

Millenium, 2(Edição Especial Nº13)

---

pt

---

**CONTROLO BASEADO EM TECNOLOGIAS DA INTERNET DAS COISAS: MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E CONFORTO EM EDIFÍCIOS**

**CONTROL BASED ON INTERNET OF THINGS TECHNOLOGIES: IMPROVING ENERGY EFFICIENCY AND COMFORT IN BUILDINGS**

**CONTROL BASADO EN TECNOLOGÍAS DE INTERNET DE LAS COSAS: MEJORANDO LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y EL CONFORT EN LOS EDIFICIOS**

Paulo Correia<sup>1</sup>  <https://orcid.org/0009-0000-8252-2619>

<sup>1</sup>Instituto Politécnico de Viseu, Viseu, Portugal

Paulo Correia - paulocorreia@estgv.ipv.pt



---

**Autor Correspondente:**  
*Paulo Correia*  
Av. Cidade Politécnica  
3504-510 - Viseu - Portugal  
paulocorreia@estgv.ipv.pt

RECEBIDO: 06 de junho de 2023  
REVISTO: 12 de julho de 2023  
ACEITE: 13 de setembro de 2023  
PUBLICADO: 10 de outubro de 2023

DOI: <https://doi.org/10.29352/mill0213e.31404>

## RESUMO

**Introdução:** O investimento no desenvolvimento de redes de comunicação inteligentes está a possibilitar cada vez mais conectividade à internet. Neste cenário, o trabalho explora a utilização de dispositivos baseados na Internet das Coisas (IoT) e conjectura sobre o impacto que essa tecnologia pode ter no conforto e na eficiência energética dos edifícios.

**Objetivo:** Entender como as aplicações inovadoras baseadas em IoT podem melhorar a eficiência energética e a temperatura de conforto nos edifícios, através do controlo do funcionamento de equipamentos de aquecimento já instalados.

**Métodos:** São abordados os principais custos e benefícios associados à aplicação de tecnologias inteligentes, como medida de racionalização de consumo de energia em edifícios, de forma a fundamentar uma tomada de decisão.

**Resultados:** Espera-se que a adoção de soluções de IoT como sistemas inteligentes de monitorização e gestão de ambientes, pouco intrusivas e de baixo custo, possibilite uma redução na fatura energética da climatização nos edifícios.

**Conclusão:** O estudo efetuado revela o potencial da IoT na redução do consumo de energia, através da gestão inteligente dos sistemas de climatização em edificações existentes. Em muitas destas estruturas, face ao investimento avultado que representa substituir sistemas de climatização menos eficientes, a adoção deste tipo de tecnologia é uma solução barata para reduzir os encargos energéticos. Assim, espera-se que esta análise sirva como um catalisador para uma maior eficiência energética pela adoção de tecnologias IoT em vários setores, tanto no âmbito público como privado.

**Palavras-chave:** conforto térmico; edifícios públicos; eficiência energética; IoT

## ABSTRACT

**Introduction:** Investment in the development of intelligent communication networks is facilitating greater internet connectivity. The paper examines the utilization of Internet of Things (IoT) devices and hypothesizes about their potential effect on building energy efficiency and comfort.

**Objective:** Understand the potential of IoT-based applications to enhance energy efficiency and optimize the indoor temperature in buildings by regulating the operation of pre-existing heating equipment.

**Methods:** The main costs and benefits associated with the application of intelligent technologies as a measure to rationalize energy consumption in buildings are discussed in order to support decision-making.

**Results:** It is expected that the adoption of IoT solutions as intelligent, low-intrusion and low-cost environmental monitoring and management systems will make it possible to control thermal comfort and increase the energy efficiency of buildings.

**Conclusion:** The study reveals the potential of IoT to reduce energy consumption through the intelligent management of HVAC systems in existing buildings. In many of these structures, given the large investment involved in replacing less efficient climate control systems, adopting this type of technology is a cheap solution for reducing energy costs. It is hoped that this analysis will act as a catalyst for greater energy efficiency by adopting IoT technologies in various public and private sectors.

**Keywords:** thermal comfort; public buildings; energy efficiency; IoT

## RESUMEN

**Introducción:** La inversión en el desarrollo de redes de comunicación inteligentes está permitiendo una conectividad a Internet cada vez mayor. En este contexto, el documento explora el uso de dispositivos basados en el Internet de las Cosas (IoT) y conjectura sobre el impacto que esta tecnología podría tener en el confort y la eficiencia energética de los edificios.

**Objetivo:** Comprenda cómo las aplicaciones innovadoras basadas en IoT pueden mejorar la eficiencia energética y la temperatura de confort en los edificios controlando el funcionamiento de los equipos de calefacción ya instalados.

**Métodos:** Se abordan los principales costes y beneficios asociados al uso de tecnologías inteligentes como medida para racionalizar el consumo de energía en los edificios, con el fin de fundamentar la toma de decisiones.

**Resultados:** Se espera que la adopción de soluciones IoT como sistemas de monitorización y gestión del entorno, poco intrusivos y de bajo coste, permitan controlar el confort térmico y aumentar la eficiencia energética en los edificios.

**Conclusión:** El estudio revela el potencial de IoT para reducir el consumo de energía mediante la gestión inteligente de los sistemas de climatización de los edificios existentes. En muchas de estas estructuras, dada la gran inversión que supone sustituir los sistemas de climatización menos eficientes, la adopción de este tipo de tecnología es una solución barata para reducir los costes energéticos. Se espera, por tanto, que este análisis sirva de catalizador para una mayor eficiencia energética mediante la adopción de tecnologías IoT en diversos sectores, tanto públicos como privados.

**Palabras Clave:** confort térmico; edificios públicos; eficiencia energética; IoT

DOI: <https://doi.org/10.29352/mill0213e.31404>

## INTRODUÇÃO

O setor energético desempenha um papel crucial nas sociedades, e como tal, a humanidade tem realizado reflexões profundas sobre as implicações ambientais, sociopolíticas e económicas do aumento do consumo de energia. Perante estas preocupações, a União Europeia tem adotado políticas de eficiência energética em diversos setores, com o objetivo de garantir o abastecimento de energia e alcançar a tão desejada neutralidade climática da Europa até 2050, conforme está estabelecido no Pacto Ecológico Europeu (European Parliament, 2020).

Segundo dados do Parlamento Europeu (2023), o setor dos edifícios é responsável por 40% do consumo de energia e 36% das emissões de CO<sub>2</sub> na União Europeia. Como tal, este setor proporciona grandes oportunidades para a racionalização do consumo de energia por meio da implementação de tecnologias inteligentes de monitorização e controlo, como a Internet das Coisas. A IoT, pode ser entendida como a integração de pessoas, processos e tecnologia com dispositivos e sensores interligados, para permitir a monitorização remota, bem como a manipulação e verificação do seu estado (Felix, 2022). Portanto, estes sistemas permitem recolher e processar grandes quantidades de dados, que são utilizados para gerir e otimizar o desempenho e o funcionamento de equipamentos que se encontram interligados na mesma rede de comunicação inteligente (Glória, 2021). Pensemos, por exemplo, na informação proveniente de uma rede sensores inteligentes instalados para monitorizar a temperatura e humidade em espaços de um edifício. Estes sensores transmitem informações para um sistema centralizado que, através de algoritmos de análise, processa os dados recebidos. Assim, é possível realizar um controlo automatizado e inteligente de equipamentos de climatização, garantindo uma gestão energética mais eficaz (Leitão et al., 2020).

A adoção dos sistemas inteligentes exige um investimento inicial, frequentemente não muito elevado, e por regra rapidamente compensado pela economia resultante da otimização do uso de energia. Deste modo, torna-se fundamental criar mecanismos políticos, económicos, técnicos, e outros, que permitam a implementação destes sistemas no setor privado e da administração pública. Isso permitirá ao país reduzir a sua dependência de importação de energia e, conseqüentemente, diminuir a sua vulnerabilidade ao risco de abastecimento causado por crises políticas ou conflitos armados, como o que está em curso na Europa (Duarte et al., 2019).

O presente trabalho pretende estimar os benefícios e os custos associados à instalação de um sistema de controlo baseado em tecnologias IoT num edifício público, de forma a melhorar o conforto térmico dos seus utilizadores e particularmente reduzir o consumo de energia do sistema de climatização existente. O sistema IoT proposto é constituído por dispositivos inteligentes, que utilizam uma rede sem fios já existente como suporte à comunicação. A comunicação sem fios permite aos dispositivos trocarem informação entre si e entre uma plataforma global, alojada num servidor Web, que processa e analisa dados recolhidos. A plataforma pode ser acedida remotamente pelo gestor do sistema, através de uma aplicação móvel (APP) ou de uma plataforma web, para a parametrização, controlo e monitorização dos dispositivos do sistema (Verma et al., 2021).

O sistema de controlo possui a capacidade de facultar, com recurso a uma interface gráfica, uma variedade de parâmetros em tempo real, tais como o consumo de energia, e a temperatura. Essa funcionalidade permite que os utilizadores tenham uma compreensão mais clara dos seus próprios padrões de consumo, bem como dos padrões de consumo de outras pessoas. Esta abordagem, é baseada no conceito de "feedback energético", que consiste em fornecer informações sobre o consumo de energia de forma clara e compreensível aos utilizadores, de modo a influenciar as suas decisões e comportamentos relacionados ao consumo energético (Joint Research Centre, et al., 2016).

Estudos produzidos ao longo das últimas décadas, corroboram o conceito de que a implementação de mecanismos de feedback em tempo real, que fomentem uma perceção adequada de dados de consumo de energia, leva a expor alguns comportamentos incorretos e à consciencialização dos utilizadores. A Agência Internacional de Energia (IEA, 2021), apresentou no seu artigo "The Potential of Behavioural Interventions for Optimising Energy Use at Home", vários exemplos de medidas de intervenção comportamentais bem-sucedidas. No Reino Unido, por exemplo, têm sido estudadas as alterações no comportamento dos consumidores decorrentes da utilização de contadores inteligentes ligados a pequenos ecrãs domésticos e a aplicativos instalados em dispositivos móveis. O relatório da avaliação de impacto deste projeto ("Smart Metering Early Learning Project"), revelou que os consumidores com estes equipamentos inteligentes instalados, utilizaram menos 2,2% de eletricidade e 1,5% de gás natural, em comparação com utilizadores com medidores de energia convencionais. Outro exemplo na Europa, a Irlanda, estima que a sensibilização dos utilizadores para ajustes na temperatura interna dos edifícios, levaria o país a reduzir o seu consumo total de energia em cerca de 5%. Portanto, apesar do consumo de energia ser moldado por hábitos enraizados e difíceis de mudar, é necessário incentivar a utilização de tecnologias que permitam estas abordagens, uma vez que apresentam um grande potencial na economia de energia.

## 1. ENQUADRAMENTO

### 1.1 Objetivo e metodologia

O objetivo deste trabalho foi analisar a viabilidade da redução do consumo energético em edifícios com equipamentos de climatização já instalados, por meio da implementação de um sistema de monitorização e controlo inteligente de temperatura. Este sistema teve como requisitos: custo baixo, capacidade de ser implementado nas instalações presentes, aptidão para poder

DOI: <https://doi.org/10.29352/mill0213e.31404>

ser configurado remotamente, capacidade de gestão otimizada dos equipamentos de aquecimento existentes, e utilização de comunicações sem fios para reduzir as intervenções na estrutura física do edifício.

O sistema de climatização central presente no edifício, caracteriza-se por apenas garantir o aquecimento dos inúmeros espaços existentes. Este é constituído por uma caldeira que, através da queima de gás natural aquece a água que entra na rede de tubos e é encaminhada até aos diversos radiadores e ventiloconvetores, onde é efetuada a troca de energia com o meio envolvente. Devido ao investimento necessário, não se conjectura que a substituição destes equipamentos de aquecimento por modelos mais eficientes e com melhor controlo, aconteça a curto, médio prazo. Assim, o sistema IoT irá possibilitar controlar o funcionamento dos equipamentos de aquecimento de forma automática, permitindo que seja fornecida a quantidade certa de calor segundo as necessidades reais, através da programação de temperaturas de conforto, de períodos horários, e pela possibilidade de gestão remota perante alterações de hábitos de utilização.

Na avaliação económica da implementação do sistema de controlo IoT, foram considerados vários aspetos, onde se incluem:

Tipo de sistema técnico existente: foi analisado o sistema técnico de aquecimento já instalado no edifício, levando em consideração os diferentes tipos de equipamentos terminais em cada local;

Combustíveis utilizados: foi considerado o tipo de combustível utilizado pelos sistemas técnicos existentes, como eletricidade e gás natural;

Eficiência de conversão: foi considerada a eficiência de conversão energética da caldeira a gás natural;

Custo da energia: foi considerado o preço do kWh de cada tipo de energia, excluindo taxas e impostos;

Custo dos dispositivos inteligentes: foi analisado o custo dos dispositivos inteligentes necessários para a implementação do sistema de controlo IoT. Incluem-se sensores, atuadores e outros componentes necessários para a monitorização e controlo inteligente da temperatura nos espaços;

Redução da energia térmica e elétrica alcançada: os níveis de consumo energético foram calculados considerando os dados técnicos dos equipamentos de aquecimento instalados e o seu tempo de funcionamento, entre a situação antes e depois da utilização da tecnologia IoT no controlo do aquecimento.

Ainda no âmbito do trabalho, foi efetuado um questionário para se analisar como a implementação do sistema inteligente de controle, pode influenciar o comportamento dos utilizadores do edifício em relação ao consumo diário de energia. O questionário foi dividido em duas partes para abordar diferentes aspetos. A primeira parte teve como objetivo caracterizar a população-alvo em termos de conhecimento e utilização de tecnologias inteligentes. Foram colocadas diversas questões para se entender o nível de familiaridade dos utilizadores com dispositivos IoT. A segunda parte, concentrou-se na perceção dos utilizadores em relação à influência que algumas informações disponibilizadas pelo sistema IoT, tais como o consumo energético do edifício, podem ter na alteração do seu comportamento na utilização de energia.

## 1.2 Arquitetura do sistema

A regulação adequada da temperatura ambiente dentro dos espaços do edifício em estudo, tem por objetivo satisfazer as necessidades de bem-estar durante o período de funcionamento, reduzindo ao mesmo tempo o consumo energético. Para tal, foi efetuada uma análise do ponto de vista do nível de conforto e do consumo de energia, para as seguintes situações: i) funcionamento dos equipamentos de aquecimento com controlo manual (situação existente, antes da instalação do sistema IoT); ii) funcionamento dos equipamentos de aquecimento com implementação de controlo inteligente. Para este propósito, consideraram-se dois espaços do edifício em contexto de atividade real (com e sem presença humana), cada um com um tipo diferente de equipamento de aquecimento instalado, nomeadamente: local A, com ventiloconvetores de fluido térmico; local B, com radiador de fluido térmico. No local A, o controlo existente do equipamento de aquecimento é realizado manualmente pelos utilizadores, com recurso a um interruptor que liga ou desliga um ventilador elétrico. O ventilador do ventiloconvetor tem a função de forçar um fluxo de ar a atravessar a serpentina onde circula o fluido quente, elevando assim a temperatura dentro do espaço. Sendo o controle do equipamento dependente da intervenção humana, frequentemente resulta em desconforto térmico e gastos energéticos desnecessários, seja por uso inadequado ou pelo esquecimento de desligar o equipamento. No local B, o controlo presente é também manual, mas neste caso os utilizadores regulam uma válvula termostática escalonada, que permite limitar o aquecimento dos espaços e manter a temperatura constante. Quando o mecanismo de controlo é inadequadamente regulado (o que frequentemente acontece na prática), a temperatura de conforto não é assegurada.

Uma outra desvantagem do controlo manual do aquecimento, é a sua incapacidade de identificar períodos em que os espaços não estão a ser utilizados. Como resultado, os equipamentos de aquecimento instalados em cada local permanecem a funcionar, gerando custos adicionais com a energia. É importante destacar, que uma utilização adequada e um controlo rigoroso dos equipamentos de aquecimento pelos utilizadores dos espaços, poderia resultar em economias energéticas comparáveis às alcançadas com o controlo automatizado. Contudo, e sobretudo em locais com um grande número de utilizadores, onde existem diversas perceções de conforto térmico e hábitos estabelecidos, como é o caso em questão, o controlo manual revela-se infrutífero. Assim, de modo a possibilitar o funcionamento automatizado dos equipamentos terminais do aquecimento, foi proposto o sistema de controlo e monitorização exposto na Figura 1, constituído por: i) dispositivo inteligente com comunicação

DOI: <https://doi.org/10.29352/mill0213e.31404>

wireless, que possui um sensor de temperatura e humidade relativa, bem como uma saída equipada a relé; ii) cabeça elétrica para controlo de válvulas termostáticas; iii) plataforma de gestão do sistema baseada em “Cloud” e respetivas interfaces.

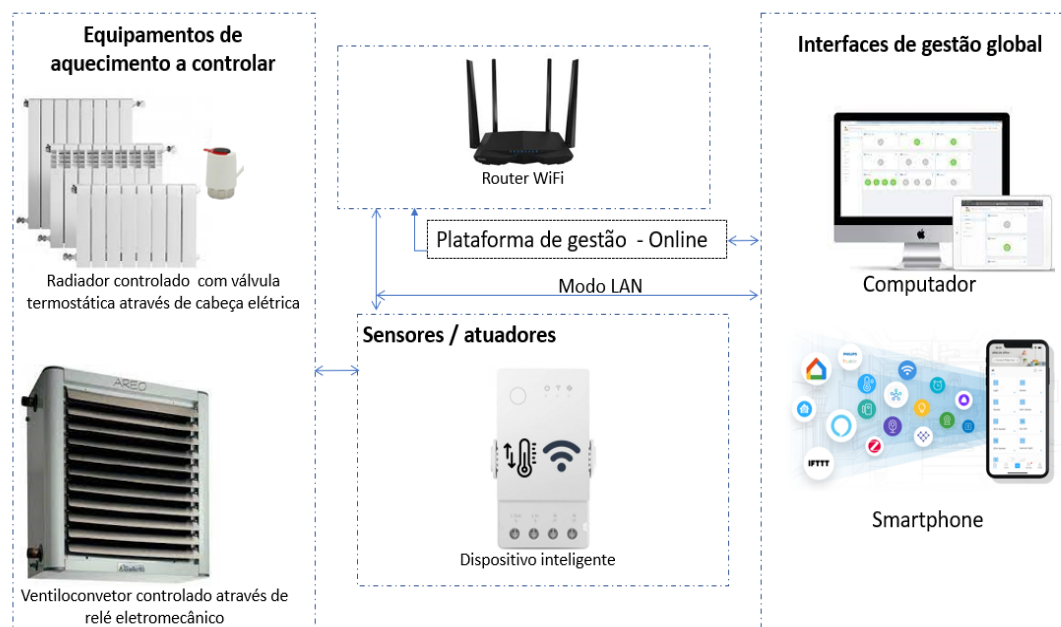


Figura 1 – Diagrama do sistema de controlo proposto

A programação do controlo automatizado dos equipamentos de aquecimento em cada local, foi efetuada tendo em consideração a monitorização da temperatura ambiente, os horários de utilização e as temperaturas de conforto térmico recomendadas. Os limites de temperatura de conforto foram definidos com base em duas abordagens principais: a perceção subjetiva de conforto térmico no espaço e a análise de documentação relacionada com a eficiência energética dos edifícios. Essa documentação inclui referências como o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) e o Manual de Eficiência Energética para a Administração Pública, criado no âmbito do Programa de Eficiência de Recursos na Administração Pública (ECO.AP 2030). É de destacar que uma das principais vantagens da Internet das Coisas é a sua capacidade de incorporar facilmente critérios nos algoritmos de controlo. Neste contexto, além dos critérios de controlo mencionados, é de ressaltar que é possível adicionar e combinar outras funcionalidades para otimizar ainda mais a climatização do edifício. Algumas dessas funcionalidades incluem: o controle automatizado da ventilação natural: integrando sensores de qualidade do ar, o sistema pode gerir a abertura e fecho automatizado de janelas ou outros sistemas de ventilação, garantindo a circulação natural de ar e a redução da necessidade de climatização artificial. Como o edifício em estudo não possui sistemas de arrefecimento, esta funcionalidade pode ter especial relevância durante o verão, para se efetuar o arejamento noturno dos locais com ar fresco do exterior.

A integração de serviços de geolocalização: com recurso à localização de dispositivos móveis, salvaguardando-se a proteção de dados, é possível determinar a chegada ou a saída de utilizadores do edifício. Essa informação pode ser usada para ligar ou desligar o aquecimento de espaços específicos, como gabinetes de trabalho.

A incorporação de serviços meteorológicos e sensores de temperatura exteriores: a integração de serviços meteorológicos ou de sensores de temperatura instalados no exterior do edifício, permite dotar o sistema de controlo com capacidade de antecipar mudanças climáticas, como períodos de maior calor ou de frio. Assim, o sistema pode antecipar ou atrasar o arranque diário do funcionamento dos equipamentos de aquecimento, de modo a garantir que os espaços estão adequadamente climatizados no início das atividades laborais.

Para que o sistema proposto funcione corretamente, além da correta definição dos critérios de controlo, é necessário também que as informações recolhidas pelos sensores inteligentes sejam fidedignas. Como tal, a seleção da localização para a instalação dos dispositivos IoT em cada local, foi objeto de análise criteriosa. Foi assegurado que a leitura da temperatura ambiente média não é distorcida pela operação dos próprios equipamentos de aquecimento ou por influências externas, como por exemplo, correntes de ar resultantes da abertura ou fecho de portas e janelas (Figura 2 e Figura 3). Em espaços de grande dimensão, sugere-se a instalação e disposição de múltiplos sensores de temperatura inteligentes. Dessa forma, o sistema pode operar com base nas medições feitas pela rede de dispositivos distribuídos em diferentes pontos do local.

DOI: <https://doi.org/10.29352/mill0213e.31404>

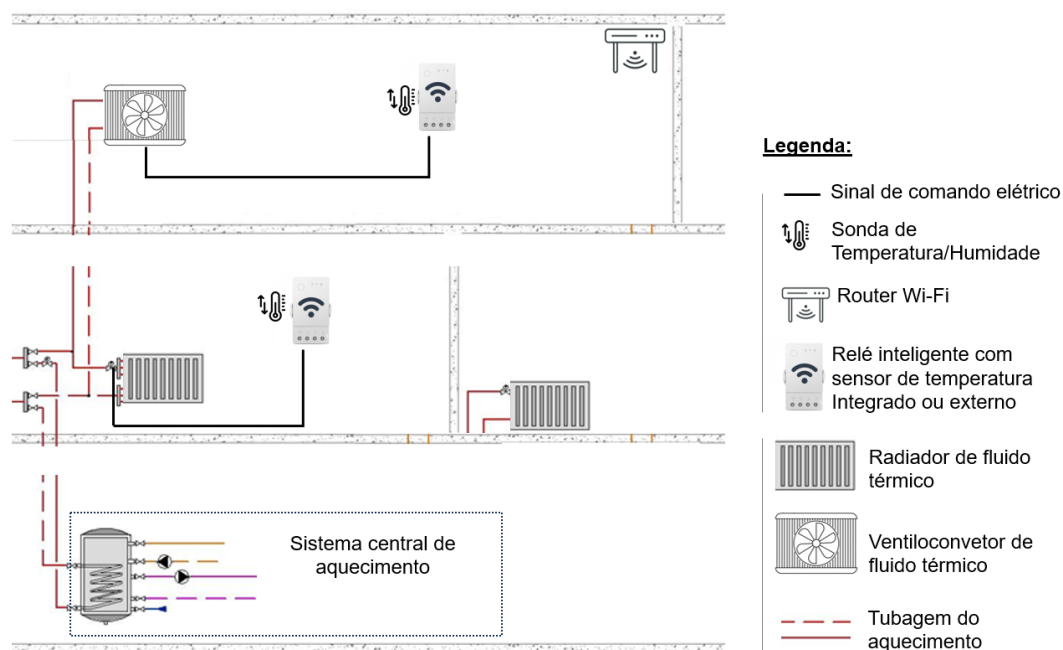


Figura 2 – Esquema representativo do controlo da carga com dispositivos IoT nos locais em estudo

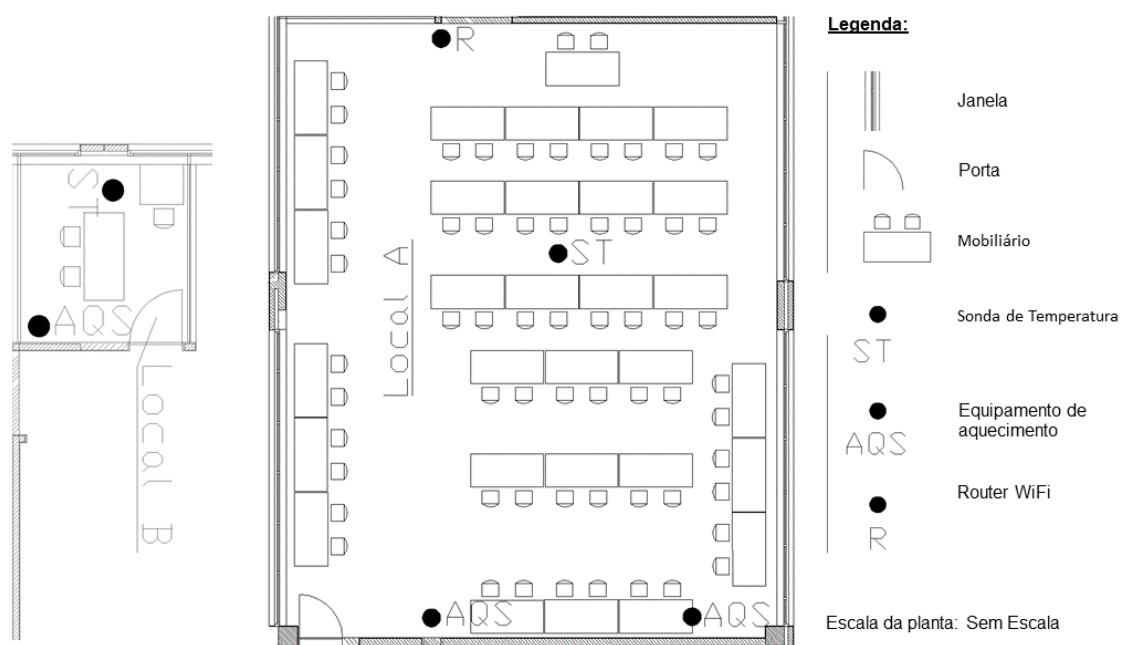


Figura 3 – Localização em planta dos elementos constituintes do sistema de controlo IoT em estudo

No local A, o relé incorporado no dispositivo inteligente é responsável pelo comando do ventilador elétrico do ventilador, garantindo o controlo da temperatura desejada dentro do espaço. No local B, foi utilizado um atuador elétrico, acionado pelo relé do dispositivo inteligente, para controlar a válvula termostática do radiador, permitindo assim ajustes automatizados na temperatura ambiente.



DOI: <https://doi.org/10.29352/mill0213e.31404>

Quando os horários de ocupação dos espaços não são conhecidos, a programação prévia do aquecimento torna-se inviável. Nesse contexto, a alternativa é integrar sensores de movimento no sistema para que este ative o aquecimento quando houver deteção de presença no local. Contudo, é importante notar que essa abordagem pode gerar desconforto térmico momentâneo, uma vez que o aquecimento só é ativado quando a utilização do espaço é identificada. Uma estratégia para atenuar esse desconforto, ainda que implique um incremento no consumo energético, é configurar o sistema para manter uma temperatura base nos espaços. Assim, quando os utilizadores iniciam as suas atividades, já encontram temperaturas mínimas de conforto térmico. Os sensores de presença referenciados poderão ser utilizados simultaneamente para diversos fins, como por exemplo, desligar determinadas cargas que após utilização tenham ficado em funcionamento por esquecimento. Embora esta vertente na utilização da IoT para uma maior racionalização energética não faça parte diretamente do trabalho, foi também abordada para se demonstrar a possibilidade de rentabilizar os dispositivos instalados. Para tal, efetuou-se uma configuração na plataforma de gestão, para que o sistema desative as luminárias, caso o sensor de presença não identifique atividade humana durante um período específico.

## 2. RESULTADOS

A implementação do sistema IoT, foi importante para avaliar a utilização de tecnologias inteligentes na melhoria do conforto térmico e na melhoria da eficiência energética do edifício, comparativamente com a situação de controlo manual do aquecimento. Concluído o estudo, foi então possível tomar decisões fundamentadas sobre ajustes, melhorias e a expansão do sistema para outros espaços, visando otimizar o consumo de energia e aprimorar o conforto térmico dos utilizadores em todo o edifício.

Na Figura 4 e na Figura 5, são apresentados os dados de temperatura registados nos dois locais do edifício (local A e local B), com os equipamentos de aquecimento a funcionarem em contexto real de utilização, com regulação manual (CM) e com controlo inteligente (CI). Verifica-se que em determinados períodos do horário laboral, os equipamentos de aquecimento a funcionarem com controlo manual, devido à sua incorreta parametrização e utilização, promovem uma temperatura ambiente de desconforto térmico dentro dos espaços. Após a implementação do sistema de controlo inteligente, verificou-se um incremento significativo do conforto térmico, uma vez que este conseguiu controlar a temperatura ambiente dentro dos limites configurados (19 °C a 20 °C), mesmo com carga térmica extra decorrente da utilização do espaço.

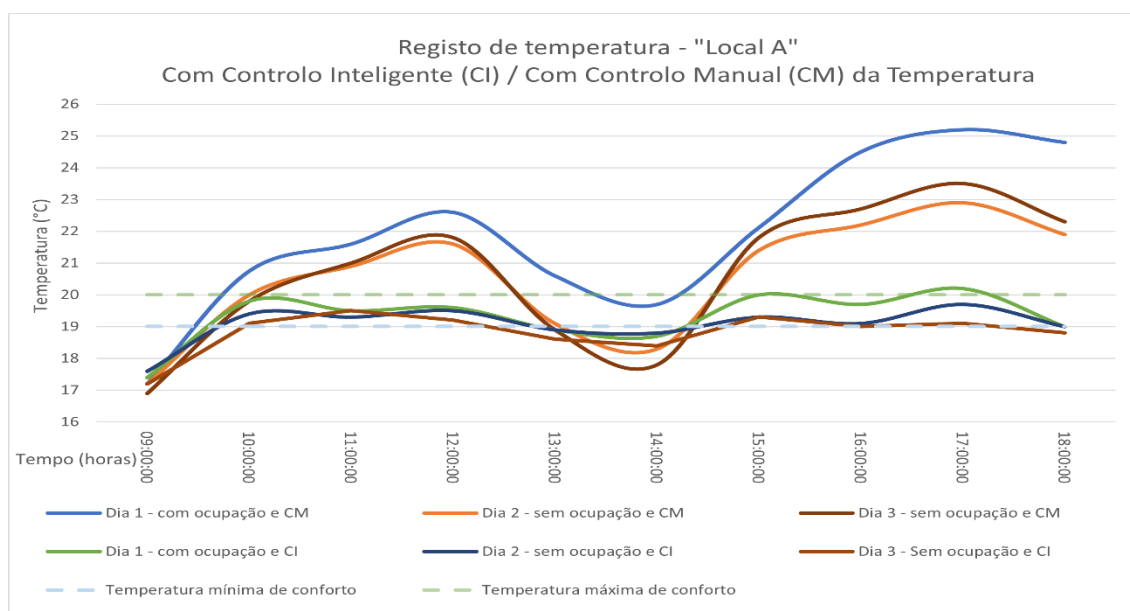


Figura 4 – Monitorização da temperatura ambiente no local A, em períodos laborais

DOI: <https://doi.org/10.29352/mill0213e.31404>

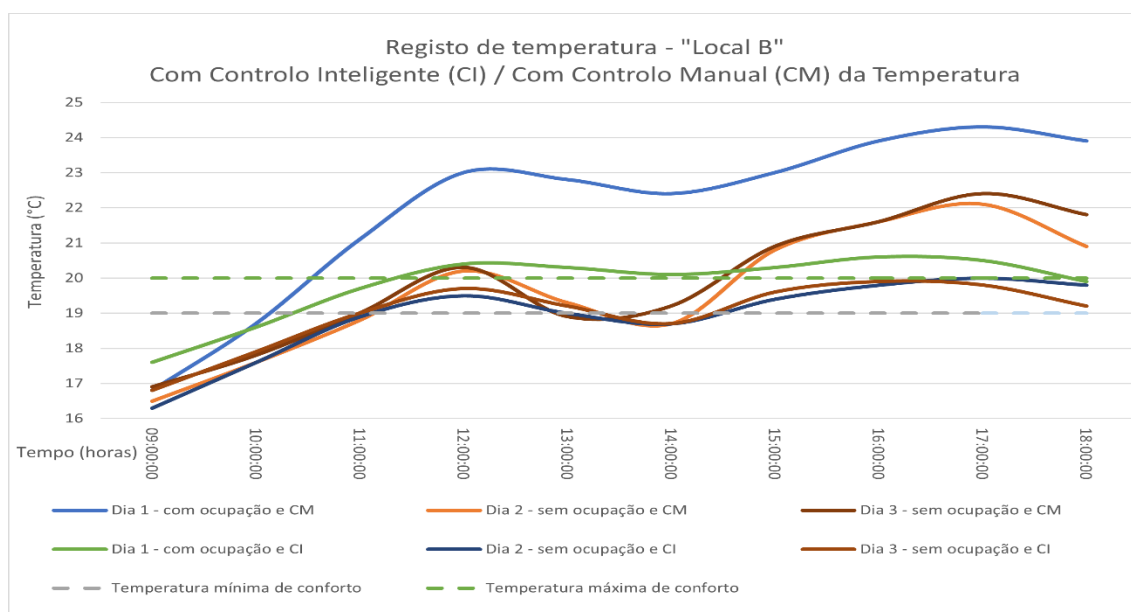


Figura 5 – Monitorização da temperatura ambiente no local B, em períodos laborais

A Tabela 1 reflete os consumos e os custos energéticos estimados com o aquecimento nas duas situações supramencionadas, ou seja, com os equipamentos de aquecimento com regulação convencional e com controlo automático, para um período laboral de oito horas diárias. Com o sistema de controlo inteligente em funcionamento e com ocupação do local, ou seja, situação de maior carga térmica, a redução no consumo de energia (elétrica e térmica no local A; térmica no local B) é muito significativa. Este fato ocorre porque o aquecimento nos dois locais não precisa de ficar ligado por muito tempo, para atingir a temperatura de conforto desejada. Neste caso em concreto, a redução do tempo de funcionamento dos equipamentos de aquecimento instalados, em termos monetários, traduziu-se numa economia de cerca de 6€ diários.

A possibilidade de programar o sistema para que os equipamentos de aquecimento apenas estejam em funcionamento quando é necessário (quando existe ocupação), proporciona uma redução ainda mais significativa no consumo de energia. Uma vez que no dia dois e no dia três não houve utilização destes espaços, no caso de existir um sistema IoT implementado, o aquecimento nos dois locais poderia ter estado desligado todo o período, originando assim uma poupança de 100% de energia. Estas são as duas principais valências da utilização da IoT para a otimização de consumos de energia neste tipo de sistemas de climatização, ou seja, a regulação correta da temperatura em cada local, e o deslacre dos equipamentos de aquecimento quando os mesmos não são necessários.

Tabela 1 – Consumos e custos energéticos com o aquecimento no local A e local B durante o período laboral.

	Local A			Local B			Local A + Local B		
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 1	Dia 2	Dia 3
Consumo de energia estimado (kWh/Dia)									
Sem controlo inteligente	53,9	57,6	56,7	3,1	3,4	3,4	57,1	60,9	60,1
Custo da energia consumida (€/dia)	11,0	11,8	11,6	0,62	0,68	0,68	11,7	12,5	12,3
Economia estimada de energia promovida pela implementação do sistema inteligente de controlo (kWh/Dia)	29,3	25,5	22,2	1,34	1,16	1,13	30,7	26,6	23,3
Redução do custo com a economia de energia (€/dia)	6,01	5,21	4,54	0,25	0,23	0,23	6,27	5,44	4,77

Notas: Os valores de consumo e de economia de energia apresentados, são referentes à média dos valores estimados no período monitorizado.

Foi considerado o valor de 0,20€/kWh para o custo de energia proveniente do gás natural e 0,252€/kWh para a energia elétrica.

No dia 1, é a situação em que houve ocupação dos espaços, sendo que no dia 2 e dia 3, não houve qualquer utilização dos mesmos.

É importante referir que pode haver um ligeiro desvio entre a poupança energética estimada e os valores reais alcançados. Isso ocorre porque a estimativa de poupança energética foi baseada em informações técnicas fornecidas pelos fabricantes dos equipamentos de aquecimento. Essas informações são geralmente obtidas em situações de teste normalizadas, que podem não refletir exatamente as condições específicas de instalação nos locais em análise. No entanto, mesmo que os valores exatos de



DOI: <https://doi.org/10.29352/mill0213e.31404>

poupança energética possam variar, a implementação de dispositivos inteligentes continua a ser uma estratégia eficaz e de baixo custo, para racionalizar o consumo energético e promover a sustentabilidade nos edifícios.

Conforme mencionado, foi configurada uma funcionalidade complementar no sistema de controlo IoT, que lhe permite desligar as luminárias caso não exista deteção de ocupação durante um determinado intervalo de tempo. Este controlo foi aplicado e estudado no local B, e teve um impacto considerável no consumo de energia elétrica associado à iluminação. Ao comparar os dados de consumo antes e após a ativação do sistema IoT neste local, observa-se uma redução média diária de cerca de 30% no consumo de energia elétrica (Figura 6). Esta diminuição no consumo de energia, não só evidencia a eficácia do sistema inteligente implementado, mas também enfatiza a relevância de expandir a sua instalação em outros locais do edifício, como forma de reduzir os custos operacionais.

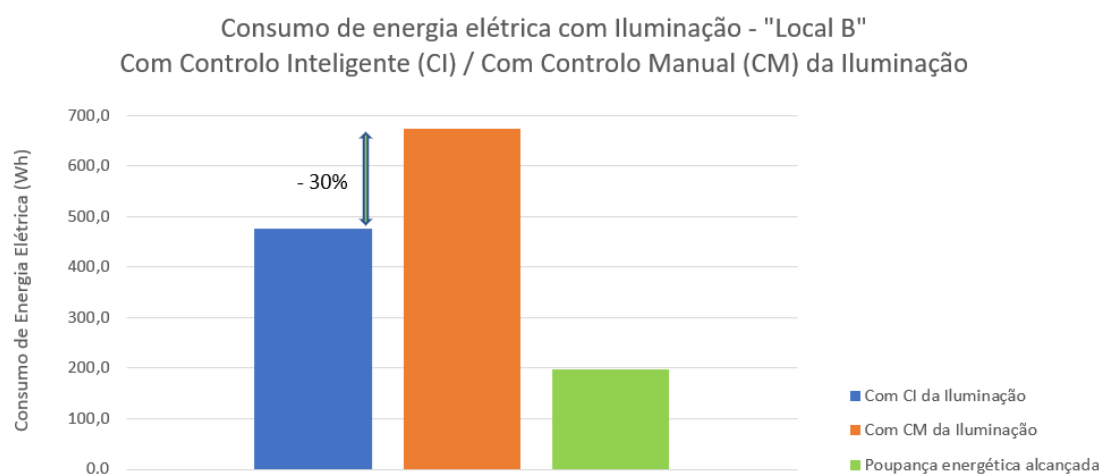
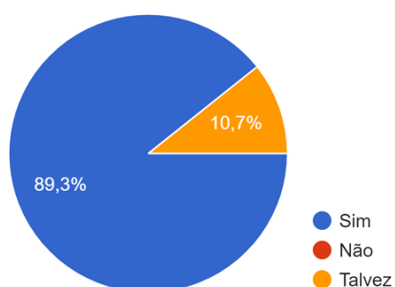


Figura 6 – Consumo médio de energia elétrica com a iluminação no Local “B”, durante o período laboral

Os benefícios indiretos da implementação deste tipo de sistema, muitas vezes invisíveis, também foram analisados. Neste contexto, foram inquiridos através de um questionário digital duzentos indivíduos que habitualmente frequentam os dois espaços do edifício, tendo-se obtido uma taxa de resposta de 44,5%. Da avaliação das respostas a algumas questões específicas, constata-se que os utilizadores reconhecem a importância de existirem sistemas inteligentes nos edifícios, uma vez que estes proporcionam um incremento no conforto e na eficiência energética (Figura 7). A grande maioria das respostas (75%) sugere que, ao terem acesso aos dados fornecidos pelo sistema IoT, os utilizadores seriam motivados a alterar o seu comportamento em relação ao consumo de energia. Além disso, quando indagados sobre a possibilidade de adotarem um sistema IoT que favoreça a economia de energia no seu lar, a resposta foi unânime: 100% mostraram-se interessados nessa abordagem.

**Questão 1:**

Considera positivo, os edifícios possuírem sistemas inteligentes de controlo e monitorização, que permitam maior conforto e simultaneamente maior eficiência de energética?



**Questão 2:**

Considera que se os dados em tempo-real (energia, água, temperaturas, etc), estiverem visíveis no seu local de trabalho/formação (sala, gabinete, etc), poderia levar à alteração de comportamentos/ hábitos de consumo?

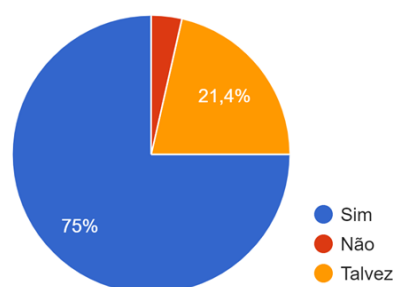


Figura 7 – Resultados a algumas questões colocadas aos utilizadores dos dois espaços do edifício em estudo

DOI: <https://doi.org/10.29352/mill0213e.31404>

Os resultados do inquérito, destacam a visão do vasto potencial na adoção de sistemas IoT para otimização do consumo energético em edifícios, particularmente em espaços que recebam público, graças à sua capacidade de influenciar a adoção destas tecnologias e alterar comportamentos.

Conhecidos os benefícios decorrentes da implementação do sistema de controlo aqui abordado, importa conhecer o custo dos dispositivos utilizados (Tabela 2), para se determinar o período de retorno de investimento.

**Tabela 2 – Custo com os dispositivos IoT utilizados no estudo**

Dispositivos IoT para controlo inteligente do aquecimento	Quantidade x Custo dos Dispositivos	
	Local A	Local B
Relé inteligente Wi-Fi com sensor de temperatura	2 x 20€	2 x 20€
Eletroválvula/Atuador termoelétrico	-	1 x 25€

No caso específico do sistema de controlo proposto, onde o montante de investimento é considerado reduzido, optou-se por uma avaliação simplificada do período de retorno de investimento, conhecido como PRI simples. Essa abordagem simplificada não considera fatores como o valor do dinheiro no tempo e o fluxo de caixa além do período de retorno, mas é um indicador inicial importante para avaliar a viabilidade do projeto de investimento (Menezes, 2001). Com base na avaliação feita, o período de retorno de investimento simples estimado foi de aproximadamente um mês. Este curto período de retorno, reforça a viabilidade e a atratividade do plano de implementação do controlo inteligente no aquecimento. No entanto, é importante referir que esta avaliação não considerou os custos de implementação e manutenção do sistema. Devido à exclusão destes custos na avaliação simplificada, é possível que o período necessário para recuperar o investimento inicial seja ligeiramente mais longo do que estimado.

## CONCLUSÃO

O trabalho realizado fornece uma visão abrangente dos investimentos necessários para a implementação de um sistema baseado em tecnologias IoT, com o intuito de melhorar o conforto térmico e a eficiência energética no setor dos edifícios. Os resultados obtidos demonstram que essa aplicação oferece benefícios significativos, incluindo uma considerável economia de energia, um aumento do conforto térmico e a possibilidade de promover mudanças comportamentais nos utilizadores em relação ao consumo energético. Em termos económicos, a poupança de energia alcançada por meio deste sistema contribui para a redução dos custos operacionais do edifício. Ao otimizar o consumo energético, evitando desperdícios e ajustando a temperatura de acordo com as necessidades reais, é possível reduzir os custos relacionados com aquecimento. Isso resulta em economias a longo prazo, que podem ser direcionadas para outros investimentos ou melhorias no edifício. A redução do consumo energético também contribui para a diminuição dos impactos ambientais associados à produção e utilização de energia. Ao reduzir as emissões de gases de efeito estufa resultantes do consumo de energia, o sistema IoT ajuda a mitigar os efeitos das mudanças climáticas e contribui para a sustentabilidade ambiental. Em termos de conforto térmico, a implementação do sistema evita variações extremas de temperatura e cria condições favoráveis para as atividades realizadas no edifício. Outro aspeto relevante é a possibilidade do sistema IoT influenciar positivamente o comportamento dos utilizadores em relação ao consumo energético. Ao fornecer informações sobre o consumo de energia, o sistema pode sensibilizar e incentivar os utilizadores a adotar práticas mais conscientes e eficientes. Essas mudanças comportamentais contribuem para uma maior sustentabilidade e uma gestão mais eficaz dos recursos energéticos.

Em suma, nos edifícios com sistemas de aquecimento menos eficientes e sem controlo automático, o consumo de energia pode ser significativo e ineficiente. Nesses casos, a instalação de dispositivos inteligentes permite um controlo automatizado da necessidade de aquecimento, evitando desperdícios de energia. Considerando ainda, que os edifícios apresentam outras áreas em que os consumos podem ser otimizados, é importante avaliar cuidadosamente as opções disponíveis, especialmente quando se trata da necessidade de renovação ou substituição de equipamentos e sistemas energéticos existentes, devido ao investimento envolvido. Nesse sentido, soluções IoT devem ser consideradas como uma opção viável a curto e médio prazo, uma vez que apresentam uma abordagem acessível a nível monetário, de rápida implementação e com intervenção pouco significativa na arquitetura dos edifícios existentes.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos colegas do Instituto Politécnico de Viseu, pelo apoio na concretização do trabalho.

DOI: <https://doi.org/10.29352/mill0213e.31404>

## CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Conceptualização, P.C.; tratamento de dados, P.C.; análise formal, P.C.; investigação, P.C.; metodologia, P.C.; programas, P.C.; validação, P.C.; redação – preparação do rascunho original, P.C.; redação - revisão e edição, P.C.

## CONFLITO DE INTERESSES

O autor declara não existir conflitos de interesses.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Castillejo, P., Martínez, J.F., López, L., Rubio, G. (2013). An Internet of Things Approach for Managing Smart Services Provided by Wearable Devices. *International Journal of Distributed Sensor Networks* 1–9. <https://doi.org/10.1155/2013/190813>.
- Correia, P. (2008). *Avaliação da contribuição de algumas medidas de substituição para a redução do consumo no sector residencial*. [Tese de mestrado não publicada. Universidade de Coimbra].
- Darby, S., Liddell, C., Hills, D., & Drabble, D. (2015). *Smart metering early learning project: synthesis report*. Department of Energy and Climate Change. <https://www.gov.uk/government/organisations/department-of-energy-climate-change>.
- Duarte, A. P., Freire, M. R., Fernandes, C. P., Sousa, E. .C, Camacho, P., Rodrigues, T. F. (2018). Segurança energética e economia do gás (Instituto da Defesa Nacional). *Revista Nação e Defesa*, 153. <http://hdl.handle.net/10400.26/32164>
- European Parliament. (2020). *Green Deal: key to a climate-neutral and sustainable EU*. <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20200618STO81513/green-deal-key-to-a-climate-neutral-and-sustainable-eu>
- European Parliament. (2023). *Energy saving: EU action to reduce energy consumption*. <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20221128STO58002/energy-saving-eu-action-to-reduce-energy-consumption>
- Félix, T.M. (2022). *IoT (Internet of Things) - Podemos confiar?* (Repositório Científico do Instituto Universitário de Lisboa) [Tese de mestrado, Iscte - Instituto Universitário de Lisboa]. <http://hdl.handle.net/10400.26/42250>
- Glória, A. F. X. (2021). Sustainable modular IoT solution for smart cities applications supported by machine learning algorithms (Repositório Científico do Instituto Universitário de Lisboa) [Dissertação de Doutoramento, Iscte - Instituto Universitário de Lisboa]. <http://hdl.handle.net/10071/23688>
- International Energy Agency – IEA. (2021). The Potential of Behavioural Interventions for Optimising Energy Use at Home. <https://www.iea.org/articles/the-potential-of-behavioural-interventions-for-optimising-energy-use-at-home>
- Leitão, J., Gil, P., Ribeiro, B. e Cardoso, A. (2020). A Survey on Home Energy Management. *IEEE*, vol. 5699-5722, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2963502. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8948036>
- Joint Research Centre, Institute for Energy and Transport, Zangheri, P., Bertoldi, P., Serrenho, T. (2016). Energy feedback systems – Evaluation of meta-studies on energy savings through feedback: Energy Efficiency Directive Articles 9-11 on feedback, billing and consumer information, Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2790/565532>
- Menezes, H. (2001). *Princípios de Gestão Financeira, 13ª Edição*. Editorial Presença.
- Verma, A., Prakash, S., Srivastava, V., Kumar, A., Mukhopadhyay, S. (2021). Sensing, Controlling, and IoT Infrastructure in Smart Building: A Review. *IEEE Sensors Journal*, vol. 19, nº. 20, pp. 9036-9046. doi: 10.1109/JSEN.2019.2922409. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8735760>