

**Desenvolvimento de sistema integrado de gestão de energia
automático para ambientes de trabalho**

Sérgio Filipe Rodrigues Ferreira

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Mecânica

Orientador: Prof. Carlos Augusto Santos Silva

Júri

Presidente: Prof. Edgar Caetano Fernandes

Supervisor: Prof. Carlos Augusto Santos Silva

Vogal: Prof. Mário António da Silva Neves Ramalho

November 2018

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos meus familiares mais próximos por todo o apoio que me têm dado ao longo da minha vida.

Gostaria também de agradecer à minha namorada, por toda a paciência e ajuda que foi facultando ao longo do tempo da dissertação.

Gostaria finalmente de agradecer a todas as pessoas que me acompanharam durante o meu percurso académico, em especial ao meu orientador Carlos Santos Silva, porque sem elas não tinha conseguido chegar aqui. A todos um Obrigado.

ABSTRACT

The objective of this project is to design, develop and implement an automated energy management system for work spaces. An Energy Management System integrates air-conditioning equipment into the same platform so that they can be remotely accessed. With this system, it's easier to maintain and supervise all the equipment, simplifying the management of the building. In this experiment, only one split unit in a small work space will be integrated. To fulfil that, an Arduino Uno will be used to remotely command the environment unit, removing the traditional infrared remote device. Using this system, positive results will come in thermal comfort, using the PMV-PPD (Predicted Mean Vote – Predicted Percentage Dissatisfied) Model, by Fanger. Also, by updating an old air-conditioning unit, better energy results will come, improving the energy efficiency.

Since Arduino it's a low budget tool, it's expected to get the same results as more expensive integrated systems. Big companies, like EDP, Siemens, Schneider and so on, have large Building Automation Systems that come with big costs. In this project, the objective is also to lower that feed and provide a simple and functional system, that can fulfil all the requirements.

Key-words: Arduino, Energy, Thermal Comfort, HVAC, Automation

RESUMO

O objetivo desta tese é conceber, desenvolver, implementar e testar um sistema automático integrado de gestão de energia em ambientes de trabalho. Um sistema integrado de gestão de energia serve para colocar os equipamentos de climatização na mesma plataforma para que sejam acedidos remotamente. Com este sistema, torna-se mais fácil a manutenção e supervisão dos equipamentos simplificando assim o trabalho de gestão dum edifício. Para esta teste, apenas se irá integrar uma unidade individual de ar condicionado para um espaço de trabalho. Para isso será usado o Arduino Uno de forma a comandar a unidade ambiente, substituindo assim o tradicional comando. Com isto, espera-se atingir os resultados de conforto térmico, usando o modelo PMV-PPD de Fanger e aumentar a eficiência energética recorrendo à modernização de um sistema antigo.

Sendo o Arduino uma ferramenta de baixo custo, é esperado atingir os mesmos resultados que sistemas idênticos e muito mais caros. Grandes empresas como a EDP, Siemens, Schneider entre outros possuem plataformas integradas de gestão que têm enormes custos não só de iniciais mais de especialização na sua utilização. Com este sistema o objetivo é baixar esses custos iniciais e providenciar um sistema simples, mas eficaz que cumpra todos os requisitos.

Palavras-chave: Arduino, Conforto Térmico, AVAC, Automação

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1.1	Contexto	1
1.1.2	Motivação	2
1.1.3	Caso de estudo.....	2
1.2	Estrutura da Dissertação	3
2	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA CLIMATIZAÇÃO DE EDIFÍCIOS	4
2.1	Eficiência energética em Edifícios	4
2.1.1	Introdução	4
2.1.2	Eficiência Energética	5
2.1.3	Políticas	6
2.1.4	Building Automation System (BAS)	9
2.2	Soluções para implementar eficiência energética na climatização de edifícios.....	10
2.2.1	NEST	10
2.2.2	RE:DY.....	10
2.2.3	Outras soluções	11
2.3	Solução proposta	12
2.3.1	Arduino	12
2.3.2	Soluções existentes baseadas em <i>Arduino</i>	13
3	CLIMATIZAÇÃO DE EDIFÍCIOS	14
3.1	Conforto térmico	14
3.1.1	Balço Energético segundo o modelo de Fanger	14
3.1.2	Área de Superfície do corpo	15
3.1.3	Taxa Metabólica.....	15
3.1.4	Coeficientes de Transmissão de Calor	16
3.1.5	Isolamento da Roupa	17
3.1.6	Parâmetros Ambientais	18
3.1.7	Condições para o Conforto Térmico	18
3.1.8	Condições não uniformes térmicas e desconforto local	20

3.1.9	Previsão do conforto térmico	20
3.2	Energia nos Edifícios	22
3.2.1	Balanço de Energia ao espaço	22
4	PROJETO DESENVOLVIDO.....	28
4.1	Introdução	28
4.2	Modelo Simplificado do Espaço	28
4.3	Lista de Material	30
4.4	Implementação da solução	32
4.4.1	Monitorização do cenário de referência.....	32
4.4.2	Implementação do sistema de controlo	32
4.4.3	Controlo autónomo de climatização.....	34
4.4.4	Monitorização do cenário de controlo automático	35
4.5	Resultados Experimentais	35
4.5.1	Temperaturas registadas sem sistema	36
4.5.2	Temperaturas registadas com sistema	37
5	CONCLUSÃO	40
6	REFERÊNCIAS.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Geração de Calor Metabólica para diferentes Atividades[17]	16
Tabela 2 - Equações para prever a sensação térmica[17].....	18
Tabela 3 - Calor das pessoas dependendo da sua atividade física [20]	26
Tabela 4 - Valores dos coeficientes gerais de calor (U)[21]	29
Tabela 5 - Cálculo das cargas do invólucro e infiltrações[20]	29
Tabela 6 - Ganhos internos de calor	30
Tabela 7 - Materiais necessários e respetivos preços	30
Tabela 8 - Tabela com as operações e respetivos códigos.....	33
Tabela 9 - Temperaturas Médias	36
Tabela 10 - Resultados Experimentais com e sem sistema.....	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Consumo Final de Energia em Portugal[1]	4
Figura 2 - Poupanças anuais totais (tep) e grau de cumprimento face à meta em 2016[3]	5
Figura 3 - Exemplo dum Certificado Energético[8]	8
Figura 4 - Termostato Nest[10]	10
Figura 5 - Exemplo dos plugs de ar condicionado [11]	11
Figura 6 - Interação Térmica entre o Corpo humano e o Ambiente[17].....	15
Figura 7 - Valores de isolamento com diferentes roupas[30]	17
Figura 8 - Zonas de conforto ASHRAE para Verão e Inverno[17]	19
Figura 9 - PPD em função do PPV[18]	22
Figura 10 - Trocas de calor [19].....	24
Figura 11 - Planta do espaço estudado	29
Figura 12 - Arduino Uno[22]	31
Figura 13 - Sensor de temperatura DHT11[24]	31
Figura 14 - Os dois sinais da clonagem do comando	34
Figura 15 - Exemplo de uma histerese	34
Figura 16 - Foto do Sistema montado.....	35
Figura 17 - Média de Temperaturas sem sistema	36
Figura 18 - Média de Temperaturas com sistema.....	37
Figura 19 - PPD em função do PMV	38
Figura 20 - Comparação dos dois sistemas	39

NOMENCLATURA

AVAC – Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado

AC – Ar Condicionado

DGEG – Direção Geral da Energia e Geologia

ONU - Organização das Nações Unidas

GEE – Gases Efeito de Estufa

TEP – Toneladas Equivalentes de Petróleo

REH – Regulamento do desempenho energético de Edifícios de Habitação

RECS – Regulamento do desempenho energético de Edifícios de comércio e Serviços

NZEB – Net Zero Energy Buildings

BAS – Building Automation System

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning

PMV – Predicted Mean Vote

PPD – Predicted Percentage of Dissatisfied

1 INTRODUÇÃO

1.1.1 Contexto

A energia final elétrica em Portugal no ano de 2016 foi cerca de 26,9% (Direção-Geral de Energia e Geologia - DGEG) e os preços de eletricidade são dos mais caros do conjunto de países da União Europeia. Portugal tem poucos recursos energéticos fósseis, i.e. petróleo, carvão, gás natural, entre outros. Por este motivo, a dependência energética do exterior é muito elevada (importações de fontes primárias fósseis), o que fez com que as energias renováveis tenham vindo a ganhar extrema importância na geração de energia elétrica, contribuindo assim para diminuir a taxa de dependência energética, que atingiu um valor de 75% em 2016(DGEG).

Em 2015, os principais líderes mundiais reuniram-se em Nova Iorque numa cimeira da ONU, com o objetivo de criar uma nova agenda para 2030. De entre as principais metas, podemos identificar a criação de um crescimento inteligente, sustentável e inclusivo. Os principais objetivos são:

1. Erradicar a pobreza;
2. Erradicar a Fome;
3. Saúde e qualidade;
4. Educação de qualidade;
5. Igualdade de género;
6. Água potável e saneamento;
7. Energias renováveis e acessíveis: aumentar a taxa de energias renováveis, eficiência energética e praticar preços acessíveis aos serviços de energia;
8. Trabalho digno e crescimento económico;
9. Indústria, inovação e infraestruturas;
10. Reduzir as desigualdades;
11. Cidades e comunidades sustentáveis;
12. Produção e consumo sustentáveis;
13. Ação climática: adotar medidas para combater as alterações climáticas e os seus impactos;
14. Proteger a vida marinha;
15. Proteger a vida terrestre;
16. Paz, justiça e instituições eficazes;
17. Parcerias para a implementação dos objetivos;

A eficiência energética tem ganho grande destaque devido a novas diretivas, para baixar o consumo de combustíveis fósseis na energia primária. O principal objetivo é reduzir a quantidade de energia necessária para se obter os mesmos níveis de satisfação. Alguns dos principais motivos para se tornar mais eficiente são:

- Redução dos custos financeiros
- Redução da emissão de gases de efeito de estufa

- Redução da energia final proveniente de combustíveis fósseis

Para se atingir os objetivos anteriores, é necessário realizar uma auditoria energética, que consiste numa análise detalhada do consumo de energia de determinado sistema, instalação, edifício, ou campus, identificando espaço, tempo e modo de uso da energia. Só assim é possível elaborar uma solução para melhorar a eficiência (alteração de material, alteração de processo, alteração de comportamento). As fases para uma auditoria energética são as seguintes:

1. Preparação e planeamento
2. Inspeção do local
3. Trabalho no campo
4. Análise de dados
5. Relatório
6. Plano de Ação

O sector dos edifícios, responsável pelo consumo de 40% da energia final, é um dos sectores onde a eficiência energética poderá ter um maior impacto. Assim, esta tese centrar-se-á na implementação de eficiência energética em edifícios.

1.1.2 Motivação

Vivemos numa altura em que a tecnologia está presente no nosso quotidiano. Deste modo, surgiu o interesse em utilizar estas ferramentas para promover melhorias no consumo energético, sem perder conforto. Aliando o interesse económico à vontade de aprender, surgiu a motivação para um estudo na área da eficiência energética da climatização e da automação. Uma das ferramentas tecnológicas a serem utilizadas é o “*Arduino*”, que é um projeto de software e hardware em “*open-source*”, em que são usadas ferramentas de baixo custo e de fácil utilização.

Além da tecnologia, a área de climatização, nomeadamente AVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado) tem grande motivo de interesse. Devido aos elevados custos que as empresas praticam nesta área para garantir o conforto térmico dos trabalhadores, nada melhor que uma solução de baixo custo e fácil implementação, para ter uma maior eficiência energética, sem que haja perda de conforto.

1.1.3 Caso de estudo

Os sistemas de climatização podem ser caracterizados em função do espaço a climatizar, sendo eles:

- Centralizados
- Modulares
- Individuais

Esta dissertação foca-se nos sistemas de climatização individuais, que são compostos por equipamentos que servem apenas para uma zona específica do edifício. Estes equipamentos são conhecidos como unidades “*split*” e são usados tanto em edifícios de escritórios, como em edifícios residenciais. Para que seja possível

controlar os equipamentos, tem que existir um comando que comunica via infravermelhos com a unidade de forma a determinar o modo de operação (aquecimento/arrefecimento), a temperatura de conforto e a potência de ventilação.

Portanto, o caso de estudo destina-se a pequenas divisões que contêm uma unidade individual de ventilação, funcionando através de infravermelhos.

1.2 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação em quatro principais capítulos, sendo eles:

1. Introdução, onde é apresentada uma explicação do contexto e objetivos da dissertação;
2. Eficiência Energética na climatização de edifícios, onde é analisada a evolução da tecnologia nos edifícios e apresentação da solução a analisar;
3. Climatização de Edifícios, onde são explicadas as condições necessárias para o conforto térmico, assim como os métodos de cálculo das cargas térmicas dos espaços a climatizar;
4. Projeto Desenvolvido, onde é descrito o projeto desenvolvido onde foram abordadas as dificuldades e soluções desenvolvidas;
5. Conclusão, onde é apresentado um resumo final do trabalho feito, sendo explicado os resultados obtidos e sugestões de melhoria.

2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA CLIMATIZAÇÃO DE EDIFÍCIOS

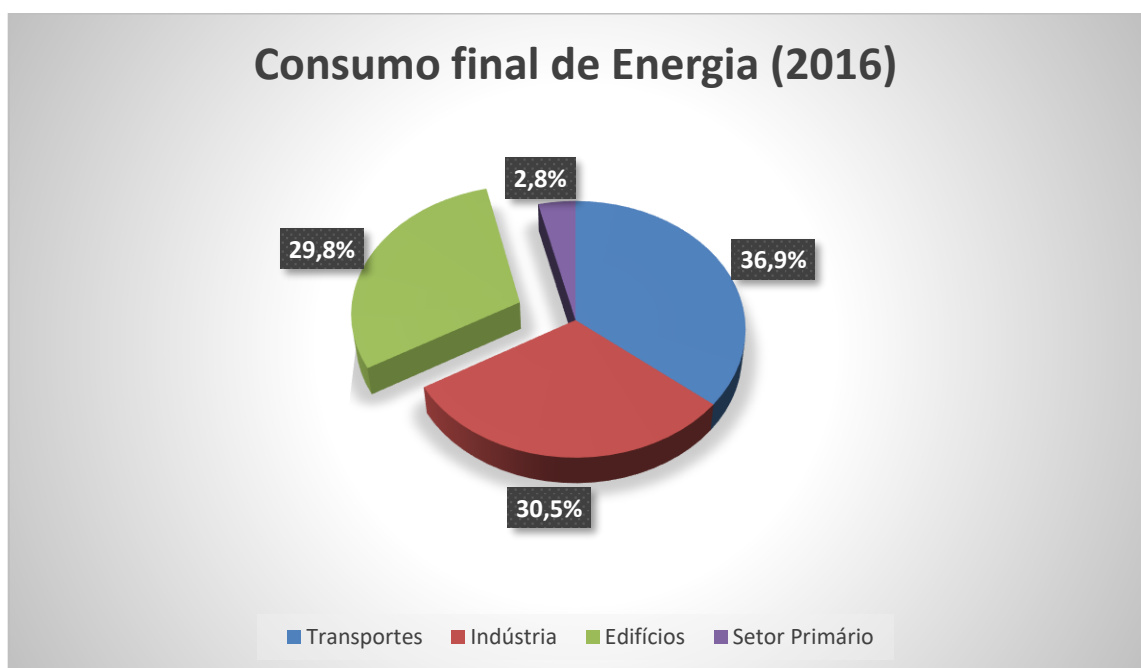
2.1 Eficiência energética em Edifícios

2.1.1 Introdução

Ao longo da história os edifícios têm sofrido grandes alterações, não só do ponto de vista estrutural, mas também do ponto de vista tecnológico. O aumento da tecnologia levou a um aumento do consumo de energia final. Mas, devido às novas políticas energéticas, o paradigma do conforto alterou-se para uma nova perspetiva, mais eficiente. Se antigamente, o conforto dos utilizadores era a maior preocupação na construção de um edifício, hoje em dia, a eficiência energética, os impactos ambientais e impactos económicos têm também grande importância.

A Fonte: DGEG

Figura 1 mostra o consumo final de energia em Portugal no ano de 2016. É possível visualizar que o setor de Edifícios é responsável por 29,8% do consumo de energia, o que demonstra que há espaço para melhorar nesta área.



Fonte: DGEG

Figura 1 - Consumo Final de Energia em Portugal[1]

2.1.2 Eficiência Energética

“A eficiência energética é a otimização que realizamos no consumo de energia”[2]

A eficiência energética tem vindo a ganhar maior destaque nos últimos anos, em particular na europa, como consequência das políticas públicas específicas implementadas neste setor. Ela tem como objetivo diminuir a energia para providenciar bens e serviços, sem haver perda de conforto. Para melhorar o uso da energia usam-se novas tecnologias, mais eficientes, e desenvolvem-se novos métodos para diminuição das perdas e melhorar os processos de geração.

Adotar métodos que promovam a eficiência energética traz grandes vantagens a vários níveis:

- Nível Financeiro, por via a redução dos consumos de energia e da consequente fatura;
- Nível Ambiental, por via da redução da emissão de Gases de Efeito de Estufa (GEE)

As implementações dos novos planos de ação contribuíram para o aumento das poupanças energéticas em Portugal. Até ao final de 2013 acumularam-se 940153 tep em energia final, atingindo 63% de cumprimento do grau de poupança final, estabelecido em 2016[3]. Na Figura 2 é possível reparar que Portugal todos os anos tem aumentado as suas poupanças, aproximando-se cada vez mais da meta final.

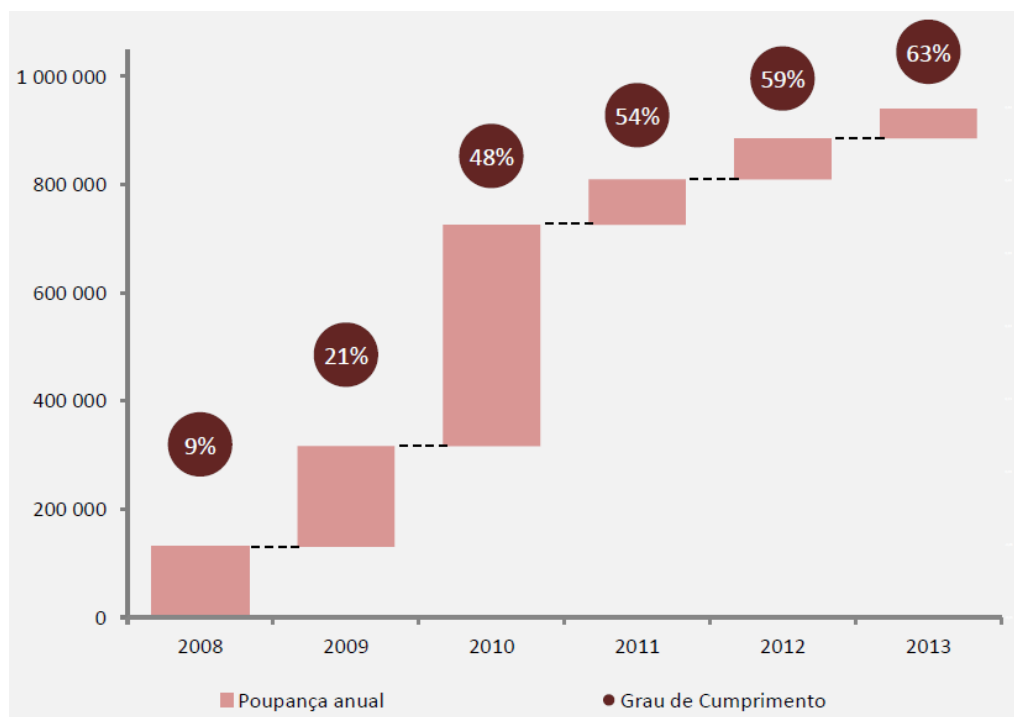


Figura 2 - Poupanças anuais totais (tep) e grau de cumprimento face à meta em 2016[3]

Até 2020, Portugal tem o objetivo de reduzir o consumo de energia primária para 24Mtep, uma redução de cerca de 20%. Mas, estando Portugal a atingir muito bons resultados, essa meta foi aumentada para 25%. Para reduzir o consumo esperam-se poupanças nas seguintes áreas:

- Comportamentos
- Agricultura
- Estado
- Transportes Indústria
- Residencial e Serviços

É notória a aposta que Portugal tem vindo a fazer neste domínio e já estão a aparecer resultados positivos. É importante continuar a trabalhar para melhorar, pois a eficiência energética e as energias renováveis são duas grandes fundações de uma política de energia sustentável.

2.1.3 Políticas

O setor dos Edifícios tem um grande peso no consumo da energia final. Embora o valor seja elevado, pode ser reduzido adotando medidas mais energeticamente mais eficientes, reduzindo assim não só o consumo, como também as emissões de CO₂ para a atmosfera.

Devido a este paradigma, vários programas foram criados. O programa “*Energy in Buildings and Communities*”, criado em 1977 pela Agência Internacional de Energia, tem como grande objetivo melhorar a eficiência energética dos edifícios, investindo na investigação e desenvolvimento e promovendo a criação de projetos colaborativos entre os 22 países membros [4].

Hoje em dia verifica-se no meio de comunicação que há uma clara aposta na eficiência energética por parte de grandes empresas em Portugal como Siemens, EDP, Schneider, Navigator, Galp, entre outras. Estas empresas têm apostado na melhoria do uso das energias e redução dos desperdícios. Grande parte deste esforço deve-se ao cumprimento de metas de novos planos nacionais, mas é importante que as empresas também tenham esta visão de forma independente pois é possível ter ganhos elevados a nível financeiro. Este novo paradigma das empresas é, em grande parte, motivado pelos novos regulamentos que têm vindo a surgir. Eles são cada vez mais exigentes, obrigando assim as empresas a novos métodos, para conseguir cumprir as exigências.

2.1.3.1 Regulamento do Desempenho Energéticos dos Edifícios de Habitação (REH) e Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS)

Estes regulamentos foram criados para assegurar e promover requisitos mínimos para o desempenho dos energéticos dos edifícios[5].

Na última década assistiu-se a um crescimento na procura de sistemas de climatização em Portugal (edifícios de habitação e de serviços), não só dos mais simples, mas também dos mais complexos. Devido a este

aumento o consumo de energia no setor dos edifícios aumentou significativamente em cerca de 12% ao ano [6]. Nos edifícios de serviços, o regulamento serve para reduzir os consumos energéticos dos novos/reabilitados edifícios e tem quatro objetivos principais:

1. Definir condições de higiene e conforto térmico nos vários espaços dos edifícios.
2. Melhorar a eficiência energética dos edifícios para todos os consumos de energia neles presentes (limitar potência máxima a instalar num edifício).
3. Impor regras de eficiência para melhorar o seu desempenho e garantir meios para a sua manutenção.
4. Monitorizar as práticas de manutenção dos sistemas de climatização (eficiência energética e qualidade de ar interior).

2.1.3.2 Net/Nearly Zero Energy Buildings (NZEB)

Os NZEB, em português- edifícios com necessidades energéticas quase nulas, têm como objetivo gerarem toda (ou quase toda) a energia que consomem por energias sustentáveis. Eles foram ganhando força devido à diretiva da União Europeia de 2010, onde foi indicado que a partir de 31 de dezembro de 2018 todos os edifícios públicos teriam que ter necessidades energéticas nulas; para os restantes edifícios novos, só a partir de 31 de dezembro de 2020 é que a norma irá entrar em vigor.

Estes edifícios têm que ser muito eficientes, pois só assim conseguem assegurar toda a geração de forma sustentável. Existem duas fases para se conseguir chegar às necessidades quase nulas. Numa primeira fase, é necessário analisar as necessidades energéticas do edifício e proceder à sua redução. Para isso, usam-se sistemas eficientes de iluminação e climatização, materiais de construção de qualidade que asseguram bons isolamentos. Na segunda fase, e após a conclusão da primeira, faz-se a geração de energia, podendo ser “*on-site*” (no local) ou “*off-site*” (fora do local).

A energia tem de ser gerada a partir de fontes renováveis. No edifício podem ser instalados painéis fotovoltaicos para produção de eletricidade, coletores solares para aquecimento da água, ou turbinas eólicas de menor dimensão, ou ainda utilização de biomassa para aquecimento de águas e climatização. Fora do local, é possível montar uma central de energia de fontes renováveis, ficando esta opção se não existirem condições necessárias no local (falta de luz, falta de espaço, entre outros).

Os NZEB têm grandes vantagens:

- Mais conforto térmico e visual;
- Acesso a energia independente das variações do preço de mercado;
- Menores custos de energia;
- Menor risco de “*Blackout*” da rede;
- Cumprimento das diretivas governamentais;

Ainda assim, apresentam também algumas desvantagens:

- Custos iniciais do projeto mais elevados;
- Necessidade de mão-de-obra mais específica e experiente;
- Não é possível instalar tecnologias renováveis em todos os edifícios;
- No caso de não haver armazenamento, não reduz a capacidade da rede, pois na altura do pico é possível que seja necessário pedir energia à rede e, portanto, a rede terá que ter a mesma capacidade.

2.1.3.3 Certificados Energéticos

O certificado tem como objetivo conhecer os desempenhos energéticos dos edifícios e os seus requisitos térmicos e é de responsabilidade dos proprietários. O Sistema de Certificação Energética surge como política energética para fazer crescer a eficiência energética e o uso de energias renováveis[7].

Na Figura 3 está um exemplo dum certificado energético dum edifício de serviços. Como se consegue ver o certificado tem um sistema de 8 categorias (de A+ a F). Um certificado energético só pode ser feito por um técnico qualificado e para cada edifício novo/reabilitado é necessária uma categoria mínima de B-. No caso de edifícios de serviços, se não for atingida essa categoria, é necessário implementar as medidas necessárias para atingir essa classificação.

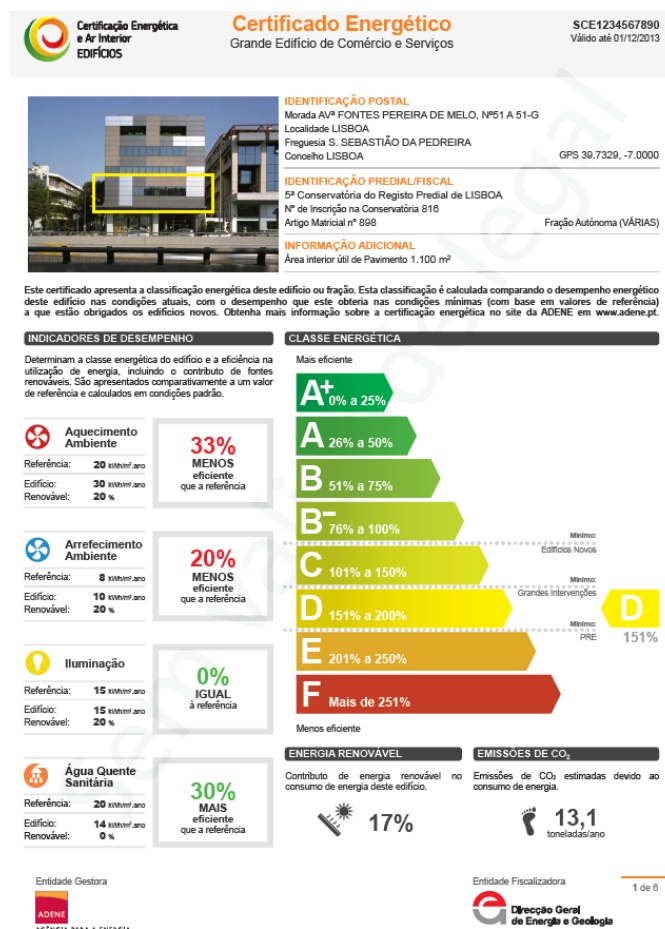


Figura 3 -Exemplo dum Certificado Energético[8]

2.1.4 Building Automation System (BAS)

Edifícios inteligentes são edifícios que providenciam serviços de forma a ajudar os ocupantes a tornarem-se mais produtivos, com menor impacto ambiental e os menores custos possíveis. Estes edifícios usam tecnologia para integrarem entre os vários subsistemas que usualmente trabalham de forma independente. Embora independentes, os sistemas podem trocar informações entre si e os operadores de forma a otimizar o desempenho total. O sistema instalado de controlo e monitorização do edifício é conhecido por “*Building Automation System*” (BAS) e controla os seguintes subsistemas:

- Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC);
- Iluminação;
- Segurança;
- Incêndio.

2.1.4.1 Vantagens dos BAS

Os BAS têm inúmeras vantagens para todos. Entre elas, podem destacar-se:

1. Poupanças de energia, pois permitem a monitorização da energia, melhorar o controlo dos equipamentos diminuindo, no final, a energia consumida pelo edifício;
2. Impacte ambiental, pois permitem usar os recursos de uma maneira mais eficiente, o desperdício será menor, diminuindo assim a quantidade de gases efeito de estufa que vão para a atmosfera;
3. Melhorar a segurança, pois estes sistemas também podem melhorar a segurança das pessoas, através de detetores de incêndio e de câmaras de vigilância;
4. Manutenção dos edifícios, pois através da monitorização e ligação dos subsistemas é possível diagnosticar problemas operacionais de forma mais rápida;
5. Logística, pois com acesso à internet, é possível aceder ao estado do edifício mesmo sem estar presente e quando for necessário, diminuindo os custos de deslocações.

2.1.4.2 Desvantagens dos BAS

Conforme mencionado acima, os edifícios inteligentes trazem grandes melhorias ao nível da eficiência energética. No entanto, também poderão ser enumeradas algumas desvantagens:

1. Investimento inicial elevado, pois os custos para montagem do sistema inicial exigem mão-de-obra e equipamentos com custos mais elevados;
2. Manutenção mais cara e com maior qualificação, pois os operadores da manutenção têm que ter formação mais avançada, porque a falha do sistema pode levar a uma grande perda de produção;
3. Limite tecnológico, pois a tecnologia pode não ser suficiente para o objetivo pretendido;
4. Limite económico – algumas instalações não necessitam do investimento;

2.2 Soluções para implementar eficiência energética na climatização de edifícios

Existem várias soluções disponíveis para edifícios inteligentes. Várias empresas têm no seu portfólio equipas totalmente dedicadas a gestão de edifícios, onde são responsáveis pela configuração e manutenção dos equipamentos, em particular na área para os equipamentos de AVAC, para os quais várias opções para controlo automático.

2.2.1 NEST

A “Nest Labs” é uma empresa especializada em automação para lares, tendo o termostato (Figura 4) como principal produto [9]. O objetivo do termostato é manter a temperatura de conforto constante e gastar a menor energia possível.



Figura 4 - Termostato Nest[10]

2.2.2 RE:DY

Em Portugal a EDP Comercial lançou um produto com o nome de Re:dy. Este produto tem várias funcionalidades como monitorização, controlo, automatização e otimização da energia. Na monitorização, o produto analisa os consumos de energia. No controlo, é possível comandar remotamente diversos equipamentos, tais como unidades de ar condicionado, caldeiras, entre outros. Na automatização, programam-se os equipamentos de uma forma mais eficiente, como por exemplo comandar equipamentos com base em horários de funcionamento, ou em horários de preços menores de eletricidade. Na otimização, é possível analisar a potência máxima usada e, através disso, utilizar o plano de eletricidade que melhor se adapte.

Esta programação funciona com base numa aplicação ligada a uma smartbox, onde são ligados periféricos que comunicam através do protocolo ZigBee. Esses periféricos são responsáveis por controlar os equipamentos da residência: Unidades “split”, Caldeiras, Termoacumuladores, iluminação, entre outros. Os periféricos podem ser “plugs” (tomadas), autómatos ou “switchs”.



Figura 5 - Exemplo dos plugs de ar condicionado [11]

Na Figura 5 visualizam-se os “*plugs*” (tomadas) que controlam o ar condicionado de forma automática, usando para isso o sensor infravermelho (na Figura 5 está representado com a cor encarnada). Para controlar o ar condicionado é necessário colocar o dispositivo numa tomada e direcionar o infravermelho para o recetor da unidade individual de ar condicionado. Embora a ideia seja interessante e tenha algum impacto final do consumo, os preços dos equipamentos e a mensalidade associada fazem com que seja demasiado dispendioso o investimento e que o *payback* seja muito elevado.

2.2.3 Outras soluções

Existem outras empresas que têm soluções semelhantes: A Siemens tem uma divisão responsável pela gestão de edifícios chamada de “Building Technologies”. Esta divisão tem soluções energéticas de controlo e eficiência para edifícios. Para isso, usam autómatos cujo objetivo é controlar vários equipamentos presentes numa instalação, seja ela um edifício grande, ou uma casa particular. Esses autómatos contêm entradas e saídas de 2 tipos: analógicas ou digitais. Estas são responsáveis por receber estados, alarmes, temperaturas, entre outras informações e enviar sinais de comando, quer sejam para bombas, UTAs, unidades “split” ou qualquer outro tipo de equipamento semelhante, controlando assim os equipamentos da forma mais eficiente.

Empresas como Sauter, Johnson controls, Honeywell e Schneider também tem soluções idênticas às da Siemens, mas todas com a mesma desvantagem – o elevado preço. Em instalações de grande dimensão, o preço é compensado pelas poupanças ganhas num prazo futuro relativamente curto e cumprem as leis associadas aos edifícios. Contudo para residências ou pequenos edifícios de escritórios como o caso de estudo desta dissertação, as soluções apresentadas não são sustentáveis do ponto de vista financeiro.

2.3 Solução proposta

2.3.1 Arduino

O *Arduino* nasceu no norte de Itália, no Instituto de Interação e Design de Ivrea (IDII). O projeto é uma plataforma de prototipagem “*open-source*”, baseada em *hardware* e *software* de fácil utilização, destinada a estudantes sem conhecimentos em programação e eletrónica. As placas são capazes de ler entradas (*INPUTS*) e dar uma resposta de saída (*OUTPUTS*), através de instruções ao microcontrolador presente na placa. A linguagem de programação do *Arduino* é baseada em *Wiring*¹, que é similar ao C/C++ e o *software*, baseado em *Processing*², chama-se IDE[12].

Tem como principais vantagens:

1. Diversidade de plataformas – é possível correr em MAC, Linux e Windows;
2. Fácil utilização – o *software* do *Arduino* é “*ready-to-use*”, facilitando o trabalho aos iniciantes, mas flexível o suficiente para utilizadores avançados;
3. Componentes auxiliares – existem grande variedade de componentes que podem ser comprados e montados no sistema;
4. Open-Source – tanto o *hardware* como o *software* são “*open-source*”, o que faz com que cada utilizador os possa moldar ao seu gosto;
5. Muitos exemplos – o *software* do *Arduino* inclui uma série de exemplos para facilitar a aprendizagem;
6. Grande Comunidade – na internet há muita informação sobre, existindo muitos fóruns e sites com projetos desenvolvidos por várias pessoas, quer sejam estudantes, professores, engenheiros, entre outros, o que facilita a troca de ideias e potencia a criatividade;
7. Preço – relativamente opções de automação para edifícios, o *Arduino* pode ser considerada uma alternativa mais barata e com resultados similares.

Mas também tem as suas desvantagens:

1. Preço – embora para alguns projetos seja uma alternativa mais barata, há momentos em que é necessário gastar dinheiro em vários acessórios para se atingir o objetivo final;
2. Flexibilidade da linguagem de programação – não é possível programar noutras linguagens, o que pode trazer algumas dificuldades;
3. Fraca potência– se for necessário escrever softwares complexos ou protocolos, o *Arduino* não é a melhor solução;

¹ <http://wiring.org.co/>

² <https://processing.org/>

2.3.2 Soluções existentes baseadas em *Arduino*

Existem muitas soluções de menores custos e eficientes utilizando o *Arduino*. Através das entradas, é possível analisar diversas variáveis relativas à utilização do edifício: temperatura, humidade, qualidade do ar, ocupação, luminosidade. Os dados registados nas entradas, servem para controlar vários equipamentos nos edifícios, como por exemplo: ar condicionado, iluminação e segurança. O controlo dos vários equipamentos é feito de maneira automática e eficiente, com o objetivo de gastar a menor energia, havendo também a possibilidade de analisar a situação remotamente.

Alguns projetos que é possível fazer usando o *Arduino* são:

- Estação meteorológica[13]
- Iluminação automática[14]
- Poupança de energia em iluminação[15]
- Controlo de equipamentos de AVAC[16].

As empresas que fornecem este tipo de soluções, como a Siemens, Sauter, etc. têm uma política fechada, não disponibilizando a programação dos autómatos para o exterior. Ao existirem problemas mais complexos ou a necessidade de alterações, é sempre preciso pedir assistência a técnicos mais qualificados. Mesmo quando existam alterações de pouca complexidade, esta só é possível de fazer com os programas fechados das empresas, sendo assim necessária a chamada de assistência à empresa responsável.

Com o *Arduino* é possível criar um sistema integrado de gestão de energia, agregando os vários equipamentos presentes no Edifício. Ao integrar os vários equipamentos numa só plataforma, será mais fácil de identificar e resolver os problemas, facilitando o trabalho da manutenção e reduzindo o número de horas a tentar entender o problema.

Também é possível comandar os equipamentos remotamente, garantindo assim maior satisfação dos utilizadores e melhorando a eficiência energética reduzindo assim as horas de funcionamento dos equipamentos. Ao colocar os horários de funcionamento também é possível criar exceções para que estes equipamentos não funcionem durante os fins de semana, assim como feriados.

Um sistema integrado de gestão, moderniza um edifícios melhora o funcionamento dos equipamentos, tanto na manutenção como na sua base de trabalho.

3 CLIMATIZAÇÃO DE EDIFÍCIOS

3.1 Conforto térmico

Segundo a norma 55 da ASHRAE, o conforto térmico é o estado mental que expressa a satisfação térmica com o ambiente.

Esta definição acentua que o conforto térmico é um processo cognitivo que envolve muitos parâmetros que são influenciados pelos estados físico, fisiológico e psicológico. Quanto a temperatura do corpo está numa gama satisfatória, a pele com baixa humidade e pouco esforço físico, podemos dizer que foi atingido o conforto térmico. A condição de conforto térmico é independente das condições de vida, clima e cultura.

As atividades metabólicas alteram muito a geração de calor que tem que ser dissipado e regulado. Se isto não acontecer, podem levar-se a casos de hipertermia, ou hipotermia, que causam desconforto e dor e, em circunstâncias extremas, pode levar à morte. Uma pessoa sedentária tem a temperatura da pele entre os 33 e os 34°C (zona de conforto) que diminui com a atividade física, contrariamente às temperaturas internas que aumentam com a atividade. O corpo humano é uma máquina muito poderosa que tem grandes mecanismos de regulação da temperatura (hipotálamo é o grande mecanismo controlador) e, se estiverem a 100%, são importantes para a saúde e conforto.

3.1.1 Balanço Energético segundo o modelo de Fanger

A equação (1) descreve a interação entre o corpo humano e o ambiente em redor:

$$M - W = q_{sk} + q_{res} + S \quad (1)$$

onde $M - W$ é a diferença entre os fluxos metabólico e de trabalho mecânico, q_{sk} o fluxo de calor perdido pela pele, q_{res} o fluxo de calor perdido pela respiração e S é o fluxo de calor guardado e as unidades são em W/m^2 .

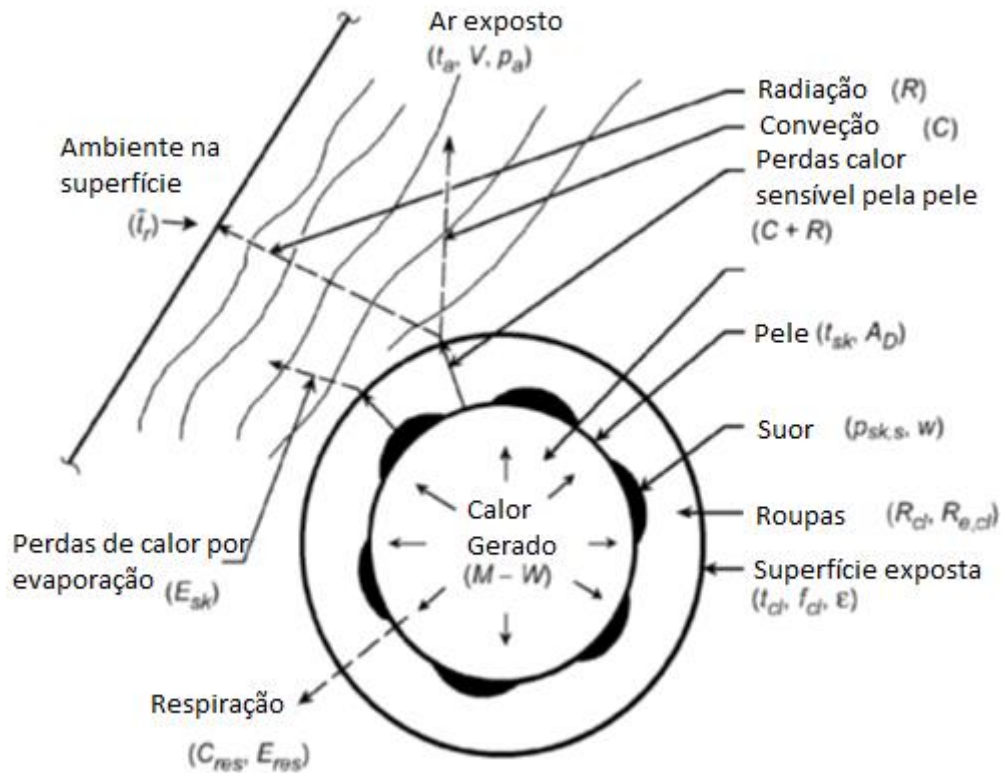


Figura 6 - Interação Térmica entre o Corpo humano e o Ambiente [17]

A Figura 6 representa o balanço de energia entre o corpo e o ambiente. Verifica-se que a dissipação de calor para a vizinhança pode ocorrer por duas formas: calor sensível (pele e respiração) e calor latente (evaporação do suor, evaporação da humidade da respiração e evaporação da humidade proveniente da pele). O calor sensível da pele pode ser uma complexa mistura de condução, convecção e radiação para uma pessoa vestida, enquanto para uma pessoa sem roupa, uma mistura de convecção com radiação. Para efeitos de simplificação igualamos o fluxo de trabalho mecânico a zero ($W = 0$). Esta simplificação resulta do facto de o trabalho mecânico ser muito pequeno quando comparado com o metabólico, e as estimativas para o seu cálculo não são precisas, pelo que é uma boa aproximação no dimensionamento de unidades AVAC.

3.1.2 Área de Superfície do corpo

A equação (1) é expressa em W/m^2 , onde os m^2 referem-se à área de superfície de um corpo nu. A unidade para medir a superfície mais usada, foi proposta por DuBois em 1916 é descrita na equação (2).

$$A_D = 0.202m^{0.425}l^{0.725} \quad (2)$$

Onde A_D é a área de DuBois (m^2), m a massa (kg) e l o comprimento(m).

3.1.3 Taxa Metabólica

A unidade que quantifica a taxa metabólica por Área de DuBois é conhecida por met. Para uma pessoa sedentária esse valor é igual a 1 met que corresponde a $52,1 W/m^2$. Este valor depende muito do nível de atividade da pessoa, por isso se estiver a correr o valor não é o mesmo se estiver parado. Na Tabela 1

origem da referência não foi encontrada. podem ser observados os vários valores de geração de calor metabólica para diferentes tipos de atividades.

Actividades	W/m ²	met
Descansar:		
• Dormir	40	0,7
• Sentado, quieto	60	1,0
• Sentado, relaxado	70	1,2
Caminhar:		
• 3.2km/h	115	2
• 4.3km/h	150	2,6
• 6.4km/h	220	3,8
Atividades no Escritório:		
• Ler, sentado	55	1
• Escrever	60	1
• Teclar	65	1,1
• Apresentar, sentado	70	1,2
• Apresentar, em pé	80	1,4
• Caminhar	100	1,7
• Arrumar	120	2,1

Tabela 1 - Geração de Calor Metabólica para diferentes Atividades[17]

3.1.4 Coeficientes de Transmissão de Calor

Para resolver a equação do balanço de energia entre o corpo e o ambiente em redor são necessários os coeficientes de transmissão de calor por convecção, por radiação e por ebulição.

$$h_r = 4\varepsilon\sigma \frac{A_r}{A_D} \left[273.2 + \frac{t_{cl} + \bar{t}_r}{2} \right]^3 \quad (3)$$

$$h_{cc} = h_c (p_t/101.33)^{0.55} \quad (4)$$

$$h_{ec} = h_e(101.33/p_t)^{0.45} \quad (5)$$

As equações (3), (4) e (5) correspondem respetivamente aos coeficientes de transmissão de calor por convecção, radiação e evaporação. Na equação (3), ε corresponde à emissividade média das roupas ou da superfície do corpo (adimensional), σ corresponde à constante de Stefan-Boltzmann ($W/(m^2.K)$), A_r é a área de corpo de radiação efetiva (m^2), t_{cl} é a temperatura da superfície da roupa (K) e \bar{t}_r a temperatura média radiante. Na equação (4), h_{cc} é o coeficiente de transferência de calor por convecção corrigido ($W/m^2.K$) e p_t é a pressão atmosférica local (kPa). Na equação (5), h_{ec} é o coeficiente de transferência de calor por ebulição corrigido ($W/(m^2.kPa)$).

3.1.5 Isolamento da Roupa

A roupa também é muito importante para o conforto térmico, pois influencia as perdas de calor e altera o balanço de energia do corpo humano com o ambiente em redor. Então, a roupa vai funcionar como um isolamento térmico e tanto pode ajudar a aquecer como levar a um sobreaquecimento.

O valor do isolamento da roupa (I_{cl}) é expresso em unidades clo, e 1 clo corresponde a $0.155m^2K/W$. Como o seu cálculo é complexo e varia muito de situação para situação, foram feitas tabelas para facilitar com precisão a rondar a casa dos 20%. Na Figura 7 podem ser vistos alguns desses valores.

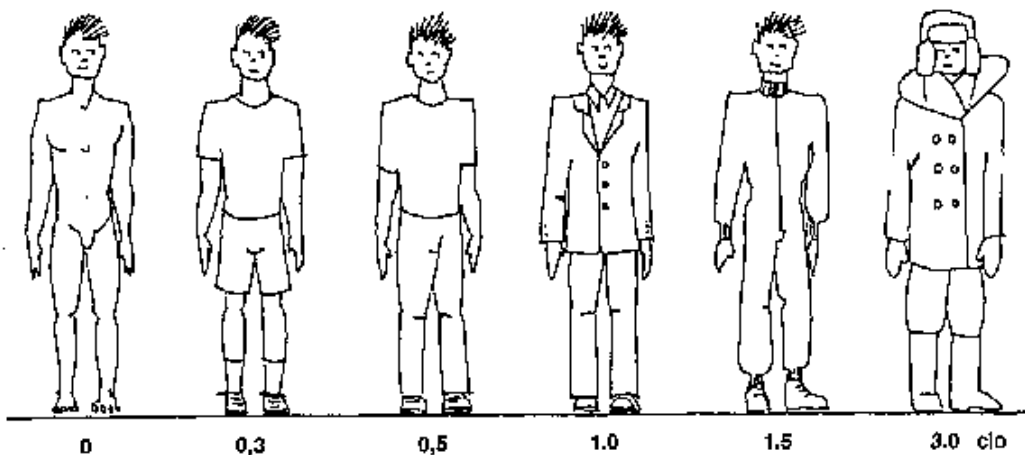


Figura 7 - Valores de isolamento com diferentes roupas[30]

3.1.6 Parâmetros Ambientais

Existem dois tipos de parâmetros ambientais, aqueles que podem ser medidos diretamente e aqueles que têm de ser calculados a partir de outras medidas. Os parâmetros que são medidos diretamente são psicrométricos e são usados para descrever o ambiente térmico.

- Medidos diretamente:
 1. Temperatura do ar
 2. Temperatura de bolbo húmido
 3. Temperatura no ponto de orvalho
 4. Pressão do vapor de água
 5. Pressão atmosférica
 6. Humidade relativa
 7. Humidade específica
 8. Velocidade do ar
- Calculados:
 1. Temperatura média radiante

A temperatura média radiante mede a temperatura uniforme de um invólucro imaginário que troca a mesma transferência de calor radiativa com o corpo humano relativamente ao invólucro atual. Ela combina medidas da temperatura global, temperatura do ar e velocidade do ar para ser estimada.

3.1.7 Condições para o Conforto Térmico

Existem outros fatores que podem ser contabilizados, conhecidos por fatores secundários e têm efeito no conforto térmico. Estes fatores podem ser: não uniformidade do ambiente, estímulos visuais, idade, sexo, clima exterior, entre outros. Rohles and Nevins (1971) and Rohles (1973) realizaram estudos em estudantes e fizeram correlações entre nível de conforto, temperatura, humidade, sexo e tempo de exposição. Essas correlações podem ser observadas na Tabela 2.

Período de exposição (h)	Sujeitos	Equações de regressão: t – Temperatura em bolbo seco (°C) p – Pressão do vapor (kPa)
1	Homem	$Y = 0.220 t + 0.233 p - 5.673$
	Mulher	$Y = 0.272 t + 0.248 p - 7.245$
	Ambos	$Y = 0.245 t + 0.248 p - 6.475$
2	Homem	$Y = 0.221 t + 0.270 p - 6.024$
	Mulher	$Y = 0.283 t + 0.210 p - 7.694$
	Ambos	$Y = 0.252 t + 0.240 p - 6.859$
3	Homem	$Y = 0.212 t + 0.293 p - 5.949$
	Mulher	$Y = 0.275 t + 0.255 p - 8.622$
	Ambos	$Y = 0.243 t + 0.278 p - 6.802$

Tabela 2 - Equações para prever a sensação térmica[17]

A partir das correlações chegou-se a uma escala, conhecida como “Escala de Sensação Térmica ASHRAE”:

+3	Hot
+2	Warm
+1	Slightly Warm
0	Neutral
-1	Slightly Cool
-2	Cool
-3	Cold

A partir disto, a ASHRAE Standard 55 especificou zonas de conforto para o Verão e para o Inverno para um isolamento de roupa entre 0.5 e 0.9 clo e 80% das pessoas sedentárias. Na Figura 8 pode ser observado as zonas de conforto num gráfico psicrométrico.

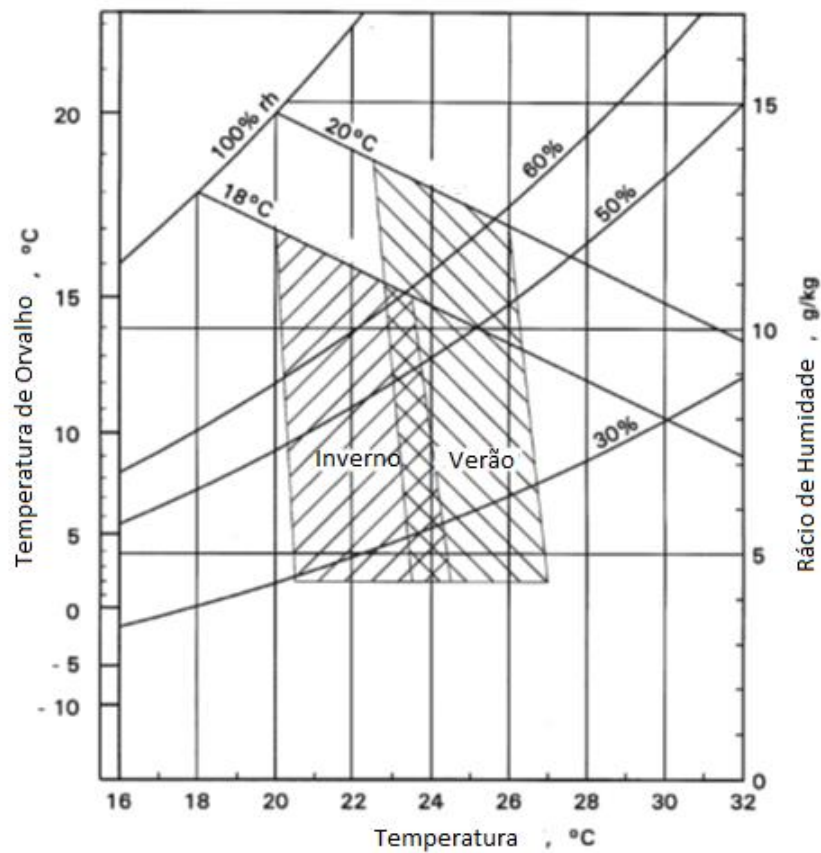


Figura 8 - Zonas de conforto ASHRAE para Verão e Inverno[17]

3.1.8 Condições não uniformes térmicas e desconforto local

Embora as zonas apresentadas na Figura 8 representem as condições de conforto térmico para a generalidade das pessoas, é possível que uma pessoa que esteja nessas condições e não se sinta confortável. Esta sensação de desconforto pode ser devido a desconformidades em diferentes zonas do corpo, como por exemplo, pés muito frios ou cabeça muito quente (cria uma desconformidade), ou provocada através de uma corrente de ar. O standard ASHRAE Standard 55 tem uma aceitação de 90% se o ambiente térmico estiver em condições uniformes. Se houver alguma perturbação nessa uniformidade o nível de aceitação baixa para 10%, não atingindo o nível de 80% proposto pelo standard. Felizmente as causas de desconforto podem ser quantificadas e previsíveis:

1. Radiação térmica assimétrica, que pode ser provocado por uma janela fria, parede não isolada, produtos frios, entre outros;
2. Correntes de ar, visto que as correntes de ar são causadas pelo movimento do ar são uma das principais causas de desconforto.
3. Diferença de temperaturas na vertical, pois se o gradiente de temperatura for muito elevado entre a temperatura do chão e do teto, pode ocorrer desconforto.
4. Chão quente ou frio, pois devido ao contacto dos pés com o chão e caso este esteja muito quente ou muito frio, é provável que ocorra desconforto local.

3.1.9 Previsão do conforto térmico

Existem muitas maneiras de prever o conforto térmico, algumas delas foram mencionadas acima, sendo as mais rigorosas fornecidas pelos modelos do “PMV-PPD” e do “two-nodes” (dois nós).

3.1.9.1 Balanço de Energia no regime estacionário

Em 1982, Fanger relacionou a informação de conforto e a informação fisiológica, chegando a uma única equação conhecida como a equação de conforto térmico. Esta equação é o resultado de um balanço de energia entre o metabolismo/trabalho e a dissipação de calor que gera uma sensação neutra. Esta equação assume que todo o suor é evaporado, o que elimina o fator de eficiência de permeabilidade da roupa (i_{cl}). A equação (6) representa o balanço de energia:

$$\begin{aligned} M - W = & 3.96 \times 10^{-8} f_{cl} [(T_{cl} + 273)^4 - (\bar{T}_r + 273)^4] + f_{cl} h_c (T_{cl} - T_a) \\ & + 3.05 [5.73 - 0.007(M - W) - P_a] + 0.42 [(M - W) - 58.15] \\ & + 0.0173M(5.87 - P_a) + 0.0014M(34 - T_a) \end{aligned} \quad (6)$$

Os diferentes parâmetros da equação podem ser calculados da seguinte forma (ISO7730):

$$T_{cl} = 35.7 - 0.028(M - W) - I_{cl}\{3.96 \times 10^{-8}f_{cl}[(T_{cl} + 273)^4 - (\bar{T}_r + 273)^4] + f_{cl}h_c(T_{cl} - T_a)\} \quad (7)$$

$$h_c = \begin{cases} 2.38|T_{cl} - T_a|, & 2.38|T_{cl} - T_a| > 12.1\sqrt{v} \\ 12.1\sqrt{v}, & 2.38|T_{cl} - T_a|^{0.25} < 12.1\sqrt{v} \end{cases} \quad (8)$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1 + 1.29I_{cl}, & I_{cl} \leq 0.078m^2K/W \\ 1.05 + 0.1I_{cl}, & I_{cl} > 0.078m^2K/W \end{cases} \quad (9)$$

P_a é pressão do vapor de água no ambiente em kPa, f_{cl} é o fator de área da roupa (não dimensional), T_a é a temperatura ambiente em graus, M é XXXXXX 3 Tr é....

3.1.9.2 Predicted Mean Vote – PMV (ASHRAE)

O “PMV” prevê o valor médio dos votos de um grupo grande de pessoas baseado na escala de sensação térmica AHRAE. A equação (10) calcula esse valor:

$$PMV = [0.303e^{-0.036M} + 0.028]L \quad (10)$$

L é a diferença entre os termos da esquerda e da direita da equação (6) que representa o balanço da energia no regime estacionário.

3.1.9.3 Predicted Percent Dissatisfied – PPD (ASHRAE e ISSO 7730)

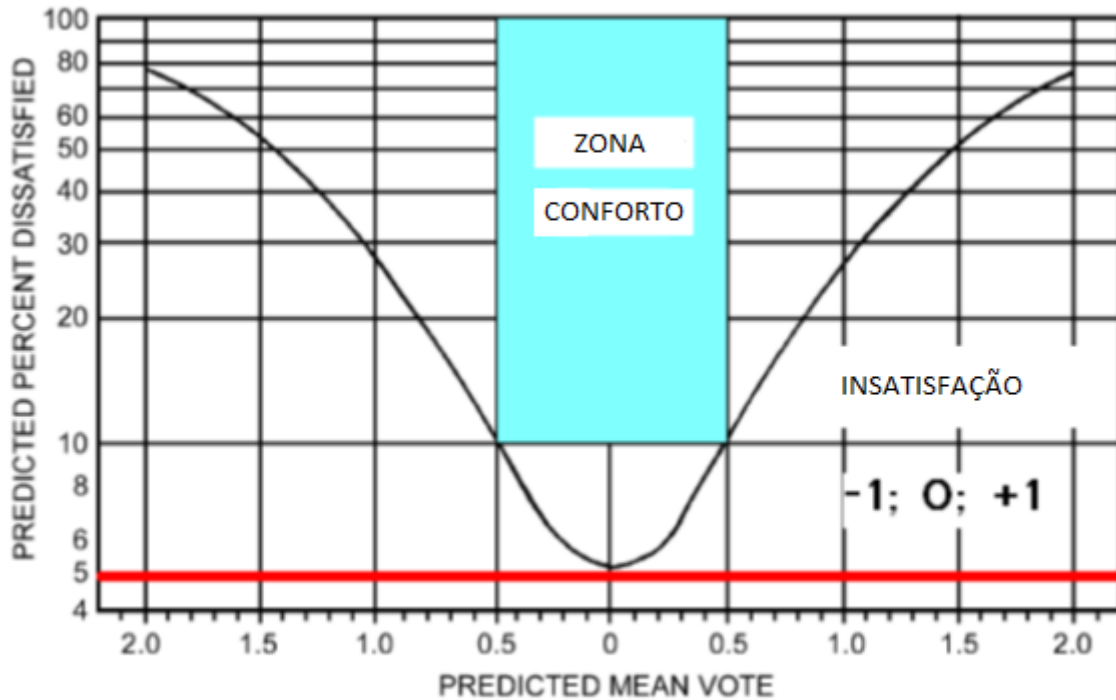
A insatisfação descreve as pessoas que não votaram -1, 0, ou +1 e que mesmo que o PMV seja igual a zero, 5% das pessoas do grupo estarão sempre insatisfeitas. Isto significa que num grande grupo, nunca é possível agradar a toda as pessoas.

Calculando o PMV, Fanger relacionou o PPD com o PMV numa equação. A equação (11) mostra o resultado final:

$$PPD = 100 - 95\exp(-[0.03353PMV^4 + 0.2179PMV^2]) \quad (11)$$

O modelo PMV-PPD é muito usado e tem grande nível de aceitação para análises de dimensionamento para condições de conforto térmico, sobretudo para espaços climatizados com sistemas de AVAC onde não exista ventilação natural. Na Figura 9 é possível visualizar o resultado da equação (11) e a zona de conforto térmico.

PREVISÃO DE CONFORTO TÉRMICO



Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD) Function of Predicted Mean Vote (PMV)

Figura 9 - PPD em função do PMV[18]

3.2 Energia nos Edifícios

3.2.1 Balanço de Energia ao espaço

A primeira lei da termodinâmica diz que a energia total de um sistema é igual à variação da energia interna. Por sua vez, essa variação de energia é igual ao calor fornecido menos o trabalho realizado pela vizinhança:

$$\Delta U = Q - W \quad (12)$$

Por convecção, admite-se que o trabalho é negativo porque sai do sistema o calor é positivo porque entra no sistema.

3.2.1.1 Sistema Fechado

Para um sistema fechado esta equação pode ser descrita como:

$$mC_v\Delta T = Q_{in} - Q_{out} + Q_{internos} \quad (13)$$

onde $mC_v\Delta T$ corresponde à variação de energia interna, $Q_{in} - Q_{out}$ é o calor que entra menos o que sai e $Q_{internos}$ é o calor libertado pelos ocupantes e pelos equipamentos.

3.2.1.2 Sistema Aberto

Para um sistema aberto, onde há ventilação ou infiltrações de ar, tem-se:

$$Q - W = \sum m_{out}h_{out} - \sum m_{in}h_{in} = mC_p\Delta T \quad (14)$$

3.2.1.3 Cargas Térmicas de Edifícios não Residenciais

Fazendo um balanço de energia ao sistema, é possível ver que há entradas e saídas de energia. Existem ganhos por transferência de calor (Condução, Convecção e Radiação), ganhos internos através de equipamentos elétricos, como computadores (geração de calor no processador por exemplo), e iluminação (Radiação e Convecção); e ainda a ganhos internos devido à taxa metabólica dos ocupantes (Radiação, convecção e calor latente pelo suor). Podem existir também ganhos solares (direta nos dias de Sol e difusa nos dias nublados) e ventilação que pode ser natural ou forçada.

3.2.1.4 Modelo Simplificado

No modelo simplificado considera-se uma sala com volume finito V , paredes com o coeficiente geral de calor U , que inclui a resistência térmica dos materiais, a espessura e os coeficientes de convecção; e ganhos internos de calor. A equação (15) representa o modelo simplificado

$$mC_p\Delta T = Q_{internos} + Q_{envolvente} \quad (15)$$

Onde $Q_{internos}$ são os ganhos internos e $Q_{envolvente}$ são as trocas de calor pela envolvente do sistema, ou seja, paredes, janelas e teto.

Na Figura 10 vêem-se as possíveis trocas de calor do Sistema com o exterior.

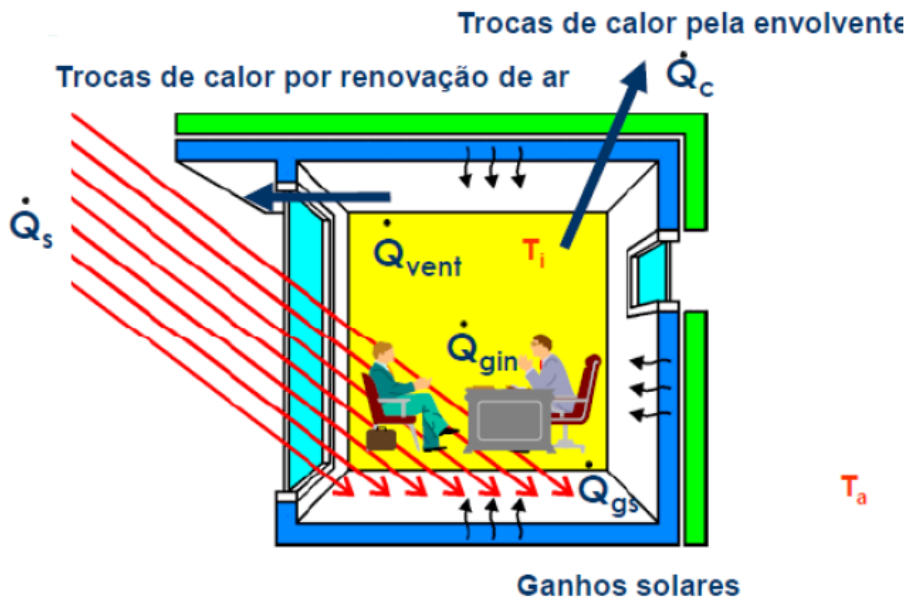


Figura 10 - Trocas de calor [19]

As trocas de calor pela envolvente são calculadas pelo coeficiente global de transmissão de calor de cada parede multiplicado pela área da superfície mais o caudal de ar da ventilação multiplicado pelo volume do espaço.

$$Q_{\text{invólucro}} = HDD \times \left(\sum U_{\text{superfície } i} \times A_{\text{superfície } i} + \dot{m}_{\text{fugas}} \times V \right) \quad (16)$$

HDD são os Graus Dias de Aquecimento (ou “*Heating Degree Days*” em inglês) que correspondem a uma medida da procura da energia necessária para aquecer um edifício baseada na temperatura do ar exterior.

Os ganhos internos, em Wh, são devido à ocupação, equipamentos, iluminação e calor de gerado de fora.

3.2.1.4.1 Edifícios não residenciais

Para um determinado espaço ou zona num edifício, existem 4 variações do fluxo de calor. Estas variações podem ser por ganhos de calor do espaço, cargas de refrigeração do espaço, taxa de extração de calor e carga de refrigeração da serpentina (coil).

Os ganhos de calor no Espaço podem ser por:

1. Radiação Solar através de superfícies transparentes
2. Condução de Calor
3. Calor Gerado por ocupação, equipamentos ou iluminação
4. Energia transferida da extração ou insuflação do ar exterior
5. Diversos

As cargas de refrigeração que correspondem à taxa na qual o calor tem que ser removido para manter a temperatura constante são diferentes da taxa de calor no espaço devido a efeitos de inércia térmica. A taxa de extração de calor é igual à carga de refrigeração do espaço se a temperatura for constante. Para se calcular a taxa de calor removida da serpentina faz-se um somatório entre todas as cargas de refrigeração instantâneas pela serpentina e todas as cargas exteriores.

Com a informação disponível é possível proceder-se ao dimensionamento do sistema de climatização. As condições de dimensionamento são:

- Características do Edifício (tipo de materiais)
- Configuração (Orientação)
- Condições externas (dados da temperatura)
- Condições interiores (temperatura interior, taxa de ventilação)
- Horários (ocupação, rotinas)
- Datas e horas

3.2.1.4.2 Cargas pelas Pessoas

As pessoas, dependendo do seu nível de atividade física, geram energia sob a forma de calor. Estes ganhos de calor constituem uma grande parte da carga total. Na Tabela 3 observam-se o calor sensível e latente de uma pessoa consoante o nível de atividade.

Grau de atividade		Calor Total, W		Calor Sensível, W	Calor Latente, W
		Adulto do sexo Masculino	Ajustado M/F		
Sentado no espetáculo	Sala de espetáculos, dia	115	95	65	30
Sentado no espetáculo, noite	Sala de espetáculos, noite	115	105	70	35
Sentado, trabalho leve	Escritórios, apartamentos, hotéis	130	115	70	45
Actividade moderada de escritório	Escritórios, apartamentos, hotéis	140	130	75	55
Trabalho leve em pé	Loja de retalho	160	130	75	55
Caminhar	Banco, Loja de conveniência	160	145	75	70
Trabalho sedentário	Restaurante	145	160	80	80

Tabela 3 - Calor das pessoas dependendo da sua atividade física [20]

3.2.1.4.3 Cargas pela Iluminação

As lâmpadas presentes nos edifícios são responsáveis por iluminar os espaços quando a luz solar não é suficiente. Como os equipamentos estão presentes em grande quantidade, os seus ganhos são muito importantes e torna-se necessária considerar os ganhos resultantes da sua utilização.

$$q_{el} = WF_{ul}F_{sa} \quad (17)$$

A equação (17) demonstra os ganhos instantâneos de calor em Watt proveniente da iluminação, onde W representa a potência de todas as lâmpadas, e o F representam fatores referentes à iluminação.

3.2.1.4.4 Cargas pelos Equipamentos

Para estimar as cargas é necessário analisar todos os equipamentos, sejam eles elétricos, a gás, ou a vapor. Para tal devem-se analisar os seus horários de funcionamento e potências (a informação da potência do equipamento encontra-se no manual de utilizador).

Nesta categoria consideramos todos os equipamentos de diversas fontes de utilização, quer sejam equipamentos de escritório, equipamentos de hospitais ou laboratórios, entre outros. No caso de escritórios são consideradas impressoras, computadores, ecrãs e outros quaisquer equipamentos que estejam em funcionamento.

3.2.1.4.5 Cargas pelas Superfícies Interiores

Quando o espaço a estudar está rodeado de vários espaços a diferentes temperaturas ocorrem transferências de calor através do meio físico que os separa. O tipo de transferência de calor é por condução e é representado por:

$$q = UA(T_b - T_i) \quad (18)$$

Onde T_b é a temperatura do espaço adjacente e T_i a temperatura do espaço a climatizar.

Para os cálculos não se considera em geral o chão, a menos que exista um espaço ventilado ou um espaço adjacente climatizado.

3.2.1.4.6 Ganhos por Infiltração e Ventilação

Os espaços condicionados têm que ter um mínimo de ar exterior introduzido por pessoa e as infiltrações consideram-se através de janelas e portas.

$$q = 1.2Q\Delta t \quad (19)$$

$$Q = ACH \times V \times 1000/3600 \quad (20)$$

As equações (19) e (20) representam os ganhos térmicos através das infiltrações. ACH (All changes per hour) corresponde às taxas de troca de calor com o exterior e V o volume do espaço a analisar e é em geral representado como uma percentagem do volume total.

Para escritórios, o ASHRAE tem um nível recomendado de 10L/s por pessoa que corresponde a 36m³/h[20].

4 PROJETO DESENVOLVIDO

4.1 Introdução

Após análise de vários artigos e sistemas desenvolvidos por outras empresas, chegou-se à conclusão que a melhor ideia para implementar o objetivo desta dissertação seria criar um equipamento que possibilitasse controlar o Ar Condicionado de forma independente. De forma a ser uma solução de baixo custo, então optou-se pela utilização do *Arduino* como autómato de controlo da climatização de uma pequena divisão de um edifício de escritórios.

O *Arduino* possibilita a leitura da temperatura do espaço e ordem de comando para a unidade de climatização, para que a temperatura se mantenha dentro de um determinado intervalo de temperaturas. A leitura é feita através dum sensor de temperatura e o comando feito por um LED de infravermelhos que habilita ou desabilita o funcionamento da unidade de climatização. Para que a temperatura se mantenha dentro dos limites pretendidos, existem dois *setpoints* de controlo do sistema: um para aquecimento (p.e. 22°C) e outro para arrefecimento (p.e. 26°C), no seguimento das condições indicadas pelo Standard ASHRAE 55. Através destes parâmetros, a climatização do espaço estará dentro dos limites pretendidos e haverá poupança energética para que a unidade não esteja sempre com ordem de funcionamento.

No projeto decidiu-se integrar uma unidade de climatização antiga, de forma a mostrar a possibilidade de melhoramento e modernização de sistemas antigos. Trata-se então de uma unidade antiga e sem os funcionamentos mais recentes dos ares condicionado atuais com sistemas de automatização de processos. Para resolução decidiu-se então apenas optar por uma ordem de ligar e desligar, com o *setpoint* já definido. Por isso, o ar condicionado colocou-se no modo automático para ele próprio fazer a gestão do seu funcionamento. Para não tornar o sistema complexo e o tornar mais eficiente, não se optou por estar a colocar um controlo por cima do controlo já existente da própria máquina. Assim o ar condicionado trabalhava de forma independente, apenas sendo configurado o seu início e final de funcionamento.

4.2 Modelo Simplificado do Espaço

O espaço a climatizar é um gabinete de escritório com material comum deste tipo de edifícios e com apenas ocupado por um único indivíduo (Figura 11). A zona é climatizada por uma unidade *split*, própria para pequenas divisões. Para os cálculos necessários foi necessário fazer uma sistematização dos materiais e equipamentos presentes. A janela está virada para Sudoeste, ganhando uma grande carga térmica por energia solar.

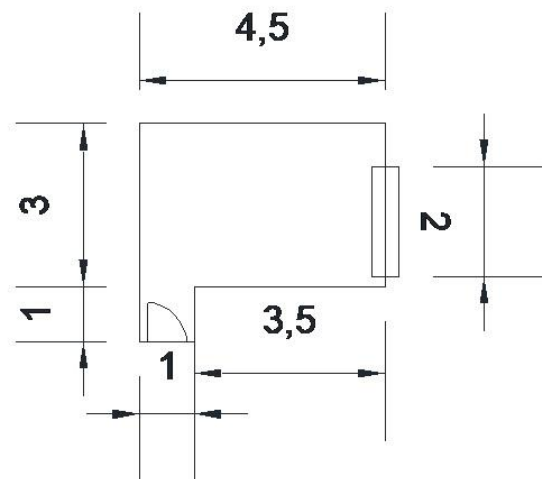


Figura 11 - Planta do espaço estudado

Na Figura 11 é possível visualizar a planta do caso de estudo. A figura está representada em 2D, pelo que é importante informar que a altura do espaço tem 2,5 metros, fator esse que tem importância para o cálculo das áreas das paredes em redor e do volume de infiltração. A janela representada é quadrada pelo que a sua altura é de 2m. Para o cálculo foi utilizada a Equação (14), onde foram se consultar dados às tabelas do ASHRAE. Na Tabela 4 estão representados os valores dos coeficientes gerais de calor. Estes valores são necessários para cálculo das cargas térmicas.

Material	Janela Simples	Janela Vidro Duplo	Parede em Tijolo	Parede em Tijolo Duplo com Cavidade de Ar	Chão de cimento	Chão de madeira	Teto
U (W/m ² .K)	5.7	2.7	3.6	1.7	0.4	0.8	0.2

Tabela 4 - Valores dos coeficientes gerais de calor (U)[21]

Fonte	Área (m ²)	U (W/(m.k))	Q _x
Teto	14,5	0,2	2,9
Chão	14,5	0,8	11,6
Janela	4	2,7	10,8
Parede 1	10	1,7	17
Parede 2	11,25	1,7	19,125
Parede 3	3,5	1,7	5,95
Parede 4	8,75	1,7	14,875
Parede 5	2,5	1,7	4,25
Parede 6	2,5	1,7	4,25
Infiltrações			32,9
Total			123,6

Tabela 5 - Cálculo das cargas do invólucro e infiltrações[20]

Na Tabela 5 observam-se os dados das cargas térmicas do invólucro da divisão a estudar. Os materiais considerados foram: tijolo duplo com cavidade de ar para as paredes, madeira para o chão e vidro duplo para a janela. Através da multiplicação da área pelo coeficiente geral de calor, conseguem-se arranjar os valores das cargas para cada uma das fontes. Na Tabela 6 já estão representados os dados para os valores das cargas internas geradas por 1 pessoa a trabalhar e os equipamentos normais de uma divisão de um edifício de escritórios.

Tipo	Cargas internas (W)
1 pessoa	70
1 computador	55
Monitor	70
Impressora	215
Lâmpadas	60

Tabela 6 - Ganhos internos de calor

Somando todas as parcelas e assumindo um valor de 9 para os “Degree Days”, o valor final calculado é de 1,6kW. Sendo o coeficiente de desempenho (COP) o rácio entre a energia térmica e a energia elétrica, o valor da energia elétrica será de aproximadamente 450W (com um COP de 3,5). O COP escolhido foi de 3,5, pois a unidade split tem uma classe energética B.

4.3 Lista de Material

Para a realização deste projeto foi necessário proceder à compra de diversos materiais. Face aos produtos semelhantes no mercado, escolher as alternativas economicamente mais viáveis foi tarefa a ter em conta e de extrema importância, pois ao escolher equipamentos mais baratos, mas de pior qualidade, não ia beneficiar o resultado final do projeto.

Material	Preço (€)
Arduíno Uno	23,75
Sensor DHT 11	7,87
LED infravermelho	0,4
Recetor infravermelho	1,08
Diversos	5
Total	38,1

Tabela 7 - Materiais necessários e respetivos preços

Na Tabela 7 estão representados os materiais necessários para a solução apresentada, assim como os respectivos preços. Com apenas 38 € é possível fazer um projeto simples, mas eficaz no que é necessário. Aumentar a complexidade do projeto vai trazer novos custos associados que, face ao objetivo proposto, não irão alterar a finalidade da solução apresentada.

O “Arduino Uno” foi escolhido por ser uma boa ferramenta de iniciação e por ser bastante flexível, sendo dos mais usados e documentados. O “Arduino Uno” é composto por 14 pinos digitais (entradas/saídas), 6 pinos analógicos, um cristal de quartzo de 16MHz, uma conexão USB e pode ser alimentado tanto por AC como DC[22]. Na Figura 12 está representado o aspeto do equipamento, onde se visualiza as entradas e saídas, assim como a entrada USB e a alimentação. O “Arduino” possui também saídas de alimentação de fase (5V ou 3.3V) e neutro (GND) que podem ser usados para alimentar sensores ou diferentes tipos de equipamentos.



Figura 12 - Arduino Uno[22]

O sensor de temperatura escolhido foi o DHT11[23]. A razão pela qual se utilizou este sensor foi a sua qualidade/preço. Com este equipamento foi possível ter uma boa aproximação da temperatura, apenas gastando 6,89€.

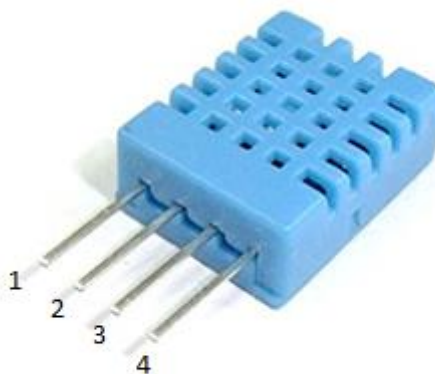


Figura 13 - Sensor de temperatura DHT11[24]

Como se pode visualizar na Figura 13, o sensor de temperatura DHT11 é composto pelo seu corpo azul e por 4 pinos que servem para: alimentação e envio de dados para o “*Arduino*”. Através da folha técnica do sensor, foi possível perceber como seriam feitas as ligações elétricas. Na Figura 13 estão representados os 4 pinos que o sensor de temperatura e humidade possui: No 1º pino é feita a ligação da alimentação de 5V que o “*Arduino*” tem; No 2º pino é feita a ligação para o envio de dados do sensor para a placa do “*Arduino*”; No 3º pino, segundo a folha técnica, não vai ter ligação; No 4º pino é feita a ligação neutra do “*Arduino*” que é designada por “GND”[25].

Este sensor funciona da seguinte forma: consoante a temperatura que se encontra no espaço, gera-se um sinal entre 0-5V onde 0V corresponde a uma temperatura de 0°C e 5V corresponde a uma temperatura de 50°C. Esta temperatura é dada por uma reta linear cujos limites são entre 0 a 5V e 0 a 50°C. O sensor tem um erro de aproximadamente 2°C, mas como essa diferença não é significativa a nível de conforto, conclui-se que o sensor corresponde aos requisitos do projeto.

Os restantes materiais foram equipamentos mais generalizados que usualmente todos os projetos necessitam para funcionarem. Os equipamentos incluem LED de cor vermelha, verde e azul, LED infravermelho, fios para efetuar ligações, resistências, “breadboard”, entre outras coisas diversas e de baixo custo.

4.4 Implementação da solução

4.4.1 Monitorização do cenário de referência

O objetivo do projeto passava por colocar a temperatura dentro da zona de conforto que, devido a ser verão, passou para um intervalo superior (até 26°C).

Numa primeira fase, foram registados dados da temperatura do espaço durante uma semana, sem o sistema em funcionamento. Esta ação permitiu comparar a temperatura dos dois casos, com e sem sistema. Para o registo dos dados, foi utilizado um sensor de temperatura e humidade, tal e qual como o colocado no “*Arduino*”, com a diferença deste sensor estar ligado à internet, registando os dados numa plataforma on-line que os disponibilizava para visualização e monitorização. O nome da plataforma é “EnergyOT – Energy of things”, sendo também uma marca de dispositivos de medição remota que importa os dados para a conta registada no site[26].

4.4.2 Implementação do sistema de controlo

Concluída a primeira parte, passou-se então para a segunda parte do projeto – controlar a unidade remotamente. Nesta fase, o objetivo passou por controlar o ar condicionado através do LED infravermelho. Para o resultado pretendido foi necessário “clonar” o comando remoto da unidade “split”. Visto tratar-se de uma unidade de ar condicionado antiga, este foi o processo encontrado mais interessante.

Através de uma biblioteca do “Arduino”, foi possível retirar o código do comando da unidade de ar-condicionado[27]. Esta parte do projeto revelou-se bastante simples, pois a quantidade de informação disponível era extensa.

Com o programa a correr, apenas foi necessário apontar o comando para o recetor infravermelho e carregar nos botões cujas funções eram precisas. Os botões do comando pressionados encontram-se indicados na Tabela 8. Com os respetivos códigos arranjados, foi necessário colocar a linha completa no programa que se ia efetuar.

Verifica-se que para cada código, existe um conjunto de 307 caracteres. Com os respetivos códigos arranjados, foi necessário colocar a linha completa no programa que se ia efetuar.

Comando pretendido:	Código:
Ligar para aquecer	Raw: (307) 3428, 1692, 452, 396, 452, ...
Ligar para arrefecer	Raw: (307) 3444, 1676, 456, 420, 420, ...
Desligar	Raw: (307) 3428, 1692, 428, 424, 448, ...

Tabela 8 - Tabela com as operações e respetivos códigos

O “Arduino Uno” contém uma memória SRAM de apenas 2k “bytes”. Ao guardar as variáveis na memória, o programa impedia a compilação e, por sua vez, o download, impossibilitando a programação na placa. Foi encontrada uma solução alternativa onde, em vez de guardar as variáveis na memória SRAM, era transferida para a memória “flash”. O “Arduino” já tem por defeito uma biblioteca que resolve a situação, sendo apenas necessário colocar “#include <avr/pgmspace.h>” no início da programação [28].

Para guardar a variável na memória “flash” basta declarar a variável do tipo “const dataType variableName[] PROGMEM = {...};”. Com esta solução, a variável ficou guardada numa memória independente, aumentando assim a disponível para a programação feita. Esta solução diminuiu custos do projeto, pois a alternativa seria arranjar um “Arduino Mega” que contém mais memória, mas também tem um preço superior.

Embora esta solução tenha resolvido o problema da memória, outro problema resultou desta implementação. Ao guardar as variáveis na memória “flash”, o sinal de emissão do LED infravermelho deixou de funcionar e o ar condicionado deixou de funcionar remotamente. No osciloscópio foram medidos os sinais para análise da situação, e verificou-se que os dois sinais eram diferentes. Na Figura 14 é possível reparar que os dois sinais têm comprimentos de onda diferentes.

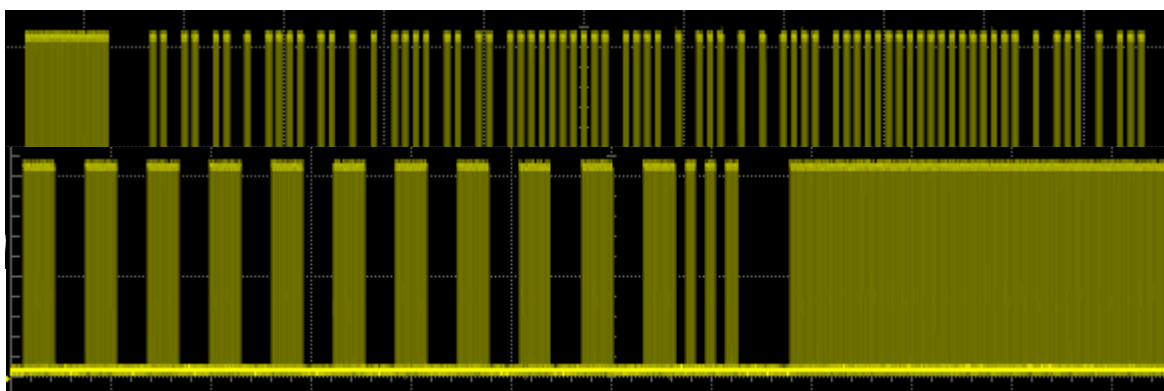


Figura 14 - Os dois sinais da clonagem do comando

Após estudo para resolver a situação, foi então encontrada uma nova solução que bastava colocar um código extra na programação já efetuada. Com isto, já foi possível enviar o sinal do comando clonado e controlar a unidade de uma forma remota [29].

O Ar Condicionado passou a funcionar remotamente e sempre de uma forma clara e precisa, sendo apenas necessário apontar o LED infravermelho para o recetor da unidade a controlar.

4.4.3 Controlo autónomo de climatização

Com a unidade a ser controlada remotamente, procedeu-se ao objetivo de controlar a unidade de climatização individual dentro de uma gama de temperaturas pretendida. Pelo facto de estarmos na estação de verão, subiu-se a gama de temperaturas para o intervalo compreendido entre os 22°C e os 26°C. Esta situação serviu para diminuir o choque térmico, causado pelas elevadas temperaturas que se fazem sentir nos meses de verão e, com isto, baixar o consumo da eletricidade derivado do funcionamento do sistema. O código consistia em enviar um comando para ligar, no modo de aquecimento, quando a temperatura fosse inferior aos 22°C, um comando para desligar quando a temperatura estivesse dentro do intervalo pretendido e um comando para ligar, no modo de arrefecimento, quando a temperatura fosse superior a 26°C.

Inicialmente, o sistema estava sempre a comandar o Ar Condicionado para ligar e desligar, entrando assim num ciclo interminável. Foram necessários fazer alguns ajustes, nomeadamente criar um controlo com histerese. Esse controlo tem como objetivo filtrar o sinal de saída, retardando assim a ação que impedia que o Ar Condicionado estivesse sempre num ciclo de ligar/desligar. A histerese fazia que aos 26°C, altura em que era dado o comando para arrefecer, a ordem para ligar era dada, sendo que apenas quando a temperatura chegasse aos 22°C é que era dado o comando para desligar. A unidade apenas voltava a funcionar quando a temperatura de 26°C fosse novamente ultrapassada. Na Figura 15 está ilustrado o funcionamento deste tipo de controlo.

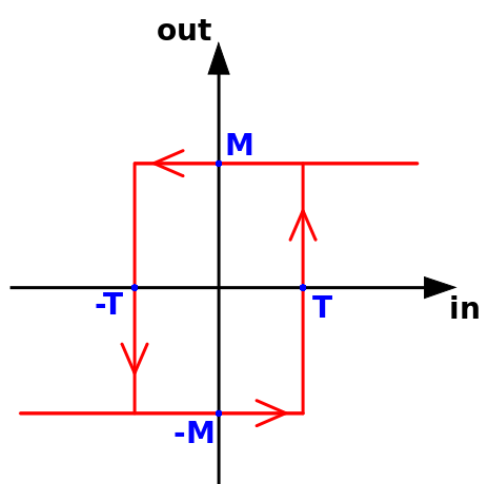


Figura 15 - Exemplo de uma histerese

4.4.4 Monitorização do cenário de controlo automático

Com a programação feita, foi então altura de efetuar as ligações do sistema para controlar a climatização do espaço escolhido. Usando a ajuda do sensor de temperatura da “EnergyOT”, foram registados todos os valores de temperatura do espaço depois da implementação do sistema. Este método serviu para registar, on-line, todos os dados de temperatura do espaço e comparar o o conforto térmico do espaço, com e sem sistema o sistema a funcionar. Para os dados serem guardados, apenas foi necessária uma ligação à internet via “wireless”. Na Figura 16 é possível ver o tipo de sistema utilizado e as ligações efetuadas. Está representado o “Arduino Uno”, o sensor de temperatura DHT11 e os LEDs usados: 1 para o infravermelho e os outros 3 para a escala de temperaturas.

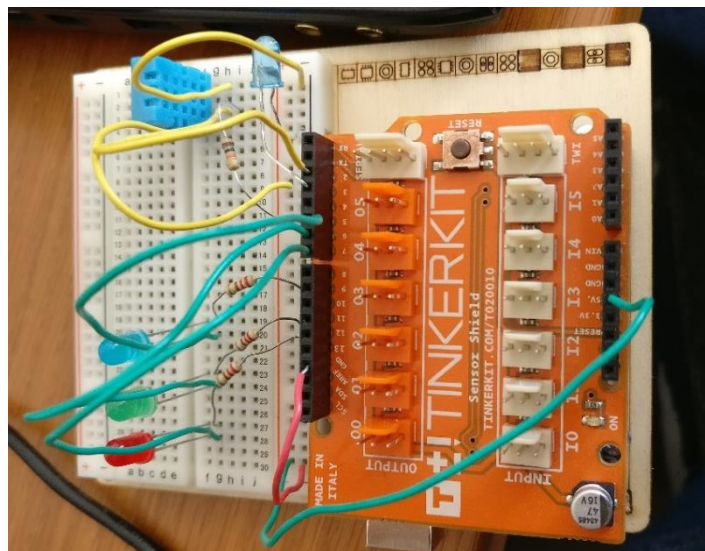


Figura 16 - Foto do Sistema montado

4.5 Resultados Experimentais

Com o sistema a funcionar e os valores a serem registados, iniciaram-se os testes necessários para obter os resultados pretendidos. O horário de análise dos valores foi entre as 9h e as 20h, com uma paragem de 1h para almoço (horário normal dum edifício de escritórios). O protótipo foi colocado numa zona central do espaço, estando o LED infravermelho apontado na direção do ar condicionado. Para que as temperaturas de controlo e monitorização fossem o mais corretas possível, colocou-se o sensor numa zona central ficando assim com uma melhor perceção da temperatura do espaço.

Como em Portugal as condições de humidade estão em geral dentro do intervalo indicado no standard ASHARE 55, o conforto térmico é apenas avaliado com base nas medições de temperatura.

As datas dos testes com e sem sistema não foram coincidentes, pelo que a temperatura exterior teve um grande impacto nas temperaturas apresentadas nas salas. Para melhor validação dos dados foi-se buscar os valores das temperaturas médias durante os dias dos testes. Na Tabela 9 é possível verificar as temperaturas nos

dias dos testes. Verificou-se que com sistema o ar condicionado teve um comportamento positivo, pois para esses dias, as temperaturas médias foram superiores.

	Sem Sistema	Com Sistema
Dia 1	21	22
Dia 2	19	25
Dia 3	20	21
Dia 4	21	21
Dia 5	21	21
Média	20,4	22

Tabela 9 - Temperaturas Médias

4.5.1 Temperaturas registadas sem sistema

Foram registados os dados e criados gráficos de exposição dos dados na altura do verão. Devido à orientação solar do espaço, notou-se que a temperatura começou a subir entre as 9h e as 18h, sendo que, fora deste período a temperatura foi diminuindo. Por norma, as horas onde se registaram maiores valores de temperatura foram perto do meio dia, mas, devido à orientação solar, o espaço apenas apanhava sol durante o período da tarde. Verificam-se os valores mais altos da temperatura no princípio do final de tarde. É possível verificar que durante os meses de Verão, as temperaturas médias por hora atingiram valores muito elevados, aproximando-se dos 29°C.

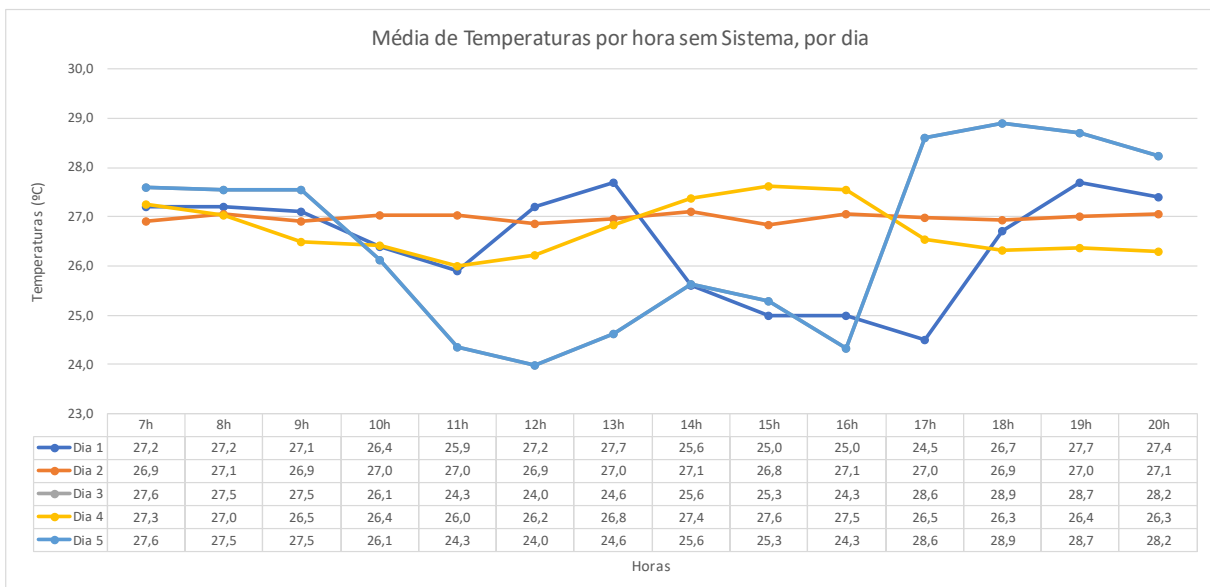


Figura 17 - Média de Temperaturas sem sistema

Estas temperaturas que se fizeram sentir, justificaram um intervalo de temperatura superior, tal como referido anteriormente. Assim sendo, com o sistema montado e a funcionar, foi expetável que a temperatura baixasse consideravelmente e que o individuo presente no espaço sentisse maior conforto térmico.

4.5.2 Temperaturas registadas com sistema

Com o sistema montado e a registar valores, seguiu-se o tratamento e análise dos dados retirados. Como é possível verificar pelos gráficos em baixo, as médias de temperatura mantiveram-se dentro dos parâmetros de conforto correspondendo assim a uma maior satisfação do utilizador.

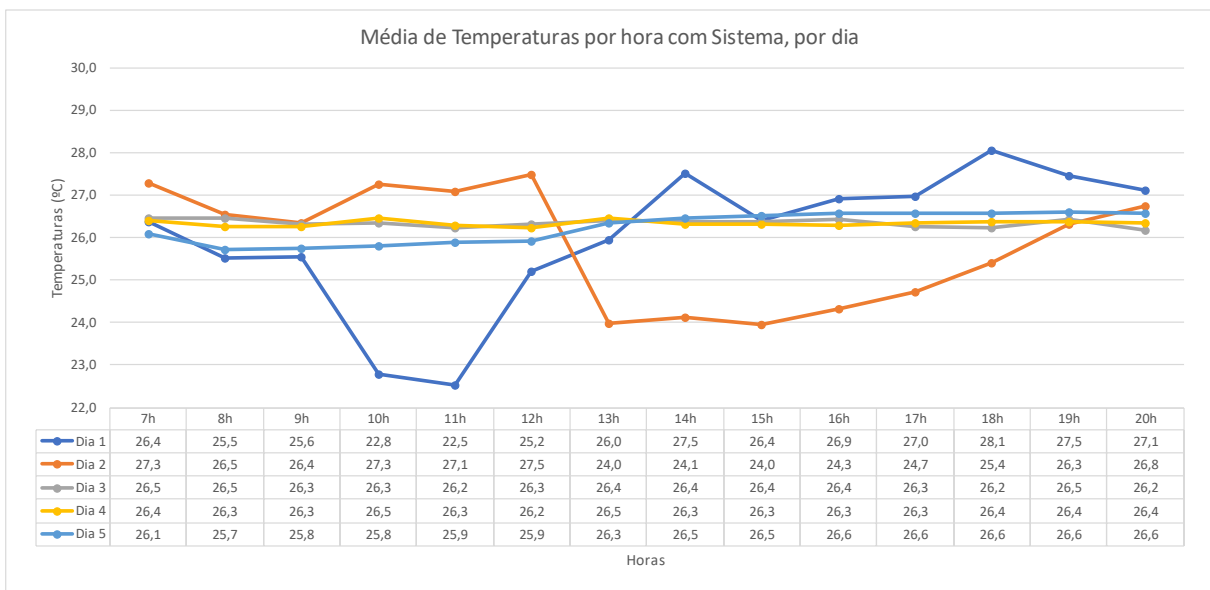


Figura 18 - Média de Temperaturas com sistema

Devido à utilização do sistema, as médias de temperaturas durante os dias da semana fixaram-se entre os 26°C e os 27°C, não havendo grandes oscilações. Conclui-se que, com o sistema em funcionamento, a média de temperaturas baixou cerca de 1,8°C. Esta descida de temperaturas resulta num maior conforto térmico para o utilizador, objetivo principal desta dissertação.

Média de Temperaturas	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Média
Sem sistema	26,5	27,0	26,5	26,7	26,5	26,7
Com sistema	26,0	25,8	26,3	26,3	26,2	26,2
Diferença	-1,7	-4,3	-0,7	-1,5	-1,1	-1,8

Tabela 10 - Resultados Experimentais com e sem sistema

Na Tabela 10 é possível verificar que houve diminuição da média das temperaturas com sistema. Em média, a gama de temperaturas foi reduzida cerca de 2%. Sem sistema, a média de temperatura situou-se nos 26,7°C, enquanto com a utilização do sistema essa média baixou para os 26,2°C.

O cálculo do PMV-PPD serviu para definir a zona de conforto térmico. Com os cálculos efetuados para cada um dos dias, chegaram-se aos resultados da Figura 19. É possível verificar que a zona onde se encontram mais pontos aglomerados é para um PMV de 1 e um PPD de 45%. Isto demonstra que as temperaturas deveriam estar mais baixas, para que a percentagem de pessoas insatisfeitas seja menor. Como se trataram de dias com temperaturas muito elevadas, é normal que a unidade split encontra-se mais dificuldades em manter a temperatura constante no espaço.

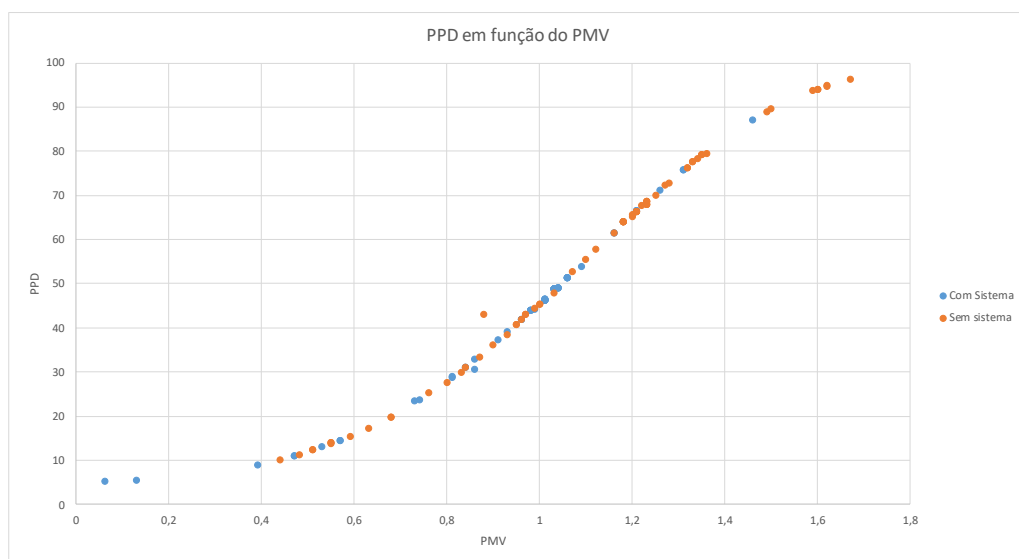
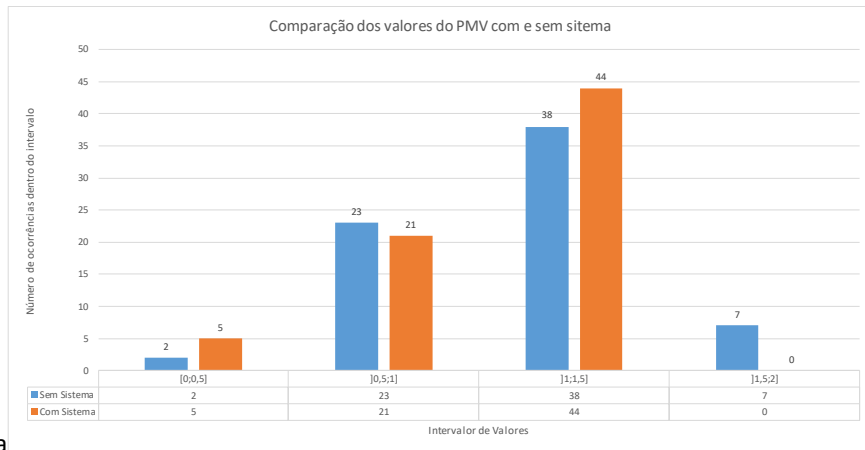


Figura 19 - PPD em função do PMV

Pelos pontos representados na figura verifica-se que com o sistema, houve uma junção de valores para um intervalo central. Verifica-se que os pontos a azul estão mais concentrados, enquanto os laranja estão mais dispersos. Com o sistema a funcionar o ar condicionado teve um modo mais equilibrado, só funcionado quando era estritamente necessário e colocando o sistema a funcionar para uma gama central. Na Figura 20 é possível visualizar que o sistema aproximou os resultados para o intervalo entre 0,5 e 1,5.



goa

Figura 20 - Comparação dos dois sistemas

5 CONCLUSÃO

Devido às novas leis e metas traçadas, as soluções de controlo automatizado são muito importantes e trazem muitas vantagens e facilidades para a gestão de um edifício. Com este tipo de soluções, a eficiência energética aumenta reduzindo assim a elevada dependência que existe da energia elétrica, o que torna as metas mais perto de serem atingidas. Portugal tem um longo caminho a percorrer, mas tem apontado para um desenvolvimento melhor e mais sustentável. A aposta nas energias renováveis tem sido evidente e cada vez mais são apresentadas soluções com maior eficiência energética. Por ser uma área em desenvolvimento e com espaço para melhorar, propôs-se uma solução económica de melhoria energética.

A zona de conforto térmico tem um papel ativo no desempenho do ser humano, pois através dela os índices de satisfação são superiores. Com menores preocupações, atinge-se maior concentração para se realizar as tarefas do dia-a-dia, aumentando assim a produtividade. Como o espaço onde foi feito o estudo, não tem a melhor da exposição solar e as melhores condições de infraestrutura, é muito importante que o sistema responsável pela climatização tenha um bom funcionamento e seja o mais económico possível.

A automatização na gestão de edifícios é muito importante e, por isso, tem um custo muito elevado, quer inicial, quer de manutenção. O Arduino é uma ferramenta muito poderosa, com inúmeras possibilidades de projetos a realizar e com custos menores, face a outras soluções disponíveis no mercado. Foi muito interessante e gratificante trabalhar com ele, pois pelo simples fato de ser “open-source”, existem muitas soluções para analisar e muita ajuda disponível também. Com o passar do projeto, certas dúvidas foram aparecendo e verificou-se que diversas vezes, muitas pessoas tinham passado pela mesma situação, situação que ajudou no desenrolar do projeto. A configuração do comando foi algo complicada, mas devido ao facto da plataforma ser muito utilizada mundialmente, facilitou em grande parte o trabalho, pois qualquer problema deparado já tinha sido resolvido por alguém (foi deveras gratificante). A ideia de integrar vários sistemas numa só plataforma é algo que ia ser muito interessante e usando o Arduino, torna-se essa ideia possível. O custo inicial iria ser maior, mas os sistemas também iam ser modernizados e mais eficientes e com mais dados a registar, novas oportunidades de melhoria iriam de certeza surgir.

Os resultados obtidos ficaram dentro das expectativas iniciais, onde foi verificada uma redução da temperatura média do espaço. Não foi necessário um controlo de temperatura com PID, pois tratava-se apenas de uma saída de comando binária da unidade de climatização. Ao invés, foi preferível utilizar um controlo de comando com histerese, para que a ordem não entrasse num ciclo repetitivo de liga/desliga. Por ser verão, optou-se por um intervalo de temperaturas mais elevado para que ao sair do espaço, o utilizador não sinta desconforto causado pelo choque térmico das diferenças de temperatura. As temperaturas têm vindo a ser elevadas, mesmo fora dos meses de verão, pelo que é necessária maior energia para os sistemas de arrefecimento. Para diminuir esta energia, uma boa gestão de recursos, através da automatização dos equipamentos, ajudará na contenção económica e energética.

Como melhoramento futuro do projeto, sugere-se a criação de um servidor web, para registo de dados e comando remoto da unidade de climatização. O registo de dados numa plataforma on-line será importante para verificar o funcionamento do sistema num longo período de tempo e, através disso, tentar usar uma solução de previsão para maior eficiência. Já o comando remoto, iria aumentar a satisfação do utilizador, pois poderia ligar o sistema um tempo antes de chegar ao local, ficando já assim numa temperatura mais satisfatória. Com isto, facilitava a programação de horários e a criação de exceções em dias de feriados e fins de semana. Ao ter o equipamento desligado nestes dias, o consumo da máquina iria ser menor, aumentando assim a eficiência energética. Por aumentar os custos iniciais, foi algo que não foi considerado para este projeto, pois o objetivo era uma solução mais económica face à concorrência no mercado.

6 REFERÊNCIAS

- [1] J. Bernardo and D. Lisboa, “Estratégia para a Eficiência Energética nos Edifícios Públicos Workshop: RePublic_ZEB,” 2015.
- [2] ADENE, “ADENE - Agência para a energia.”
- [3] Direção-Geral de Energia e Geologia, “ENERGIA em Portugal 2014,” 2016.
- [4] EBC, “Energy in Buildings and Communities Programme,” 1977. [Online]. Available: <http://www.iea-ebc.org/>.
- [5] Diário da República, “Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), Decreto-Lei n.º 80/2006,” *Diário da República - I Série - A - n.º 67*, p. 46(2468-2513), 2006.
- [6] Diário da República, “Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de Abril. Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE),” *Diário da República N.º 67, I série-A*, p. 2416–2468, Lisboa, Portugal (in Portuguese), 2006.
- [7] ADENE, “Enquadramento | Sistema de Certificação Energética dos Edifícios.” [Online]. Available: <http://www.adene.pt/sce/enquadramento-0>. [Accessed: 29-Aug-2016].
- [8] ADENE, “Certificado Energético.” [Online]. Available: http://www.adene.pt/sites/default/files/certificado_adene_recs.pdf. [Accessed: 29-Aug-2016].
- [9] Nest, “About us | Nest.” [Online]. Available: <https://nest.com/about/>. [Accessed: 22-Aug-2016].
- [10] Wikipedia, “Nest foto.” [Online]. Available: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/4/41/Nest_front_official.png. [Accessed: 22-Aug-2016].
- [11] EDP, “EDP re:dy.” [Online]. Available: <https://energia.edp.pt/particulares/servicos/rody/como-funciona/>. [Accessed: 11-Sep-2016].
- [12] “Arduino.” [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>.
- [13] Constantin Craciun, “Air quality/weather station - Arduino Project Hub.” [Online]. Available: https://create.arduino.cc/projecthub/devicehub-net/air-quality-weather-station-054a4a?ref=tag&ref_id=home_automation&offset=41. [Accessed: 29-Aug-2016].
- [14] Ahmed Hamdy, “Arduino and AC Devices - Automatic Lights - Arduino Project Hub.” [Online]. Available: <https://create.arduino.cc/projecthub/shakram02/arduino-and-ac-devices-automatic-lights-71ff56>. [Accessed: 29-Aug-2016].

- [15] Instructables, “Energy-Saving Light.” [Online]. Available: <http://www.instructables.com/id/Energy-Saving-Light/>. [Accessed: 29-Aug-2016].
- [16] Deividson Calixto, “Ar Condicionado Controlado Por Arduino, Via Infravermelho E Com Medição De Temperatura.” [Online]. Available: <http://www.instructables.com/id/Ar-Condicionado-controlado-por-Arduino-via-infrave/>. [Accessed: 14-Jan-2017].
- [17] R. De Dear, “Thermal comfort,” *Indoor Air*, vol. 14 Suppl 7, no. March, pp. 32–9, 2004.
- [18] V. S. de A. Semião, “Apontamentos das aulas de Climatização de Edifícios ‘THERMAL COMFORT - II,’” 2015.
- [19] V. S. de A. Semião, “Apontamentos das aulas de Climatização de Edifícios ‘Thermal loads 1.’”
- [20] ASHRAE Research, “Nonresidential Cooling and Heating,” *2013 ASHRAE Handbook—Fundamentals*, 2013.
- [21] Carlos A. Santos Silva, “Energy in Buildings (2),” *Energy Manag. IST*, no. 2, 2016.
- [22] “Arduino Uno Rev3.” [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>. [Accessed: 20-Feb-2018].
- [23] PT Robotics, “DHT11 Basic temperature-humidity sensor.” [Online]. Available: https://www.ptrobotics.com/atmosfericos/2333-dht11-basic-temperature-humidity-sensor.html?search_query=dht&results=4. [Accessed: 22-Sep-2017].
- [24] I. Google, “Imagem do DHT11.” [Online]. Available: https://www.google.pt/search?q=dht11&rlz=1C1MSNA_enPT677PT677&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj7sZCXj7nWAhUDWxoKHT64BfIQ_AUICigB&biw=1920&bih=949#imgsrc=xL_ZGqRQctbKIM: [Accessed: 22-Sep-2017].
- [25] “DHT11 Humidity & Temperature Sensor.”
- [26] “EnergyOT | The Energy Of Things.” [Online]. Available: <http://www.eot.pt/suporte.html>. [Accessed: 06-Mar-2018].
- [27] Instructables, “Ar Condicionado Controlado Por Arduino, Via Infravermelho E Com Medição De Temperatura.” [Online]. Available: <http://www.instructables.com/id/Ar-Condicionado-controlado-por-Arduino-via-infrave/>. [Accessed: 28-Sep-2017].
- [28] Arduino, “Arduino - PROGMEM.” [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Reference/PROGMEM>. [Accessed: 03-Oct-2017].

[29] "Sending long AC Signals from Flash with IRremote - AnalysIR Blog." [Online]. Available: <https://www.analysir.com/blog/2016/04/11/sending-long-ac-signals-flash-irremote/>. [Accessed: 14-Nov-2017].

[30] "Isolamento de Roupa." [Online]. Available: <http://www.nzdl.org/gsd/collect/env/archives/HASH7fb3.dir/p040.gif>. [Accessed: 20-Jul-2016].