

## APLICAÇÃO DAS TECNOLOGIAS FACILITADORAS ESSENCIAIS (TFE) NA GESTÃO, CONTROLO E MONITORIZAÇÃO INTELIGENTE DE EDIFÍCIOS

Lourenço J.M.\*, Aelenei L.\*, Facão J.\*, Aelenei D.\*\*\*, Pina J.M.\*\*

\* Unidade de Energias Renováveis e Integração de Sistemas de Energia (UER), LNEG, Estrada do Paço do Lumiar, 22, Lisboa, Portugal, [jorge.facao@lneg.pt](mailto:jorge.facao@lneg.pt)

\*\* Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Campus da Caparica, 2829-516 Caparica, Portugal

<https://doi.org/10.34637/cies2020.2.2126>

### RESUMO

A partir de 31 de dezembro de 2020, pretende-se que todos os edifícios novos na União Europeia sejam nZEB, edifícios com necessidades energéticas quase nulas. No edifício Solar XXI, em Lisboa, encontra-se uma sala laboratorial sob monitorização equipada com sistemas de controlo de temperatura. O objetivo deste estudo é validar uma simulação da sala em EnergyPlus com os dados obtidos experimentalmente e determinar o impacto dos sistemas nas necessidades energéticas e conforto térmico dos ocupantes. Dois sistemas em particular foram analisados: o sistema BIPV, para o inverno, e o sistema dos tubos enterrados, para o verão. Após validação, uma simulação da sala sem os sistemas foi efetuada, de modo a determinar o impacto de cada um. Resultados mostram que, para os períodos analisados, o BIPV reduziu as necessidades de aquecimento em 20%, além de aumentar o conforto térmico do ocupante, e os tubos enterrados reduziriam em 93% as necessidades energéticas de arrefecimento. A análise efetuada contribuiu para a promoção dos KETs no setor dos edifícios.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tecnologias Facilitadoras Essenciais; Edifícios; Simulação energética; Monitorização

### ABSTRACT

After 31 December 2020, it is intended that all new buildings in the European Union are nZEB, nearly Zero Energy Buildings. In the Solar XXI building, in Lisbon, there is a monitored test room equipped with temperature control systems. The objective of this paper is to validate a simulation of the room in EnergyPlus with the data obtained experimentally and determine the impact of the control systems on energy needs and on occupant thermal comfort. Two systems in particular were studied: the BIPV system, during the winter, and the earth tubes, during the summer. Once validated, the simulation of the room without the systems were made, allowing their impact to be determined. Results show that, for the analyzed periods, the BIPV system reduced the heating needs by 20%, while also increasing the occupant's thermal comfort, and the earth tube system would reduce the cooling needs by 93%. The analysis performed enables the promotion of KETs in the building sector.

**KEYWORDS:** Key Enabling Technologies; Buildings; Energy simulation; Monitoring

## INTRODUÇÃO

Na União Europeia, os edifícios são responsáveis por cerca de 40% do consumo de energia e 36% da emissão dos gases de efeito de estufa (European Commission, 2019a). Em 2010 foi criada a diretiva EPBD (Energy Performance of Buildings Directive) (European Commission, 2019b), com o objetivo de atingir metas de eficiência energética e ambientais, além de produzir edifícios inovadores e eficientes. Conjuntamente com a EED (Energy Efficiency Directive), as duas diretivas tencionaram melhorar significativamente os edifícios na UE, tanto do ponto de vista energético, mas também ambiental (European Commission, 2019b). Em 2018, a EPBD foi emendada e reforçada de forma a transmitir a melhoria dos edifícios europeus, na qual exige que todos os edifícios novos sejam nZEB (Edifícios de balanço energético quase nulo, nearly Zero Energy Buildings), a partir de 31 de dezembro de 2020 (European Commission, 2019b). Para um edifício ser nZEB, terá que reduzir os seus consumos energéticos, e produzir energia proveniente de fontes de energia renováveis de tal forma que compensa a maioria o seu consumo (European Commission, 2020), sem prejudicar o conforto térmico dos ocupantes.

Em 2011, a comissão europeia identificou as Tecnologias Facilitadoras Essenciais (KET, Key Enabling Technologies), um grupo de 6 tecnologias que são fundamentais para a modernização industrial da Europa (European Commission, 2011). Este grupo de tecnologias são compostas por: micro e nano-eletrónica, nanotecnologia, biotecnologia industrial, materiais avançados e fotónica. O projeto SudoKET iniciou em 2018 com o objetivo de promover o desenvolvimento europeu e liderança tecnológica no ramo dos edifícios inovadores (EI) através da investigação, inovação e desenvolvimento das capacidades das soluções baseadas nas KETS (SUDOKET Project, 2018). O projeto desenvolve ferramentas que além de ser informativas, permitem a colaboração dos vários agentes integrados. Neste projeto existem quatro principais demonstradores, KETmaterials, KETsupply, KETstorage e KEToperation. O presente estudo foca em KEToperation, que demonstra a aplicação dos KETs na monitorização, controlo e gestão inteligente, numa sala laboratorial. quanto ao seu consumo energético e conforto térmico dos seus ocupantes, cujas conclusões contribuem para o desenvolvimento e promoção dos KETs neste setor.

## CASO DE ESTUDO

O edifício Solar XXI, ilustrado na Figura 1, construído em 2006, é a sede do laboratório de energia do LNEG (Laboratório de Energia e Geologia) e um projeto demonstrador em si de um edifício nZEB. O edifício encontra-se localizado em Lisboa e tem uma área de 1500 m<sup>2</sup>, pela qual 1200 m<sup>2</sup> são aquecidos, distribuídos por 3 andares que contém escritórios, laboratórios e instalações de ensaio. O edifício Solar XXI integra várias soluções passivas de redução de necessidades energéticas, tanto para o Inverno como o Verão.



Fig. 1. Edifício Solar XXI

O edifício, sendo um edifício inovador, incorpora uma envolvente avançada, como demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1. Características térmicas do edifício Solar XXI

Envolvente	Descrição
Parede exterior	Tijolo de 22 cm; 6 cm poliestireno expandido; Valor U = 0,45 W/m <sup>2</sup> K
Cobertura	10 cm Lajetas; 5 cm poliestireno expandido; 5 cm poliestireno extrudido; 20 cm betão; 2 cm reboco tradicional; Valor U = 0,38 W/m <sup>2</sup> K
Pavimento interior	15 cm gravilha; 10 cm poliestireno expandido; 15cm betão; 0,3 cm linóleo; Valor U = 0,34 W/m <sup>2</sup> K
Janelas	Duplo vidro; Quadro de rolagem de alumínio; Valor U = 2,41 W/m <sup>2</sup> K
Persianas exteriores	Lâminas ajustáveis que permitem fatores de ganhos solares de 0,09; Fs = 0,09

### Sala de Monitorização

A sala monitorizada tem dimensões 5,22 m × 3,5 m × 3,4 m destinada a ser um escritório ocupado por uma pessoa. Tem uma fachada a sul com uma janela de 2,8 m<sup>2</sup> com uma persiana exterior para controlar os ganhos solares no verão. A parede ao norte liga o gabinete com o corredor central (temperatura não controlada), e as paredes a este e ao oeste, o teto e o pavimento ligam a outros gabinetes (temperaturas controladas). Acima da porta existe uma grelha de ventilação translúcida cuja orientação pode ser manuseada pelo ocupante e permitir trocas de ar com o corredor. Os sensores instalados permitem a monitorização de diversas variáveis como a temperatura e humidade relativa do ar interior, temperatura e velocidade do ar na caixa-de-ar entre o gabinete e os PV, potência térmica dos radiadores e o nível de CO<sub>2</sub>. Uma consola gráfica está montada em cada sala onde é possível, de maneira simples, visualizar e controlar as variáveis. Os valores são recolhidos e armazenados através do software Power Monitoring Expert® (PME) da Schneider Electric, demonstrado na Figura 2.

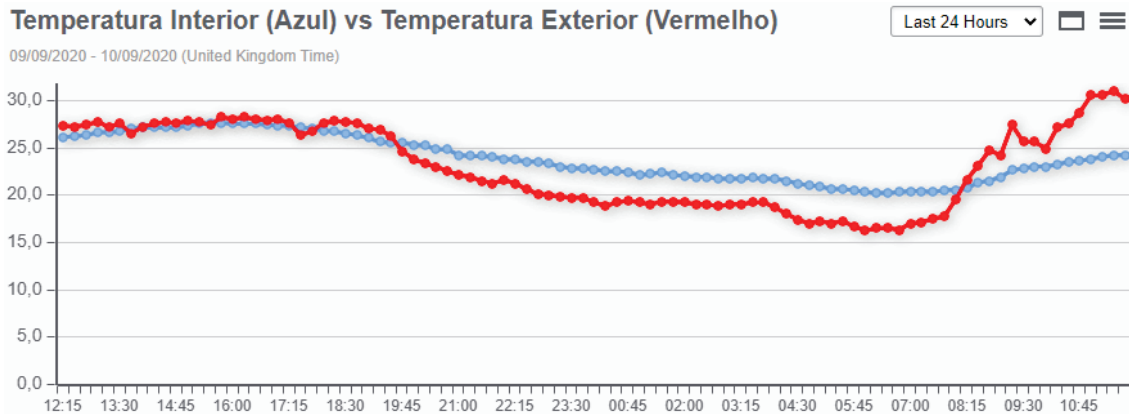


Fig. 2. Observação das variáveis. Interface PME

### SIMULAÇÃO

As ferramentas utilizadas no desenvolvimento desta simulação foram EnergyPlus® V9.3 e SketchUp® Make 2017. EnergyPlus® é um programa de simulação energética utilizado para modelar o consumo de energia de um edifício (EnergyPlus, 2020). EnergyPlus® desempenhou um papel essencial na calibração do modelo e permitiu analisar o efeito dos sistemas nos consumos de energia e no conforto do ocupante. SketchUp® é um programa de modelação 3D pertencente à Trimble Inc. que contém várias aplicações de arquitetura à engenharia civil e mecânica, têm uma aplicação on-line gratuita, SketchUp® Free, uma versão gratuita, SketchUp® Make, e uma versão paga, SketchUp® Pro (SketchUp in Wikipedia, 2020). O modelo SketchUp ilustrado na Figura 3 representa o edifício Solar XXI.

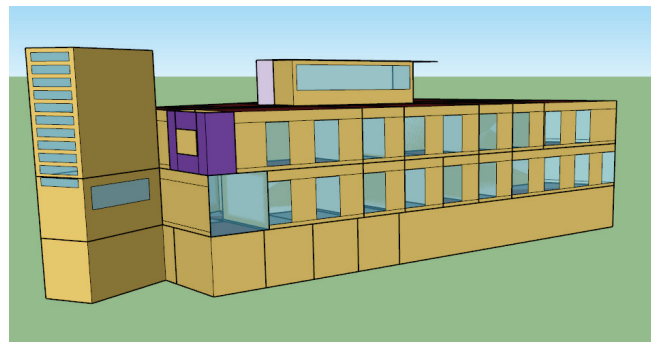


Fig. 3. Modelo SketchUp do edifício Solar XXI

### Dados de Entrada

A recolha de dados e a observação de comportamentos dos utilizadores foram realizadas de modo a simular o funcionamento do edifício. O gabinete estudado, embora desocupado, de modo a realizar uma análise do conforto de um utilizador, foi necessário introduzir dados quanto aos horários de ocupação, à sua atividade e ao isolamento devido à sua roupa. O horário de ocupação considerado foi de segunda à sexta das 9:30 às 12:30, e das 14:30 às 18:30. De ASHRAE (2009) foram retirados os valores de taxa metabólica (65 W/m<sup>2</sup>, 120 W), o isolamento de verão (0,5 clo) e

de inverno (1 clo) e os consumos energéticos dos equipamentos (135 W) e da iluminação (12 W/m<sup>2</sup>). Na sala não há arrefecimento, e a temperatura de aquecimento considerada foi de 20°C. O valor da infiltração utilizada foi de 1,32 ACH (Renovações de ar por hora, Air Changes per Hour).

### Conforto Térmico

Conforto térmico é definido como “a condição mental que expressa satisfação com o ambiente térmico” (ASHRAE, 2009). De acordo com Fanger (1973), existem 6 parâmetros principais que influenciam o conforto térmico, 4 devidos ao ambiente térmico (temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar, pressão do vapor de água no ar), e 2 relacionados com o ocupante (nível de atividade, resistência térmica da roupa). Destes parâmetros resultaram as quantidades de PMV (Voto médio previsto, Predicted Mean Vote) e PPD (Porcentagem prevista de dissatisfação, Predicted Percentage Dissatisfied). PMV prevê a resposta média de uma população de acordo com a escala de sensação térmica da ASHRAE, uma escala onde 0 é definido como “confortável”, valores negativos como “frio”, e valores positivos como “quente”, definida pela Equação (1).

$$PMV = (0,303e^{-0,036M} + 0,028) * L \quad (1)$$

Onde M é a taxa metabólica do corpo humano [W/m<sup>2</sup>] e L a carga térmica do corpo [W/m<sup>2</sup>], função dos 6 parâmetros mencionados. A zona de conforto definida pela ASHRAE, é de -0,5 a 0,5 (ASHRAE 55 in Wikipedia, 2020). PPD representa a percentagem da população dissatisfeita com o seu conforto térmico, e é definida pela Equação (2).

$$PPD = 100 - 95e^{-(0,03353PMV^4 + 0,2179PMV^2)} \quad (2)$$

Em função de PMV. Convertendo a zona de conforto definida entre -0,5 a 0,5 PMV para PPD, as zonas de conforto em PPD situam-se para valores inferiores a 10%.

### Sistemas de Controlo Instaladas

Neste seção a integração dos sistemas de controlo existentes na sala de monitorização será descrita. Os sistemas BIPV (Fotovoltaicos integrados no edifício, Building Integrated PhotoVoltaic) foram instalados na fachada sul do edifício Solar XXI. Nestes sistemas, existe uma caixa-de-ar entre a fachada e o PV, com 2 orifícios interiores e 2 orifícios exteriores, permitindo 4 configurações diferentes que controla o percurso do ar. No período de aquecimento, apenas os 2 orifícios interiores estão abertos, permitindo o ar interior da sala entrar na caixa-de-ar, retirar energia térmica dos PV, e regressar à sala com uma temperatura superior, aquecendo-a. Esta configuração permite a redução de necessidades de aquecimento, além de arrefecer os painéis, o que leva a maior eficiência na produção de energia elétrica. As 4 configurações do sistema BIPV estão descritas na Figura 4 (esquerda). Tubos enterrados permitem a entrada de ar exterior no edifício, como apresentado na Figura 4 (direita). Neste processo, ar exterior é recolhido fora do edifício, é redirecionada para tubos enterrados, que permite a troca de energia entre o ar e o solo envolvente. O solo atua como um poço natural de calor, visto que, enquanto o ar exterior no verão pode chegar aos 35°C, a temperatura do solo para um período homologado encontra-se entre 16 e 18°C (Edifício Solar XXI, 2005). Este sistema atua mais eficazmente no fim da tarde, quando a temperatura exterior diminui, enquanto a temperatura interior, devido à ocupação e à inércia térmica, permanece alta.

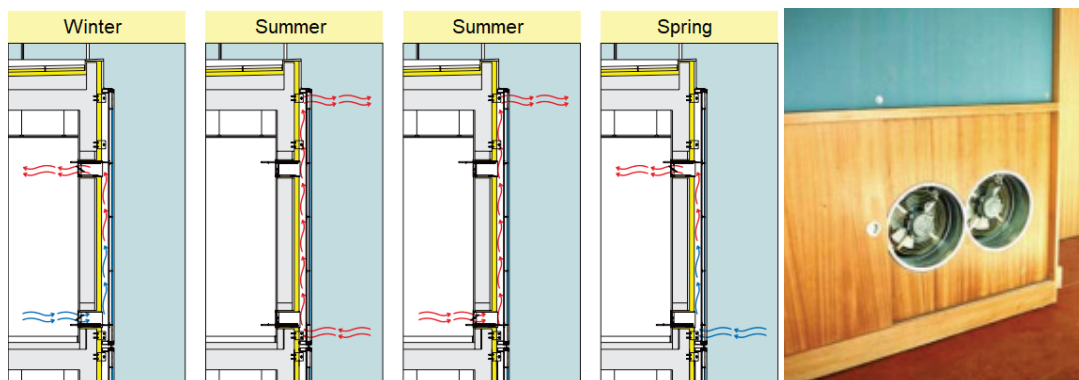


Fig. 4. Sistemas de controlo. (esquerda) Funcionamento dos BIPV (direita) Entrada dos tubos enterrados na sala (Edifício Solar XXI, 2005)

A medição da temperatura do ar na caixa-de-ar foi efetuada a partir da utilização de uma sonda de temperatura PT100. Com os valores medidos experimentalmente foi possível a validação dos BIPV no modelo de simulação, validando o controlo das aberturas e das características térmicas dos materiais no sistema.

O controlo da abertura dos orifícios no EnergyPlus foi efetuado utilizando a classe “ZoneMixing”, que permite troca de ar simples entre duas zonas. Para utilizar esta ferramenta, foi necessário criar uma zona que representa a sala, uma zona para a parte inferior e superior da caixa de ar, e uma zona que representa o exterior. O controlo das aberturas dos orifícios está dependente da temperatura da zona “poço”, da zona “fonte”, e da zona exterior.

O sistema dos tubos enterrados foi implementado no EnergyPlus utilizando a classe “ZoneEarthtube”. Esta classe permite definir os limites da temperatura interior da sala pela qual opera o sistema dos tubos enterrados. A temperatura mínima da sala para o funcionamento dos tubos enterrados foi definida como 21°C, de modo a garantir que não interfira negativamente no aquecimento ativo proveniente do radiador.

### Validação

Para realizar a validação do modelo de simulação, foi efetuada a comparação dos valores medidos da temperatura interior da sala e da câmara de ar com os valores simulados, com condições atmosféricas homólogas. De modo a aproximar as condições metrológicas às condições exteriores medidas no período de simulação, os valores medidos da temperatura exterior, radiação difusa e radiação direta substituíram os valores pré-definidos existentes no ficheiro metrológico utilizado. Dois índices estatísticos foram utilizados para realizar a validação do modelo, o erro médio (MBE, Mean Bias Error) e o coeficiente de variação do erro quadrático médio (CvRMSE, Coefficient of Variation of the Root Mean Square Error), definidas pelas Eq. (3) e (4), utilizadas pela ASHRAE e FEMP, (ASHRAE, 2014; FEMP, 2015), sugerindo valores limite de 10% e 30%, respetivamente, para uma análise horária.

$$MBE(\%) = \frac{\sum_i^n (S_i - M_i)}{\sum_i^n M_i} \times 100\% \quad (3)$$

$$Cv(RMSE)(\%) = \frac{\sqrt{\frac{\sum_i^n (S_i - M_i)^2}{n}}}{\frac{\sum_i^n M_i}{n}} \times 100\% \quad (4)$$

Onde  $S_i$  representa os valores simulados,  $M_i$  representa os valores medidos, e o subscrito  $i$  indica o intervalo de tempo.

Com o objetivo de validar a simulação, 3 períodos de uma semana foram analisados (Inverno, Primavera, Verão). Para as semanas analisadas, as temperaturas simuladas da temperatura interior do gabinete e da caixa-de-ar foram comparadas às temperaturas obtidas experimentalmente, retirando, para cada dia, os valores dos índices estatísticos. Na Figura 5 apresenta-se, para cada dia, os índices estatísticos registados para os 3 períodos analisados, distribuídos por cor, para a temperatura interior do gabinete “TR1” e para as temperaturas na caixa-de-ar: “BIPV-INF” e “BIPV-SUP”.

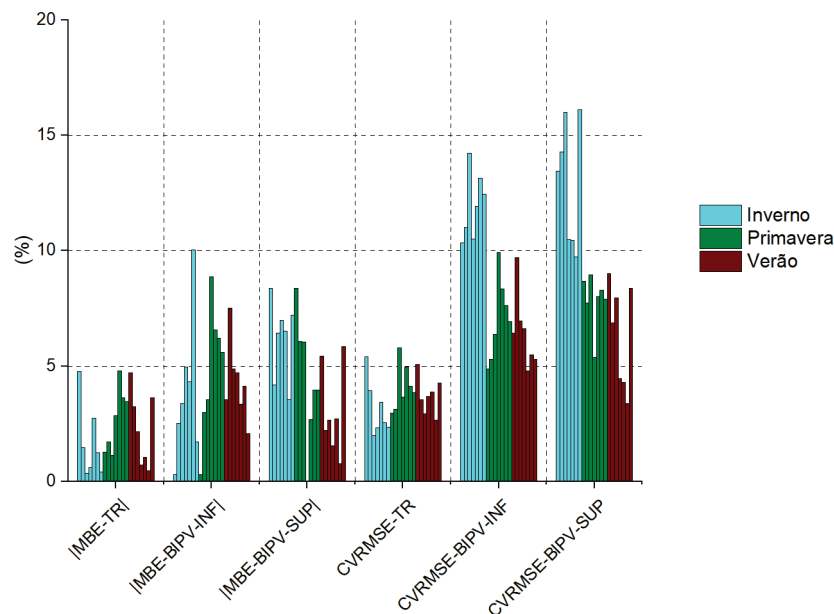


Fig. 5. Índices de validação nos períodos de estudo

Os índices estatísticos apresentados na Figura 5 comprovam a validade da simulação, registando valores de MBE (apresentados sob valor absoluto) inferiores a 10%, e valores de CvRMSE inferiores a 30%.

### RESULTADOS

Nesta seção serão analisados o impacto dos sistemas de controlo, nomeadamente os BIPV e os tubos enterrados, nas necessidades energéticas de aquecimento (Ni, Necessidades inverno) e arrefecimento (Nv, Necessidades verão) e no conforto térmico.

#### BIPV

Dois cenários foram estudados: A sala com todos os sistemas funcionais e ocupada e a sala, ocupada, com todos os sistemas funcionais exceto os BIPV. Os dois cenários, apresentado na Figura 6, foram comparados a nível de conforto térmico e das necessidades energéticas de aquecimento (Ni) de cada hora, para o mês de janeiro. A Figura 6 (superior) apresenta valores retirados durante o horário de ocupação, excluindo valores de fim-de-semana e noite.

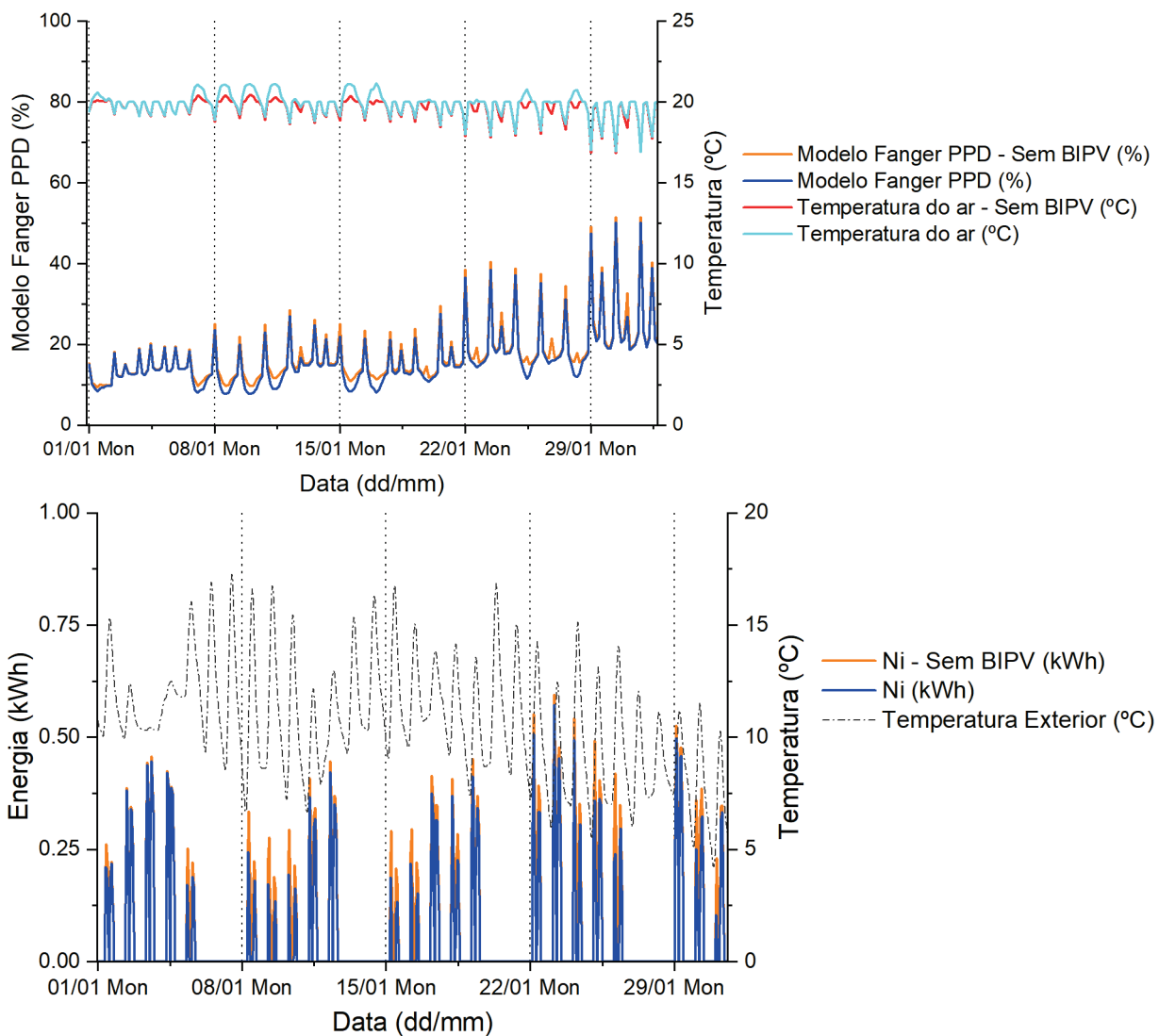


Fig. 6. Impacto dos BIPV (superior) no conforto térmico (inferior) nas necessidades energéticas – janeiro

Na Figura 6 (superior) verifica-se que a temperatura da sala com BIPV é superior à temperatura da sala sem BIPV. Associado ao aumento da temperatura interior, a percentagem de dissatisfação reduz. Filtrando os resultados da PPD para uma temperatura fixa de 20°C, regista-se que a PPD varia entre 12 a 20% no mês estudado. Para avaliar a temperatura à qual a zona de conforto é atingida, quando o valor da PPD é menor que 10%, regista-se que as temperaturas interiores do gabinete variam entre 20,05°C e 21,17°C no mês estudado. Para avaliar as situações em que a PPD é superior à 20%, os resultados foram filtrados e avaliados, notando que a barreira dos 20% foi ultrapassada

em 38 ocorrências, 17 ocorrências entre 1 e 26 de janeiro às 10h e às 15h (quando o radiador inicia o aquecimento), e as restantes 21 ocorrências nos dias 29, 30 e 31 de janeiro, no decorrer do dia. Na Figura 6 (inferior) nota-se que as necessidades de aquecimento da sala com todos os sistemas são menores devido ao efeito térmico dos BIPV, registando uma redução de 20,6%.

### Tubos Enterrados

Nesta seção dois cenários foram estudados: A sala com todos os sistemas funcionais e ocupada e a sala, ocupada, com todos os sistemas exceto os tubos enterrados, apresentados na Figura 7, e foram comparados a nível de conforto térmico e das necessidades energéticas de arrefecimento (Nv) de cada hora, para o mês de julho. A Figura 7 (superior) apresenta valores retirados durante o horário de ocupação, com particular ênfase na diferença de temperaturas da temperatura interior devido ao arrefecimento dos tubos enterrados.

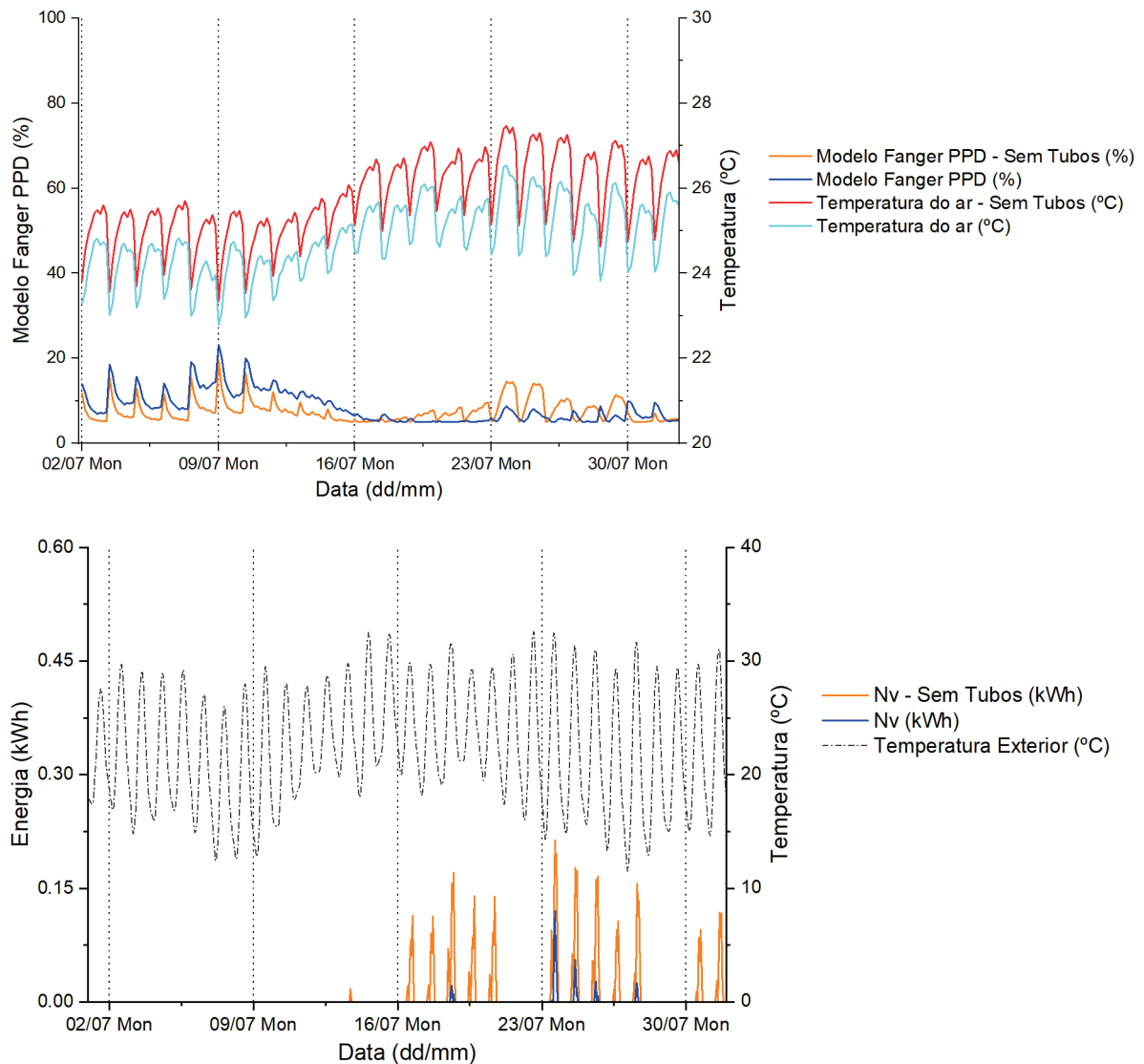


Fig. 7. Impacto dos tubos enterrados (superior) no conforto térmico (inferior) nas necessidades energéticas – julho

Na Figura 7 (superior) verifica-se que a temperatura da sala com os tubos enterrados é inferior à temperatura da sala sem os tubos enterrados, com reduções de temperatura até 1,54°C. Filtrando os resultados para uma PPD menor a 10%, as temperaturas registadas encontram-se entre 23,82°C e 26,54°C. Para a temperatura de 26,54°C, um PMV de 0,43 foi obtido, que se situa perto do limite máximo definido de 0,5, sugerindo que temperaturas superiores aumenta a PPD e, eventualmente, encontram-se fora da zona de conforto. Avaliando os mínimos de PPD, as temperaturas interiores obtidas variam entre 25,21°C e 25,7°C, o que sugere uma temperatura de arrefecimento de 26°C. Na Figura 7 (inferior) analisa-se as necessidades de arrefecimento da sala caso fosse arrefecida. Neste cenário, a temperatura do ar interior máxima estabelecida foi de 26°C. Nesta análise, nota-se que as necessidades de arrefecimento com todos

os sistemas são significativamente menores devido ao arrefecimento proveniente dos tubos enterrados, registando uma redução de 92,8%.

## CONCLUSÕES

Neste estudo, foi efetuada a validação de uma simulação de uma sala de monitorização pertencente ao edifício Solar XXI do LNEG. A sala simulada é uma sala laboratorial, desocupada, com vários sistemas de controlo de temperatura e de qualidade de ar interior. Dos sistemas existentes, foi realizado um estudo do impacto do sistema “BIPV” e do sistema “Tubos enterrados”, nas necessidades energéticas de climatização e do conforto térmico de um ocupante. Para investigar o efeito do sistema BIPV, foram comparados o modelo simulado normal com o modelo simulado sem trocas de ar entre a sala e o sistema BIPV no Inverno (janeiro). Neste período, foi verificado um aumento da temperatura interior nas horas de funcionamento devido ao aquecimento proveniente dos BIPV, o que reduz o nível esperado de dessatisfação e as necessidades de aquecimento foram reduzidas em 20%. A partir da análise do conforto térmico, foram retiradas as ocorrências de dessatisfação do ocupante, e foi observada a dificuldade do radiador de manter a temperatura da sala a 20°C no final do mês de janeiro. De modo a estudar o efeito do sistema tubos enterrados, foram comparados o modelo simulado normal com o modelo simulado sem os tubos enterrados no Verão (julho). No mês estudado, foram registadas reduções de temperatura do ar interior de até 1,54°C. A nível de conforto térmico, foi observado que, durante o período de conforto, abaixo dos 10% de dessatisfação, a temperatura interior da sala encontrou-se entre 23,8°C e 26,5°C. Com este resultado, foi efetuada a análise do impacto dos tubos enterrados nas necessidades de arrefecimento para uma temperatura do ar interior máxima de 26°C. Devido ao arrefecimento fornecido pelos tubos, as necessidades de arrefecimento da sala seriam reduzidas em 93% no mês analisado. Os resultados obtidos comprovam o potencial destes sistemas na redução das necessidades energéticas de climatização de edifícios e na melhoria do conforto térmico. Em trabalho futuro, os sistemas na sala funcionarão de forma inteligente, permitindo regularizar estes resultados e manter o funcionamento adequado dos sistemas.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do projeto Sudoket – Mapeamento, consolidação e disseminação das Tecnologias Facilitadores Essenciais (TFE) para o setor da construção no espaço SUDOE, do Programa Interreg Sudoeste através de fundos da política regional europeia: o Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER).

## REFERÊNCIAS

ASHRAE 55, in Wikipedia (2020). Disponível em: <[https://en.wikipedia.org/wiki/ASHRAE\\_55](https://en.wikipedia.org/wiki/ASHRAE_55)>. Acesso em: 20 ago. 2020.

ASHRAE. (2009). *ASHRAE Handbook 2009 Fundamentals*, (SI Edition).

ASHRAE (2014). *ASHRAE Guideline 14-2014: Measurement of Energy Demand and Water Savings*; American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers: Atlanta, GA, USA, 2014.

DGEG (2018). *National plan for increasing the number of nearly zero-energy buildings in Portugal*. Disponível em: <[https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/portugal\\_en\\_version.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/portugal_en_version.pdf)>. Acesso em: 20 ago. 2020.

Edifício Solar XXI (2005) - Disponível em: <[http://repositorio.lneg.pt/bitstream/10400.9/1321/1/BrochuraSolarXXI\\_Dezembro2005.pdf](http://repositorio.lneg.pt/bitstream/10400.9/1321/1/BrochuraSolarXXI_Dezembro2005.pdf)>. Acesso em: 20 ago. 2020. EnergyPlus (2020). Disponível em: <<https://energyplus.net/>>, Acesso em: 20 ago. 2020.

European Commission (2011). *Horizon 2020 - The Framework Programme for Research and Innovation*. Disponível em: <[https://ec.europa.eu/research/horizon2020/pdf/proposals/communication\\_from\\_the\\_commission\\_-\\_horizon\\_2020\\_-\\_the\\_framework\\_programme\\_for\\_research\\_and\\_innovation.pdf](https://ec.europa.eu/research/horizon2020/pdf/proposals/communication_from_the_commission_-_horizon_2020_-_the_framework_programme_for_research_and_innovation.pdf)>. Acesso em: 21.08.2020.

European Commission (2019a). *New Rules for Greener and Smarter Buildings Will Increase Quality of Life for All Europeans*. Disponível em: <[https://ec.europa.eu/info/news/new-rules-greener-and-smarter-buildings-will-increase-quality-life-all-europeans-2019-apr-15\\_en](https://ec.europa.eu/info/news/new-rules-greener-and-smarter-buildings-will-increase-quality-life-all-europeans-2019-apr-15_en)>. Acesso em: 20 ago. 2020.

European Commission (2019b). *Energy Performance of Buildings Directive*. Disponível em: <[https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive\\_en](https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en)>. Acesso em: 20 ago. 2020.

European Commission (2020). *Nearly zero-energy buildings*. Disponível em: <[https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/nearly-zero-energy-buildings\\_pt](https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/nearly-zero-energy-buildings_pt)>. Acesso em: 01 set. 2020.

Fanger, P. O. (1973). Assessment of man's thermal comfort in practice. *Occupational and Environmental Medicine*, 30(4), 313–324. <https://doi.org/10.1136/oem.30.4.313>.

FEMP (2015). Federal Energy Management Program, *M&V Guidelines: Measurement and Verification for Performance-Based Contracts*, Version 4.0; U.S. Department of Energy Federal Energy Management Program: Washington, DC, USA, 2015.

SketchUp, in Wikipedia (2020). Disponível em: <<https://en.wikipedia.org/wiki/SketchUp>> Acesso em: 20 ago. 2020.  
SUDOKET Project, in Sudoket (2018). Disponível em: <<http://en.sudoket.com/project>> Acesso em: 20 ago. 2020.