



Universidade de Aveiro

2022

**Pedro Jorge
Nunes Tavares**

**Controlo e instrumentação de um protótipo de
janela energeticamente eficiente**



Universidade de Aveiro
Ano 2022.

**Pedro Jorge
Nunes Tavares**

Controlo e instrumentação de um protótipo de janela energeticamente eficiente

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica do Doutor Tiago Silva, Investigador Doutorado do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro e coorientação do Doutor José Paulo Santos, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.

Esta dissertação teve o apoio dos projetos UIDB/00481/2020 e UIDP/00481/2020 - Fundação para a Ciência e a Tecnologia; e CENTRO-01-0145 FEDER-022083 - Programa Operacional Regional do Centro (Centro2020), através do Portugal 2020 e do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional.

o júri

Presidente

Prof. Doutor Nelson Amadeu Dias Martins
Professor Associado, Universidade de Aveiro

Vogais

Prof. Doutor Rui Manuel Escadas Ramos Martins (arguente)
Professor Auxiliar, Universidade de Aveiro

Prof. Doutor José Paulo Oliveira Santos (coorientador)
Professor Auxiliar, Universidade de Aveiro

agradecimentos

Agradeço inicialmente aos meus pais. Ao meu pai, Jorge Tavares, e à minha mãe, Eduarda Nunes, um grande obrigado por todo o apoio durante todo este percurso, um obrigado aos valores que me transmitiram e aos vários ensinamentos que me fizeram chegar à pessoa que sou hoje.

Agradeço à minha namorada, Alexandra Meireles, pela sua presença, apoio e companheirismo em todas as alturas, boas ou más.

Deixo também um agradecimento aos meus orientadores, Tiago Silva e José Santos, pelo incansável acompanhamento e por todo o conhecimento transmitido ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

A todos, um grande e sincero Obrigado!

palavras-chave

Eficiência energética, sistemas flexíveis, Internet das Coisas, domótica, energia solar, climatização

resumo

O consumo energético total da União Europeia nos setores comercial e residencial representa 40% (15% + 25%, respetivamente) do consumo energético total. Sendo que 64% do consumo residencial é dedicado à climatização dos espaços interiores. Um estudo conduzido nos Estados Unidos da América estima que as áreas envidraçadas sejam em grande parte responsáveis por perdas de energia na climatização.

O presente trabalho visa desenvolver um sistema de controlo remoto de um protótipo de janela energeticamente eficiente. Este protótipo consiste numa persiana de lamelas horizontais motorizada que está incorporada numa caixilharia isolada (utilização de vidros duplos) que tem três grelhas de circulação de ar. As lamelas incorporam no seu interior dois materiais, um material isolante, e um material de mudança de fase.

Um protótipo já existente permite o controlo de altura da persiana, inclinação das lamelas, abertura/fecho das grelhas de ar, no entanto de forma limitada e apenas a nível local. A monitorização de temperaturas é permitida através de sondas de resistência variável, no entanto não permite o seu registo.

O trabalho desenvolvido irá permitir o controlo e instrumentação remota do protótipo. Este trabalho através do controlo e registo das diferentes ordens e medições executadas, garante flexibilidade no seu controlo e também um histórico que pode ser consultado posteriormente.

keywords

Energy efficiency, embedded systems, Internet of Things, home automation, climatization, solar energy

abstract

The total energy consumption in commercial and residential buildings reaches 40% (15%+25%, respectively) of the total energy consumption in the European Union. A study conducted in the United States estimates that glazed areas are one of the biggest contributors to energy losses in climatization.

The present work aims the development of a remote-control system for a prototype energy-efficient window. This prototype consists of a motorized horizontal slat shutter embedded in an insulated frame (use of double glazing) with three air circulation grilles. The slats incorporate two materials, an insulating material, on the other, a material with high heat storage capacity (Phase Changing Material).

This prototype already allows the control of the shutter height, slat inclination, air grilles opening/closing and temperature monitoring, however it's limited to only on-site control. Temperature monitorization is possible by using variable resistance sensors, however it doesn't allow to keep a record.

This work will allow to remotely control the prototype. This work allows to record the commands and measures in order to have more flexibility controlling and monitoring said prototype.

Índice geral

<i>Índice geral</i>	<i>i</i>
<i>Índice de figuras</i>	<i>iii</i>
<i>Acrónimos</i>	<i>vi</i>
1 Introdução	1
1.1 Contextualização e motivação	1
1.2 Objetivos do trabalho	3
1.3 Estrutura da tese	3
2 Estado de arte	5
2.1 Métodos de armazenamento de energia	5
2.2 Materiais de mudança de fase	6
2.2.1 Classificação	7
2.2.2 Métodos de incorporação	9
2.2.3 Métodos de encapsulamento	11
2.3 Soluções existentes	16
3 Protótipo de janela energeticamente eficiente	18
3.1 Sumário	18
3.2 Introdução	18
3.3 Solução construtiva	19
3.3.1 Estrutura	19
3.3.2 Material de Mudança de Fase (PCM)	22
3.3.3 Sistemas para automação usados	25
3.4 Funcionamento	27
3.5 Síntese	29
4 Solução Proposta	31
4.1 Sumário	31
4.2 Planeamento	31
4.3 Hardware	32
4.3.1 ESP8266 Nodemcu V3	33
4.3.2 Equipamentos intermédios	34

4.4	Software	37
4.4.1	WayScript	38
4.4.2	FreeSQLDatabase	40
4.4.3	EasyEDA.....	41
4.5	Síntese	41
5	<i>Aplicação da solução proposta</i>	45
5.1	Implementação	45
5.1.1	Microcontroladores.....	45
5.1.2	WayScript	47
5.2	Obstáculos e limitações identificados	48
5.3	Síntese	49
6	<i>Resultados e Conclusões.....</i>	53
6.1	Resultados	53
6.2	Análise do impacto da implementação dos sistemas flexíveis	53
6.3	Conclusões	54
6.4	Propostas de alterações/melhorias e trabalho futuro	55
7	<i>Referências</i>	57
8	<i>Anexos</i>	63

Índice de figuras

Figura 1 - Consumo de energia entre 2000 e 2018 na União Europeia, por setor [1]	1
Figura 2 - Consumo de energia na União Europeia em 2018 [1].....	2
Figura 3 - Consumo de energia do setor residencial em 2019 na União Europeia [1].....	2
Figura 4 - Métodos de armazenamento de energia térmica [10].....	6
Figura 5 - Diferentes áreas onde se pode usar os PCM [32]	6
Figura 6 – Classificação dos tipos de Materiais de Mudança de Fase [11].....	8
Figura 7 - Ciclo de ação do PCM Sólido-Líquido [34].....	8
Figura 8 - Incorporação de PCM por impregnação [35]	9
Figura 9 - Incorporação de PCM por imersão [36]	10
Figura 10 - Incorporação do PCM por estabilização de forma [6].....	10
Figura 11 - PCM micro encapsulado [37].....	11
Figura 12 - PCM macro encapsulado [23]	12
Figura 13 - Consumo energético para a climatização numa sala de escritório com PCM incorporado no Inverno [5].....	13
Figura 14 - Consumo energético para a climatização numa sala de escritório com PCM incorporado no Verão [5]	13
Figura 15 - Parede com camada de PCM maciça [33]	13
Figura 16- Parede com camada de PCM e canal de ventilação [6]	13
Figura 17 - Variação de temperaturas de uma divisão com PCM incorporado nas paredes [7]	14
Figura 18 - - Esquema da célula de janela com PCM [1].....	14
Figura 19 - Resultados experimentais do fluxo de calor [1]	14
Figura 20 - Ilustração de secção do protótipo	18
Figura 21 - Protótipo com abertura parcial da persiana	19
Figura 22 - Protótipo com persiana	20
Figura 23 - Grelhas de circulação de ar.....	20
Figura 24 - Conectores de um servomotor [39]	21
Figura 25 - Onda quadrada com diferentes Duty Cycle [40]	21
Figura 26 - Protótipo com destaque para sensores e atuadores	22
Figura 27 - Temperaturas de fusão e de cristalização [22].....	23

Figura 28 - Valores do calor latente de fusão e de solidificação [22]	24
Figura 29 - cMT-3071	25
Figura 30 – iR-ETN [41]	25
Figura 31 - iR-AI04-TR [24].....	26
Figura 32 - ADAM-6052-D [26].....	26
Figura 33 – MeanWell MDR-20-24 [27]	27
Figura 34 - Representação gráfica do sistema de automação o e sentido do fluxo de informação ..	28
Figura 35 - Esquema elétrico original do protótipo.....	29
Figura 36 - Mapeamento de pinos Nodemcu V3 [28].....	33
Figura 37 - Módulo 5V de relé com 2 canais [42]	34
Figura 38 - Conversor de nível de voltagem bidirecional MOSFET [44].....	35
Figura 39 - MAX31865 [45]	36
Figura 40 - Esquema exemplo da comunicação SPI [38].....	37
Figura 41 - Exemplo de uma ação no WayScript [45]	38
Figura 42 - Composição de uma base de dados relacional.....	39
Figura 43 - Esquema de ligações proposto para a aquisição de dados	42
Figura 44 - Esquema de ligações proposto para a execução de comandos	42
Figura 45 - Representação esquemática da solução proposta	43
Figura 46 - Diagrama de atividades do código utilizado para a aquisição de temperaturas.....	45
Figura 47- Diagrama de atividades do código utilizado para a execução de comandos	46
Figura 48 - Aspeto do algoritmo desenvolvido em WayScript	47
Figura 49 - Sensor ultrassónico HC-SR04 [52].....	49
Figura 50 - Esquema de ligações para execução de comandos final.....	50
Figura 51 - PCB provisório do sistema para leitura de temperaturas.....	51
Figura 52 - PCB provisório do sistema de execução de comandos.....	51
Figura 53 - Solução inicial de automação do protótipo.....	52
Figura 54 - Solução proposta para automação do protótipo.....	52
Figura 55 - Interface com o utilizador.....	53
Figura 56 – Solenoide [54].....	56
Figura 57 - Esquema elétrico da solução inicial.....	63

Figura 58 - Esquema de ligações proposto para leitura de temperaturas	64
Figura 59 - Esquema final proposto da solução para execução de comandos.....	65
Figura 60 - Estrutura do algoritmo desenvolvido em WayScript.....	66

Lista de Acrónimos

AVAC - Aquecimento, ventilação e ar condicionado	16
DBMS - Database Management System	39
HDPE - Polietileno de alta densidade	10
HMI - Human-Machine Interface.....	15
I2C - Inter-Integrated Circuit	15
IoT - Internet das Coisas	15
nZEB - Nearly Zero-Energy Building	3
PCM - Material de Mudança de fase	6
PLC - Programmable Logic Controller	15
PWM - Pulse Width Modulation.....	21
RS232 - Recommended Standard 232.....	15
RS485 - Recommended Standard 485.....	15
RTD - Resistance Temperature Detector	22
SBS - Estireno-Butadieno-Estireno.....	10
SPI - Serial Peripheral Communication	15

1 Introdução

1.1 Contextualização e motivação

A crescente preocupação com o ambiente e a maior consciencialização com a forma como se gasta energia, quer por motivos económicos quer por motivos ambientais, tem levado a serem feitos mais estudos sobre como é consumida a energia e de que forma se podem reduzir esses gastos.

A Eurostat revela, num estudo publicado em 2020 que concerne os anos 2000 a 2018, que esta preocupação na redução dos gastos de energia tem impacto nas escolhas dos consumidores, dos governos e na indústria, na medida em que, desde 2010 o consumo de energia nos diferentes setores se tenha mantido relativamente constante, contrariando a tendência dos primeiros cinco anos do período considerado (Figura 1).

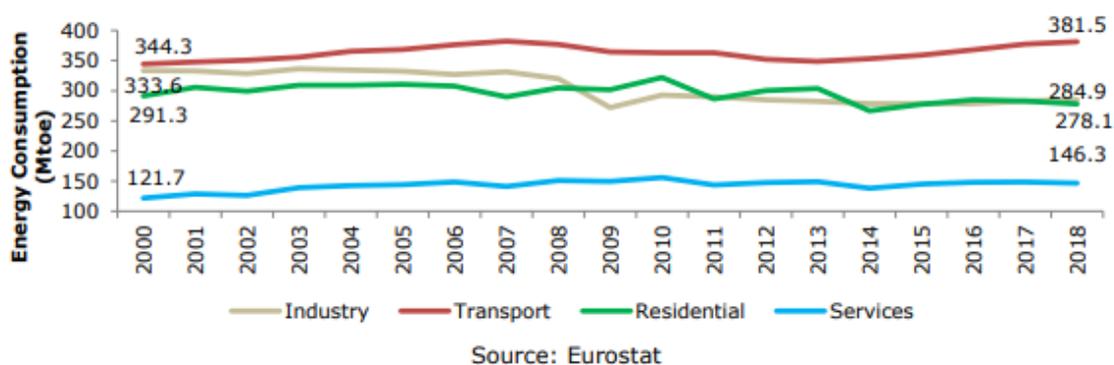
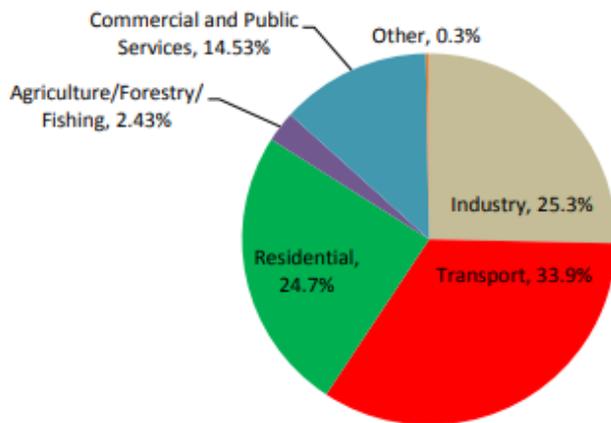


Figura 1 - Consumo de energia entre 2000 e 2018 na União Europeia, por setor [1]

Esta tendência para a estagnação de crescimento nos últimos anos do período destacado pode ser justificada pelo uso de equipamentos com melhor eficiência energética ou por uma melhor gestão de recursos, tendo em conta que o consumo de gás natural, combustível fóssil menos poluente, se manteve relativamente constante no período considerado.

Após análise de dados, a Eurostat divulga também no mesmo estudo que, em 2018, cerca de 25% do consumo de energia na União Europeia dá-se no setor residencial (Figura 2).

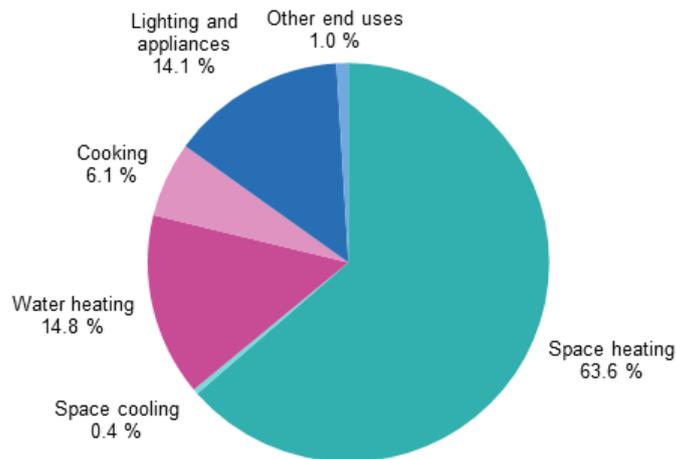


Source: Eurostat

Figura 2 - Consumo de energia na União Europeia em 2018 [1]

Já considerando apenas o consumo de energia do setor residencial, verifica-se que 64% da energia é utilizada para climatização, sendo quase a totalidade, 63,6%, dessa quantidade é somente para aquecimento (Figura 3). Assim, assume-se que a melhor forma de reduzir o consumo energético neste setor é reduzir as necessidades de climatização.

Final energy consumption in the residential sector by use, EU, 2019



Source: Eurostat (online data code: nrg_bal_c)



Figura 3 - Consumo de energia do setor residencial em 2019 na União Europeia [1]

Quanto ao edificado e às novas regras europeias: a nova legislação europeia requer que todos os novos edifícios, desde 2021, cumpram com as diretrizes que permitam que sejam classificados como nZEB. Um nZEB, “*nearly zero-energy building*”, é um edifício com elevado desempenho energético, isto é, as necessidades de input energético do edifício devem ser reduzidas e maioritariamente cobertas por energia produzida no local, por exemplo, através da incorporação de painéis solares e/ou painéis fotovoltaicos, ou nas redondezas, por exemplo, pela energia rejeitada por indústrias circundantes do edifício, tal como energia na forma de calor.

Estas diretrizes enfatizam a necessidade de seguir no caminho da inovação para o desenvolvimento de soluções mais eficientes e também de melhor utilizar os recursos disponíveis [1].

1.2 *Objetivos do trabalho*

Os objetivos deste trabalho inserem-se no controlo e instrumentação de um protótipo de uma janela inteligente. Pretende-se que este protótipo funcione de uma forma passiva para auxiliar a climatização de edifícios. Este aproveita a área envidraçada do protótipo para armazenar parte dos ganhos solares e térmicos no seu interior contribuindo para a regulação da temperatura interna do edifício. O protótipo possui no seu interior uma persiana, a qual é utilizada para bloquear a entrada radiação solar direta, quando assim é desejado.

O objetivo principal deste trabalho é desenvolver o controlo e monitorização remota dos diferentes sistemas do protótipo em qualquer localização, desde que exista conexão à internet. De forma mais detalhada, pretende-se:

- Avaliar os parâmetros a considerar para o controlo e instrumentação do sistema;
- Fazer o esquema elétrico da instalação atual no sistema;
- Planear, esquematizar e criar o esquema elétrico do novo sistema;
- Registrar os dados medidos e comandos impostos ao sistema;
- Controlar e monitorizar o sistema de forma remota através da solução desenvolvida;

1.3 *Estrutura da tese*

O documento encontra-se dividido em 6 capítulos. Neste primeiro capítulo pretende-se apresentar um breve enquadramento do tema do trabalho e mostrar onde este pode fazer o seu impacto, melhorando a eficiência energética dos edifícios. Apresentam-se, também, os objetivos principais do trabalho. No capítulo 2 é feita uma introdução ao ponto inovativo do protótipo sobre o qual este trabalho incide, a inclusão dos Materiais de Mudança de Fase. Desenvolve-se sobre projetos/estudos já desenvolvidos também com a inclusão destes materiais, analisam-se os resultados e percebe-se o que este protótipo traz de novo face ao que é implementados nos outros estudos e o porquê de a diferença ser vantajosa. O capítulo 3 será desenvolvido de forma a expor e explicar as diferentes vertentes do protótipo. Esta exposição passará pela solução construtiva do protótipo aos equipamentos usados para o seu controlo. Finalmente, irá também abordar o funcionamento da solução inicial. Este funcionamento servirá como ponto de partida para o desenvolvimento do

sistema proposto, visto que é necessário, pelo menos, garantir o mesmo nível de controle. O capítulo 4 servirá para mostrar o desenvolvimento do sistema de controle proposto. Serão expostos os fundamentos que justificam as escolhas feitas, a escolha dos equipamentos e a devida justificação, assim como os softwares/plataformas usadas. Conhecidos os parâmetros e esboçada a solução, parte-se para a implementação, exposta no capítulo 5. Com a implementação põe-se à prova a primeira versão do sistema proposto, o que permite verificar se este é o mais indicado, que correções necessita e quais são as limitações do mesmo. Este capítulo desenvolve sobre os obstáculos encontrados e as respectivas soluções encontradas e implementadas para os ultrapassar. Finalmente, no sexto, e último, capítulo reflete-se sobre a solução proposta, as suas limitações, as suas vantagens/desvantagens face à solução anterior e potencialidades. Verifica-se se foram cumpridos os objetivos que foram propostos e ainda são feitas algumas sugestões para possíveis mudanças ao protótipo e são também dadas sugestões para desenvolvimentos futuros usando o protótipo.

2 Estado de arte

Com o aumento do rigor legislativo sobre a eficiência energética dos edifícios e a crescente preocupação ambiental, torna-se imperativo procurar soluções que permitam evoluir nesse sentido. É importante, em alguns casos obrigatório até, implementar estas soluções nas novas construções, no entanto é igualmente importante garantir que haja soluções que sejam possíveis de aplicar também em edifícios já construídos.

Para as novas construções, este processo começa logo na fase de projeto com a escolha da orientação do edifício e pela adoção uma arquitetura que permita um aproveitamento adequado da radiação solar, por exemplo. Já para construções anteriores, isto não é possível alterar, no entanto há outras medidas que podem ser implementadas em todo o edificado, sendo uma das mais fáceis a verificação periódica e possível manutenção do edifício para garantir que não há nenhum desperdício não previsto. É necessário também que o utilizador esteja a fazer bom uso dos sistemas do edifício de forma a garantir que estes estejam a cumprir a sua função, por exemplo, não ter uma porta permanentemente aberta para o exterior enquanto faz uso dos sistemas de climatização.

Finalmente uma das medidas a ser tomadas que tem um grande impacto no cumprimento do objetivo é a escolha dos materiais a ser utilizados quer seja em novas construções ou na reabilitação, ou restauro, de edifícios. A escolha destes materiais deve ser ambientalmente responsável e deve garantir que contribuem para a conservação de energia desejada dentro do edifício, assim sendo, os edifícios devem ter incorporados materiais que lhe garantam um bom isolamento térmico na envolvente fronteira interior-exterior de forma a evitar perdas para o exterior e ganhos indesejados e também materiais que aumentem a inércia térmica para que as variações de temperatura dentro do edifício sejam amortizadas mesmo com grandes variações do clima exterior [2].

Dentro dos materiais direcionados para contribuir para a inércia térmica, ganham agora grande destaque os materiais de mudança de fase devido à sua enorme capacidade de armazenamento de energia, sendo que esta característica contribui para conseguir edifícios com uma elevada inércia térmica [3].

2.1 Métodos de armazenamento de energia

A energia pode ser armazenada sob várias formas tais como mecânica, elétrica ou térmica. Os sistemas de armazenamento de energia mecânica normalmente incluem sistemas de energia potencial, como por exemplo o bombeamento de água de volta para a barragem (energia potencial gravítica).

Para armazenar energia elétrica recorre-se a baterias de natureza química, por exemplo; a bateria é útil na medida em que torna possível aproveitar o excedente de eletricidade e permite reduzir a carga nas centrais produtoras quando há picos de consumo. Já para o caso da energia térmica há uma maior diversidade de métodos para a armazenar, métodos esses que recorrem à variação da energia interna dos materiais na forma de calor sensível, calor latente ou termoquímico e as suas possíveis

combinações. Na Figura 4 é possível ver as várias formas de armazenamento de energia sobre a forma de calor.

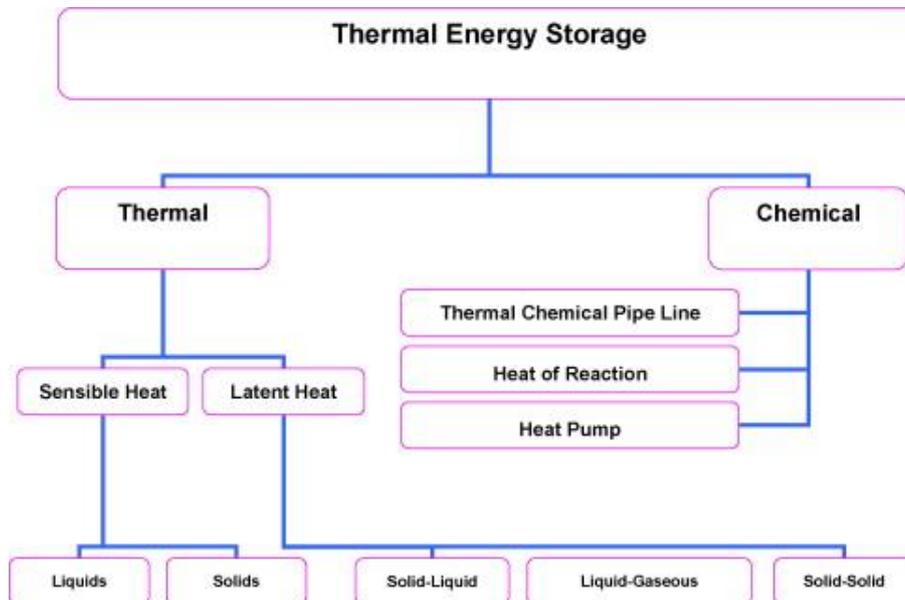


Figura 4 - Métodos de armazenamento de energia térmica [10]

2.2 Materiais de mudança de fase

Os materiais PCM (*Phase Changing Materials*, ou, materiais de mudança de fase), são materiais que durante a sua mudança de fase absorvem ou libertam grandes quantidades de energia. Essa mudança de fase é feita de forma isotérmica, ou seja, (em teoria) a temperatura do PCM mantém-se constante durante esta mudança de fase enquanto armazena ou liberta energia.

Os PCM têm vindo a ganhar notoriedade devido ao seu potencial e à grande diversidade de possíveis aplicações, Figura 5.

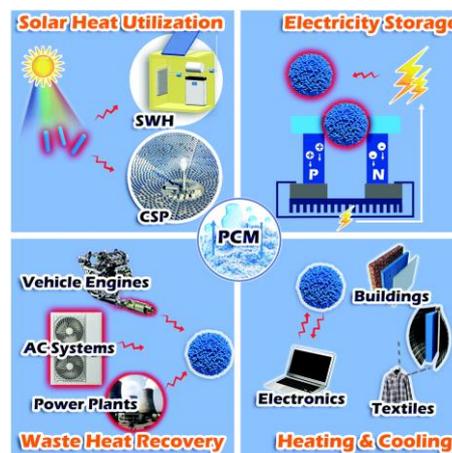


Figura 5 - Diferentes áreas onde se pode usar os PCM [32]

Indústrias como a construção, têxtil, automóvel e médica mostram interesse neste tipo de soluções. Na área médica, os PCM podem ser aplicados para uma melhor conservação no transporte de órgãos, por exemplo. Podem também ser usados para tratamentos que envolvam aquecimento e arrefecimento, por exemplo, para substituir sacos de gelo, cumprem o mesmo objetivo e evitam a hipotermia local, basta terem uma temperatura de fusão baixa o suficiente para o arrefecimento e que não cause efeitos secundários.

Na indústria têxtil nota-se também a procura da incorporação destes materiais nas diferentes peças de vestuário de forma a aumentar o conforto do utilizador bem como para tornar mais robustas as peças específicas para ambientes extremos, tais como vestuário de alpinismo.

Para o setor da construção o uso de PCM foca-se no controlo e regulação de temperatura, visto que este material consegue conferir uma elevada inércia térmica quando incorporado nas edificações [4].

Neste projeto é de especial interesse o armazenamento na forma de calor latente na transição Sólido-Líquido dado o uso de PCM. Também será armazenado calor sensível, no entanto será apenas um valor residual. Através da equação (2.1) [10] é calculado o calor que é absorvido/libertado pelo PCM:

$$Q = \int_{T_i}^{T_{fusão}} m * C_p * dT + m * L_f + \int_{T_{fusão}}^{T_f} m * C_p * dT \quad (2.1)$$

Tabela 1 - Lista de variáveis da equação (2.1)

Variáveis	Significado	Unidades
Q	Energia armazenada	J
T_i	Temperatura inicial	°C, K
T_{fusão}	Temperatura de fusão	°C, K
T_f	Temperatura final	°C, K
m	Massa	g
C_p	Calor específico a pressão constante	$\frac{J}{g \cdot ^\circ C}$
L_f	Calor latente de fusão	J/g
T	Temperatura	°C

2.2.1 Classificação

Há diferentes tipos de PCM que podem ser classificados de diferentes formas, dependendo das suas propriedades. Os diferentes tipos de PCM podem ser consultados na Figura 6. Neste protótipo o PCM usado é de base orgânica de forma a evitar preocupações com reações indesejadas entre o PCM e o material de encapsulamento. Para esta aplicação é privilegiada a transição Sólido-Líquido visto que é a transição mais favorável à encapsulação do material devido à pequena variação de volume e a ser mais fácil prevenir fugas quando comparado com o estado gasoso.



Figura 6 – Classificação dos tipos de Materiais de Mudança de Fase [11]

O ciclo de ação de um PCM Sólido-Líquido ocorre de acordo com a Figura 7. Nesta figura ilustra-se a absorção e libertação de energia conforme a variação da sua temperatura. Acrescenta-se que as variações na sua energia interna ocorrem à mesma temperatura para o processo endotérmico e para o processo exotérmico, e ambos ocorrem a temperatura relativamente constante.

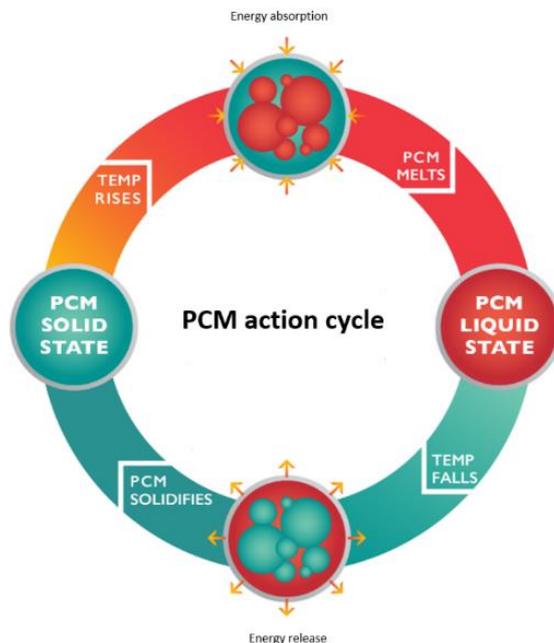


Figura 7 - Ciclo de ação do PCM Sólido-Líquido [34]

2.2.2 Métodos de incorporação

A incorporação dos PCM é possível através de diferentes técnicas. A escolha pode ser feita considerando vários fatores, tais como o objetivo da aplicação, custos, entre outros. A incorporação dos PCM pode ser feita por impregnação, imersão, encapsulamento e estabilização de forma.

- Impregnação

A incorporação por impregnação (Figura 8) é o método mais económico, simples e conveniente. Neste método, o PCM é adicionado diretamente a uma mistura, betão, gesso, ou outro material poroso. Isto torna o material, quando seco, mais denso, visto que os poros, anteriormente preenchidos por ar, estão agora preenchidos pelo PCM [6], [11].

As grandes vantagens deste método são precisamente as acima enunciadas, visto que não requer nenhuma tecnologia nem equipamento específico, basta juntar o PCM aquando da fabricação do material base [11].

No que toca às desvantagens, verifica-se que há derrames significativos do PCM quando passa ao estado líquido. A própria incorporação deste material pode comprometer a integridade física do material base, enfraquecendo as suas propriedades mecânicas, para além disso, tem que se garantir também que há compatibilidade entre o material base e o PCM, de forma a evitar reações entre ambos, esta reação pode também comprometer as propriedades mecânicas do material base [6].

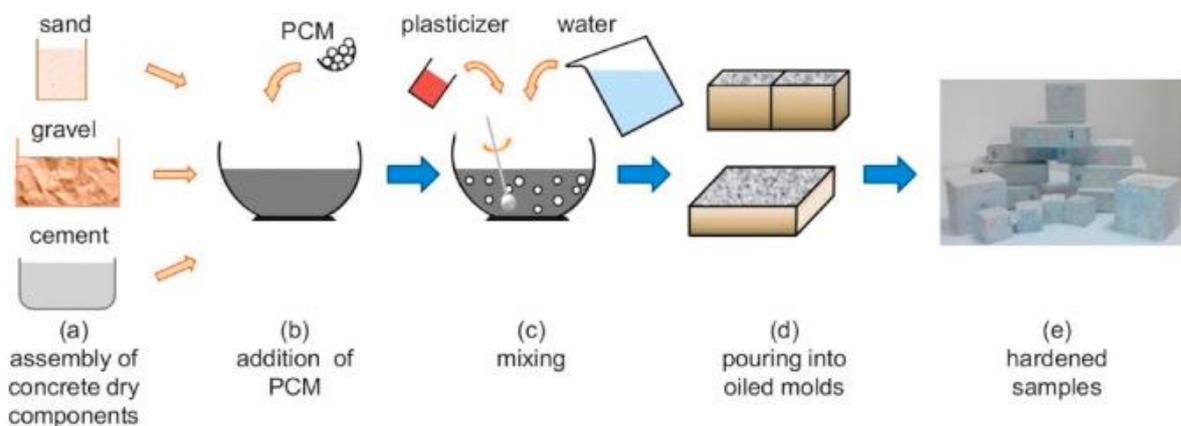


Figura 8 - Incorporação de PCM por impregnação [35]

- Imersão

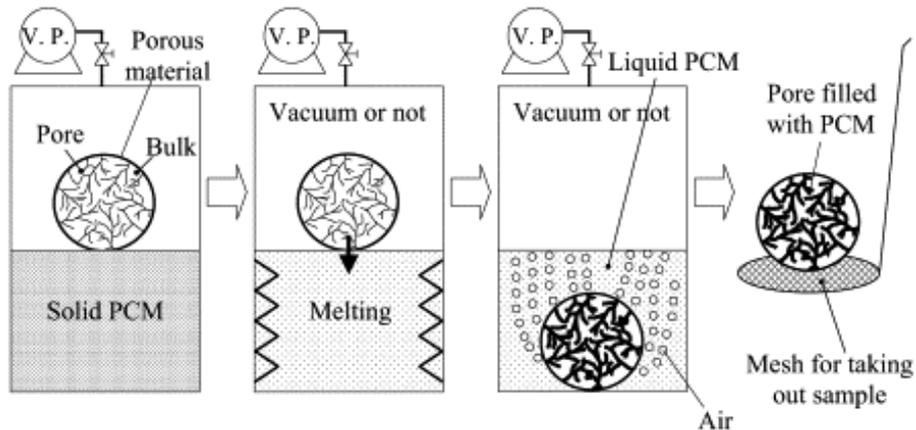


Figura 9 - Incorporação de PCM por imersão [36]

Este método tem produtos finais algo semelhantes ao método anterior, visto que partilham algumas semelhanças. Tal como com a impregnação, este método é utilizado com materiais porosos, no entanto a incorporação do PCM acontece de forma diferente, o material base, já seco, é mergulhado no PCM no estado líquido, assim, este é absorvido por capilaridade e fica alojado nos poros do material base, ver Figura 9. [6] Face ao método anterior, este apresenta mais complexidade de obtenção de produto final, as desvantagens maioritariamente mantêm-se, exceto que este método não compromete as propriedades mecânicas do material base na sua produção, mas pode ainda comprometer caso ocorram reações entre os materiais [11].

- Estabilização de forma

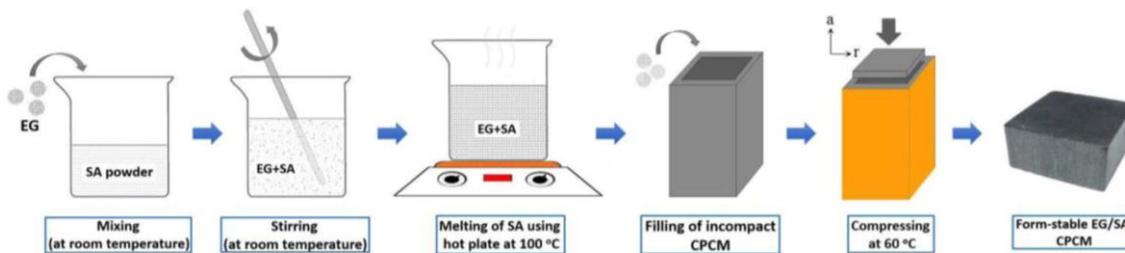


Figura 10 - Incorporação do PCM por estabilização de forma [6]

Este método é maioritariamente realizado com HDPE (*high density polyethylene*) ou SBS (*styrene-butadiene-styrene*) como material base. Faz-se a junção do PCM com o material base, derretem-se ambos os materiais e misturam-se ainda a alta temperatura, assim que a mistura estiver homogénea, faz-se o arrefecimento com temperaturas abaixo da temperatura de solidificação do material base até que a mistura solidifique. (Figura 10) Este método previne fugas do PCM, no entanto, como a condutividade térmica do material é baixa, as suas aplicações são limitadas, especialmente para sistemas de armazenamento de calor [6].

2.2.3 Métodos de encapsulamento

O encapsulamento do PCM permite que sejam feitas aplicações mais diversificadas deste material, desde a aplicação independente de um material base até aplicações semelhantes à impregnação. Com isto evitam-se as reações adversas entre o PCM e o material base (caso haja) e evitam-se também as fugas. Esta técnica divide-se em duas categorias, micro e macro encapsulamento. Tal como os nomes indicam, a grande diferença entre as duas consiste essencialmente no tamanho da cápsula, e tudo o que isso engloba [11].

No micro encapsulamento, as cápsulas que contêm o PCM apresentam diâmetros entre 1 – 60 micrómetros. (Figura 11) Com dimensões nesta ordem de grandeza nota-se o aumento significativo da relação área de superfície/volume, isto permite que as trocas de calor sejam muito mais eficientes do que com o macro encapsulamento. As microcápsulas podem ser obtidas por métodos mecânicos, químicos ou físico-químicos, no entanto são processos com algum grau de complexidade, sendo esta uma das desvantagens desta técnica. Este método normalmente também requer um material base no qual o PCM é incorporado.

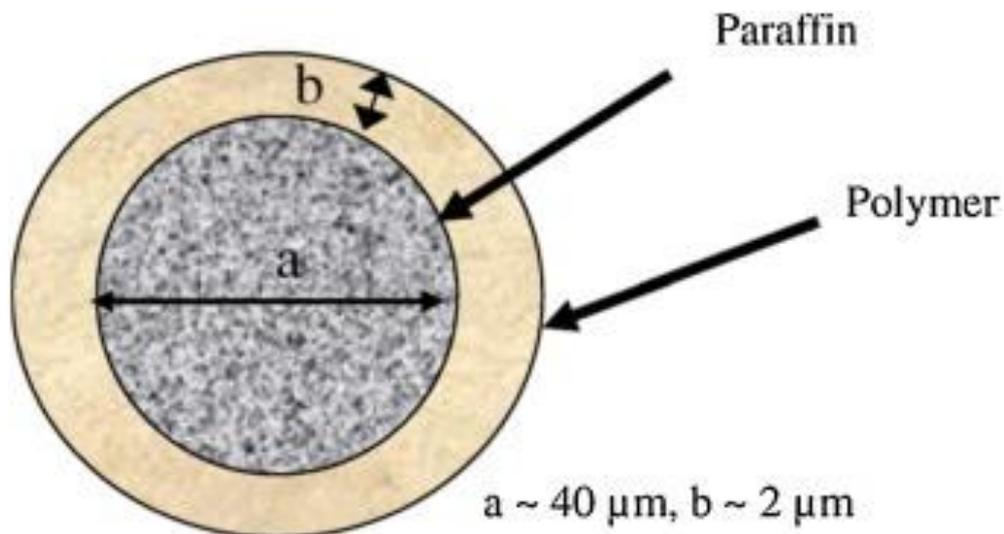


Figura 11 - PCM micro encapsulado [37]

No macro encapsulamento consideram-se todos tamanhos superiores à ordem de grandeza do micro encapsulamento, como exemplificado na Figura 12. Este método é mais flexível no que toca à forma da cápsula e permite também a utilização do PCM com ou sem um material base. Dado que neste método se encontram grandes quantidades de material dentro das cápsulas, torna-se mais evidente as variações volumétricas na mudança de fase, o que pode ser problemático para a contenção do material. Outro problema que surge é a criação de um gradiente térmico dentro da cápsula em que o material em contacto com a superfície da cápsula solidifica e com a baixa condutibilidade térmica, isso pode impedir o cumprimento do objetivo da aplicação.



Figura 12 - PCM macro encapsulado [23]

Atualmente há diferentes estudos que desenvolvem sobre a aplicação de PCM em diferentes envolventes do edificado de forma que seja possível analisar e comparar resultados e, assim, determinar qual a envolvente que provoca o maior impacto no sentido desejado, diminuir o consumo energético mantendo o conforto térmico.

O consumo energético de uma sala de escritório (referência) foi comparado com uma sala de estudo idêntica, mas com PCM incorporado no chão, este teste permite analisar o impacto da implementação de PCM na envolvente. [5] Para obter resultados concretos e quantificáveis, foi registado o consumo energético dos sistemas de climatização e foi também feito um perfil de temperaturas em ambas as salas. Este teste foi feito nas estações do ano com maior diferença de temperaturas e clima entre elas, o Verão e o Inverno. O estudo conclui que em ambas as estações a redução no consumo energético é na ordem dos 20%, Figura 13 e Figura 14. Para além disso conclui também que o PCM teve menor impacto nos dias mais quente e mais frio. A incorporação de PCM no chão, neste estudo, consegue efetivamente reduzir as necessidades energéticas para a climatização, a energia latente armazenada consegue diminuir as flutuações de temperatura, logo diminuir o tempo de funcionamento dos equipamentos.

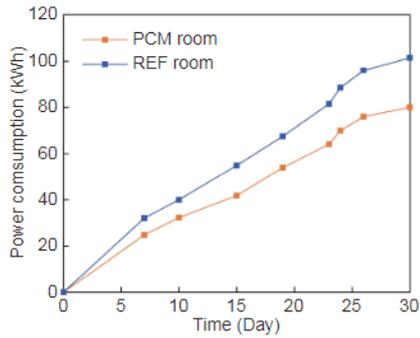


Figura 13 - Consumo energético para a climatização numa sala de escritório com PCM incorporado no Inverno [5]

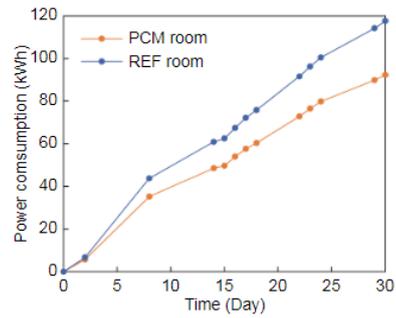


Figura 14 - Consumo energético para a climatização numa sala de escritório com PCM incorporado no Verão [5]

Considerando a aplicação de PCM em paredes, a incorporação dos PCM pode ser feita de várias formas, sendo que, podem ocupar 100% do espaço entre as paredes, ficando assim, uma camada maciça, Figura 15, ou com canais de ventilação, Figura 16. Os canais de ventilação permitem uma transmissão mais rápida de calor, visto que a parede ganha mais área de superfície [6].

A aplicação de PCM nesta envolvente mostra, tal como no caso anterior, ser eficaz para a diminuição do gradiente de temperaturas e reduz também os picos de temperatura máxima, pela absorção de energia, e mínima, pela libertação de energia [7].

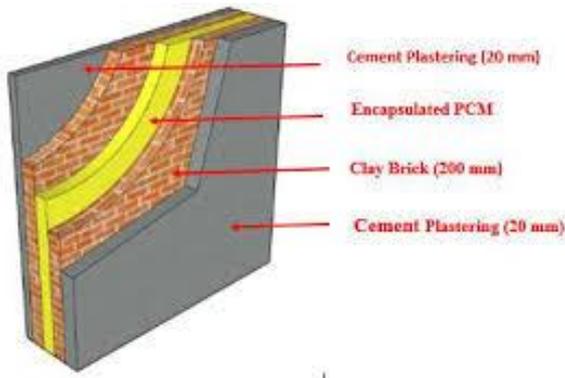


Figura 15 - Parede com camada de PCM maciça [33]

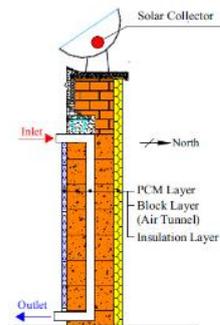


Figura 16- Parede com camada de PCM e canal de ventilação [6]

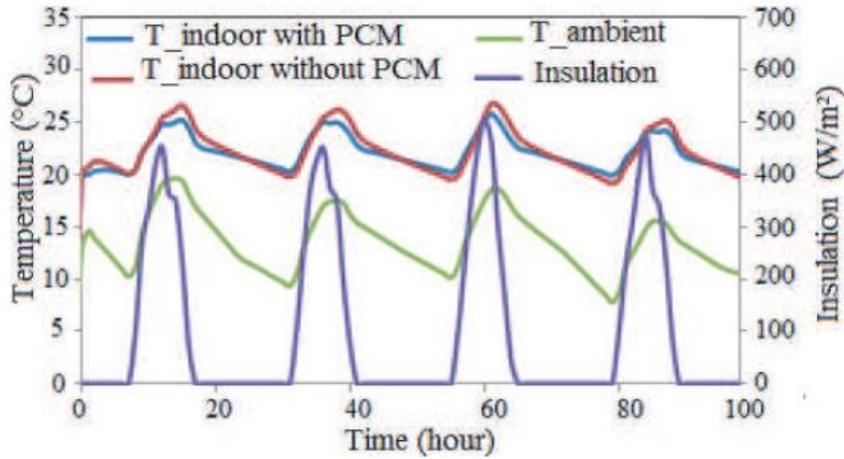


Figura 17 - Variação de temperaturas de uma divisão com PCM incorporado nas paredes [7]

Apesar dos exemplos anteriores apresentarem resultados favoráveis, a envolvente térmica do edificado responsável por maiores trocas de energia entre o edifício e o exterior são as áreas envidraçadas, que contribuem para um grande ganho através da radiação solar, especialmente durante o verão. Torna-se assim evidente que estas são as envolventes térmicas com mais potencial para melhorias nesta métrica.

De forma a reduzir o fluxo de calor, foi montada uma célula de teste de vidro duplo com camada de PCM incorporada, Figura 18. Este teste é bem-sucedido na redução do fluxo calorífico de entrada na divisão por radiação. Esta redução é notável na fase de absorção do PCM, até às 16h, após o PCM estar em estado líquido, este controlo no fluxo térmico deixa de existir (Figura 19) [8].

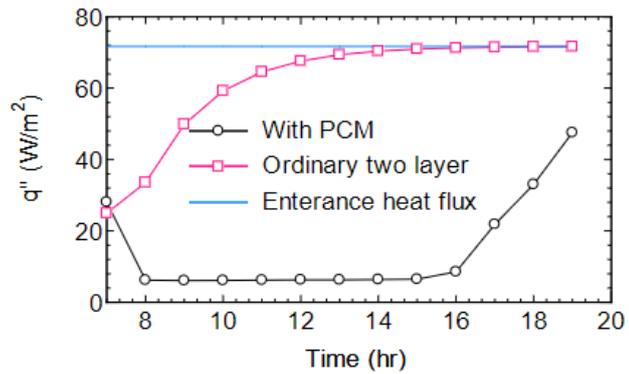
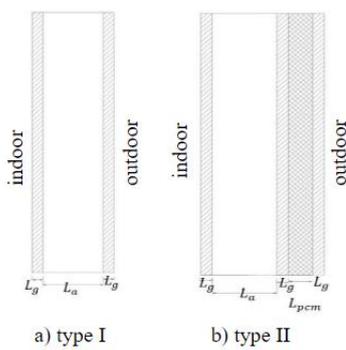


Figura 18 - Esquema da célula de janela com PCM [1] Figura 19 - Resultados experimentais do fluxo de calor [1]

Apesar dos resultados promissores deste tipo de implementação, torna-se evidente que é apenas vantajoso para as estações quentes, visto, que impede na sua maioria a entrada de calor no edifício, no entanto, nas estações frias, é desejável que esse calor seja recebido pelo edifício, coisa que este modelo não permite. Então uma solução semelhante à apresentada, mas que permita um controlo variável sobre a absorção (ou não) de radiação pelo PCM é o mais desejável, sendo esta resposta

dada pelo protótipo base desta dissertação. O controlo e supervisão deste protótipo são feitos localmente através de um conjunto PLC (*Programmable Logic Controller*) e HMI (*Human-Machine Interface*). Este sistema permite, localmente, a monitorização de temperaturas das várias sondas presentes, o controlo da abertura/fecho de várias grelhas de ar e ainda o controlo de uma persiana. Este conjunto para controlo é comum na indústria, mas é invulgar para uso residencial, para além de normalmente dispendiosos, quando comparados com os conjuntos de automatização domésticos, apresentam também alguma robustez dimensional, que embora adequada para o ambiente laboral, é pouco adequada para a integração residencial.

Nesta ótica, identifica-se como objetivo deste trabalho usar conceitos de automação doméstica ou domótica e da internet das coisas (IoT). A domótica refere-se aos sistemas integrados que permitem o controlo de diferentes equipamentos em ambiente doméstico, sendo que este controlo consegue fazer-se completamente a partir de um só dispositivo. Quando este sistema tem integração com a internet torna-se, então, constituinte de um sistema IoT [12]. Um sistema IoT é composto por diversos equipamentos que podem ser caracterizados como Dispositivos, *Gateway* e a *Cloud*, e destaca-se pela capacidade de interligação e troca de dados entre dispositivos pela internet [13]. O IoT mostra ser uma mais-valia em variados setores, desde aplicações para o consumidor comum, a aplicações industriais e até militares, sendo que para este trabalho se encaixa primariamente no setor da energia, nomeadamente, na gestão energética das infraestruturas, no entanto, encaixa-se também no setor das tecnologias de consumidor, visto haver uma ligação próxima entre os utilizadores dos edifícios e as janelas. No ambiente do consumidor o IoT é relevante exatamente pela sua capacidade de ser controlado pela internet porque isto, atualmente, significa que pode ser controlado desde qualquer parte do planeta e também pela comodidade de eliminar a necessidade de fazer manualmente algumas atividades domésticas, como por exemplo, abrir e fechar janelas, controlar luzes, regular o ar condicionado, etc.[14] Na categoria referida, o foco é o consumidor e o seu conforto. No âmbito da gestão energética no edificado (segunda categoria) o principal objetivo do sistema é a otimização do consumo, gerindo, tal como anteriormente, os sistemas de iluminação e ar condicionado, mas também outros dispositivos tais como bombas, motores, aquecimentos de águas, entre outros [15].

A arquitetura dos sistemas IoT divide-se por Dispositivos, *Gateway* e a *Cloud*, como referido anteriormente. No que toca aos Dispositivos, estes podem ser sensores ou atuadores, conforme a sua função e normalmente estão associados a um microcontrolador. Em ambos os casos, os dispositivos recorrem a protocolos de comunicação sejam para comunicar valores medidos ou para receber instruções do *Gateway*, à exceção de alguns casos de sistemas incorporados, dentro destes protocolos de comunicação destacam-se, por exemplo, o RS232, RS485, SPI e I2C. No caso de alguns sistemas incorporados em que o microcontrolador assume também a função de *Gateway* não há sempre a necessidade de comunicação com os dispositivos, por exemplo, em sensores que o microcontrolador tem a capacidade de ler diretamente o valor. O *Gateway* consiste na camada que estabelece a ligação entre os Dispositivos e a *Cloud* e caracteriza-se por ter a capacidade de comunicar através de diferentes protocolos de partilha de dados. Este agrega, trata e, se necessário, faz um pré processamento dos dados recolhidos dos sensores de forma conveniente ao seu envio para a camada acima (comunicação

ascendente, visto que a informação vai da camada mais abaixo, os dispositivos, para a camada mais acima, a *Cloud*, normalmente usada para dados recolhidos), para além disso, faz também a comunicação no sentido inverso, direciona as instruções vindas da *Cloud* para o respetivo atuador (Comunicação descendente, a informação vem da camada mais acima, a *Cloud*, para a camada mais baixa, os Dispositivos, normalmente usada para transmitir comandos). De forma simplificada, esta camada é o intermediário que faz possível a comunicação entre a *Cloud* e os Dispositivos. A *Cloud* consiste em servidores e o respetivo software que podem ser acedidos através da Internet. Os servidores normalmente estão alocados em *data centers*, havendo vários espalhados pelo globo de forma a garantir o bom funcionamento do serviço em qualquer lugar. Estes servidores têm duas grandes funções, a computação e o armazenamento. Para o armazenamento recorrem a sistemas de Bases de Dados para que os dados possam ser armazenados de forma organizada e estruturada que permita que a sua consulta possa ser fácil e rápida, na sua outra vertente, a computação, os servidores fazem recurso do seu poder de processamento para tratar e analisar dados, podendo utilizar, por exemplo, algoritmos de aprendizagem por computador (*Machine Learning*) ou de Inteligência Artificial. Esta é a camada que permite que a consulta dos dados recolhidos dos sensores ou o comando dos atuadores seja feita de qualquer lugar do planeta (desde que exista ligação à Internet, claro) [16].

2.3 Soluções existentes

Já há algumas soluções de controlo remoto de persianas para venda ao consumidor final, normalmente são persianas de rolo e é possível controlar a altura da persiana remotamente, pela internet, e com potencial para algum nível de controlo automático. Este tipo de soluções dinâmicas pode ser empregue no sentido de melhorar a eficiência energética do edificado face às soluções estáticas (soluções que necessitam de ação do utilizador para mudarem o seu estado). Os sistemas dinâmicos têm a capacidade de se adaptar a mudanças nas condições e reagir de forma a otimizar os consumos AVAC para as novas condições [17].

Um estudo conduzido num edifício escolar em Cardiff, Reino Unido, a sala usada para testes apresenta uma dimensão de 9.0x9.5x3.6m, ou seja, cerca de 308m³, onde a proporção entre área envidraçada e área de parede é de 30%. A área envidraçada é constituída por janelas de vidro duplo com vidros totalmente transparentes de 3mm de espessura e uma caixa de ar com 13mm de espessura e persianas com fator de reflexão da luz solar na ordem dos 80%. O estudo visa, em parte, no controlo de persianas para redução do consumo energético de climatização e de iluminação recorrendo a algoritmos de inteligência artificial e conseguiu reduções de até cerca de 40% do consumo energético. Este estudo assenta na interligação do controlo da altura da persiana, do sistema de AVAC e ainda no controlo do sistema de iluminação. Conforme os dados recebidos e processados pelo algoritmo os sistemas iriam comportar-se de forma diferente, ou seja, o algoritmo iria conjugar, a altura da persiana, intensidade da iluminação e funcionamento do sistema AVAC para encontrar a solução que apresentasse menos gastos energéticos garantindo simultaneamente o conforto do utilizador no edifício. Por exemplo, num dia de sol, a carga energética da iluminação poderia ser reduzida ao ter as persianas abertas, no entanto isso podia significar um aumento nos ganhos solares

e, consequencialmente, a um aumento na carga energética da climatização, cabe então ao algoritmo determinar o caso que optimize o consumo [9].

O protótipo em causa tem o potencial de permitir melhores resultados do que o sistema referido anteriormente, porque pode conjugar esse mesmo controlo com a utilização de PCM podendo assim maximizar os resultados, visto que a sua vertente de absorção e armazenamento de energia pode auxiliar passivamente a climatização. Desta forma, permite reduzir ainda mais a carga dos sistemas AVAC para além do que já é conseguido somente com o controlo da radiação solar. De forma a possibilitar a implementação de algoritmos de controlo inteligentes e também a dar flexibilidade no controlo ao utilizador, torna-se fulcral que o controlo do protótipo seja feito remotamente. Devido à especificidade do protótipo, o sistema que permita o seu controlo e monitorização pela internet deverá ser desenvolvido à medida e é o desenvolvimento desse sistema o foco deste trabalho.

3 Protótipo de janela energeticamente eficiente

3.1 Sumário

Neste capítulo é desenvolvido e apresentado o funcionamento do protótipo e o seu estado de desenvolvimento original, assim, mostrar o ponto de partida do trabalho. Ao longo do capítulo será explicada a estrutura do protótipo, enunciados os equipamentos usados para o seu controlo e ainda o modo de funcionamento do mesmo.

3.2 Introdução

A estrutura da janela é composta por três grandes partes, que são as faces orientadas para o interior e para o exterior, que são iguais entre si, e a parte central, que é a parte fulcral deste protótipo. Seja de notar que toda a caixilharia é feita em alumínio, cada face tem um conjunto de vidros duplos de forma que as transferências de calor sejam feitas por radiação evitando assim perdas por condução e convecção. Na parte central do protótipo é onde ficam alojados o conjunto persiana e motor, e as grelhas de passagem do ar. Nas lamelas da persiana, do tipo veneziana, é onde se encontram alojados o material isolante, espuma de poliuretano, e o PCM macro encapsulado. O PCM usado é o CrodaTherm 53[®]. Tal como num sistema normal de persianas venezianas, é possível controlar a altura da persiana e a rotação das lamelas, embora aqui não o seja possível fazer manualmente, apenas mecanicamente.

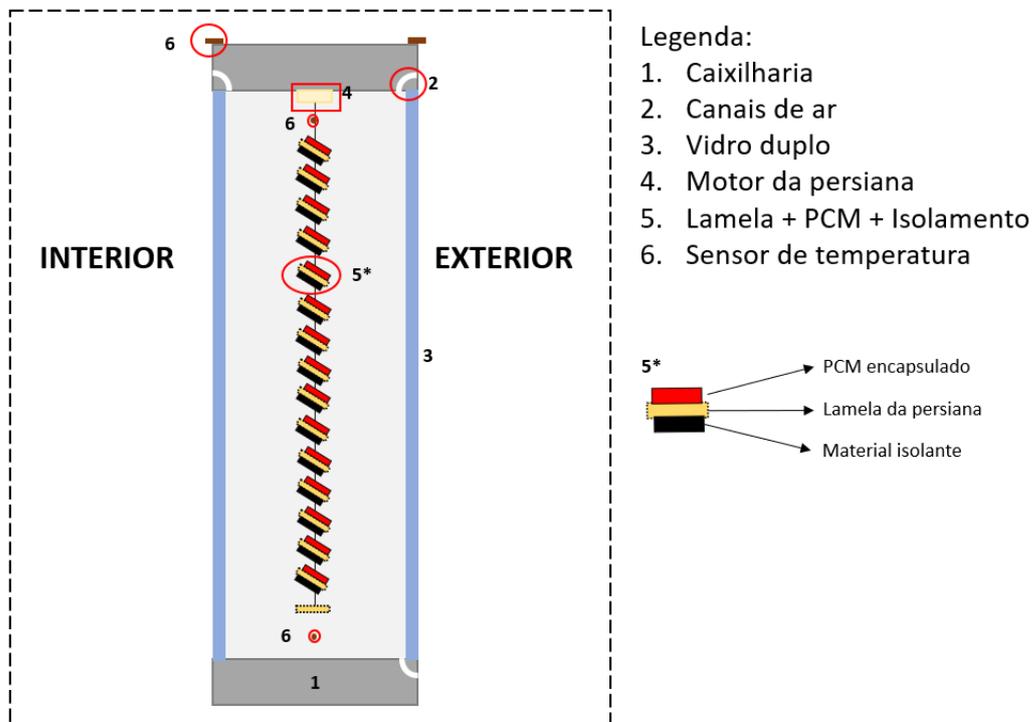


Figura 20 - Ilustração de secção do protótipo

3.3 Solução construtiva

3.3.1 Estrutura

Conforme referido na secção anterior, a estrutura da janela é composta por três grandes partes, que são as faces para o interior e para o exterior, que são iguais entre si e a parte média, que é a parte fulcral deste protótipo. Seja de notar que toda a caixilharia é feita em alumínio. Cada face tem um conjunto de vidros duplos, compostos por: 6mm vidro + 12mm árgon + 6mm de vidro. Na Figura 21 é possível visualizar-se uma imagem real do protótipo sem persiana.



Figura 21 - Protótipo com abertura parcial da persiana

A parte central é a mais interessante por alojar essencialmente tudo o que garante o funcionamento desta janela, nomeadamente as persianas, o motor que movimenta as persianas, o PCM, o material isolante, as grelhas que permitem a circulação de ar e os servomotores que permitem a abertura e fecho das referidas grelhas.



Figura 22 - Protótipo com persiana



Figura 23 - Grelhas de circulação de ar

A estrutura da janela é composta por uma caixilharia em alumínio com um par de vidros duplos e uma persiana dentro da estrutura, Figura 22. A persiana tem nas suas lamelas a cápsula com o PCM num lado e material isolante no outro. Isto permite melhor controlar o fluxo de energia, por exemplo, quando não se pretende armazenar mais energia é tão simples quanto rodar as lamelas de forma que o material isolante se encontre virado para o exterior do edifício de forma que não haja absorção de radiação solar. Nesta estrutura estão também incorporadas três grelhas de ventilação com controlo de abertura e fecho, Figura 23. Estas grelhas vão permitir o fluxo de ar de forma a aquecer o interior do edifício ou a libertar a energia armazenada para o exterior. As sondas de temperatura estão também embutidas na estrutura tanto dentro da caixa como fora, isto para a obtenção de dados para um melhor controlo do funcionamento do sistema.

As persianas presentes são bastante semelhantes às persianas do tipo venezianas convencionais, a diferença surge na sua motorização. As persianas venezianas mais comuns são de funcionamento manual, requerendo esforço do utilizador para que mudem a sua posição, no entanto também já estão abundantemente disponíveis persianas deste tipo motorizadas, contudo, a persiana presente no protótipo está equipada com um motor muito mais potente do que as anteriormente referidas, isto porque as persianas venezianas motorizadas comuns são projetadas para apenas suportar o seu próprio peso ao passo que as presentes no protótipo são projetadas para funcionar com o conjunto “Persiana + PCM + Material Isolante” o que torna o sistema muito mais pesado quando comparado com o convencional e assim requer um motor mais potente de 230V AC e uma potência máxima de 140W [18]. Neste conjunto, graças a um sistema de roldanas, é possível com apenas um motor controlar não só a altura persiana como também a inclinação das lamelas.

No que toca às grelhas de circulação de ar, o sistema é muito menos complexo quando comparado com o anterior. Para a abertura e fecho das grelhas é usado um simples servomotor que faz deslizar uma tira metálica furada. É o alinhamento dos furos desta tira com os furos da estrutura que

determinam se há ou não circulação de ar (Figura 23). Os servomotores usados são o modelo 1501MG da PowerHD. Este tem uma voltagem de operação de 5V a 6V, e neste caso é alimentado com 5V. Com esta alimentação o equipamento tem uma velocidade de rotação de 0,16 [s/60°], equivalente a 0,96[s/rotação], sem carga e um torque de 15,5 [kg/cm] [19]. Este tipo de motor apresenta um conector com três pinos, dois deles dedicados à sua alimentação e o terceiro dedicado ao sinal que controla a sua posição (Figura 24).

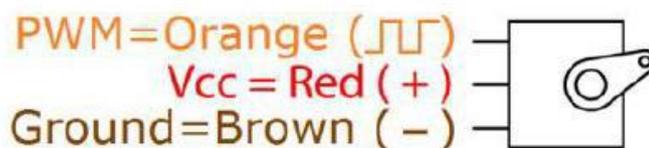


Figura 24 - Conectores de um servomotor [39]

De forma a controlar a posição do servomotor é necessário um sinal de *Pulse Width Modulation* (PWM). O PWM consiste na manipulação de uma onda quadrada e assim controlar o valor médio de tensão aplicado. Este controlo é feito através de comandos ON/OFF de forma que a saída digital esteja ativa apenas uma parte do ciclo, a isto chama-se *Duty Cycle*, em que quanto maior for o tempo ativo, maior é o *duty cycle*. Através deste método é possível simular sinais analógicos com saídas digitais isto porque é possível simular tensões médias mais fortes ou mais fracas conforme o desejado. Assim, se for pretendido um sinal com uma tensão média elevada (aproximando da tensão máxima da saída), o *duty cycle* deve ser maior, o processo é análogo para uma tensão média mais baixa. Na Figura 25, são ilustrados exemplos de ondas quadradas com diferentes *duty cycle*.

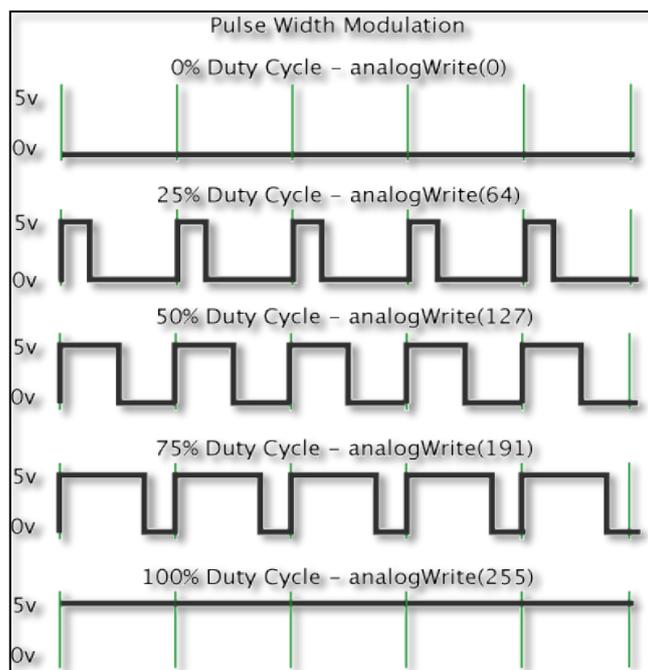


Figura 25 - Onda quadrada com diferentes Duty Cycle [40]

Para a monitorização de temperaturas foram aplicadas sondas de temperatura em sítios relevantes de forma que se possa fazer uma melhor avaliação das condições e consequentemente as escolhas de controlo mais adequadas. Há quatro sondas instaladas neste protótipo sendo que duas são PT100, as restantes duas do tipo PT1000 e todas com três fios. Estas sondas são do tipo RTD (*Resistance Temperature Detector*) o que significa que a resistência varia com a temperatura. Estas são sondas passivas visto que não requerem qualquer tipo de alimentação para fazer a medição, no entanto não conseguem fazer medições por si só, requerem um equipamento auxiliar que meça a resistência e que faça a conversão para a temperatura correspondente, para fazer esta conversão estão disponíveis tabelas ou gráficos normalizados de resistência vs temperatura.

Quanto à designação, pode-se dividir em duas partes, a primeira parte composta por caracteres alfabéticos e a segunda parte por caracteres numéricos e são usadas para identificar o material de que é feita a sonda e a resistência lida a 0°C em Ohm, respetivamente. No caso das sondas PT100, por exemplo, sabemos que são sondas de platina (símbolo químico Pt) e que a resistência lida a 0°C é de 100 Ohm [20].



Sensores e atuadores

- 4x Sondas de temperatura - PT100; 
- 3x Servomotores – 1501MG; 
- 1x Motor monofásico; 

Figura 26 - Protótipo com destaque para sensores e atuadores

3.3.2 Material de Mudança de Fase (PCM)

No protótipo é utilizado o PCM 53 da CrodaTherm, este tem base orgânica vegetal, insolúvel em água e assume forma de cera cristalina no estado sólido. As principais aplicações do CrodaTherm 53 são o armazenamento de energia, embalagens com temperatura controlada, eletrônicos e aplicações com recuperação de calor. As características de interesse para esta aplicação a destacar neste PCM

são: a temperatura de fusão, o calor latente e o número de ciclos possíveis mantendo as propriedades iniciais/não sofrer deterioração significativa.

Os resultados apresentados adiante são dados em função do número de ciclos, o material foi testado para 10000 ciclos. O calor latente de fusão é 226 [kJ/kg], e por isso já considerada uma parafina com elevado calor latente [21]. O material faz a transição completa entre os estados líquido e sólido numa faixa de temperatura entre os 49.75 e o 53°C (Figura 27), isto quer dizer que abaixo dos 49.75°C o material é completamente sólido, acima dos 53°C o material é completamente líquido e que na faixa de temperatura mencionada é uma mistura bifásica [22].

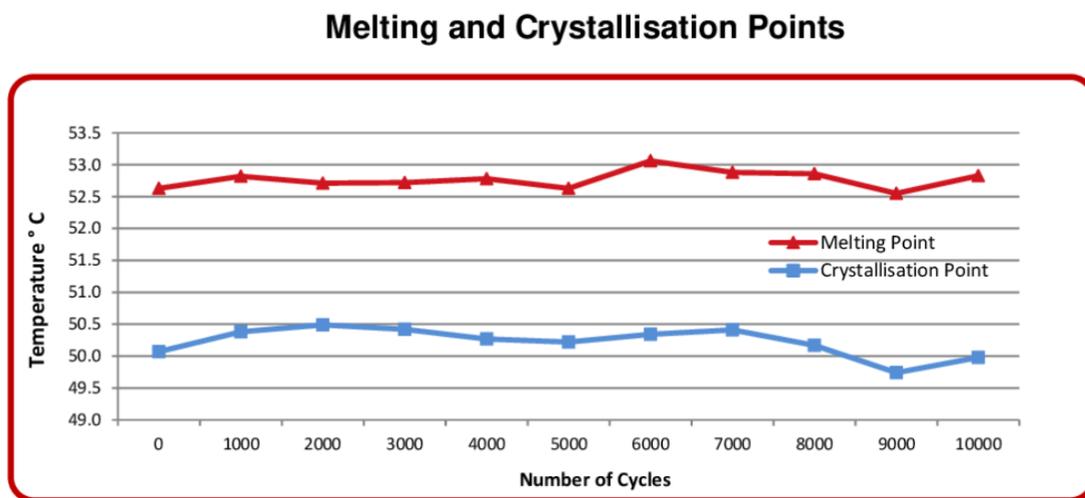


Figura 27 - Temperaturas de fusão e de cristalização [22]

Mais um aspeto positivo presente neste PCM que é importante para este tipo de aplicação é a permanência do valor da capacidade latente de fusão, isto é, o valor praticamente não varia com o aumento do número de ciclos a que PCM foi submetido, Figura 28. Neste teste o PCM foi submetido a 10000 ciclos, o que equivale a um ciclo por dia, o que equivale a aproximadamente, 27 anos [22].

Latent Heat Changes

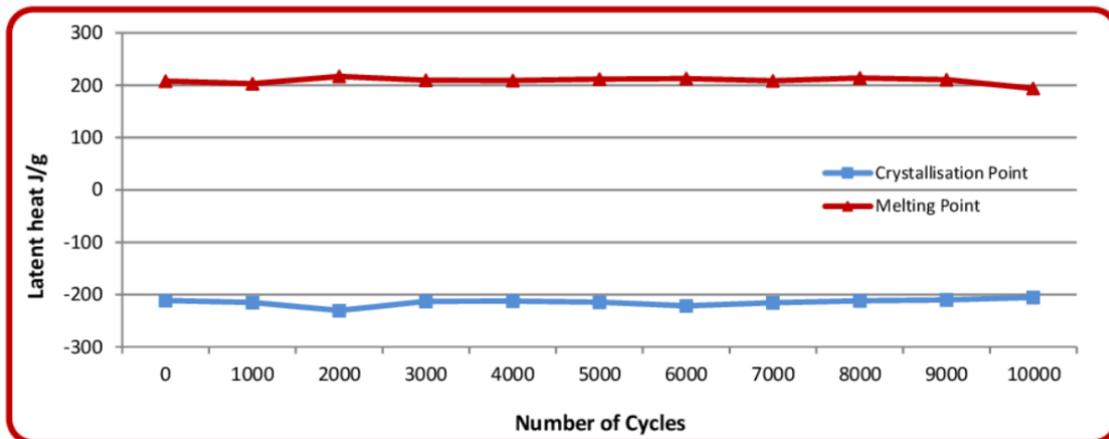


Figura 28 - Valores do calor latente de fusão e de solidificação [22]

3.3.3 Sistemas para automação usados

Os equipamentos presentes no protótipo que permitem a sua automatização são:

- HMI: cMT-3071 da WIENTEK

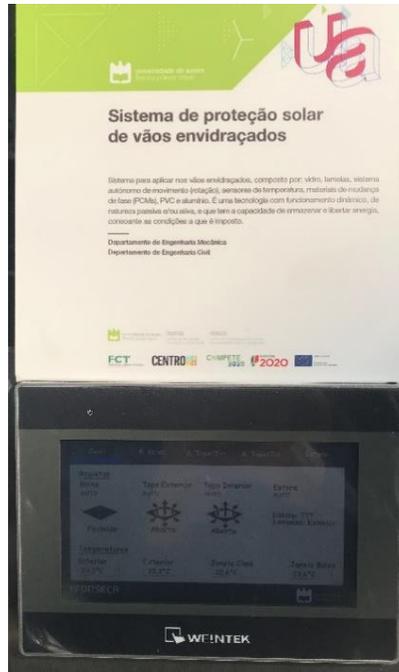


Figura 29 - cMT-3071

O equipamento com que o utilizador tem contato é o cMT-3071 (Figura 29), este é um PLC (*Programmable Logic Controller*) com HMI (*Human Machine Interface*) incorporado, este é dotado de um ecrã tátil de sete polegadas e ainda apresenta 4GB de memória ROM e 1GB de memória RAM, sendo alimentado com 24V DC [23].

- Dispositivo aglutinador: iR-ETN da WIENTEK

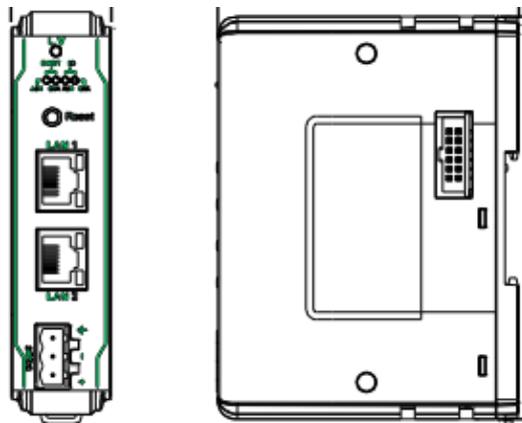


Figura 30 – iR-ETN [41]

A ligação entre o dispositivo anterior e o restante sistema acontece por intermédio do iR-ETN (Figura 30) que efetua as comunicações por Modbus TCP/IP que consegue comunicações à distância máxima de 100m e é alimentado por 24VDC [24]. O iR-ETN é complementado com o módulo de expansão iR-AI04-TR (Figura 31).

- Leitura de temperaturas: iR-AI04-TR da WIENTEK



Figura 31 - iR-AI04-TR [24]

Este equipamento permite a aquisição de temperaturas de até 4 sensores e, tal como os equipamentos anteriores, funciona com 24V DC. Este módulo é muito versátil visto ter compatibilidade com uma grande variedade de sensores, tem uma resolução de 0.1°C, o que é suficiente para esta aplicação [25].

- Controlador: ADAM-6052-D da Advantech

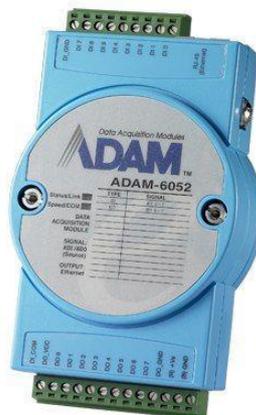


Figura 32 - ADAM-6052-D [26]

O equipamento que executa os comandos é o ADAM-6052-D (Figura 32), o qual tem oito entradas digitais e oito saídas digitais. As saídas digitais são utilizadas para controlar os três servomotores 1501MG e dois relés que são usados para controlar a rotação do motor associado às persianas.

- Fonte de alimentação: MDR-20-24 da MeanWell



Figura 33 – MeanWell MDR-20-24 [27]

A alimentação pelos dispositivos que requerem 24V DC é garantida pelo MeanWell MDR-20-24 (Figura 33) que converte os 220V AC recebidos em tomada nos 24V DC necessários [27].

3.4 Funcionamento

No sistema presente no protótipo a interface com o utilizador é feita através do cMT3071 que permite controlar a abertura das entradas e saídas de ar, a inclinação e abertura da persiana, permite também fazer a monitorização das temperaturas nas várias sondas que esta possui. Este controlo e supervisão são possíveis por intermédio do iR-ETN que estabelece comunicação entre a interface do utilizador (cMT-3071), o dispositivo de aquisição de dados (iR-AI04-TR) e o dispositivo responsável pelos atuadores (ADAM-6052-D). No ADAM-6052-D, apesar das 8 entradas digitais, toda a informação é recebida pela porta RJ45. A informação recebida provém dos comandos do utilizador e segue o seguinte caminho, cMT3071 comunica com iR-ETN, que, por sua vez, envia os comandos para o ADAM-6052-D.

Para executar estes comandos, o equipamento utiliza cinco das suas oito saídas digitais, três das quais para controlar a posição dos servomotores e duas para controlar o sentido de rotação do motor que move a persiana. O sentido de rotação do motor é definido através de diferentes combinações de ativação de ambos relés que ditam se roda em sentido horário, anti-horário ou se não roda de todo conforme as instruções do utilizador. A inclinação da persiana é conseguida de forma idêntica à

subida ou descida da persiana, mas ativando o motor apenas uns segundos no sentido em que se pretende a inclinação. No que toca às temperaturas, a aquisição dá-se da seguinte forma: o iR-AI04-TR mede a resistência das sondas de temperatura, converte as resistências medidas em temperaturas, envia esses dados para o dispositivo intermédio de comunicação (iR-ETN) que por sua vez os envia para o dispositivo de interface (cMT-3071) para que as temperaturas possam ser visualizadas pelo utilizador. Na Figura 34 pode-se encontrar representado de forma gráfica o explicado anteriormente, sendo que as setas representam o sentido do fluxo de informação.

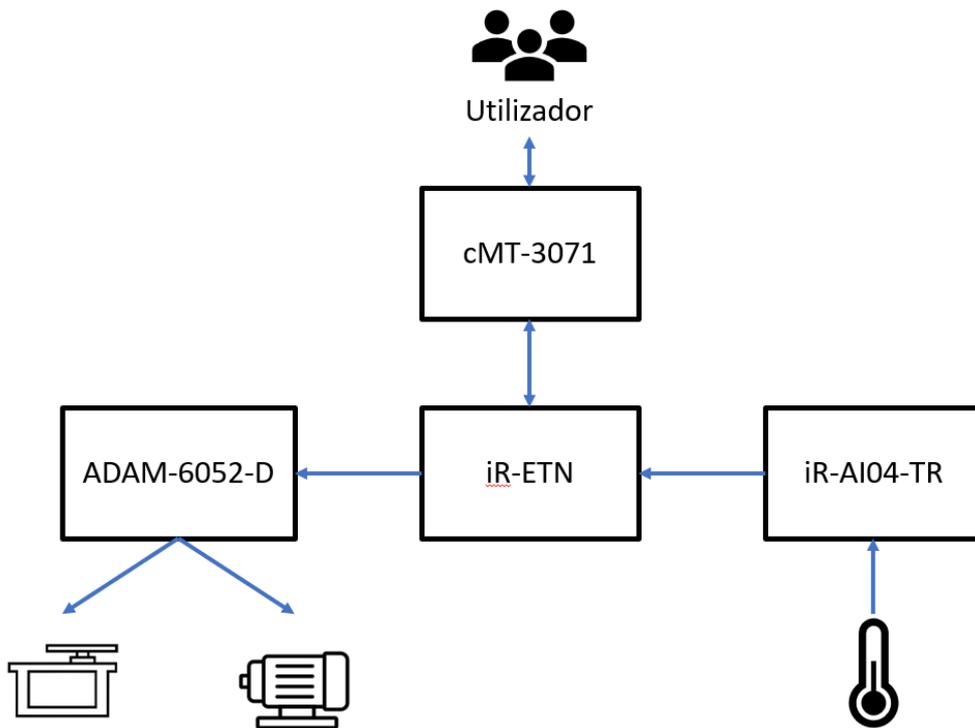


Figura 34 - Representação gráfica do sistema de automação e o sentido do fluxo de informação

Os módulos ADAM-6052-D e iR-ETN/iR-AI04-TR são alimentados por 24V DC provenientes do módulo MeanWell MDR-20-24 que converte 220V AC para 24V DC. Os servomotores são alimentados por 5V DC que são também obtidos através de um transformador. O motor que movimenta a persiana é alimentado por 230V AC. Na Figura 35, pode-se encontrar o esquema elétrico da instalação que permite uma melhor compreensão do funcionamento. Consultar Anexo A, página 63.

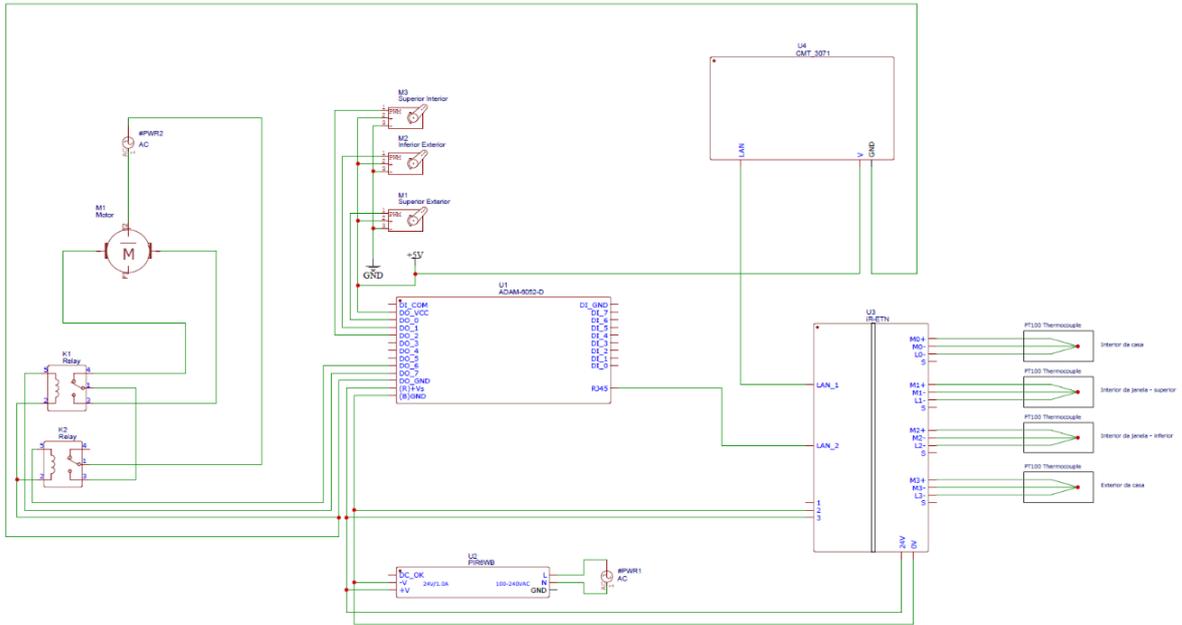


Figura 35 - Esquema elétrico original do protótipo

3.5 Síntese

Em suma, com este capítulo ganha-se uma melhor compreensão do funcionamento original do protótipo e também sensibilidade de pontos fulcrais a ter em atenção no sistema a desenvolver. Para além do mais permite também já definir alguma metodologia do seu funcionamento que não pode ser alterada no trabalho adiante.

4 Solução Proposta

4.1 Sumário

No presente capítulo pretende apresentar o desenvolvimento da solução proposta, que irá substituir o sistema atual que é pouco flexível e adaptável. Neste desenvolvimento, foram exploradas diferentes vertentes e parâmetros para que fosse possível fazer o controlo e instrumentação do protótipo. Estas vertentes são, o planeamento, os equipamentos e o software que suportam o funcionamento do novo sistema de controlo do protótipo. A solução a ser desenvolvida pretende aproximar o protótipo a algo que possa ser parte integrante de uma *Smart Home*, então alguns conceitos apresentados no Estado de Arte serão revisitados neste capítulo.

4.2 Planeamento

A solução proposta procura ir de encontro às filosofias associadas ao IoT e garantir ao utilizador o máximo de conforto e flexibilidade. Para garantir o funcionamento do sistema de acordo com as premissas anteriores é necessário que seja garantido um fluxo de informação desde o utilizador ao protótipo, no entanto, tendo em conta que o protótipo está em fase de desenvolvimento, é positivo que a solução apresentada seja mutável e ajustável de forma a ser possível adicionar funcionalidades ou otimizar funcionalidades já existentes.

Tal como referido anteriormente, nos sistemas IoT existem três categorias de equipamentos, os Dispositivos, *Gateway* e *Cloud*. O desenvolvimento deste trabalho visa conseguir a simbiose entre estes elementos, de forma a obter uma boa implementação dos sistemas flexíveis. Os Dispositivos, sensores e atuadores, essenciais ao funcionamento já se encontram embutidos na estrutura do protótipo, sendo que os restantes níveis têm de ser implementados. No início do desenvolvimento deste trabalho foi decidido reduzir tanto quanto possível a carga a nível de hardware, logo tende-se a optar por soluções alocadas em servidores externos e que tenham opções de utilização gratuitas, o que influencia o planeamento do trabalho e a tomada de decisão para os equipamentos e plataformas a ser usadas. Note-se também que as escolhas são feitas tendo em conta que o trabalho a ser desenvolvido é adequado para a fase de protótipo, no entanto não será completamente adequado a uma aplicação em larga escala, como para produtos a ser comercializados, por exemplo. Esta desadequação encontrar-se-á essencialmente no nível da *Cloud*, sendo que o problema essencialmente será ao nível de escala, isto é, a solução aqui desenvolvida será adequada para um número reduzido de unidades/protótipos (neste caso, existe apenas um), no entanto não será adequada a uma implementação em massa que implique milhões de unidades, que seria o caso de uma solução para comercialização ao público em geral, por exemplo.

Partindo dos princípios enunciados no paragrafo anterior, decide-se na utilização de um equipamento que sirva simultaneamente de microprocessador e de *Gateway*, reduzindo assim à partida a carga de equipamentos necessários e a complexidade do sistema. No que concerne à *Cloud*, nível que normalmente é sempre invisível ao utilizador, para o desenvolvimento pode ser um equipamento

local ou então, ser também um elemento alocado remotamente (sendo propriedade de terceiros), do qual se usa os recursos, normalmente por aluguer, sem ter os embaraços associados à aquisição e manutenção do mesmo, sendo que a opção remota é a escolha feita para esta solução.

Com esta solução, pretende-se obter uma forma de, remotamente, controlar e supervisionar o protótipo (movimentar a persiana, abrir e fechar as grelhas de circulação de ar e consultar a temperaturas), ter uma interface acessível e amigável para qualquer tipo de utilizador, não requerendo qualquer conhecimento específico por parte do mesmo, ter um registo de histórico, de forma a ser possível consultar e analisar os dados em caso de falha, por exemplo, e finalmente procura-se obter uma solução que seja possível alterar e melhorar, permitindo quaisquer correções/otimizações necessárias e a implementação de novas funcionalidades.

Os subcapítulos seguintes seguirão uma estrutura ascendente, considerando os níveis do IoT.

4.3 Hardware

No que concerne ao hardware, a base dos dispositivos será desenvolvida partindo dos já presente no protótipo, sendo estes: os sensores, sondas de temperatura do tipo PT100 e PT1000; os atuadores, servomotores 1501MG e o motor AC.

A escolha do microcontrolador para o comando/leitura dos dispositivos tem a condicionante de necessitar da capacidade de servir simultaneamente como *Gateway*, tal como referido no subcapítulo anterior, para isto, para além da capacidade de processamento suficiente, o microcontrolador necessita também de ser capaz de se ligar à internet (de preferência sem fios) e de ter um número suficiente de pinos de interface *input/output*. Para este efeito há algumas opções disponíveis para escolha, tais como placas com base *Arduíno* ou placas com base *Raspberry Pi*. Entre estas duas opções descarta-se à partida a base de *Raspberry Pi* dado serem considerados microcomputadores, o que implica um preço acrescido, e considera-se que o poder de processamento é em demasia para a aplicação em causa, a que se acrescenta o facto de, atualmente, haver uma escassez destes equipamentos.

A oferta de microprocessadores com base *Arduíno* é também bastante ampla, embora se tenha reduzido a escolha a microcontroladores com os quais já exista alguma familiaridade, o ESP8266 e o ESP32, sendo o último o que tem mais potência de processamento entre os dois. Mesmo limitando a escolha a estes dois microcontroladores, a escolha de placas que os incorpora continua a ser ampla; assim, dá-se prioridade a placas com mais pinos de interface e que estejam prontamente disponíveis a ser utilizadas.

Decide-se então usar o ESP8266 Nodemcu V3, que, embora não seja a placa com o microprocessador mais potente, mostra-se ter poder computacional suficiente para a tarefa em mãos, cumprindo os restantes requisitos.

4.3.1 ESP8266 Nodemcu V3

O ESP8266 Nodemcu V3 é uma unidade programável pela plataforma Arduino, por exemplo, com capacidade de estabelecer comunicação através de diferentes protocolos, com e sem fios. Sendo esta uma placa com dimensões bastante reduzidas, de baixo consumo energético e com uma grande comunidade de programadores que a usam, mostra-se ser uma boa plataforma para aplicações IoT. A Figura 36 mostra o mapeamento dos pinos disponíveis nesta placa.

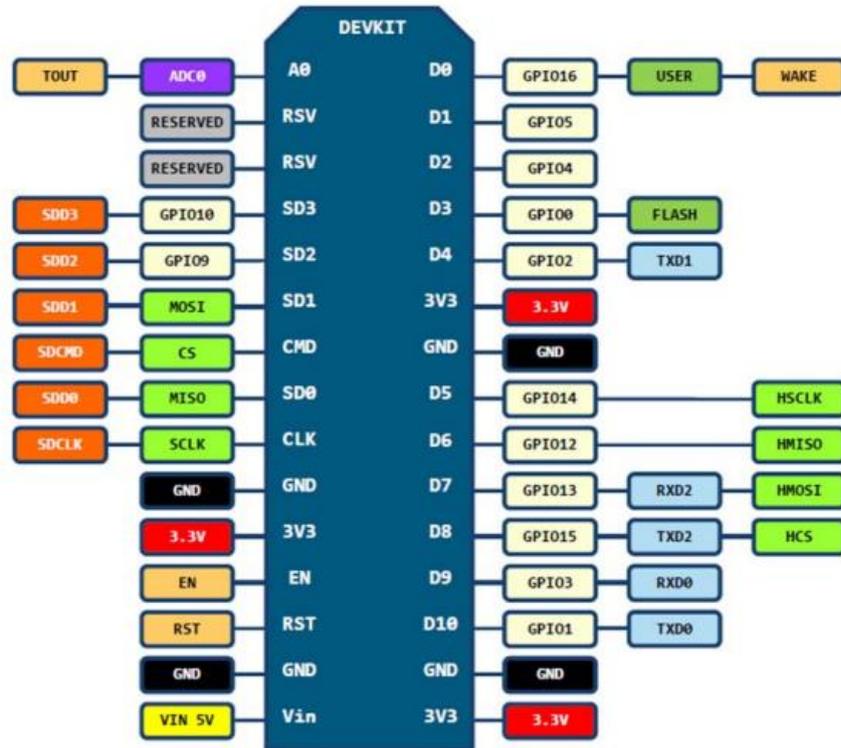


Figura 36 - Mapeamento de pinos Nodemcu V3 [28]

Sendo algumas das suas especificações [28]:

- Tensão de alimentação: 3,3 a 5V;
- Tensão máxima de saída: 3,3V;
- Wi-Fi Direct (P2P);
- Corrente consumida: 10uA a 170mA;
- Protocolo TCP/IP integrado;
- Processador: Tensilica L106 de 32-bit;
- Velocidade do processador: 80 ou 160MHz;
- RAM: 32KB + 80KB;
- GPIOs: 17;

Por muito capaz que seja este microcontrolador, não tem a capacidade de interagir diretamente com os equipamentos presentes no protótipo (embora consiga com outros equipamentos), então são necessários equipamentos intermédios que sirvam de interface entre os sensores/atuadores e o microcontrolador.

4.3.2 Equipamentos intermédios

- **Interface motor AC – microcontrolador**

De forma que seja possível o controlo do sentido de rotação deste motor opta-se pela utilização de um módulo de relé de dois canais típico das soluções IoT, mostrando-se, à semelhança do microcontrolador, um equipamento bastante compacto (Figura 37). Sendo que as ligações estarão feitas de forma que um dos relés permita selecionar o estado do motor, ligado ou desligado, e o outro relé dita o sentido de rotação, horário ou anti-horário, caso o motor esteja ligado. Este módulo de relé é alimentado por 5V e pode ser alimentado por uma só fonte ou por duas. Neste caso será alimentado por duas fontes: uma fonte externa de 5V que irá alimentar integralmente o circuito e também por 3,3V proveniente do ESP8266 que servirá apenas para a ativação dos relés.

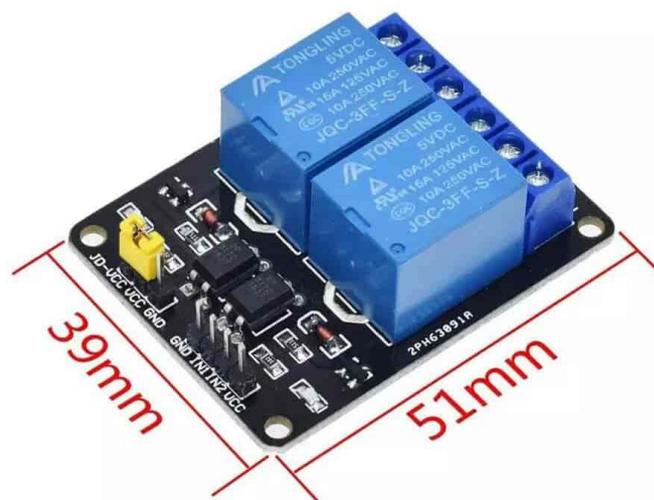


Figura 37 - Módulo 5V de relé com 2 canais [42]

- **Interface servomotor 1501MG – microcontrolador**

Os servomotores que controlam as grelhas de circulação de ar funcionam com sinal e alimentação de 5V DC. Como referido atrás, as saídas do microcontrolador são capazes de emitir um sinal de, no máximo, 3,3V, então é necessário um equipamento capaz de converter, de forma proporcional, o sinal proveniente do microcontrolador em um equivalente, mas com um máximo de 5V. Sendo que estão presentes três destes servomotores no protótipo, será preferência um equipamento que consiga fazer esta conversão a, pelo menos, três sinais simultaneamente. Entra então em cena um conversor

de nível de voltagem bidirecional baseado em MOSFET, Figura 38. Este equipamento consegue converter até 4 sinais em simultâneo, que é mais do que o necessário para esta aplicação.

Explicando o funcionamento do conversor com os valores associados ao trabalho: este equipamento recebe 5V, de uma fonte externa, nos pinos HV e GND respetivos, e 3,3V, provenientes do microcontrolador, nos pinos LV e GND respetivos, estando garantidas estas ligações o equipamento está pronto a funcionar. Assumindo que o conversor recebe um sinal (de no máximo 3,3V) no pino LV1, será de esperar que emita um sinal equivalente (de no máximo 5V) no pino HV1. Esta conversão acontece de forma proporcional, isto é, se no pino LV1 for aplicado um sinal de 1,65V (metade de 3,3V) espera-se que o sinal emitido no pino HV1 seja de 2,5V (metade de 5V).

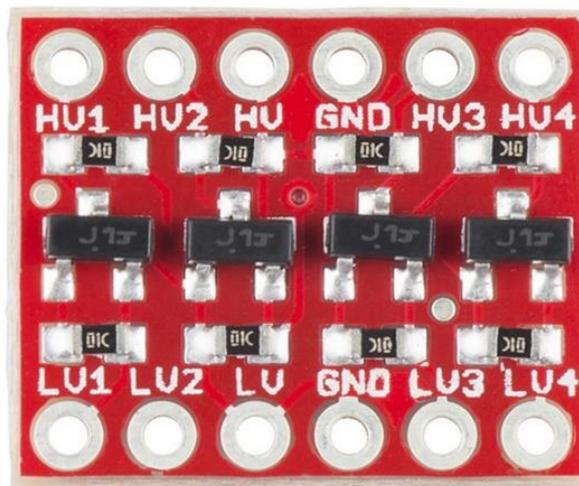


Figura 38 - Conversor de nível de voltagem bidirecional MOSFET [44]

- **Interface sondas de temperatura – microcontrolador**

As sondas do tipo PT100/1000 são do tipo resistivo, isto significa que a uma dada temperatura está associada uma determinada resistência em que para cada temperatura está associado uma e uma só resistência, daí ser possível utilizar este equipamento para obter uma leitura de temperatura bastante fiel. Este microcontrolador não tem a capacidade de ler a resistência diretamente vinda das sondas, então usa-se a placa MAX31865 que converte o sinal resistivo analógico para uma mensagem digital. Esta é compatível com sondas de 2 a 4 fios, sendo que as sondas em causa são de 3 fios. A mesma placa pode ser usada para sondas PT100 como para PT1000, desde que se consiga garantir que estas apresentem a Resistência de Referência adequadas, na Figura 39 marcada como *Rref*.

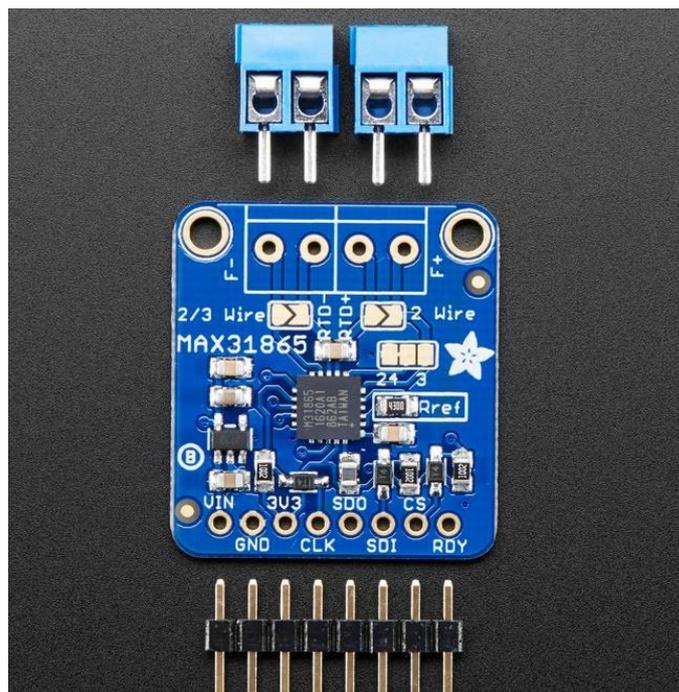


Figura 39 - MAX31865 [45]

Este equipamento mede a o valor da resistência nas sondas, amplifica-o e converte-o para um valor de temperatura, comunicando para o microcontrolador através do protocolo de comunicação SPI.

SPI, *Serial Peripheral Interface*, é um protocolo de comunicação criado pela Motorola a meados da década de 1980 que se tornou um standard no que toca às comunicações entre dispositivos. Esta comunicação tem um barramento do tipo *Master/Slave*, neste tipo de comunicação o Master é o responsável de iniciar a comunicação com os *Slaves* a ele ligados. Para que esta comunicação seja estabelecida, são necessárias quatro ligações entre *Master* e *Slave*: SCLK, *Serial Clock*, é um sinal enviado pelo Master e é responsável por sincronizar os dispositivos e definir a velocidade, *baudrate*, da comunicação; CS, *Chip Select*, esta ligação é utilizada para que o Master selecione o Slave com o qual quer estabelecer ligação; as ligações MISO, *Master Input Slave Output*, e MOSI, *Master Output Slave Input*, tal como os nomes indicam, são os condutores usados para a transmissão de dados entre os dois dispositivos [29]. A existência de duas linhas para o fluxo de informação, em que cada linha tem um e um só sentido, permite que a comunicação seja *full-duplex*. Nesta comunicação só pode existir um *Master*, mas podem existir vários *Slaves*, sendo que a quantidade de *Slaves* é apenas limitada pelo número de portas disponíveis no *Master*. No caso de vários *Slaves*, os conectores SCLK, MISO e MOSI podem ser partilhados, apenas o CS deve ser único para cada *Slave*. O esquema de uma possível ligação entre dispositivos com comunicação SPI pode ser visualizado na Figura 40. Esta figura mostra um *Master* com ligação a três *Slaves* nos quais se verifica o referido anteriormente, os dispositivos partilham as três ligações de comunicação, sendo que as únicas ligações que são exclusivas do *Master* para cada um dos *Slaves* é a ligação CS, na figura seguinte denominada como SS, *Slave Select* [30].

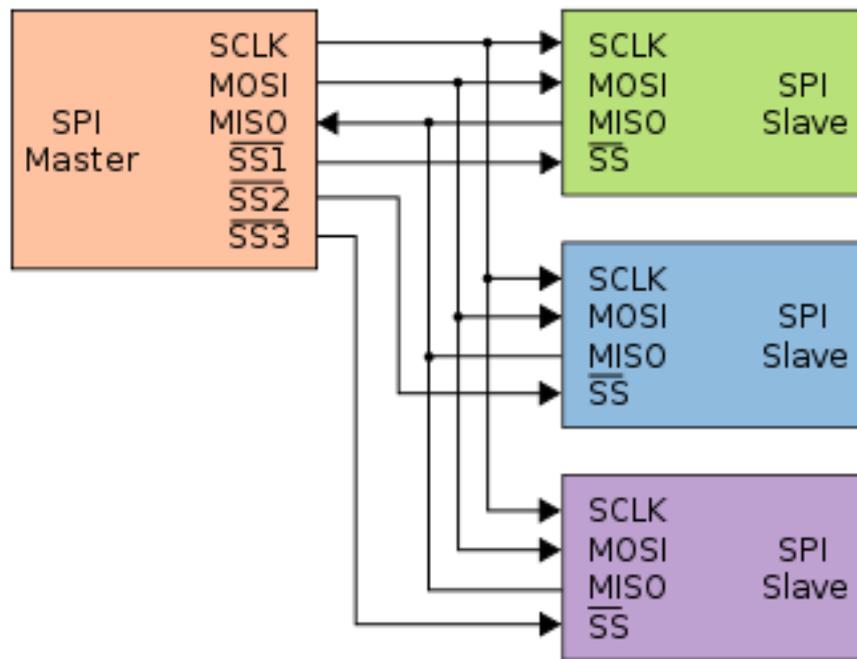


Figura 40 - Esquema exemplo da comunicação SPI [38]

4.4 Software

Sendo que foi escolhido um microprocessador com base Arduíno, usa-se a sua plataforma de programação, o ArduinoIDE, cuja linguagem de programação é baseada em C++. A Arduíno é uma empresa/projeto de hardware e software que se foca no desenvolvimento e produção de microcontroladores e kits para variadas funções e objetivos, sendo estes kits comuns no mundo da robótica, mas com flexibilidade para uma vasta área de aplicações. A sua natureza *open-source* ajudou na sua vasta adoção, o que por sua vez, tem um papel fundamental no crescimento da sua comunidade de utilizadores, esta comunidade é agora também um grande fator na escolha da utilização destes equipamentos, visto que existe uma grande base de entajuda dos utilizadores algo que permite a proliferação de informação e tutoriais sobre a utilização e desenvolvimento dentro da plataforma [31]. Outro aspeto bastante positivo é a existência de bibliotecas, as bibliotecas são meramente funções que são desenvolvidas para uso geral da comunidade sem necessitar de manualmente a inserir no seu código, basta que esta seja “chamada” no início do código desenvolvido. Por exemplo, para o controlo de um servomotor, caso não existissem estas bibliotecas o código seria mais complexo e extenso, visto de manualmente ter que configurar o sinal correto para a posição desejada do servo, já com acesso às bibliotecas, basta uma linha de código que indique a posição desejada.

Considerando agora o nível superior do IoT, a *Cloud*. Como referido anteriormente, a *Cloud* divide-se em duas grandes componentes, Processamento e Armazenamento, nesta solução serão usadas duas plataformas diferentes para servirem como *Cloud*, uma para cada componente. O Processamento,

aqui, entende-se como a parte da *Cloud* que necessita de programação e algum nível de tratamento de dados. Espera-se que esta vertente seja central a este processo, para isso, será responsável pela interface com o utilizador, pelo processamento dos comandos do utilizador, pelo processamento de dados e pela instrução de armazenamento de dados. A plataforma escolhida para este cargo foi o *WayScript*.

4.4.1 WayScript

O *WayScript* é uma plataforma online de programação que conjuga as arquiteturas gráfica e escrita, sendo possível a organização de ações complexas através de elementos gráficos e a programação inerente a essas ações é feita em base de programação escrita. Na Figura 41 vê-se o exemplo de uma ação que inclui código em *Python* e *SQL*. Esta plataforma destaca-se pela sua ampla versatilidade, visto que suporta várias linguagens de código/programação, tais como *HTML*, *JavaScript*, *Python*, *SQL*, entre outras e igualmente de destaque a sua ampla compatibilidade com outros softwares, tendo já integrados *Packages* dos mais variados softwares, por exemplo, *Google Assistance*, *Calendar*, *Sheets*, *Github*, *Excel*, *Gmail*, entre muitos outros. Estes *Packages* facilitam a integração do uso destes softwares externos à plataforma nas ações criadas dentro da plataforma e ainda permite a criação de *websites* com endereço próprio. [45] Todos estes fatores tornam esta plataforma uma ferramenta poderosa e com imenso potencial. Conjugando todos os fatores anteriores com o facto de existir uma versão gratuita facilita a escolha da sua utilização neste trabalho.

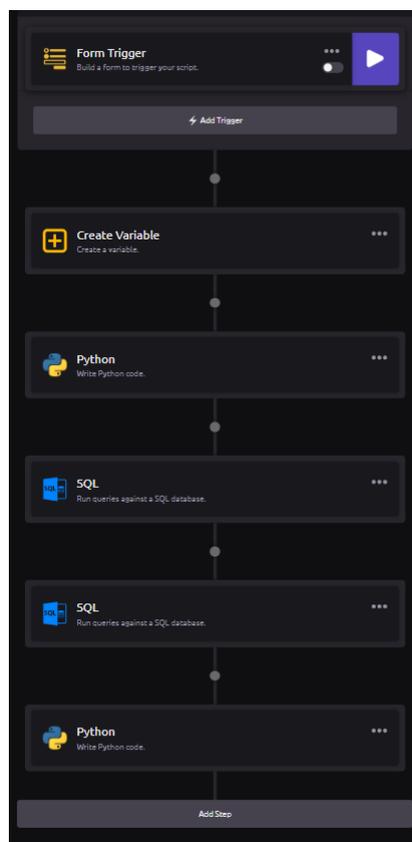


Figura 41 - Exemplo de uma ação no WayScript [45]

No que toca à vertente de armazenamento, nesta aplicação pretende-se o armazenamento de dados de nível baixo de complexidade, sendo estes do tipo numérico, horário e data, logo, a forma mais comum de os armazenar de forma estruturada é através de base de dados. Uma base de dados é, teoricamente, um conjunto de dados armazenados que têm alguma relação entre si, estes dados podem ser manipulados por um sistema de gestão de base de dados, DBMS (*Database Management System*), que permite inserir, eliminar e modificar. Uma base de dados relacional assume um formato mais tradicional em que os dados são armazenados em tabelas, a manipulação de uma base de dados relacional é feita através da linguagem *SQL*, *Structured Query Language*, que envia comandos através de *queries*. Na prática, quando se fala de uma base de dados relacional considera-se o conjunto “base de dados + DBMS” [46]. Existem também bases de dados não relacionais que permitem o armazenamento de dados de forma não estruturada, em ficheiros *JSON*, por exemplo [47]. Daqui em diante ao referir base de dados, é em referência a bases de dados relacionais. Uma base de dados é formada por uma ou mais tabelas e cada tabela é construída por um conjunto de linhas e colunas preenchidos pelos dados, Figura 42. Nas tabelas, as linhas são também conhecidas como registos, dado que é criada uma nova linha a cada registo, já as colunas referem sempre ao mesmo atributo, por exemplo, ao fazer um novo registo numa tabela meteorológica, a temperatura deve ser sempre inserida na mesma coluna.

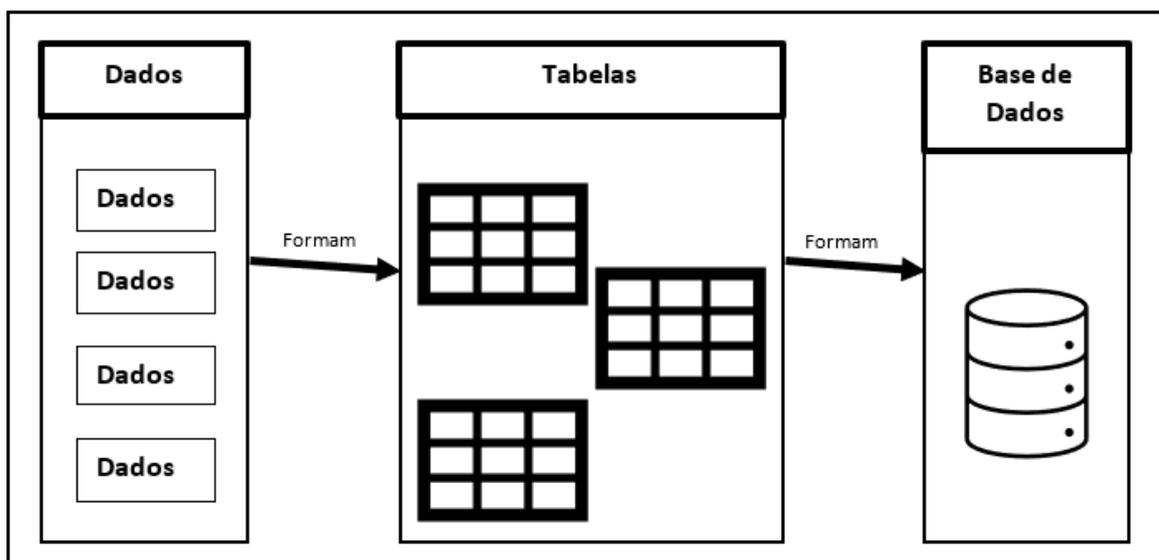


Figura 42 - Composição de uma base de dados relacional

A memória das bases de dados é, normalmente, um recurso limitado, e para sistemas e aplicações que armazenam uma grande quantidade de dados, isto pode tornar-se um enorme problema, especialmente se não forem tomadas as devidas precauções para evitar, por exemplo, redundâncias. As redundâncias são dados repetidos que não acrescentam qualquer informação adicional, nem estão a prestar nenhum serviço necessário [48]. Para evitar estes problemas e outros que possam comprometer o bom funcionamento de uma base de dados deve ser feito um projeto para que se crie

uma base de dados normalizada [49]. Alguns termos importantes para a construção de uma base de dados são:

- Chave primária: Atributo ou atributos que numa tabela conseguem identificar inequivocamente um registo específico. Esta chave não é repetida dentro de uma tabela;
- Atributo: Parâmetro a ser armazenado na base de dados;

Para projetar uma base de dados, esta deve cumprir alguns requisitos:

- Ter capacidade suficiente para armazenar os atributos necessário à sua aplicação;
- Conter o menor número de relações possível;
- Não ter dados redundantes (Isto não contraria a existência de dados repetidos/duplicados);
- As relações devem estar normalizadas;

Para o caso em questão, o desenvolvimento da base de dados não será complexo, porque o pretendido da base de dados é também algo sem complexidade. A base de dados será usada apenas para manter um histórico e servir como “Máquina de estados”, isto é, terá uma tabela de maiores dimensões onde serão mantidos todos os registos em base temporal do estado do protótipo e várias “tabelas de estados”, sendo que estas são tabelas com apenas uma linha onde é registado apenas o estado atual do protótipo. O objetivo das “tabelas de estados” é apenas para a fácil transmissão de informação, por exemplo, quando são dadas instruções por parte do utilizador, estas instruções são registadas tanto na “tabela de histórico” como também nas “tabelas de estados” e o microcontrolador reconhece estas instruções ao ler a informação nas “tabelas de estados”, quando são dadas novas instruções, é inserido um novo registo na “tabela de histórico”, no entanto, nas “tabelas de estados” são substituídos os valores anteriores pelos mais recentes. Na “tabela de histórico” são feitos novos registos cada vez que é reconhecido um novo estado no protótipo, quer seja uma mudança nas temperaturas lidas, quer seja uma nova instrução por parte do utilizador. Em cada nova entrada todo o estado da máquina é registado, bem como a data e hora dessa mudança, espera-se que com esse registo seja possível aprofundar o conhecimento quanto ao comportamento do protótipo, especificamente, ter um registo mais completo do comportamento do PCM nesta aplicação. Este registo de histórico permitirá também melhor diagnosticar algum mal funcionamento do protótipo o que é essencial para a identificação e correção de falhas e, eventualmente, até perceber mudanças que podem otimizar o seu desempenho.

4.4.2 FreeSQLDatabase

A plataforma selecionada para o serviço foi a *FreeSQLdatabase*. Este serviço apresenta servidores em várias localizações de forma a garantir uma cobertura a nível global, permite a criação de até cinco bases de dados por utilizador com a possibilidade da criação de diversas tabelas por base de dados embora com espaço limitado, no entanto, os dados a registar na base de dados ocupam um espaço tão reduzido que a limitação de espaço não apresenta qualquer barreira para a aplicação [50]. Algo que limita esta plataforma é o grande tempo de resposta, isto é, a sua consulta torna-se um processo algo demorado o que pode influenciar a utilização do protótipo e também a sua baixa

capacidade de resposta em picos de acesso, impossibilitando o seu acesso, sendo que na experiência de utilização da plataforma esta limitação foi encontrada esporadicamente, mas, nunca com a ligação ao *WayScript*. Considerando os aspetos anteriores, conclui-se que esta plataforma é indicada para períodos de teste e desenvolvimento, contudo, para aplicações a uma maior escala esta plataforma não é aconselhável por causa das suas limitações e recomenda-se a utilização de uma plataforma mais robusta e fiável.

4.4.3 EasyEDA

Para a realização dos esquemas elétricos utiliza-se a plataforma *EasyEDA*. Esta plataforma faz recurso de uma aplicação dedicada e de uma versão *web* para utilização no navegador. A ferramenta permite criar esquemas elétricos e de ligações tendo uma grande biblioteca de símbolos e equipamentos e ainda deixa a possibilidade de os utilizadores criarem e publicarem os seus próprios símbolos em bibliotecas públicas ou privadas, permite também a partilha de projetos entre vários utilizadores facilitando assim o trabalho cooperativo. Uma característica de destaque é a capacidade de conversão de um esquema de ligações para um esquema preparado a ser impresso numa placa *PCB* e, através de parceria com a *JLCPCB*, é possível criar e encomendar placas desenhadas para soluções específicas dentro da mesma plataforma [51].

4.5 *Síntese*

Com o desenvolvimento do código para o microcontrolador e também com o desenvolvimento do esquema de ligações da solução proposta percebeu-se que ambos estavam a ficar complexos e extensos, algo que iria criar atrito para futuras iterações, por exemplo, o baixo número de pinos utilizáveis restantes no microcontrolador para implementação de outros equipamentos, caso necessário. Sendo assim, o sistema que inicialmente se pensava ser desenvolvido com uma só parte, divide-se em duas complementares, aquisição de dados e execução de comandos. Assim, cada uma destas vertentes tem o seu microcontrolador e passam a ter um fluxo de informação unilateral, o que alivia a sua carga a nível de processamento. A parte da aquisição de dados será dedicada à leitura das temperaturas com as sondas PT100 e PT1000, já a parte de execução de comandos estará responsável pela movimentação da persiana e da abertura/fecho das grelhas de circulação de ar. Os esquemas de ligações propostos são apresentados nas Figura 43 e Figura 44 (consultar Anexo B, página 64).

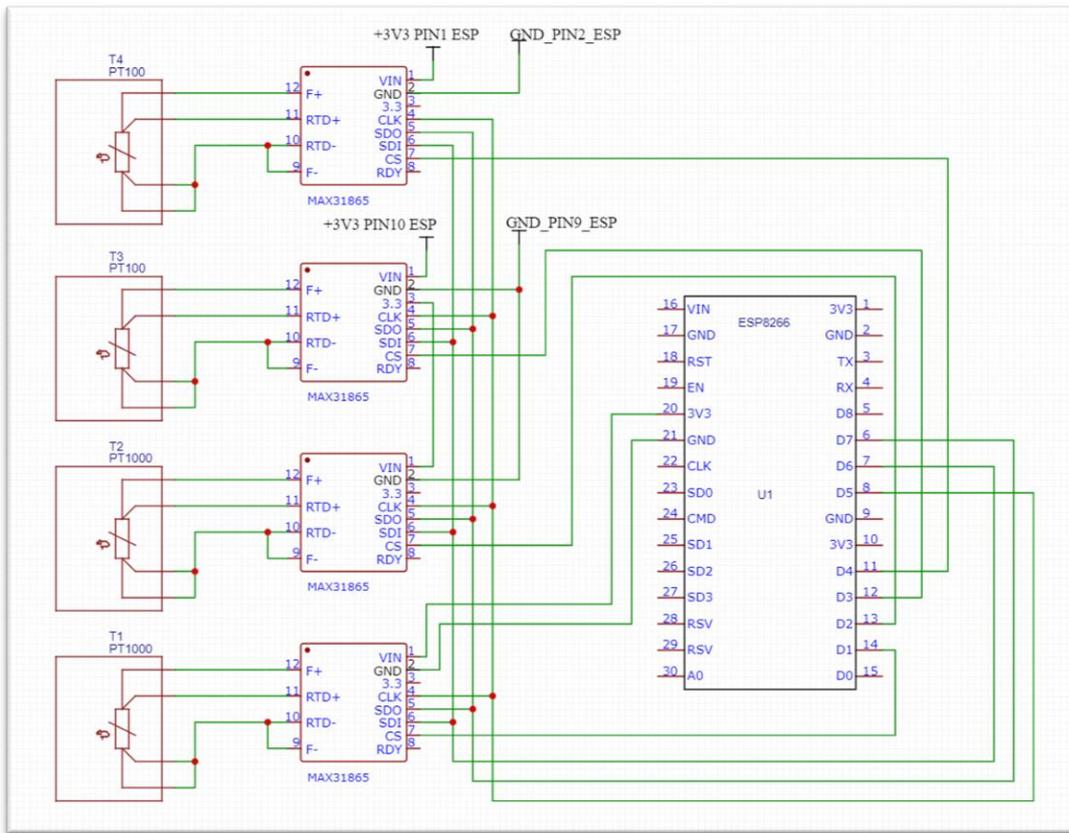


Figura 43 - Esquema de ligações proposto para a aquisição de dados

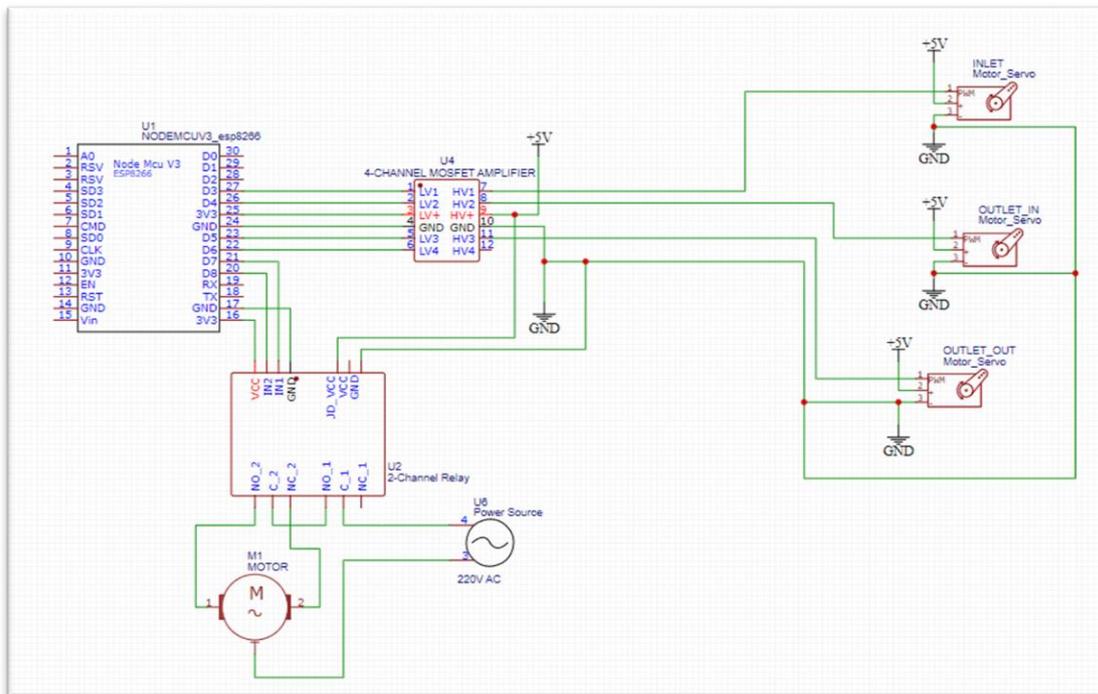


Figura 44 - Esquema de ligações proposto para a execução de comandos

De forma a melhor visualizar o funcionamento conceptual da solução proposta é feito uma representação esquemática (Figura 45). Nesta imagem torna-se ainda mais evidente o quão central a plataforma *WayScript* é na solução proposta e ainda assim não se utiliza o pleno das potencialidades desta plataforma.

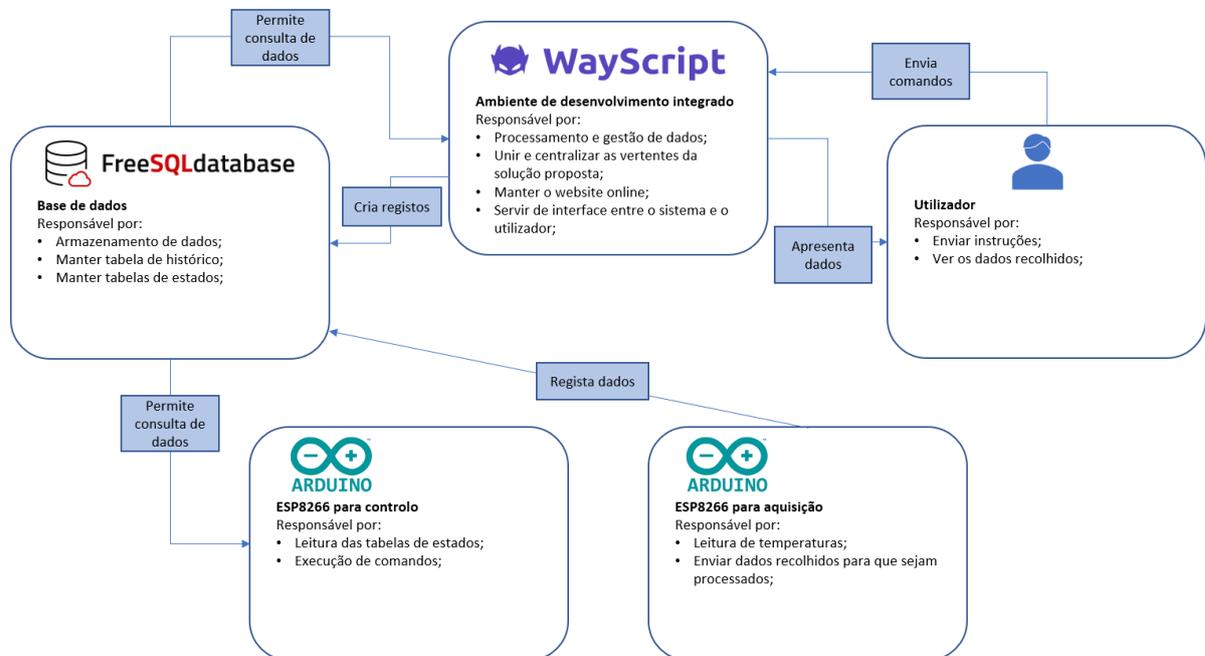


Figura 45 - Representação esquemática da solução proposta

Seja de realce que esta é uma solução entre muitas possíveis e se for considerada a evolução dos serviços semelhantes existentes é possível que esta solução se torne obsoleta em relativamente pouco tempo, no entanto, esse não é um futuro previsível, especialmente quando se opta por plataformas tão diversificadas e com comunidades de utilizadores relativamente grandes. O facto de haver uma grande adoção destas plataformas motiva as suas equipas a mantê-las na vanguarda mantendo o seu bom funcionamento e criando de novas ferramentas e funcionalidades.

5 Aplicação da solução proposta

O presente capítulo irá desenvolver sobre a implementação da solução exposta no capítulo anterior, para isso, será abordado o funcionamento lógico de cada microprocessador, os problemas encontrados e as soluções para os resolver ou contornar.

5.1 Implementação

5.1.1 Microcontroladores

Tal como referido anteriormente, foi tomada a decisão de aplicar dois microcontroladores, sendo que cada um terá um foco específico, a aquisição de dados ou a execução de comandos. Começando por explicar o funcionamento para o microcontrolador dedicado à aquisição das temperaturas.

- Aquisição de dados

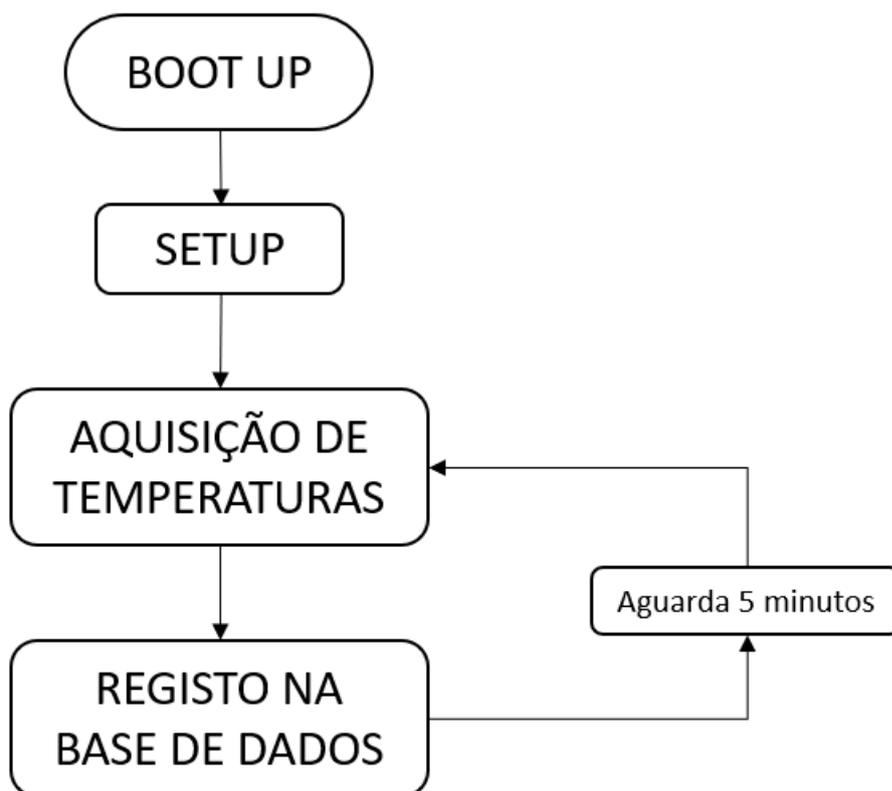


Figura 46 - Diagrama de atividades do código utilizado para a aquisição de temperaturas

Como se pode verificar na Figura 46, o algoritmo usado não tem grande complexidade lógica, nem assim seria suposto, visto que o seu objetivo é fazer uma recolha cíclica de dados e proceder ao seu registo. Agora a uma explicação mais detalhada: Na fase denominada de *BOOT UP* entende-se que é o início de trabalho do microcontrolador, aqui são “chamadas” as bibliotecas e declaradas as variáveis a ser usadas, sendo, neste caso, as necessárias para que se estabeleça ligação à internet, ligação à base de dados e ainda para a leitura das temperaturas; No passo de *SETUP* é executado o código que apenas é necessário executar uma vez, sendo que é aqui que se iniciam todas as ligações de comunicação (comunicação pela internet, comunicação com a base de dados e comunicação com as placas MAX31865) sendo que estas ligações se mantêm ativas, então não há necessidade de as reestabelecer a cada ciclo; os passos seguintes (*AQUISIÇÃO DE TEMPERATURAS* e *REGISTO NA BASE DE DADOS*) são feitos de forma cíclica, então estão sempre em repetição. O registo na base de dados é feito na “tabela de estados” dedicada às temperaturas.

- Execução de comandos

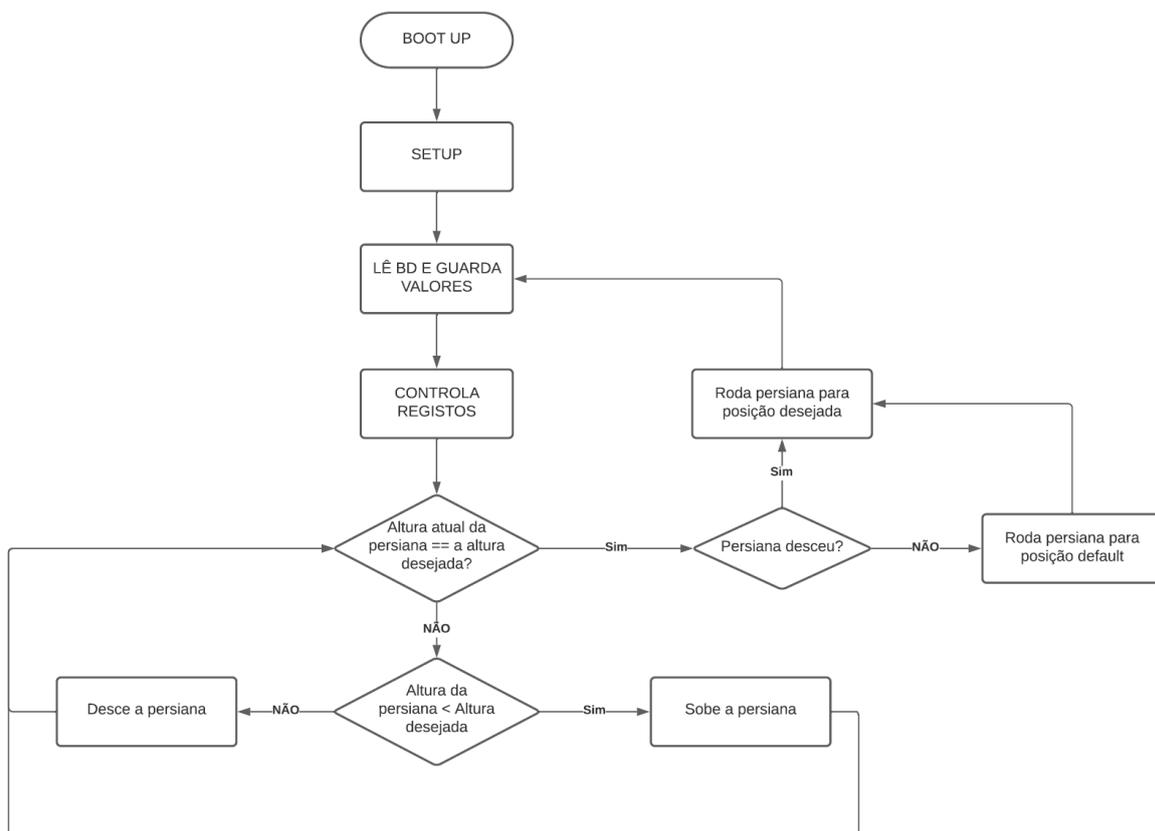


Figura 47- Diagrama de atividades do código utilizado para a execução de comandos

Comparando com a Figura 46, nota-se um aumento na complexidade do funcionamento lógico. As duas primeiras fases cumprem efeitos semelhantes às fases equivalentes na aquisição de temperaturas, no entanto acresce ainda a declaração de alguns pinos com função de saída ou de entrada digitais. A leitura da base de dados é feita de uma “tabela de estados” dedicada ao comando

do protótipo onde estão guardadas as instruções mais recentes dadas pelo utilizador. No *CONTROLA REGISTOS* é a parte do código onde se controla a abertura/fecho das grelhas de ar. O controlo da altura da persiana é feito por base temporal, isto é, faz-se a cronometragem do tempo total que a persiana demora a ir da posição completamente fechada a completamente aberta e controla-se conjugando esse tempo com a percentagem de abertura desejada, por exemplo, assumindo que a persiana demora 50 segundos a ir da posição completamente fechada a completamente aberta e quer-se que vá de completamente fechada para meia aberta (50%), então a persiana deverá estar a subir 25 segundos (50% de 50 segundos). O controlo da rotação da persiana é feito de forma semelhante (visto que a rotação das lamelas é feita pelo mesmo sistema que é usado para controlar a altura da persiana), considerando o facto de a persiana ter descido ou não para iniciar a rotação sempre da mesma posição conhecida.

5.1.2 WayScript

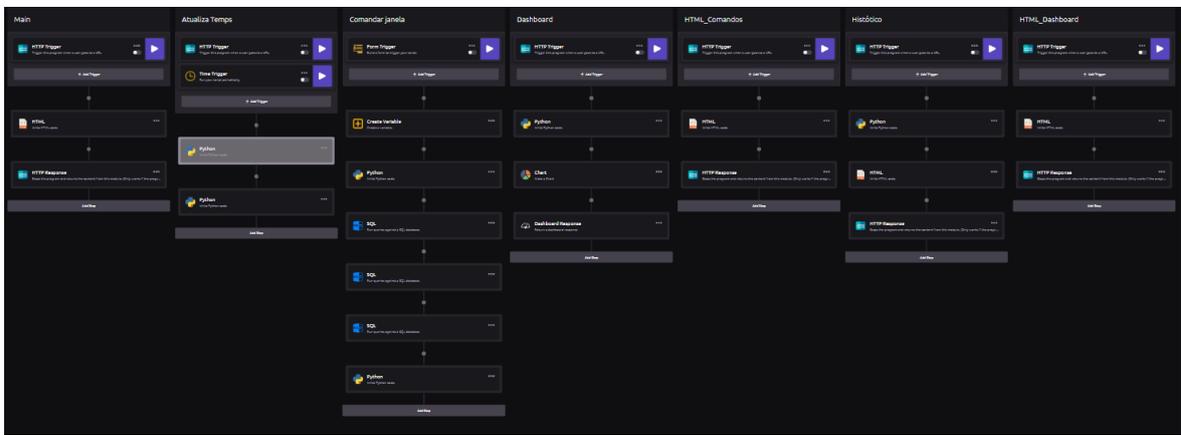


Figura 48 - Aspeto do algoritmo desenvolvido em WayScript

Na Figura 48 pode ser visualizado o layout geral do algoritmo desenvolvido na plataforma *WayScript* (consultar com mais detalhe no Anexo D, página 66). Como se pode verificar estão presentes várias ações, as quais garantem o funcionamento do *website* que serve como interface com o utilizador (recebe e apresenta dados), o processamento de dados e ainda o registo e gestão de dados na base de dados (processa os dados nas “tabelas de estados” e atualiza a “tabela de histórico” de forma que esta guarde todos os estados do protótipo). As linguagens de código usadas foram *HTML*, *Python* e *SQL*, sendo que o *HTML* é usado para a apresentação do *website*, o *Python* é usado para o processamento e tratamento de dados e, finalmente, o *SQL* é usado para as interações com a base de dados (leitura e/ou registo de valores). As interfaces do *website* com que o utilizador terá contacto terão o aspeto apresentado na Figura 55 (página 53), esta imagem mostra as páginas em que será possível consultar o histórico, a interface onde se pode ver o estado do protótipo de forma mais imediata e gráfica e, finalmente, a interface onde é possível enviar instruções para o protótipo.

5.2 Obstáculos e limitações identificados

Com a implementação da solução proposta foram encontrados obstáculos e incompatibilidades que impedem o funcionamento normal do protótipo.

O primeiro obstáculo identificado é na leitura de temperaturas em que as placas MAX31865 compradas não são compatíveis com sondas de temperatura do tipo PT1000 (embora tenham sido adquiridas e aplicadas como tal) mas sim com sondas PT100. A resolução poderá passar por garantir que o equipamento adquirido é, efetivamente, compatível com sondas PT1000, substituir a resistência de referência pela resistência indicada (como indicado no subcapítulo 4.3.2, que inicia na página 34) ou então substituir as sondas PT1000 por sondas PT100. Destas três opções, a aparentemente mais facilmente exequível é a primeira, no entanto, esta será uma limitação deste trabalho.

Outra incompatibilidade a ser resolvida é entre o módulo de relés e o motor. Embora para o movimento contínuo do motor os relés aparentem ser uma solução adequada, a verdade é que as sucessivas paragens e arranques do motor provocavam uma grande carga indutiva que o relé não está dimensionado para suportar, então é necessário introduzir uma nova camada de proteção ao funcionamento do módulo de relé. Para esta proteção dos relés são aplicados contactores. Os contactores são interruptores elétricos projetados exatamente para fazer a ligação a equipamentos com cargas elétricas elevadas e normalmente são controlados por circuitos com potências muito mais baixas do que os equipamentos que a ele são ligados, o que é o caso. São aplicados 2 contactores (um para cada sentido de rotação do motor) normalmente abertos que funcionam com 24V DC, resolvendo assim esta incompatibilidade. Usa-se o conversor da solução original para fornecer os 24V DC necessários.

O controlo de altura da persiana mostra-se também complexo e altamente propenso à falha, especialmente no longo prazo. Então, ao verificar esta oportunidade/necessidade de melhoria, decide-se introduzir no protótipo um sensor ultrassónico de medição de distâncias. Com este sensor esperam-se medidas mais concretas e precisas, baixo o nível de complexidade lógico da programação do microcontrolador, sendo que a Figura 47 se mantém intacta, no entanto não há a necessidade de haver um registo do nível de abertura da persiana (interno ao microcontrolador) que tem uma margem de erro associada que iria resultar no mal funcionamento do protótipo. O sensor aplicado é o HC-SR04, Figura 49. Este sensor tem capacidade de medições entre o 2cm e os 4m, tem uma incerteza de 3mm (algo que não influencia o funcionamento desta aplicação) e funciona a 3,3V DC, ou seja, pode ser alimentado diretamente pelo microcontrolador.



Figura 49 - Sensor ultrassónico HC-SR04 [52]

Para efetuar medições este sensor tem um transmissor e um recetor. O transmissor emite um ultrassom com frequência de 40 kHz que é refletido no objeto e captado pelo recetor. Sabendo o tempo que o sinal levou desde a sua emissão até à sua receção e sabendo também a velocidade do som no ar é possível calcular a distância percorrida pelo sinal e conseqüentemente a que distância se encontra o objeto [52]. Mesmo com a aplicação deste sensor é necessário dar uma margem de 14cm ao valor lido de forma ao funcionamento poder ser considerado normal, isto é, por exemplo, se é pretendido que a persiana tenha uma abertura de 90cm, considera-se que a persiana está com a altura desejada se a altura lida pelo sensor estiver entre 83 e 97cm. Isto acontece porque ao movimentar-se a persiana acaba por ter um movimento pendular o que afeta a leitura do sensor e que por sua vez leva a um movimento irregular da persiana (trocas rápidas do sentido de rotação) assim provocando ainda mais movimento pendular, Através de tentativa erro, chega-se a que estes 14cm de margem são o mínimo para evitar estes movimentos erráticos.

5.3 Síntese

Com as mudanças feitas, foi necessário reajustar o código relativo ao microcontrolador de execução de comandos, bem como o esquema de ligações do mesmo, Figura 50 (anexo C, página 65). Obtém-se então a forma final da solução proposta, sendo que foram feitas alterações na vertente de execução de comandos, bem como ao protótipo, que agora fica equipado com mais um sensor, embora este sensor seja utilizado apenas a nível local por um dos microcontroladores e os valores lidos não serão registados na base de dados, serão usados apenas para o movimento da persiana para a altura desejada.

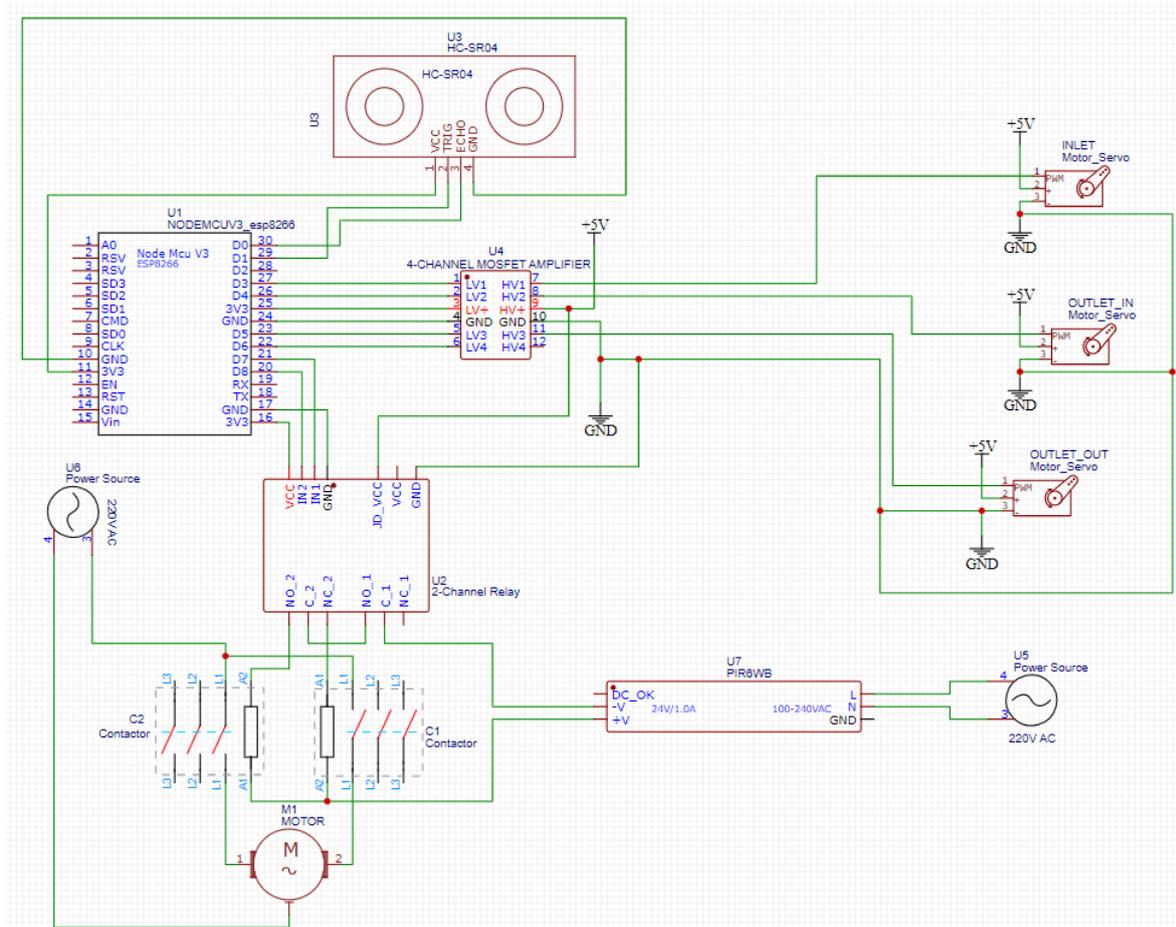


Figura 50 - Esquema de ligações para execução de comandos final

São então preparadas placas de circuitos provisórias utilizando placas PCB universais e fazendo as ligações com fio de solda. Foram também impressas tampas simples para dar alguma proteção evitando danos nas ligações. Opta-se por esta alternativa ao invés de placas de circuito impresso por ser mais fácil implementar alterações desta forma, Figura 51 e Figura 52.

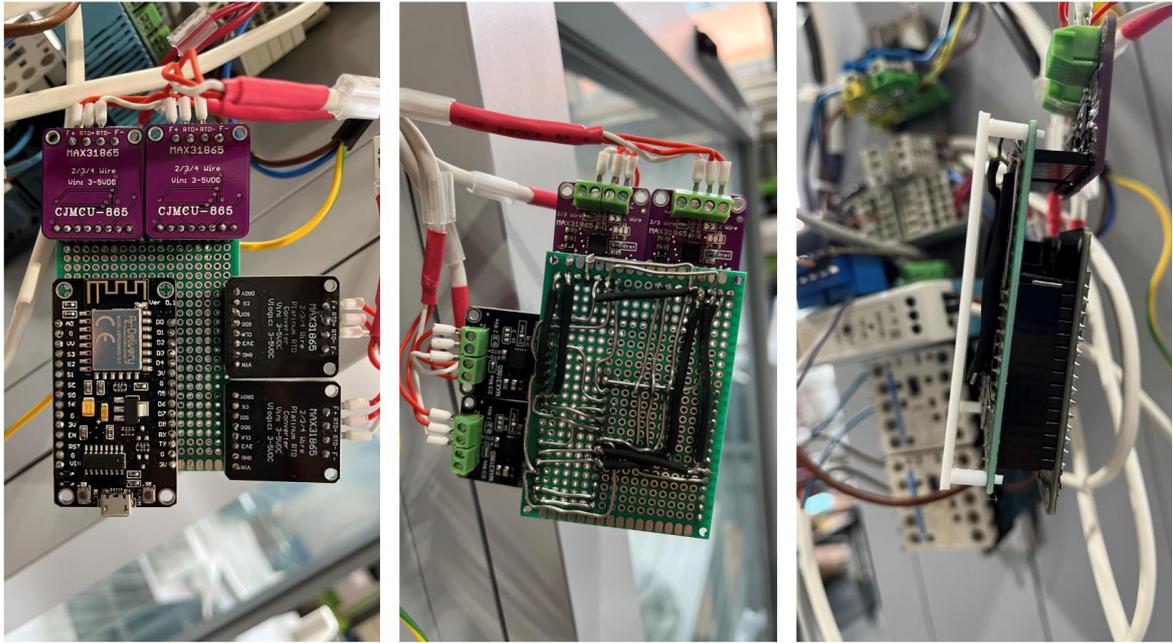


Figura 51 - PCB provisório do sistema para leitura de temperaturas

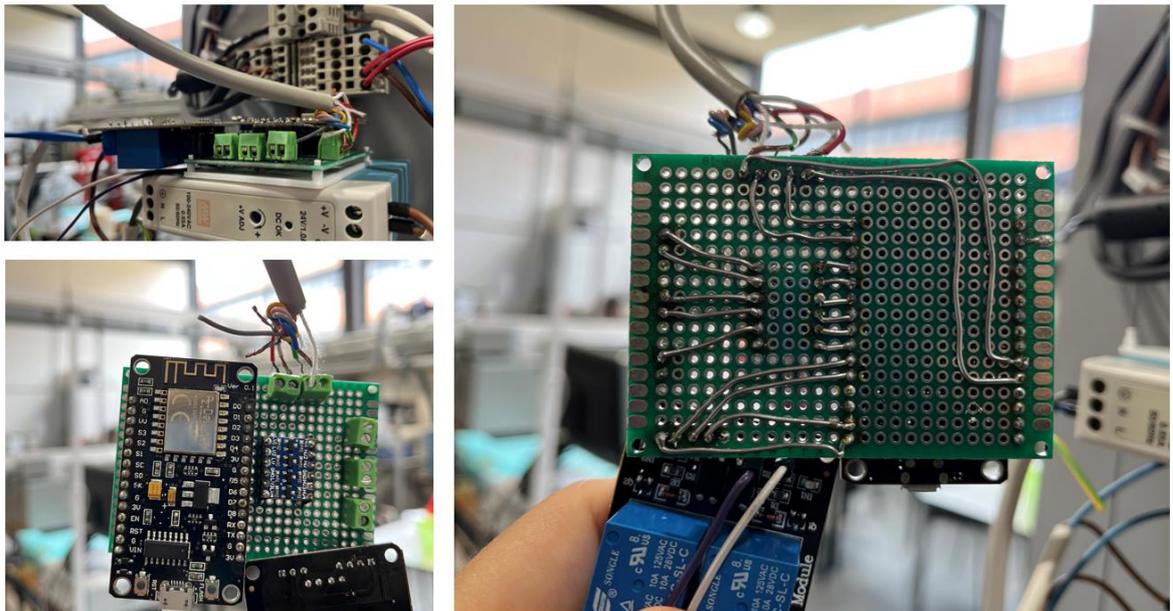


Figura 52 - PCB provisório do sistema de execução de comandos

Mesmo só estando aplicada uma solução provisória nota-se uma grande diferença entre a solução original e a solução proposta relativamente ao volume. Quanto à quantidade de ligações visíveis na solução proposta, espera-se que a quantidade seja menor (e organização muito maior) quando for implementada uma solução permanente, no entanto nota-se também que há progresso. Esta diferença deriva de boa parte das ligações serem feitas nas placas PCB desenvolvidas. (Figura 53 e Figura 54).



Figura 53 - Solução inicial de automação do protótipo

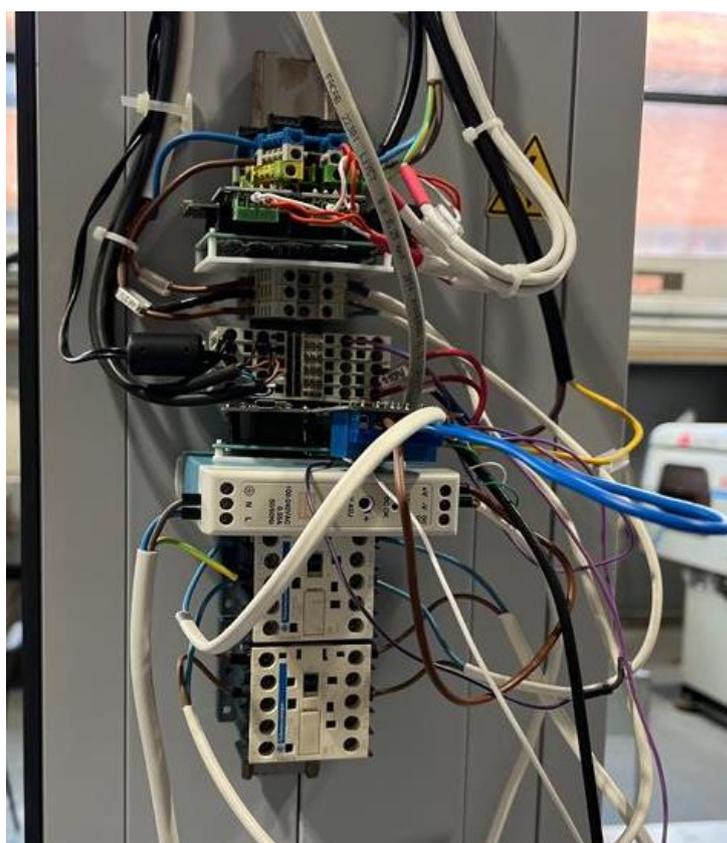


Figura 54 - Solução proposta para automação do protótipo

6 Resultados e Conclusões

Neste capítulo serão abordados os resultados obtidos com a aplicação da solução proposta, desenvolvendo sobre as suas limitações e potencialidades. Será analisado o impacto da implementação desta solução e ainda serão feitas propostas de alterações/melhorias e serão dadas também sugestões para trabalhos futuros.

6.1 Resultados

Como resultado deste trabalho, a solução proposta apresenta uma solução de controlo remoto do protótipo. Esta solução tem uma interface amigável ao utilizador assume a forma de *website*, Figura 55, que pode ser acedido de qualquer parte do globo desde que haja ligação à internet.

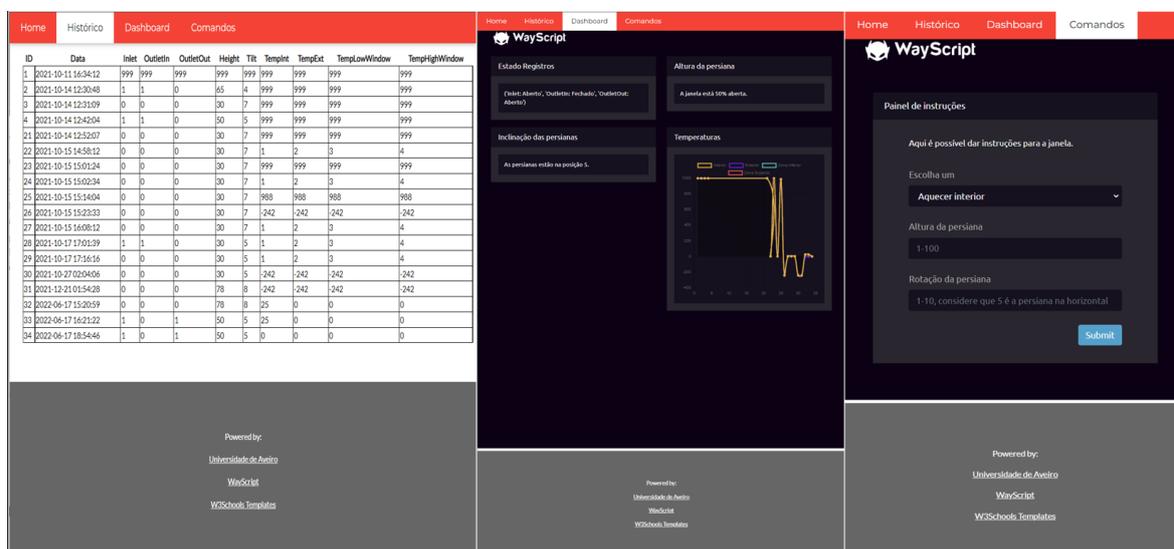


Figura 55 - Interface com o utilizador

Através desta interface garante-se a mesma capacidade de controlo e monitorização que era garantida anteriormente, ou seja, é possível o controlo da abertura e fecho da persiana, bem como da inclinação das lamelas, é possível o controlo da abertura e fecho das grelhas de circulação de ar e mantém-se também possível a monitorização das temperaturas, funções estas que agora podem ser feitas de forma remota. Acresce ainda o registo de histórico possível de ser consultado e analisado que não existia no sistema anteriormente implementado. Embora esta solução apresente algumas limitações é possível o bom funcionamento do protótipo.

6.2 Análise do impacto da implementação dos sistemas flexíveis

No subcapítulo anterior já concluímos que a nível funcional, o sistema proposto é semelhante ao sistema previamente implementado à exceção da vertente remota e de haver um registo de histórico. Analisando agora a nível de custos, o conjunto do equipamento implementado na solução proposta é

algo que é possível implementar atualmente por valores a rondar os 100€ sendo que os contatcores e a fonte de alimentação 24V (equipamento industrial) representam na ordem de 60 a 70% do valor total. Comparando o custo de aquisição da nova solução com a solução inicial implementada, apenas o custo do módulo iR-ETN tem o valor de 110€ [53]. Assim, podemos concluir que a solução proposta representa uma poupança significativa do custo de aquisição dos equipamentos, em parte justificados porque os equipamentos dedicados ao IoT são significativamente mais baratos que os equipamentos industriais, sendo este mais um motivo a favor desta transição.

Também com a transição para um sistema compatível com IoT abre-se portas a um controlo mais automático e independente. Através de implementações de software na plataforma *WayScript* será possível a criação de rotinas que permitam ao utilizador definir comportamentos para o protótipo que sejam definidos por “eventos” ao invés de apenas através de instruções, por exemplo, fechar/abrir a persiana a um determinado horário.

Não esquecendo que um dos objetivos principais do funcionamento deste protótipo é contribuir para a climatização dos edifícios, a aplicação das automações referidas no parágrafo anterior podem potencializar o cumprimento do seu objetivo, aplicando os referidos “eventos” com o objetivo da regulação da temperatura interior do edifício. Por exemplo, assim que a temperatura interior seja igual à definida, fecha-se a grelha de circulação de ar que permite a entrada de ar aquecido no edifício - isto considerando apenas o sistema inerente ao protótipo. Mas se considerarmos uma aplicação semelhante à referida no final do Estado de Arte (página 16), o potencial na poupança dos custos energéticos no setor do edificado aparenta ser imensa, no entanto ainda há um longo caminho a percorrer até se verificar a viabilidade dessa hipótese, embora as perspetivas sejam animadoras, tendo em conta os resultados obtidos no estudo em causa.

6.3 Conclusões

Revisitando os objetivos iniciais para este trabalho:

- Avaliar os parâmetros a considerar para o controlo e instrumentação do sistema;
- Fazer o esquema elétrico da instalação atual no sistema;
- Planear, esquematizar e criar o esquema elétrico do sistema;
- Registrar os dados medidos e comandos impostos ao sistema;
- Controlar e monitorizar o sistema de forma remota através da solução desenvolvida;

Consegue-se obter uma solução proposta em linha com os fundamentos IoT. Solução esta que mantém as funções da solução anterior acrescida da capacidade de as funções poderem ser desempenhadas remotamente e ainda com a característica de manter um registo de base temporal completo de todas as mudanças no estado do protótipo. A favor da solução proposta/transição para um sistema IoT está o facto de o investimento em equipamento reduzir significativamente o que dá mais liberdade para a continuidade de desenvolvimento do protótipo, visto que os equipamentos dedicados aos sistemas IoT são geralmente baratos e com ampla disponibilidade para aquisição. No caso de alguma avaria a níveis de sensores ou atuadores, basta proceder à troca dos mesmos,

assumindo que estes são iguais aos anteriores, não deverá ser necessária qualquer alteração no código dos microcontroladores. No caso de avaria dos microcontroladores, basta fazer o *upload* do código desenvolvido no novo equipamento (assumindo que é igual ao anterior) e este estará pronto a ser utilizado.

Em suma, a solução proposta tem algumas limitações e, obviamente, existe oportunidade de melhorias, mas tendo em conta os resultados obtidos considera-se que são cumpridos os objetivos propostos.

6.4 Propostas de alterações/melhorias e trabalho futuro

Nesta temática as primeiras duas sugestões serão dedicadas a colmatar algumas limitações já relatadas neste documento:

- Aplicação de placas MAX31865 que sejam efetivamente compatíveis com sondas PT1000 ou alteração das atuais sondas PT1000 por sondas PT100;
- Aplicação de um sistema que restrinja o movimento horizontal da persiana, permitindo apenas o movimento vertical;

Por exemplo, a aplicação de calhas na lateral da persiana e de tubos nas pontas da lamela final da persiana. Assim os tubos movimentando-se apenas dentro das calhas iriam impedir o movimento pendular da persiana.

Outras sugestões:

- Substituição dos servomotores que controlam a abertura e fecho das grelhas de circulação de ar por solenoides;

Esta sugestão vem na ótica de baixar a complexidade quer a nível de código quer ao nível dos equipamentos. Os solenoides (Figura 56) são ativados apenas pela passagem de corrente elétrica sem necessidade de nenhum sinal em específico. Para além disso têm uma posição de origem que apenas depende da mola, esta característica é vantajosa por adicionar uma camada de proteção no sentido de preservar o protótipo em casa de falha na sua alimentação, evitando, por exemplo, o sobreaquecimento do PCM.



Figura 56 – Solenoide [54]

Esta solução baixa também a diversidade de equipamentos necessários visto que pode ser controlada através de relés (eliminando assim a necessidade do conversor de nível de voltagem bidirecional MOSFET). Para aplicação desta sugestão são necessárias mudanças no código associado ao microcontrolador, embora pequenas, e também mudanças no equipamento escolhido, visto que será necessário um módulo de relés com mais canais.

- Análise a longo prazo do comportamento do protótipo de forma a averiguar se será útil complementar com mais sensores a monitorização do mesmo;
- Implementação de rotinas de segurança que atuem mesmo sem ser dada instrução de forma a proteger o bom funcionamento do protótipo;
- Implementação de algoritmos de controlo automático da persiana baseados nos dados recolhidos e nas preferências do utilizador

Por exemplo, o utilizador indica a gama de temperaturas que pretende que esteja o interior do edifício e o protótipo comporta-se, autonomamente, de forma a atingir esse objetivo.

7 Referências

- [1] S. Tsemekidi Tzeiranaki *et al.*, “Energy Consumption and Energy Efficiency trends in the EU-28, 2000-2018. EUR 30328 EN,” *Publications Office of the European Union, Luxembourg*, no. December, p. 183, 2020, Accessed: Mar. 01, 2022. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/energy-consumption-and-energy-efficiency-trends-eu-28-2000-2018>
- [2] Leão de Sousa, Vasco Filipe Carvalho, “Sistemas passivos na construção em Portugal: Análise de um caso de estudo” Lisboa: Universidade nova de Lisboa, 2018. Dissertação de mestrado.
- [3] T. Bruno and D. Durães, “Identificação do Tipo e Quantidade de PCM Adequado ao Clima Português - Lisboa”, Minho: Universidade do Minho Escola de Engenharia, 2013. Dissertação de mestrado
- [4] RAL Quality Association PCM, “Application Areas - PCM - Phase Change Material.” [Consult. 01 mar. 2022]. Disponível em WWW:<URL: <https://www.pcm-ral.org/pcm/en/pcm/pcm-application-areas/>>.
- [5] J. Shi *et al.*, “Experimental Investigation and Numerical Validation on the Energy-Saving Performance of A passive Phase Change Material Floor for A Real Scale Building,” *ES Energy & Environment*, 2020, doi: 10.30919/ESEE8C380.
- [6] Y. Cui, J. Xie, J. Liu, and S. Pan, “Review of Phase Change Materials Integrated in Building Walls for Energy Saving,” *Procedia Engineering*, vol. 121, pp. 763–770, Jan. 2015, doi: 10.1016/J.PROENG.2015.09.027.
- [7] M. Hazami, F. Mehdaoui, H. Taghouti, M. Noro, R. Lazzarin, and A. Guizani, “Energy Storage in PCM Wall Used in Buildings’ Application: Opportunity and Perspective,” *Thermodynamics and Energy Engineering*, Jun. 2020, doi: 10.5772/INTECHOPEN.92557.
- [8] R. Ahmadi and A. Shahcheraghian, “ENERGY SAVING IN BUILDING USING PCM IN WINDOWS”. 14th International Conference of the International Building Performance Simulation Association, atual. nov. 2015. [Consult. 02 fev. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.researchgate.net/publication/310674291_Energy_Saving_in_Building_Using_PCM_in_Windows>.
- [9] M. W. Ahmad, M. Mourshed, J.-L. Hippolyte, Y. Rezgui, and H. Li, “OPTIMISING THE SCHEDULED OPERATION OF WINDOW BLINDS TO ENHANCE OCCUPANT COMFORT”. 14th International Conference of the International Building Performance Simulation Association, atual. dez. 2015. [Consult. 02 fev. 2022]. Disponível em WWW:<URL:https://www.researchgate.net/publication/292784245_Optimising_the_scheduled_operation_of_window_blinds_to_enhance_occupant_comfort>.

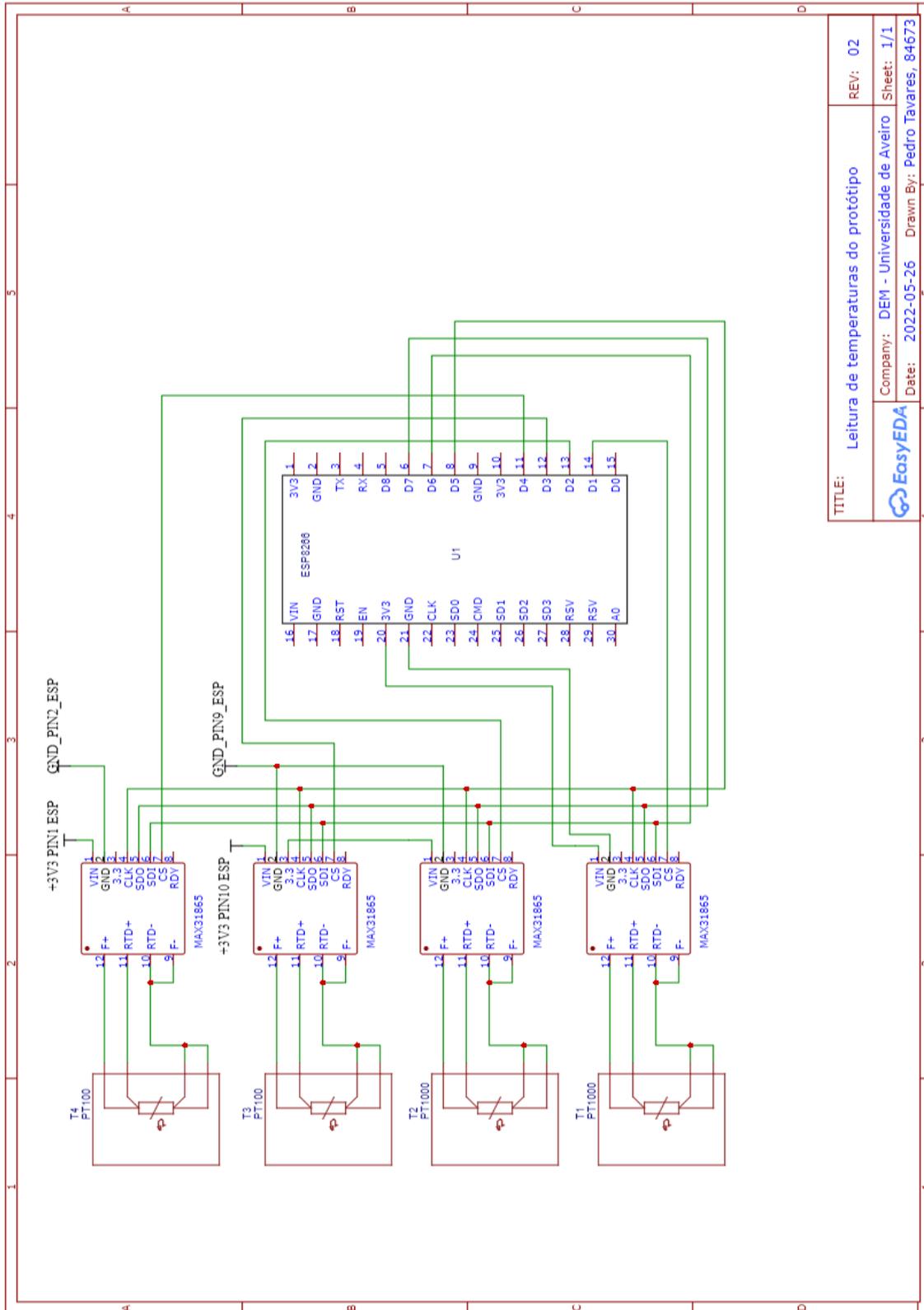
- [10] A. Sharma, V. v. Tyagi, C. R. Chen, and D. Buddhi, “Review on thermal energy storage with phase change materials and applications,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, no. 2, pp. 318–345, Feb. 2009, doi: 10.1016/J.RSER.2007.10.005.
- [11] Moura Martins, Bruno Filipe, “Materiais de Mudança de Fase (PCM) para Melhoria do Desempenho Térmico de Edifícios. PCM – Produtos e Aplicações em Construção.” https://sigarra.up.pt/feup/pt/pub_geral.pub_view?pi_pub_base_id=213341 (accessed Mar. 01, 2022). Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2017. Dissertação de mestrado.
- [12] T3, “The smart home: a glossary guide for the perplexed | T3.” <https://www.t3.com/features/the-smart-home-guide> (accessed Apr. 07, 2022).
- [13] TechTarget, “What is IoT (Internet of Things) and How Does it Work? - Definition from TechTarget.com.” <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/Internet-of-Things-IoT> (accessed Apr. 07, 2022).
- [14] J. Karlgren *et al.*, “Socially Intelligent Interfaces for Increased Energy Awareness in the Home,” *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, vol. 4952 LNCS, pp. 263–275, 2008, doi: 10.1007/978-3-540-78731-0_17.
- [15] D. Romascanu, J. Schoenwaelder, and A. Sehgal, “Management of Networks with Constrained Devices: Use Cases,” May 2015, doi: 10.17487/RFC7548.
- [16] A. Traukina, “Industrial internet application development: simplify IIoT development using the elasticity of public cloud and native cloud services”, 1st ed. 29 set. 2018. [Consult. 10 fev. 2022].
- [17] M. Krarti, “Energy performance of control strategies for smart glazed windows applied to office buildings,” *Journal of Building Engineering*, vol. 45, p. 103462, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.JOBE.2021.103462.
- [18] Warema, “WAREMA external/internal venetian blind drive Type D249/ D349 Settings instructions and connection diagram.”
- [19] “PowerHD 1501MG servomotor datasheet.” Accessed: May 20, 2022. [Online]. Available WWW <URL:<https://www.pololu.com/file/0J729/HD-1501MG.pdf>>
- [20] T&P Instruments, “Tabelas Standard de Resistência vs. Temperatura para sondas PT100.” https://www.tnp-instruments.com/sitebuildercontent/sitebuilderfiles/pt100_385c_table.pdf (accessed May 20, 2022).
- [21] A. R. Vakhshouri, “Paraffin as Phase Change Material,” *Paraffin - an Overview*, Dec. 2019, [Consult. 20 maio 2022] Disponível em WWW <URL: <https://www.intechopen.com/chapters/70480>> doi: 10.5772/INTECHOPEN.90487.

- [22] CRODA, “CrodaTherm 53 Datasheet” 2018.
- [23] WEINTEK, “cMT-3071 Datasheet,” 2018. http://download.savior.com.tr/WEINTEK%20OPERATOR%20PANEL%20HMI/Weintek%20cMT%20Serisi/cMT3071/cMT3071_Datasheet_ENG.pdf (accessed May 23, 2022).
- [24] WEINTEK, “iR-ETN User Manual”. [Consult. 23 mai. 2022] Disponível em WWW <URL: https://dl.weintek.com/public/iR/eng/UserManual/UM018002E_iR-ETN_UserManual_20180906_en.pdf>
- [25] WEINTEK, “iR-AI04-TR User Manual”. [Consult. 23 mai. 2022] Disponível em WWW <URL: https://dl.weintek.com/public/iR/eng/UserManual/UM018014E_iR-Axxx-TR_UserManual_eng.pdf>
- [26] Advantech, “ADAM-6052-D Advantech | Mouser Portugal.” <https://pt.mouser.com/ProductDetail/Advantech/ADAM-6052-D?qs=W0yvOO0ixfH69WKwEjgepw%3D%3D> (accessed May 23, 2022).
- [27] MeanWell, “MDR-20-24, Power supply 24W 24VDC, mini, DIN TS35 (Mean Well MDR-20-24).” <https://www.atel-electronics.eu/produkt.php?hash=06675> (accessed Jun. 20, 2022).
- [28] Handsontec, “Handson Technology User Manual V1.2”, Accessed: Jun. 13, 2022. [Online]. Available: www.handsontec.com
- [29] F. Leens, “An introduction to I2C and SPI protocols,” *IEEE Instrumentation and Measurement Magazine*, vol. 12, no. 1, pp. 8–13, 2009, doi: 10.1109/MIM.2009.4762946.
- [30] “KeyStone Architecture Serial Peripheral Interface (SPI) User Guide ø-ii KeyStone Architecture Serial Peripheral Interface (SPI) User Guide Contents SPRUGP2A-March 2012 KeyStone Architecture Serial Peripheral Interface (SPI) User Guide ø-iii Submit Documentation Feedback,” 2010, Accessed: Jun. 14, 2022. [Online]. Available: www.ti.com
- [31] W. Aftab, A. Usman, J. Shi, K. Yuan, M. Qin, and R. Zou, “Phase change material-integrated latent heat storage systems for sustainable energy solutions,” *Energy & Environmental Science*, vol. 14, no. 8, pp. 4268–4291, Aug. 2021, doi: 10.1039/D1EE00527H.
- [32] L. Wu *et al.*, “Numerical analysis of energy savings due to the use of PCM integrated in lightweight building walls You may also like Endurance Improvement of Phase Change Memory Based on High and Narrow RESET Currents Effect of High Temperature Circumstance on Lithium-Ion Battery and the Application of Phase Change Material Numerical analysis of energy savings due to the use of PCM integrated in lightweight building walls”, doi: 10.1088/1757-899X/923/1/012070.
- [33] MicroTekLabs, “Phase Change Materials - Microtek Labs.” Disponível em WWW <URL:<https://www.microteklabs.com/phase-change-materials/>> (accessed Mar. 01, 2022).

- [34] Szabó, Márta, Al-Yasiri, Qudama, “Incorporation of phase change materials into building envelope for thermal comfort and energy saving: A comprehensive analysis.”, *Journal of Building Engineering*, 2021, [Consult. 24 jan. 2022]. Disponível em WWW: <URL: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2352710220337542?token=F3BB4367ECE545A44C1295F2EFE08F32F6EE8B7B1495EDFED601A94312A0B98C926FB95DB2CD8B88C7B45524C9814183&originRegion=eu-west-1&originCreation=20220124221522>>, ISSN 2352-7102
- [35] T. Nomura, N. Okinaka, and T. Akiyama, “Impregnation of porous material with phase change material for thermal energy storage,” *Materials Chemistry and Physics*, vol. 115, no. 2–3, pp. 846–850, Jun. 2009, doi: 10.1016/J.MATCHEMPHYS.2009.02.045.
- [36] P. K. Singh Rathore, S. K. Shukla, and N. K. Gupta, “Potential of microencapsulated PCM for energy savings in buildings: A critical review,” *Sustainable Cities and Society*, vol. 53, p. 101884, Feb. 2020, doi: 10.1016/J.SCS.2019.101884.
- [37] Wikipedia, “Serial Peripheral Interface - Wikipedia.” Available in WWW: <URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface> (accessed Jun. 14, 2022).
- [38] TowerPro, “SG90 9 g Micro Servo datasheet”. (accessed May. 13, 2022).
- [39] Circuits4You, “ESP8266 PWM Example | Circuits4you.com.” <https://circuits4you.com/2017/12/21/esp8266-pwm-example/> (accessed May 20, 2022).
- [40] WEINTEK, “iR-AI04TR - Temperature input module for Weintek Remote I/O system.” <https://www.plcdirect.eu/products/field-i-o/weintek-remote-i-o/ir-series-analog-i-o/product/ir-ai04-tr> (accessed May 23, 2022).
- [41] Mouser, “PIR6WB-1PS-24VDC-R Altech | Mouser Portugal.” <https://pt.mouser.com/ProductDetail/Altech/PIR6WB-1PS-24VDC-R?qs=tIuBKjZQlcks1zYm4bWDvQ%3D%3D> (accessed May 23, 2022).
- [42] ZazooteK, “GREATZT 5v 2 channel relay module with optocoupler - ZazooteK.” <https://www.zazooteK.com.ng/product/greatzt-5v-2-channel-relay-module-with-optocoupler/> (accessed Jun. 13, 2022).
- [43] The Customize Windows, “ESP32 Relay Control: Shift 3.3V Signal to 5V Signal.” <https://thecustomizewindows.com/2019/07/esp32-relay-control-shift-3-3v-signal-to-5v-signal/> (accessed Jun. 14, 2022).
- [44] Adafruit, “Adafruit PT100 RTD Temperature Sensor Amplifier - MAX31865: ID 3328 : \$14.95 : Adafruit Industries, Unique & fun DIY electronics and kits.” <https://www.adafruit.com/product/3328> (accessed Jun. 14, 2022).
- [45] WayScript, “WayScript.” <https://www.wayscript.com/> (accessed Jun. 16, 2022).

- [46] Aloomo, “The Types of Modern Databases” <https://www.alooma.com/blog/types-of-modern-databases> (accessed Jun. 16, 2022).
- [47] Integrate, “SQL vs NoSQL: 5 Critical Differences.” <https://www.integrate.io/blog/the-sql-vs-nosql-difference/> (accessed Jun. 16, 2022).
- [48] Melo Romeira, Bárbara Gomes, “Planeamento da manutenção preditiva no contexto da indústria 4.0”. Aveiro: Universidade de Aveiro, 2018. Dissertação de mestrado.
- [49] Lobo de castro Correia, Paulo César, “DESENVOLVIMENTO PLATAFORMA DE INTEGRAÇÃO INTELIGENTE DE PROCESSOS, NA INDÚSTRIA DE MOLDAÇÃO”. Aveiro: Universidade de Aveiro, 2021. Dissertação de mestrado
- [50] FreeSQLDatabase, “Free Sql Database.” <https://www.freesqldatabase.com/> (accessed Jun. 16, 2022).
- [51] EasyEda, “EasyEDA - PCB design & simulação de circuitos online.” <https://easyeda.com/> (accessed Jun. 16, 2022).
- [52] HowToMechatronics, “Ultrasonic Sensor HC-SR04 and Arduino - Complete Guide.” <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/ultrasonic-sensor-hc-sr04/> (accessed Jun. 19, 2022).
- [53] WEINTEK, “iR-ETN - Weintek Remote I/O Coupler for Modbus TCP/IP.” <https://www.plcdirect.eu/products/field-i-o/weintek-remote-i-o/ir-series-couplers/product/ir-etn> (accessed Jun. 19, 2022).
- [54] Adafruit, “Small Push-Pull Solenoid - 12VDC : ID 412 : \$7.50 : Adafruit Industries, Unique & fun DIY electronics and kits.” <https://www.adafruit.com/product/412> (accessed Jun. 19, 2022).

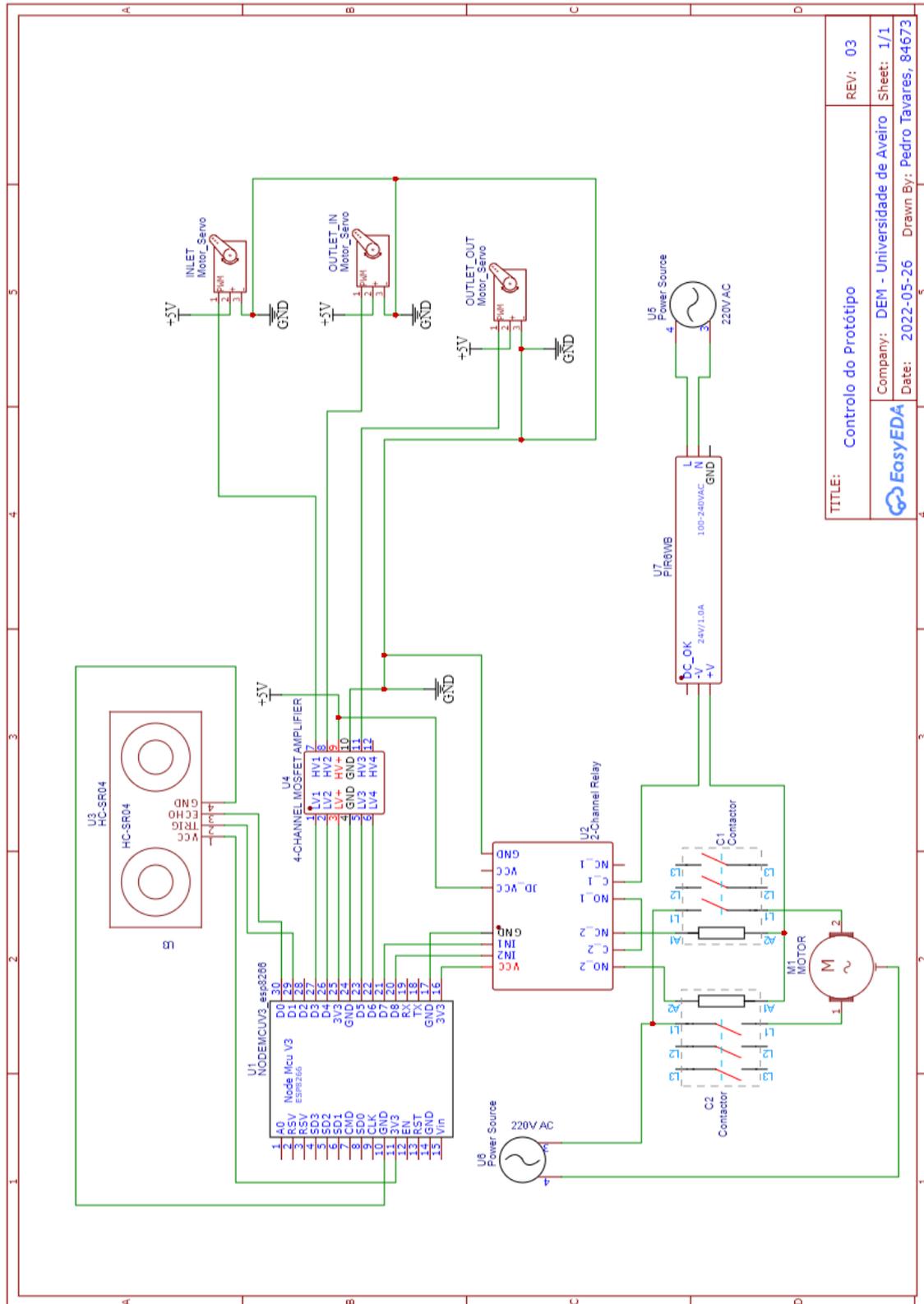
B. Esquema de ligações proposto para a leitura de temperaturas



TITLE: Leitura de temperaturas do protótipo	REV: 02
Company: DEM - Universidade de Aveiro	Sheet: 1/1
Date: 2022-05-26	Drawn By: Pedro Tavares, 84673

Figura 58 - Esquema de ligações proposto para leitura de temperaturas

C. Esquema final proposto para execução de comandos



TITLE: Controlo do Protótipo	REV: 03
Company: DEM - Universidade de Aveiro	Sheet: 1/1
Date: 2022-05-26	Drawn By: Pedro Tavares, 84673

Figura 59 - Esquema final proposto da solução para execução de comandos

D. Estrutura do algoritmo desenvolvido em WayScript

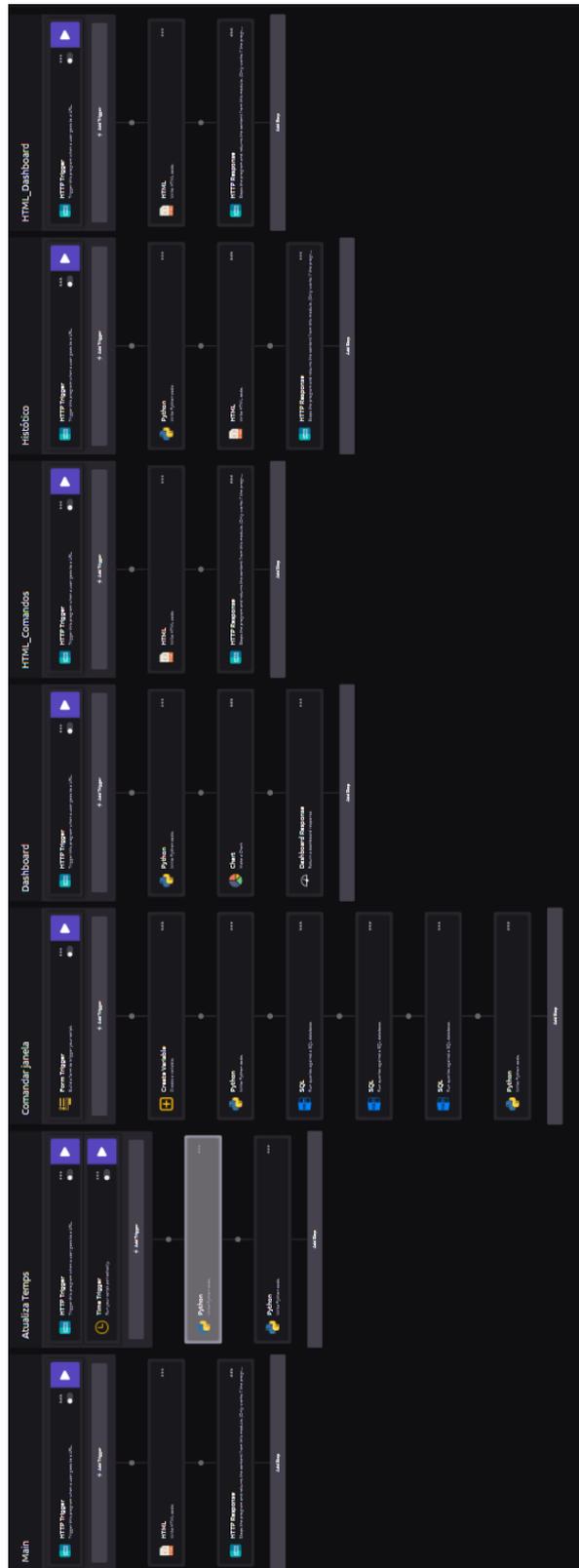


Figura 60 - Estrutura do algoritmo desenvolvido em WayScript