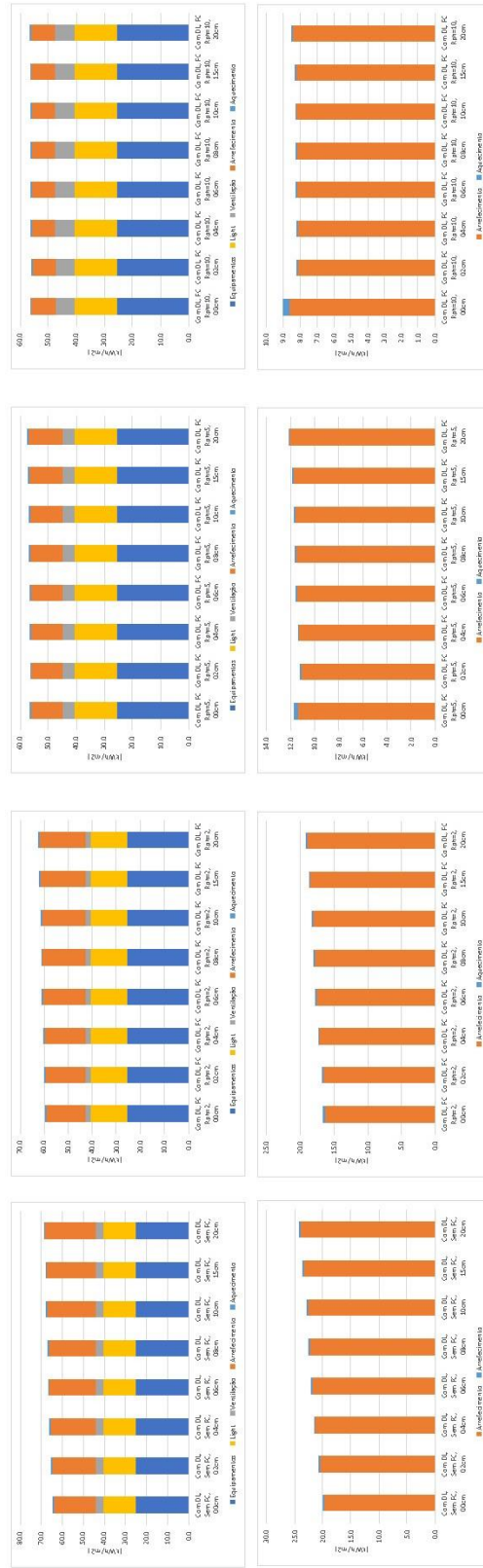


#### 4 - SIMULAÇÃO RECS COM OS PERFIS E AS CONDIÇÕES BASE, ILUMINAÇÃO 11 W/m<sup>2</sup> COM CONTROLO DALI E FREE COOLING

Ocupação: 15 m<sup>2</sup>/p e perfil RSECE; Iluminação 11 W/m<sup>2</sup> e perfil RSECE, em que à noite se adota 1% em vez de 5%; equipamentos 15 W/m<sup>2</sup> e perfil RSECE, em que à noite e aos fins-de semana se adota 5% em vez de 15%, climatização e ventilação das 6 à 19h00. Free cooling entre as 4h e as 6 h com o caudal Rph e entre as 6h e as 19h com metade desse caudal de ar.

Este cenário é basicamente igual ao cenário3, em que foi incluído o controlo da iluminação nas zonas periféricas da fachada.

Verifica-se uma redução significativa das necessidades térmicas em todos os cenários. Nos cenários de free-cooling de 5 e 10 Rph, regista-se uma melhoria do desempenho térmico com o aumento do isolamento da envolvente opaca. No cenário de free cooling com 2 Rph ou sem free-cooling, mantem-se a tendência dos cenários anteriores.

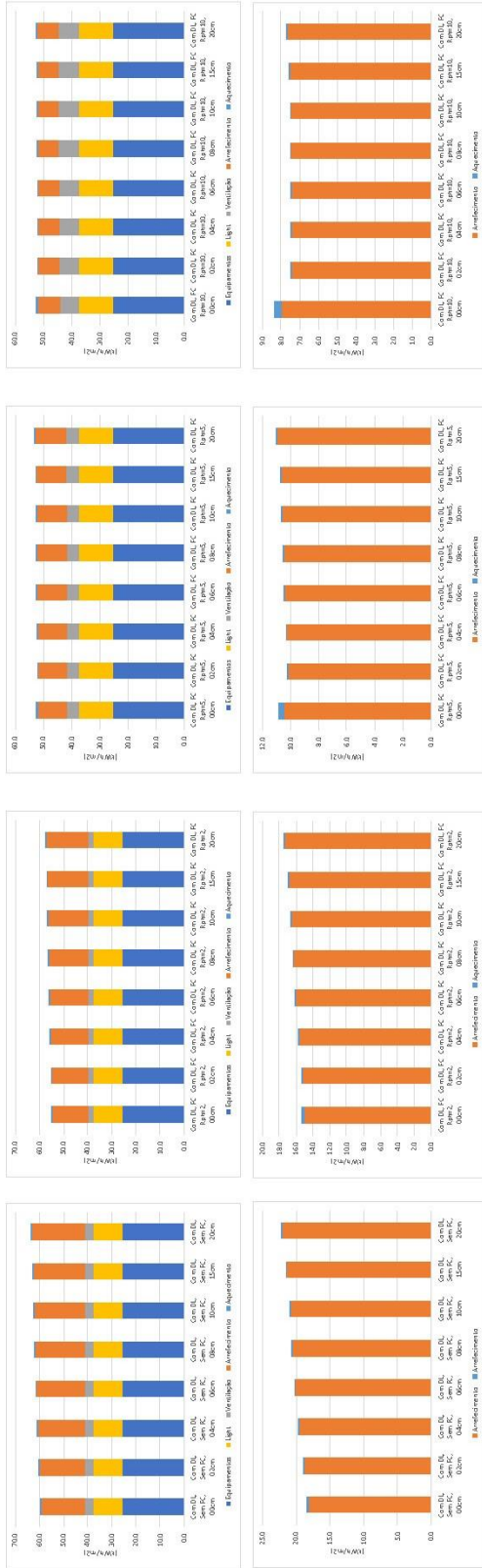


### 5 - SIMULAÇÃO RECS COM OS PERFIS E AS CONDIÇÕES BASE, ILUMINAÇÃO 9 W/m<sup>2</sup> COM CONTROLO DALI E FREE COOLING

Ocupação: 15 m<sup>2</sup>/p e perfil RSECE, iluminação 9 W/m<sup>2</sup> e perfil RSECE, em que à noite se adota 1% em vez de 5%, equipamentos 15 W/m<sup>2</sup> e perfil RSECE, em que à noite e aos fins-de semana se adota 5% em vez de 15%, climatização e ventilação das 6 à 19h00. Free cooling entre as 4h e as 6 h com o caudal Rph e entre as 6h e as 19h com metade desse caudal de ar.

Este cenário é basicamente igual ao cenário 4, em que se adota uma densidade de iluminação de 9 W/m<sup>2</sup>.

Verifica-se uma redução significativa das necessidades térmicas em todos os cenários. Nos cenários de free-cooling de 2, 5 e 10 Rph, regista-se uma melhoria do desempenho térmico com o aumento do isolamento da envolvente opaca.

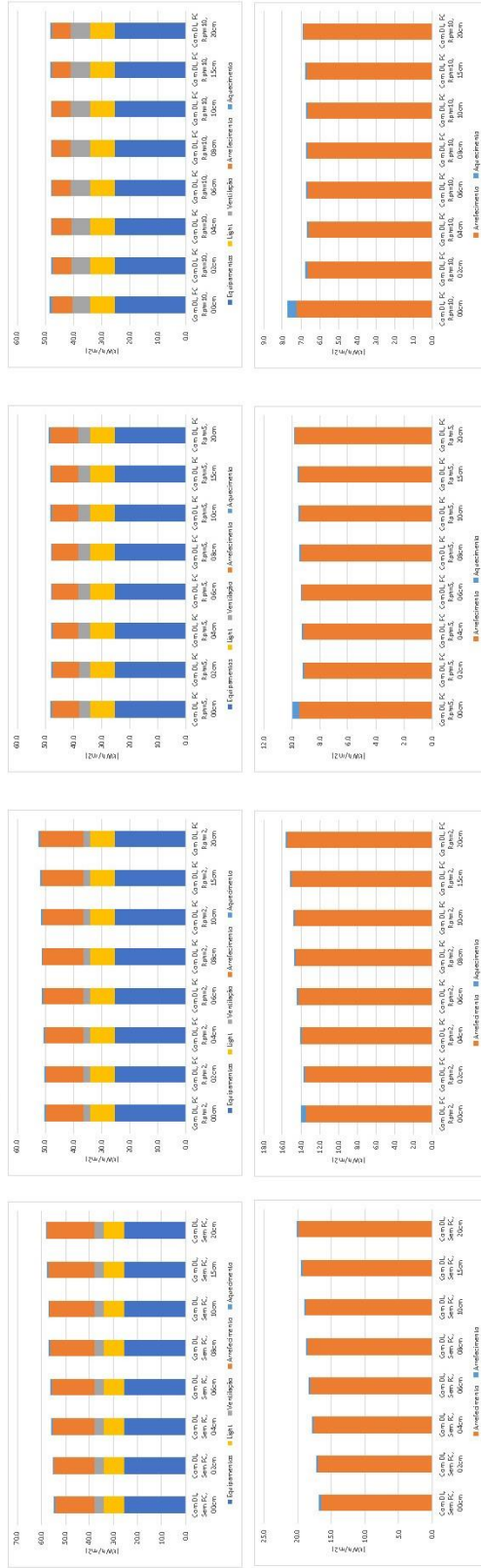


## 6 - SIMULAÇÃO RECS COM OS PERFS E AS CONDIÇÕES BASE, ILUMINAÇÃO 6.5 W/m<sup>2</sup> COM CONTROLO DALI E FREE COOLING

Ocupação: 15 m<sup>2</sup>/p e perfil RSECE; Iluminação 6.5 W/m<sup>2</sup> e perfil RSECE, em que à noite se adota 1% em vez de 5%, equipamentos 15 W/m<sup>2</sup> e perfil RSECE, em que à noite e aos fins-de-semana se adota 5% em vez de 15%, climatização e ventilação das 6 à 19h00. Free cooling entre as 4h e as 6 h com o caudal Rph e entre as 6h e as 19h com metade desse caudal de ar.

Este cenário é basicamente igual aos cenários definidos nas seções 5 e 5, em que se adota uma densidade de iluminação de 6.5 W/m<sup>2</sup>.

Verifica-se uma redução significativa das necessidades térmicas em todos os cenários. Nos cenários de free-cooling de 2, 5 e 10 Rph, regista-se uma melhoria do desempenho térmico com o aumento do isolamento da envolvente opaca.





## 7 - SIMULAÇÃO RECS COM OS PERFIL BASE, ILUMINAÇÃO DE 6.5 W/m<sup>2</sup> E CONTROLO DALI FREE COOLING CAUDAL CONSTANTE

Ocupação: 15 m<sup>2</sup>/p e perfil RSECE; Iluminação 6.5 W/m<sup>2</sup> e perfil RSECE, em que à noite se adota 1% em vez de 5%; equipamentos 15 W/m<sup>2</sup> e perfil RSECE, em que à noite e aos fins-de semana se adota 5% em vez de 15%; climatização e ventilação das 6h à 19h. Free cooling entre as 4h e as 19h com o caudal Rph.

Este cenário é basicamente igual ao cenário 6, em que se adota uma solução de free-cooling mas de caudal constante entre as 4h e as 19h, em oposição ao cenário anterior em que das 6h às 19h o free-cooling é realizado com 50% do caudal maior disponível das 4h às 6 h.

Em relação às necessidades térmicas verificam-se resultados equivalentes ao do cenário anterior. No entanto, como existe um aumento significativo do consumo da energia dos ventiladores esta é uma solução menos interessante do que a do cenário 6.



## 8 - SIMULAÇÃO RECS COM OS PERFIS E AS CONDIÇÕES BASE, ILUMINAÇÃO 6.5 W/m<sup>2</sup> COM CONTROLO DALI, FREE COOLING E LOCALIDADE QUENTE

Ocupação: 15 m<sup>2</sup>/p e perfil RSECE; iluminação 6.5 W/m<sup>2</sup> e perfil RSECE, em que à noite se adota 1% em vez de 5%; equipamentos 15 W/m<sup>2</sup> e perfil RSECE, em que à noite e aos fins-de-semana se adota 5% em vez de 15%, climatização e ventilação das 6 à 19h00. Free cooling entre as 4h e as 6 h com o caudal Rph e entre as 6h e as 19h com metade desse caudal de ar.

Este cenário é basicamente igual ao cenário 5, em que se adota uma densidade de iluminação de 6.5 W/m<sup>2</sup>.

Verifica-se uma redução significativa das necessidades térmicas em todos os cenários. Nos cenários de free-cooling de 2, 5 e 10 Rph, regista-se uma melhoria do desempenho térmico com o aumento do isolamento da envolvente opaca.



**9 - SIMULAÇÃO RECS COM OS PERFIS E AS CONDIÇÕES BASE, ILUMINAÇÃO 6.5 W/m<sup>2</sup> COM CONTROLO DALI, FREE COOLING E LOCALIDADE FRIA**  
 Ocupação: 15 m<sup>2</sup>/p e perfil RSECE; Iluminação 6.5 W/m<sup>2</sup> e perfil RSECE, em que à noite se adota 1% em vez de 5%; equipamentos 15 W/m<sup>2</sup> e perfil RSECE, em que à noite e aos fins-de-semana se adota 5% em vez de 15%, climatização e ventilação das 6h à 19h. Free cooling entre as 4h e as 6 h com o caudal Rph e entre as 6h e as 19h com metade desse caudal de ar.

Este cenário é basicamente igual ao cenário 5, em que se adota uma densidade de iluminação de 6.5 W/m<sup>2</sup>.

Verifica-se uma redução significativa das necessidades térmicas em todos os cenários. Nos cenários de free-cooling de 2, 5 e 10 Rph, regista-se uma melhoria do desempenho térmico com o aumento do isolamento da envolvente opaca.





**ANEXO III**  
Sistema de ventilação dos edifícios tipo Hotel e Escritórios



ESTUDO SOBRE CÁLCULO DOS NÍVEIS ÓTIMOS DE RENTABILIDADE DOS REQUISITOS MÍNIMOS DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS E COMPONENTES DE EDIFÍCIOS DE COMÉRCIO E SERVIÇOS

Sistema de ventilação dos edifícios tipo Hotel e Escritórios

Lisboa: LNEC, Armando Pinto, 2014-11-06

Índice

|  |   |
|--|---|
| 1 - Edifício do tipo escritórios .....           | 2 |
| 1.1 - Aspetos gerais .....                       | 2 |
| 1.2 - Requisito de caudal mínimo de ar novo..... | 2 |
| 1.2.1 - Open space .....                         | 2 |
| 1.2.2 - Zona central.....                        | 2 |
| 1.2.3 - Piso -1 .....                            | 2 |
| 1.3 – Sistema 1: Ventilação natural .....        | 3 |
| 1.4 - Sistema 2: Ventilação mecânica.....        | 3 |
| 2 - Edifício do tipo hotel.....                  | 5 |
| 2.1 - Aspetos gerais .....                       | 5 |
| 2.2 - Requisito de caudal mínimo de ar novo..... | 5 |
| 2.2.1 - Quartos.....                             | 5 |
| 2.2.2 - Zona corredor .....                      | 6 |
| 2.2.3 - Zona caixa de escadas e elevadores ..... | 6 |
| 2.2.4 - Piso 0.....                              | 6 |
| 2.2.5 - Piso -1 .....                            | 6 |
| 2.3 – Sistema 1: Ventilação “natural” .....      | 6 |
| 2.4 – Sistema 2: Ventilação mecânica .....       | 7 |

## 1 - EDIFÍCIO DO TIPO ESCRITÓRIOS

### 1.1 - Aspetos gerais

O edifício de escritórios é constituído por cinco pisos de escritórios e por um espaço não útil do tipo garagem e arrecadação. O piso tipo é constituído por um núcleo central com os elevadores, escadas e instalações sanitárias com 155 m<sup>2</sup> e por um open space com 1141 m<sup>2</sup>.

A zona do open space considera-se que tem uma taxa de ocupação de 15 m<sup>2</sup>/pessoa. O Open space tem uma profundidade de 13,25 m.

A zona central considera-se que tem ocupação esporádica e que tem ventilação por via de ar transferido do open space.

Os materiais do edifício são predominantemente (mais de 75%) de baixa emissão poluente, devendo ser assegurado um caudal mínimo de ar novo de 2 m<sup>3</sup>/(h.m<sup>2</sup>).

### 1.2 - Requisito de caudal mínimo de ar novo

#### 1.2.1 - Open space

No open space, considera-se que os ocupantes desenvolvem atividade sedentária, sendo necessário um caudal mínimo de ar novo por pessoa de 24 m<sup>3</sup>/h. Para diluir a carga poluente do edifício considera-se necessário um caudal mínimo de ar novo de 2 m<sup>3</sup>/(h.m<sup>2</sup>).

Nos sistemas de ventilação mecânica, admite-se a insuflação e a extração de ar junto do teto, considerando-se uma eficácia de ventilação de 0,80.

Neste piso, o caudal mínimo de ar novo é ditado pela diluição dos poluentes devidos aos materiais de construção, sendo necessários os valores indicados no Quadro 1.

Quadro 1 – Caudal mínimo de ar novo por piso – Open space

|                                  | Ventilação mecânica                             | Ventilação natural                             |
|----------------------------------|---|--|
| Caudal de ar insuflado           | 2855 m <sup>3</sup> /h                          | 2280 m <sup>3</sup> /h                         |
| Caudal de ar extraído            | 2455 m <sup>3</sup> /h                          |  |
| Infiltrações (sistema ligado)    | 200 m <sup>3</sup> /h                           |  |
| Infiltrações (sistema desligado) | 400 m <sup>3</sup> /h (0.1 h <sup>-1</sup> )    | 400 m <sup>3</sup> /h (0.1 h <sup>-1</sup> )   |
| Insuflado 5 pisos                | 14265 m <sup>3</sup> /h (0.75 h <sup>-1</sup> ) | 11410 m <sup>3</sup> /h (0.6 h <sup>-1</sup> ) |

#### 1.2.2 - Zona central

Na zona central, considera-se uma ocupação esporádica e a necessidade de ventilação de 2 m<sup>3</sup>/(h.m<sup>2</sup>). Considera-se que este ar (400 m<sup>3</sup>/h) é transferido da zona do open space para esta zona, sendo extraído daí para o exterior.

#### 1.2.3 - Piso -1

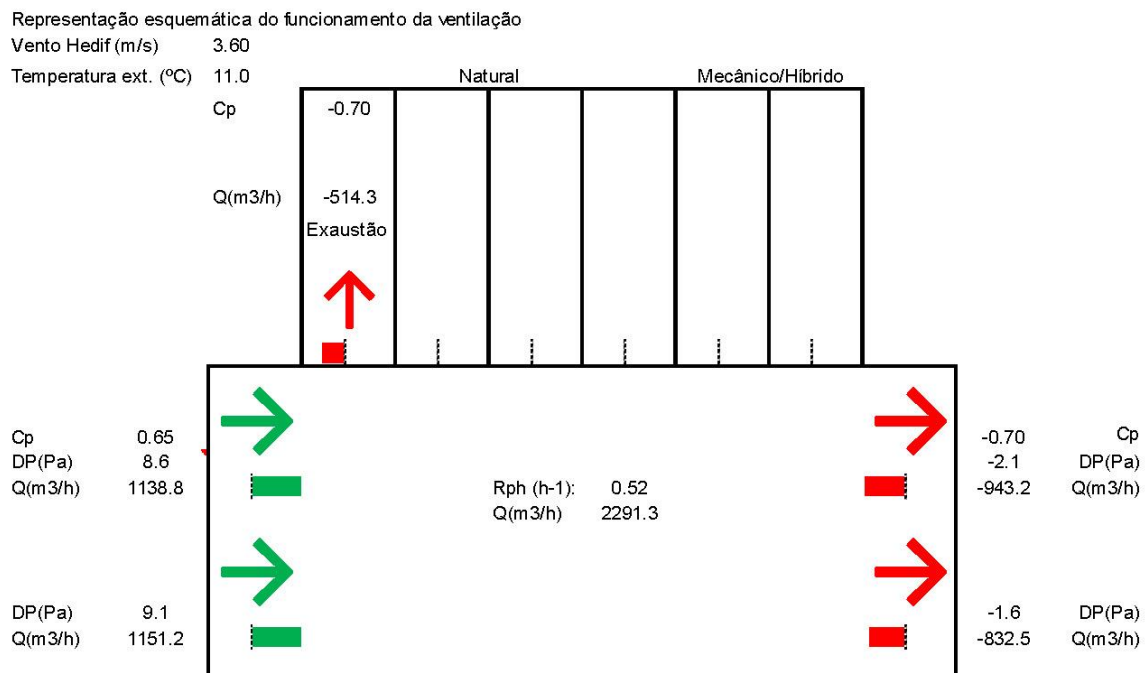
No Piso -1, com um pé-direito de 6,8 m, considera-se uma taxa de renovação de ar de 2 h<sup>-1</sup>.



### 1.3 – Sistema 1: Ventilação natural

Dada a arquitetura do edifício a solução de ventilação natural transversal pela abertura das janelas é inviável. É necessário adotar o método base para evidenciar a conformidade do sistema de ventilação natural do edifício com os critérios do caudal mínimo de ar novo.

Numa primeira fase adota-se o método simplificado aplicado a cada um dos pisos. Para assegurar o caudal mínimo de ar novo em cada piso são necessária grelhas auto-reguláveis a 2 Pa aplicadas nas fachadas e com um caudal nominal de 3350 m<sup>3</sup>/h, cerca de 5000 cm<sup>2</sup> de área livre de aberturas. Na zona central, em cada piso, devem existir 4 condutas de evacuação de ar de perda de carga baixa (cada conduta individual de Ø200 mm). Com esta solução assegura-se o ar de transferência na zona central.



### 1.4 - Sistema 2: Ventilação mecânica

Quando se adota o sistema de ventilação, considera-se a existência de uma unidade de tratamento de ar (UTA) na cobertura, com filtros da classe G4 e F7 na admissão de ar, filtros da classe G4 no retorno e envolvente com painéis com 50 mm de isolante térmico. Considera-se que a UTA realiza um pré-tratamento do ar, efetuando um aquecimento a 18°C nos períodos frios e um arrefecimento do ar a 23°C nos períodos quentes.

Consideram-se condutas de chapa de aço galvanizado de secção retangular, dotadas de 30 mm de isolamento térmico ( $\lambda=0,04 \text{ W/(m.K)}$ ) e com barreira para-vapor. Nos troços exteriores, a espessura do isolante térmico é de 40 mm. A conduta principal à saída da UTA terá uma secção de 1 m<sup>2</sup>, enquanto no piso 1 terá uma secção de cerca de 0,2 m<sup>2</sup>. As condutas têm de estar dotadas de portas de visita, com vedação e isolamento térmico.

Teremos uma UTA com pré-aquecimento/pré-arrefecimento com uma bomba de calor e teremos também a hipótese de ter pré-aquecimento/pré-arrefecimento com água.

No cenário com recuperação de calor, a UTA terá um módulo com um permutador de calor de placas com fluxos cruzados com uma eficiência de 60%. Existirá também um by-pass a esta unidade de recuperação de calor.

Com base no tipo de sistema e perfil de ocupação, o sistema de ventilação não necessita estar dotado de caudal variável ou de free cooling.

Primeira aproximação para os consumos/potência dos ventiladores da **UTA**:

|                                  | Insuflação<br>(m <sup>3</sup> /h) | Extração<br>(m <sup>3</sup> /h) | <b>Insuflação<br/>(kW)</b> | <b>Extração<br/>(kW)</b> |
|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|----------------------------|--------------------------|
| Sistema sem recuperação de calor | 14265                             | 12265                           | <b>4.0</b>                 | <b>2.4</b>               |
| Sistema com recuperação de calor | 14265                             | 12265                           | <b>6.7</b>                 | <b>3.4</b>               |

**Caixa de extração de ar** da zona central

|                                  | Insuflação<br>(m <sup>3</sup> /h) | Extração<br>(m <sup>3</sup> /h) | <b>Insuflação<br/>(W)</b> | <b>Extração<br/>(W)</b> |
|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Sistema sem recuperação de calor | -                                 | 2000                            | -                         | <b>400</b>              |
| Sistema com recuperação de calor | -                                 | 2000                            | -                         | <b>400</b>              |

Comparação das soluções com os valores regulamentares de referência:

| Solução                     | RECS | RECS<br>1 jan 2015 | <b>Vent Mec Com<br/>recup Calor</b> | <b>Vent Mec Sem<br/>recup Calor</b> |
|-----------------------------|------|--------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| SFP (W/(m <sup>3</sup> /s)) | 2500 | 1500               | <b>1330</b>                         | <b>850</b>                          |

#### **Manutenção:**

Na manutenção prever substituição dos filtros F7 uma vez por ano e duas vezes por ano dos filtros G4. Prever limpeza das condutas, uma vez a cada 10 anos.

## 2- EDIFÍCIO DO TIPO HOTEL

### 2.1 - Aspetos gerais

O edifício do tipo hotel é constituído por cinco pisos de quartos, um piso de entrada e um piso enterrado do tipo garagem e arrecadação. O piso tipo é constituído por quatro zonas de quartos, uma zona de circulação, uma caixa de escadas a poente, uma caixa de escadas a norte e uma caixa de escadas e de elevadores mais central.

|                          |   |
|--------------------------|---|
|                          |   |
| Caixa de escadas N       | 25.9 m <sup>2</sup>   |
| Caixa de escadas W       | 25.9 m <sup>2</sup>   |
| Caixa de escadas central | 25.9 m <sup>2</sup>   |
| Corredor                 | 168 m <sup>2</sup>  |
| Quartos este             | 6 quartos, cada com sensivelmente 30 m <sup>2</sup> , dos quais 4 m <sup>2</sup> são IS |
| Quartos sul              | 8 quartos, cada com sensivelmente 30 m <sup>2</sup> , dos quais 4 m <sup>2</sup> são IS |
| Quartos norte            | 4 quartos, cada com sensivelmente 30 m <sup>2</sup> , dos quais 4 m <sup>2</sup> são IS |
| Quartos oeste            | 4 quartos, cada com sensivelmente 30 m <sup>2</sup> , dos quais 4 m <sup>2</sup> são IS |

Considera-se que em cada quarto podem existir 2 ocupantes e que existe a extração contínua de 45 m<sup>3</sup>/h em cada instalação sanitária.

A zona dos corredores e escadas considera-se que têm ocupação esporádica e pode ter ventilação por via de ar transferido da zona dos quartos.

Os materiais do edifício são predominantemente (mais de 75%) de baixa emissão poluente devendo, quando relevante, ser assegurado um caudal mínimo de ar novo de 2 m<sup>3</sup>/(h.m<sup>2</sup>).

### 2.2 - Requisito de caudal mínimo de ar novo

#### 2.2.1 - Quartos

Nos quartos, considera-se que os ocupantes desenvolvem atividade do tipo sono, sendo necessário um caudal mínimo de ar novo por pessoa de 16 m<sup>3</sup>/h. Nos quartos não existe exigência de caudal de ar novo para diluir a carga poluente do edifício.

Nas instalações sanitárias é necessário assegurar a extração de um caudal de 45 m<sup>3</sup>/h se existir extração contínua, ou de 90 m<sup>3</sup>/h se a extração de ar for intermitente.

Nos quartos considera-se existir a extração em contínuo de um caudal de 45 m<sup>3</sup>/h nas instalações sanitárias.

Nos sistemas de ventilação com admissão natural de ar (admissão natural no lado oposto do compartimento em relação ao ponto de extração) ou com insuflação e extração junto ao teto, considera-se uma eficácia de ventilação de 0,80.

Atendendo à boa vedação das portas dos quartos face à zona de circulação, considera-se que a eventual circulação de ar entre os quartos e o corredor é muito reduzida.

Nos quartos o caudal mínimo de ar novo é ditado pela necessidade de extração de ar da instalação sanitária (45 m<sup>3</sup>/h), pois o caudal mínimo de ar novo necessário à diluição dos poluentes devidos aos ocupantes é de 40 m<sup>3</sup>/h.

No estudo do hotel consideram-se três cenários de ventilação:

- 1 – Admissão natural de ar por grelhas aplicadas nas janelas e extração mecânica de ar nas instalações sanitárias.
- 2 – Admissão e exaustão de ar por meios mecânicos, sem recuperação de calor
- 3 – Admissão e exaustão de ar por meios mecânicos, com recuperação de calor

Quadro 2 – Caudal mínimo de ar novo por zona dos quartos

|  | Sul | Norte | Este | Oeste | Total/piso | Total       |
|--|-----|-------|------|-------|------------|-------------|
| <b>Quartos</b>                             | 8   | 4     | 6    | 4     | 22         | <b>110</b>  |
| <b>Caudal de ar zona (m<sup>3</sup>/h)</b> | 360 | 180   | 270  | 180   | 990        | <b>4950</b> |

### 2.2.2- Zona corredor

Na zona do corredor, dado não existir transferência de ar dos quartos, considera-se um caudal de ar novo de 2 m<sup>3</sup>/h.m<sup>2</sup>. No caso da solução com ventilação mecânica considera-se uma eficácia de remoção de poluentes de 0,80.

Com estes pressupostos, são previstos os caudais de ar indicados no Quadro 3.

Quadro 3 - Caudal mínimo de ar novo por zona do corredor

|   | Total/piso | Total                        |
|---|------------|------------------------------|
| ventilação natural (m <sup>3</sup> /h)  | 336        | 1680 (0,67 h <sup>-1</sup> ) |
| ventilação mecânica (m <sup>3</sup> /h) | 420        | 2100 (0,83 h <sup>-1</sup> ) |

### 2.2.3- Zona caixa de escadas e elevadores

Na zona da caixa de escadas e dos elevadores, considera-se um caudal de ar novo de 2 m<sup>3</sup>/(h.m<sup>2</sup>). Nas três soluções de ventilação considera-se renovação natural de ar, com um caudal de ar novo de 310 m<sup>3</sup>/h (0,6 h<sup>-1</sup>).

### 2.2.4 - Piso 0

No Piso 0, situa-se a entrada, sala de refeições, cozinha e outros espaços. Para efeitos de análise, admite-se uma taxa de renovação de ar constante e corresponde a um caudal de ar novo de 0,5 renovação de ar por hora (5 m<sup>3</sup>/h.m<sup>2</sup>), ou seja, um caudal de 2480 m<sup>3</sup>/h.

### 2.2.5 - Piso -1

No Piso -1, considera-se uma taxa de renovação de ar de 2 h<sup>-1</sup>.

## 2.3 – Sistema 1: Ventilação “natural”

Face aos diferentes espaços servidos e usos, para simular o sistema de ventilação com menor recurso a sistemas mecânicos consideram-se as seguintes soluções:

### Ventilação dos quartos:

- Caixa de extração de ar ligada por condutas a cada uma das instalações sanitárias. Caudal nominal de 5000 m<sup>3</sup>/h e potência de ventilação de 800 W.
- Grelhas de admissão de ar auto-reguláveis a 20 Pa e com caudal nominal de 45 m<sup>3</sup>/h a aplicar nas janelas (110 grelhas para o edifício).
- Neste caso as infiltrações são negligenciáveis.

### **Ventilação dos corredores**

A ventilação natural do corredor (335 m<sup>3</sup>/h em cada piso) é assegurada por condutas de admissão e de exaustão natural de ar com baixa perda de carga ( $\varnothing$  200 mm). Em cada piso são necessárias três condutas de admissão de ar e três condutas de exaustão de ar.

### **Ventilação da caixa de escadas e elevadores**

A ventilação da caixa de escadas e de elevadores é realizada de igual forma para os três sistemas de ventilação, não sendo necessário detalhar a mesma para a análise comparativa. Esta ventilação é simulada impondo um caudal constante ao longo das 24h do dia de 0,6 h<sup>-1</sup>.

### **Ventilação do Piso 0**

A ventilação do piso 0 é realizada de igual forma para os três sistemas de ventilação, não sendo necessário detalhar a mesma para a análise comparativa. Esta ventilação é simulada impondo um caudal constante ao longo das 24h do dia de 0,5 h<sup>-1</sup>.

### **Ventilação do Piso -1**

A ventilação do piso -1 é realizada de igual forma para os três sistemas de ventilação, não sendo necessário detalhar a mesma para a análise comparativa. Esta ventilação é simulada impondo um caudal constante ao longo das 24h do dia de 2,0 h<sup>-1</sup>.

## **2.4– Sistema 2: Ventilação mecânica**

Face aos diferentes espaços servidos e usos, para simular o sistema de ventilação mecânico consideram-se as seguintes soluções:

### **Ventilação dos quartos:**

- Extração mecânica contínua do caudal de 5000 m<sup>3</sup>/h nas instalações sanitárias.
- Insuflação mecânica de ar na zona de dormir com um caudal de 5500 m<sup>3</sup>/h, com pré-aquecimento ou pré-arrefecimento do ar.
- Neste caso as infiltrações são de 3 m<sup>3</sup>/h em cada quarto.

|  | Sul | Norte | Este | Oeste | Total/piso | Total      |
|--|-----|-------|------|-------|------------|------------|
| <b>Quartos</b>                             | 8   | 4     | 6    | 4     | 22         | <b>110</b> |
| <b>Infiltração de ar (m<sup>3</sup>/h)</b> | 24  | 12    | 18   | 12    | 66         | <b>330</b> |

### **Ventilação do corredor**

- Extração mecânica contínua do caudal de 2100 m<sup>3</sup>/h.
- Insuflação mecânica contínua do caudal de 2100 m<sup>3</sup>/h, com pré-aquecimento ou pré-arrefecimento do ar.

### **Ventilação da caixa de escadas e elevadores**

A ventilação da caixa de escadas e de elevadores é realizada de igual forma para os três sistemas de ventilação, não sendo necessário detalhar a mesma para a análise comparativa. Esta ventilação é simulada impondo um caudal constante ao longo das 24h do dia de 0,6 h<sup>-1</sup>.

### Ventilação do Piso 0

A ventilação do piso 0 é realizada de igual forma para os três sistemas de ventilação, não sendo necessário detalhar a mesma para a análise comparativa. Esta ventilação é simulada impondo um caudal constante ao longo das 24h do dia de 0,5 h<sup>-1</sup>.

### Ventilação do Piso -1

A ventilação do piso -1 é realizada de igual forma para os três sistemas de ventilação, não sendo necessário detalhar a mesma para a análise comparativa. Esta ventilação é simulada impondo um caudal constante ao longo das 24h do dia de 2,0 h<sup>-1</sup>.

Considera-se que a ventilação do quartos e do corredor é assegurada por uma unidade de tratamento de ar situada na cobertura. A UTA tem filtros da classe G4 e F7 na admissão de ar, filtros da classe G4 no retorno e envolvente com painéis com 50 mm de isolante térmico. Considera-se que a UTA realiza um pré-tratamento do ar, efetuando um aquecimento a 18°C nos períodos frios e um arrefecimento do ar a 23°C nos períodos quentes.

Consideram-se condutas de chapa de aço galvanizado de secção retangular, dotadas de 30 mm de isolamento térmico ( $\lambda=0,04 \text{ W/(m.K)}$ ) e com barreira para-vapor. Nos troços exteriores, a espessura do isolante térmico é de 40 mm. A conduta principal à saída da UTA terá uma secção de 0.5 m<sup>2</sup>, enquanto no piso 1 terá uma secção de cerca de 0,1 m<sup>2</sup>. As condutas têm de estar dotadas de portas de visita, com vedação e isolamento térmico.

Teremos uma UTA com pré-aquecimento/pré-arrefecimento com uma bomba de calor e teremos também a hipótese de ter pré-aquecimento/pré-arrefecimento com água.

No cenário com recuperação de calor, a UTA terá um módulo com um permutador de calor do tipo roda térmica com uma eficiência de 60%. Existirá também um by-pass a esta unidade de recuperação de calor.

Com base no tipo de sistema e perfil de ocupação, o sistema de ventilação não necessita estar dotado de caudal variável ou de free cooling. Efetivamente o caudal mínimo de ar novo é ditado pela necessidade de extração de caudal de ar nas instalações sanitárias e não devido à ocupação.

Primeira aproximação para os consumos/potência dos ventiladores da UTA:

|                                  | Insuflação<br>(m <sup>3</sup> /h) | Extração<br>(m <sup>3</sup> /h) | Insuflação<br>(kW) | Extração<br>(kW) |
|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|--------------------|------------------|
| Sistema sem recuperação de calor | 7545                              | 7050                            | 2.1                | 1.4              |
| Sistema com recuperação de calor | 7545                              | 7050                            | 3.6                | 2.0              |

Comparação das soluções de referência com os valores regulamentares de referência:

| Solução                     | RECS | RECS<br>1 jan 2015 | Vent Mec Com<br>recup Calor | Vent Mec Sem<br>recup Calor |
|-----------------------------|------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| SFP (W/(m <sup>3</sup> /s)) | 2500 | 1500               | 1360                        | 855                         |

**Manutenção:**

Na manutenção prever substituição dos filtros F7 uma vez por ano e duas vezes por ano dos filtros G4. Prever limpeza das condutas, uma vez a cada 10 anos.

**Observações:**

Para a Ana Vasconcelos, conseguir estimar os custos dos sistemas é necessário dispor de um layout do sistema mecânico de ventilação.

Lisboa, LNEC 06 de novembro de 2014  
Armando Pinto





**ANEXO IV**  
**Definição da solução de referência de fachada-cortina**



**ESTUDO SOBRE CALCULO DOS NÍVEIS ÓTIMOS DE RENTABILIDADE DOS REQUISITOS MÍNIMOS DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS E COMPONENTES DE EDIFÍCIOS DE COMÉRCIO E SERVIÇOS**

**DEFINIÇÃO DA SOLUÇÃO DE REFERÊNCIA DE FACHADA-CORTINA**

**Aspetos gerais**

Na Figura 1 apresentam-se exemplos de edifícios de escritórios com fachadas-cortina.



Figura 1 – Exemplo de edifícios de escritórios em Lisboa com fachada-cortina de alumínio e vidro

A fachada de referência do RECS é constituída por 30% de área envidraçada, tendo as seguintes características de referência (Quadro 1 e Quadro 2).

Quadro 1 – Coeficiente de transmissão térmica de referência

| Zona climática: Continente | I1   | I2   | I3   |
|----------------------------|------|------|------|
| Zonas opacas               | 0,70 | 0,60 | 0,50 |
| Envidraçados               | 4,3  | 3,3  | 3,3  |

Quadro 2 – Fator solar de referência

| Zona climática: Continente | V1   | V2   | I3   |
|----------------------------|------|------|------|
| Zonas opacas               | 0,25 | 0,20 | 0,15 |

A solução de fachada-cortina tem uma superfície exterior totalmente envidraçada, mas é composta por duas zonas: uma transparente e outra opaca (Figura 2). A zona opaca tem normalmente 1,1 m de altura para ser satisfeito o regulamento de segurança contra incêndio.

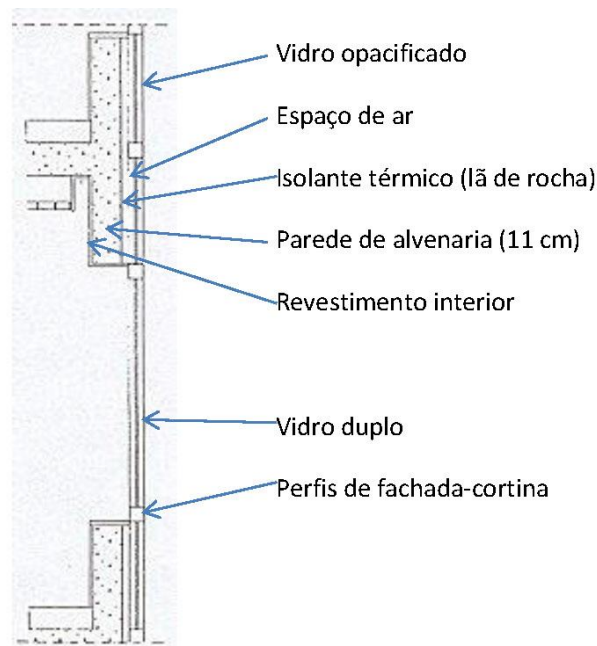


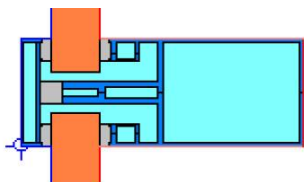
Figura 2 – Vista em corte da solução de fachada cortina

Existem vários sistemas e combinações possíveis. Como referência propõe-se as seguintes soluções.

### Zona Transparente

Constituída pela superfície de vidro e dos perfis. Considera-se que a fachada-cortina está dotada de folhas fixas e de folhas projetantes que ocupam 30% da área transparente.

- Vidro duplo 8-16-6 de controlo solar. Como vidro podem ser usados vários tipos, propõe-se um vidro interior incolor e do lado exterior um vidro verde e um vidro verde baixo emissivo.  
 Vido duplo incolor:  $U_g = 2,7 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ ,  $g = 0,73$ ,  $tl = 79\%$ .  
 Vido duplo de cor verde:  $U_g = 2,7 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ ,  $g = 0,39$ ,  $tl = 61\%$ .  
 Vido duplo baixo emissivo de cor verde:  $U_g = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ ,  $g = 0,34$ ,  $tl = 59\%$ .  
 Soluções para o vidro pro si só ter o fator solar de referência:  
*Vido duplo controlo solar de cor verde:  $U_g = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ ,  $g = 0,25$ ,  $tl = 37\%$ .*  
*Vido duplo controlo solar de cor verde:  $U_g = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ ,  $g = 0,19$ ,  $tl = 27\%$*   
*Vido duplo controlo solar de cor verde:  $U_g = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ ,  $g = 0,13$ ,  $tl = 15\%$ .*
- Sistema de fachada-cortina do tipo VEB II (vidro exterior fixo com bites) ( $U_w = 3,0 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$  para fachada com vidro corrente e  $U_w = 2,0 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$  para fachada com vidro baixo emissivo e vidro de controlo solar).



- Janela projetante de alumínio ( $U_w=3,8 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$  para janela com vidro corrente e  $U_w=3,0 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$  para janelas com vidro baixo emissivo e vidro de controlo solar)
- Proteção solar interior com estore veneziano/tela de cor clara

**Quadro 3 - Coeficiente de transmissão térmica de referência da zona transparente da fachada cortina a usar no modelo**

|  |   |
|--|---|
| Fachada cortina, com vidro corrente                            | $U_w=3,6 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ |
| Fachada cortina, com vidro baixo emissivo ou de controlo solar | $U_w=2,7 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ |

Este valor corresponde a 70% do U das folhas fixas da fachada-cortina e 30% de folhas projetantes.

O fator solar do vidro e a transmitância luminosa encontram-se indicadas atrás.

As soluções propostas aproximam-se dos valores de referência para o  $U_w$  e o fator solar.

### Zona opaca

A zona opaca é constituída por um vidro simples com a mesma espessura do vidro exterior do vidro duplo, neste caso 8 mm. Esse vidro é opacificado na sua superfície interior, não existindo transmissão direta de radiação solar, podendo esta zona da fachada ser simulada como uma parede tradicional com:

- uma superfície exterior de vidro de 8 mm de espessura ( $\lambda=1,0 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ )
- espaço de ar fechado com 20 cm ( $R_{ar}=0,18 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$ ),
- lâmina mineral fixa mecanicamente à parede de alvenaria, com espessura variável para se obter o U pretendido.
- Parede de alvenaria de tijolo de 11 cm de espessura ( $R=0,27 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$ ).
- Revestimento interior, por exemplo estuque projetado.

Armando Pinto

Lisboa, LNEC, 09 de outubro de 2014

