Mestrado em Engenharia Eletrónica

Unidade Curricular de Sistemas Embebidos

Relatório do projeto

IOT Smart Home

Docente: Prof. Rui Manuel Rodrigues Rocha

Discentes: André Oliveira, nº 83873

Markiyan Pyekh, nº 96959

Dezembro 2019

Índice

Índice de imagens

Introdução

O presente projeto foi elaborado no âmbito da Unidade Curricular (UC) de Sistemas Embebidos integrada no plano curricular do Mestrado em Engenharia Eletrónica (MEE). Neste projeto pretendemos desenhar e desenvolver um sistema embebido com o principal propósito de monitorização e controlo de parâmetros de uma casa/quarto ou outro espaço de convivência ou trabalho. A ideia principal consiste na existência de um nó roteador de controlo (*Gateway*) e vários nós secundários: uns realizam o trabalho de atuadores (relé), e outros de recolha de informação (sensores de temperatura, humidade, estado das portas/janelas etc.). Iremos utilizar Broker MQTT gratuito disponibilizado pelo serviço on-line chamado CloudMQTT. No esquema abaixo podemos observar a visão geral do sistema.

As perspetivas futuras do presente projeto visam a implementação de uma interface gráfica WEB, e ainda uma versão para dispositivos móveis. Para além disso, também é possível adicionar novas funcionalidades ao nível de software, nomeadamente execução de tarefas consoante certos acontecimentos prévios. O exemplo de uma destas funcionalidades seria o acendimento automático das luzes como resultado da leitura do parâmetro medido pelo sensor de luminosidade.

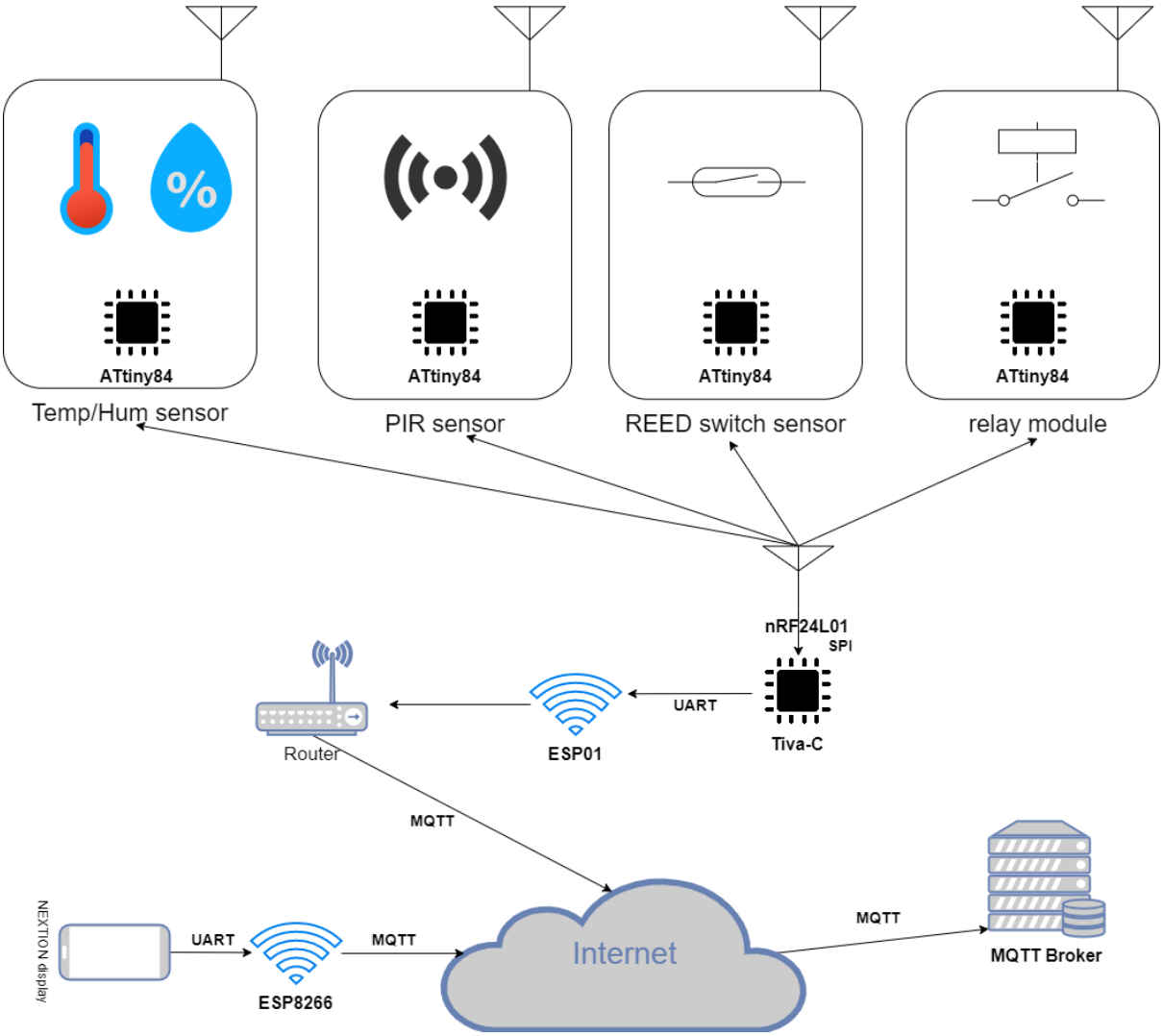


Figura 1 - Esquema geral do projeto

Requisitos

A elaboração do presente sistema pretende cumprir requisitos de dois tipos: funcionais e não funcionais.

Quanto aos requisitos funcionais, o sistema:

- Deve ser capaz de medir a temperatura e humidade;
- Deve adquirir a informação com periodicidade de 7 segundos;
- Deve ser capaz de detetar e reportar o movimento de forma imediata;
- Deve ser capaz de monitorizar e reportar de forma imediata o estado de uma porta/janela;
- Deve disponibilizar um GUI portátil que disponibilize a seguintes possibilidades:
    - Visualizar os parâmetros dos sensores acima mencionados;
    - Controlar um atuador(relé);
    - Configurar o ponto de acesso (AP) e dados do servidor (MQTT Broker);
- Deve utilizar o protocolo MQTT na comunicação entre o Gateway e o Broker;
- Deve implementar o protocolo de comunicação por comandos AT entre o Gateway e o modulo Wi-Fi;
- Deve implementar um sistema operacional em tempo real (RTOS), em particular o FreeRTOS;
- Deve garantir que a informação transmitida pelos nós
- Não pode perder informação destinada à um certo nó, quando este encontra-se offline.

Por outro lado, para obedecer aos requisitos não funcionais, o sistema:

- Deve transmitir informação entre os nós e o Gateway via radio (nRF24L01);
- Deve ser utilizado modulo Wi-Fi (ESP01) para permitir o acesso a Internet no Gateway;
- Deve permitir com que o GUI consiga correr igualmente a partir de baterias internas ou via alimentação externa utilizando ligação USB;
- Deve alimentar todos os nós (temperatura/humidade, sensor das portas/janelas, sensor do movimento) em exceção do atuador (relé) com uma pilha (Button cell) de 3V;
- Deve implementar um conversor de corrente 220-5V para alimentar o modulo do relé;
- Deve implementar o ATtiny84 - controlador AVR de 8 bits em cada um dos nós;
- Deve utilizar o display (Nextion NX4832T035) como meio de comunicação entre o utilizador e restantes componentes do sistema;
- Deve utilizar SoC (ESP8266) como microcontrolador principal da interface gráfica do utilizador;
- Deve medir temperatura e humidade utilizando sensor DHT11;
- Deve utilizar TM4C123GXL Tiva-C (placa de desenvolvimento) como núcleo do Gateway central;
- Deve alimentar o Gateway com um transformador 220-5V;
- Deve permitir consumos de corrente inferior a 1mA durante o período de *stand-by*.

Software

1. Protocolo MQTT

MQTT (*Message Queing Telemetry Transport*) é um protocolo de comunicação com baixos requisitos ao nível da largura de banda e também ao nível de hardware, sendo extremamente simples e leve. Este baseia-se nos princípios (*machine-to-machine*), que é usado em situações de pequena largura de banda e dados do utilizador. Estas características tornam este protocolo ideal para as aplicações "*Internet of Things*" (Internet das coisas) um mundo de equipamentos conectados, além das aplicações mobile onde banda e potência da bateria são relevantes.

O MQTT utiliza o paradigma *Publisher/Subscriber* (pub/sub) para a troca de mensagens. O paradigma pub/sub implementa um *middleware* denominado de broker. O broker é responsável por receber, e reenviar as mensagens recebidas dos Publishers para os *Subscribers*.

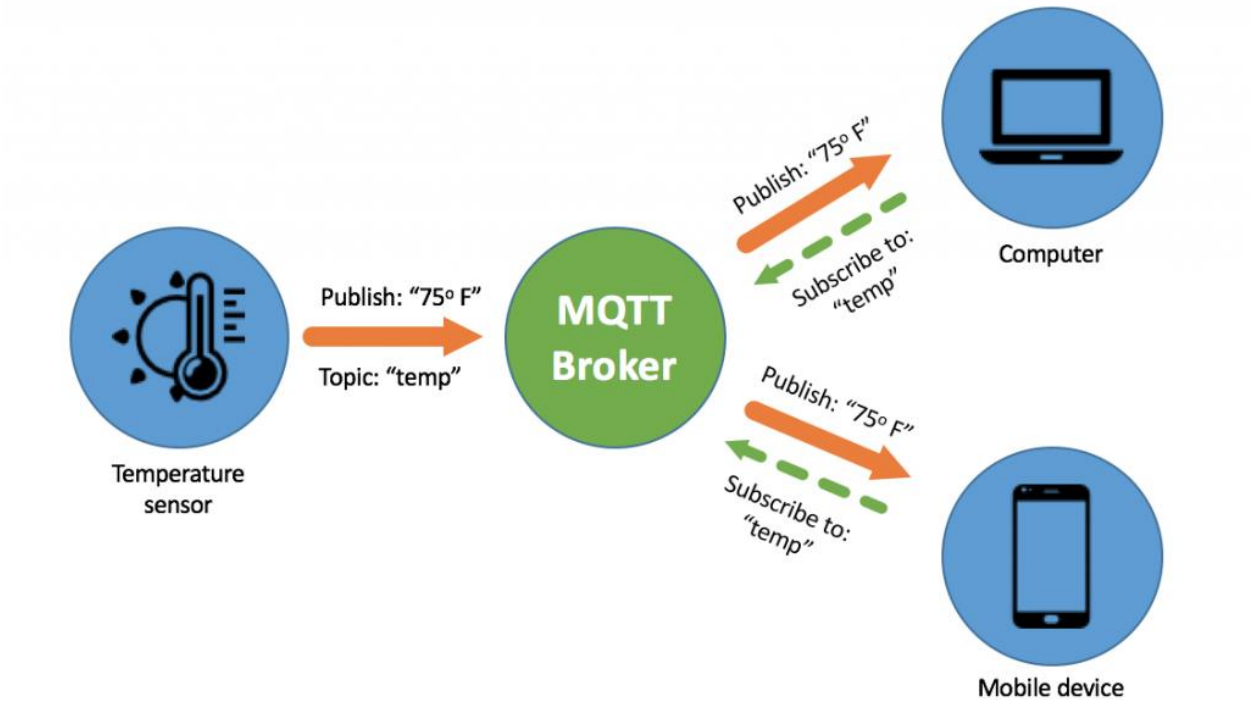


Figura 2- Esquema do protocolo MQTT

O Publisher é responsável por se ligar ao broker e publicar as mensagens. Já o *Subscriber* é responsável por se ligar ao broker e receber as mensagens que ele tiver interesse.

O paradigma pub/sub utiliza o conceito de tópicos para processar as mensagens, em que cada mensagem é enviada para um determinado tópico. Diferente de outros protocolos de mensagem, o Publisher não envia a mensagem diretamente ao *Subscriber*, mas sim ao broker.

O publisher envia a mensagem para o broker em um determinado tópico. O broker é responsável por receber a mensagem do Publisher e fazer uma pré-filtragem das mensagens e enviá-las para os *Subscribers* que estivem registados em um determinado tópico.

2. FreeRTOS

FreeRTOS é um Sistema Operacional (SO) de tempo real desenhado para ser implementado em sistemas embebidos. Este SO foi desenhado para ser pequeno e simples. O núcleo em si consiste precisamente de 3 ficheiros escritos em C. FreeRTOS dispõe métodos para múltiplas tarefas ou "*threads*", *mutexes*, semáforos e timers de software. O modo "*tick-less*" permite utilizar este SO em sistemas com consumos reduzidos. Não existem funcionalidades avançadas tipicamente encontradas em sistemas operativos como Linux ou Microsoft Windows, tais como drivers de periféricos, gestão de memória avançada, contas de utilizador ou "*networking*". A ênfase está na compacidade e velocidade de execução. O FreeRTOS pode ser pensado como uma 'biblioteca de *threads*' em vez de um SO, embora a interface da linha de comandos e os complementos de abstração de I/O do tipo POSIX estejam disponíveis. Também é suportado por bibliotecas SSL / TLS populares, como wolfSSL.

O FreeRTOS implementa várias *threads* fazendo com que o programa *host* chame um método de *tick* da *thread* em intervalos curtos regulares. O método de *tick* de encadeamento alterna tarefas, dependendo da prioridade e de um esquema de agendamento *round-robin*. O intervalo usual é de 1/1000 de segundo a 1/100 de segundo, por meio de uma interrupção de um timer de hardware, mas esse intervalo geralmente é alterado para se adequar a um aplicativo específico.

O diagrama abaixo demonstra como as tarefas seriam agendadas por um sistema operacional em tempo real. O RTOS criou uma tarefa de idle que será executada apenas quando não houver outras tarefas capazes de fazê-lo. A idle task do RTOS está sempre em um estado em que é capaz de executar, a mesma só é parada de ser executada quando vKeyHandler ou vControlTask estão a ser executados, sendo que o vControlTask é a tarefa com mais prioridade das 3 taredas, o vKeyHandlerTask é a segunda tarefa com mais prioridade e o IdleTask a tarefa com menos prioridade.

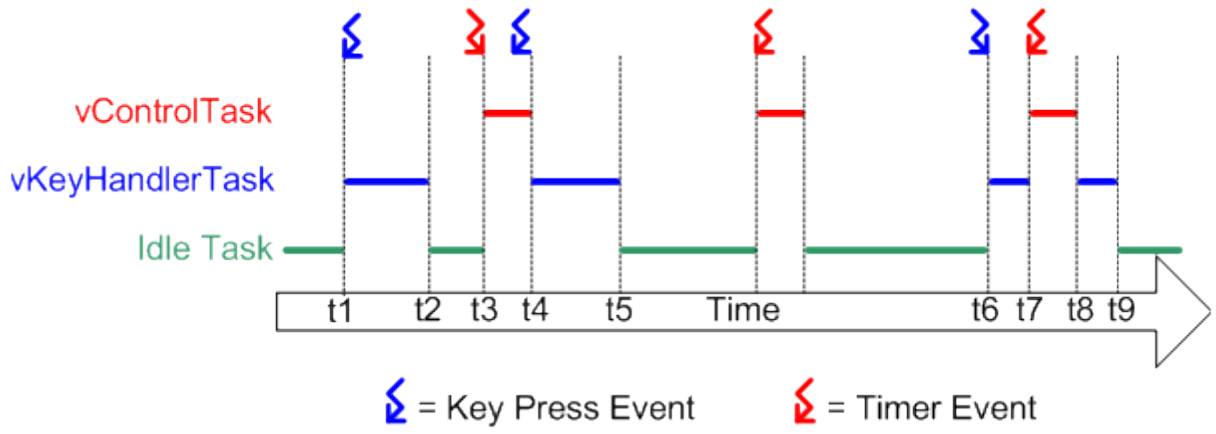


Figura 3 - Exemplo de funcionamento do FreeRTOS

Descrição dos nós

Nesta secção será descrita de forma detalhada a estrutura interna e características técnicas de cada uma das partes do sistema em questão. No total foram desenvolvidos 5 módulos, cada um com funcionalidades distintas.

1. Gateway

Gateway ou por outras palavras, “coração” do sistema tem como principal função a gestão de informação que por um lado vem do *Broker* MQTT e tem de ser enviada para um nó específico que se relaciona com a mesma. Da mesma forma, a informação proveniente dos nós tem de ser processada, e posteriormente publicada no tópico especialmente designado para a mesma. O esquema abaixo representa de uma forma esquemática o princípio lógico do “*gateway*”.

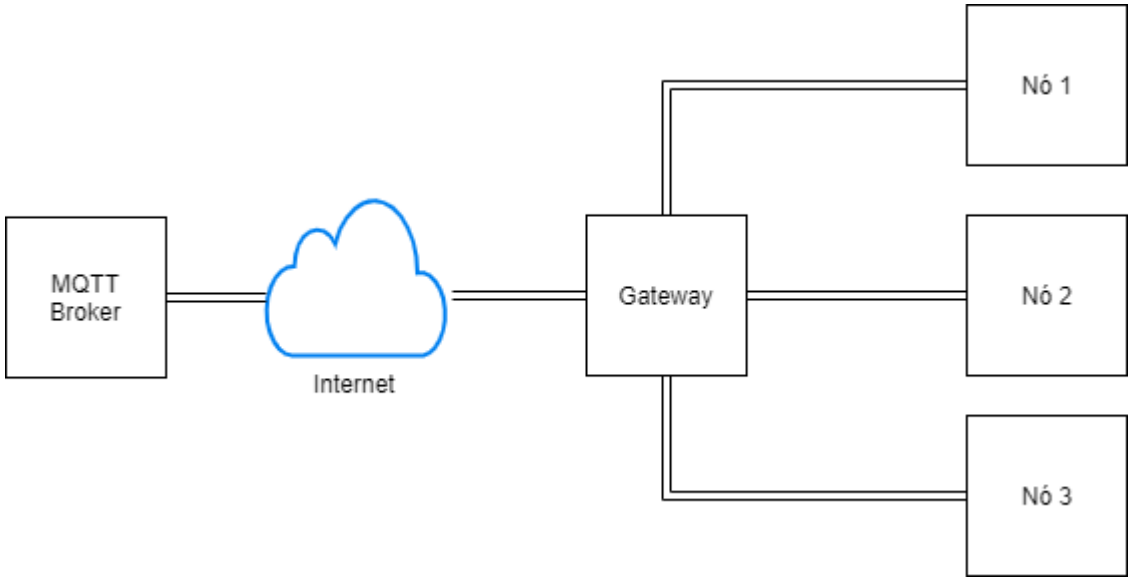


Figura 4 - Diagrama de bolcos da Gateway

Este modulo foi construído a base de uma placa de desenvolvimento TM4C123GXL Tiva-C. Utiliza nRF24L01 para realizar a comunicação com os nós e ESP01 para garantir a comunicação com o *broker* MQTT. O Microcontrolador corre o Sistema Operativo FreeRTOS, o que permite a execução de várias tarefas de uma forma distribuída e equilibrada. Cada tarefa tem uma prioridade definida, o que permite que as tarefas com maior prioridade sejam executadas em primeiro lugar.

As 4 principais tarefas deste módulo são: o *publish* e o *subscribe* do MQTT através do ESP01 e o *receive* e *send* via rádio através nRF24L01.

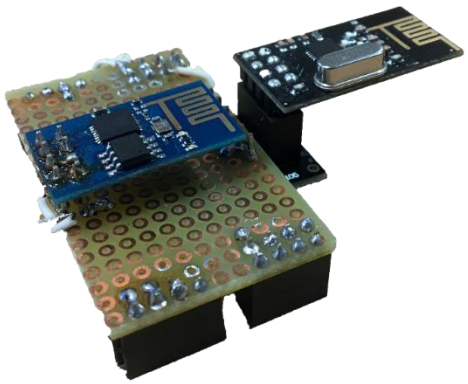


Figura 5 - Módulo para o TIVA-C

2. Sensor de Temperatura/Humidade

Nó responsável pela medição de temperatura e humidade tem como microcontrolador ATtiny84 e transfere a informação para o *Gateway* através de nRF24L01. A comunicação entre os mesmo é realizada através do protocolo SPI. Corre numa frequência de 8MHz. Maior parte do tempo encontra-se em modo *stand-by* (LPM POWER DOWN). Cada 8 segundos (tempo máximo para configurar o WDT) acorda, faz a leitura dos parâmetros do sensor de temperatura e humidade (DHT11) e envia-os para o *Gateway* (descrição do funcionamento demonstrado esquematicamente na figura ao lado). Para notificar o *Gateway*, empacota os dados numa estrutura (*struct*), liga o *transceiver* radio, e efetua a transmissão do pacote gerado. A leitura da informação do sensor de temperatura (DHT11) é feita apenas por um fio, sendo que não pode ser feita com frequência menor a 1seg. Esta restrição do sensor não causa nenhumas dificuldades na implementação do modulo, visto que o *aquisition rate* é de 8 segundos.

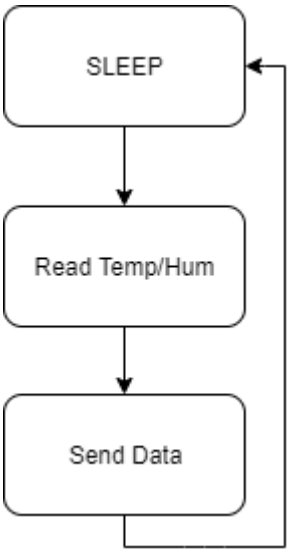


Figura 6 - Diagrama de bolcos do Sensor de Temperatura/Humidade

Em modo *SLEEP*, o nó apresenta consumos extremamente baixos (menos de 1mA), permitindo assim uma *life-time* elevada utilizando apenas uma pilha de 3V (formato CR2032 aprox. 230mAh). No momento de transmissão, o sistema consome cerca de 3mA. A transmissão é feita no período menor do que um segundo. O tempo estimado de vida útil de uma pilha é cerca de 3 meses, o que não é pouco, mas mesmo assim é um dos aspetos a melhorar. Para aumentar o tempo entre a troca dos elementos de alimentação, podemos diminuir o *aquisition rate* do sensor, passando de 8 para, pelo menos, 16 segundos; adicionar mais uma pilha em série, duplicando a capacidade (2 x 230mAh) ou colocar um acumulador de Li-Po juntamente com o circuito de monitorização de carga (um dos pontos a melhorar).

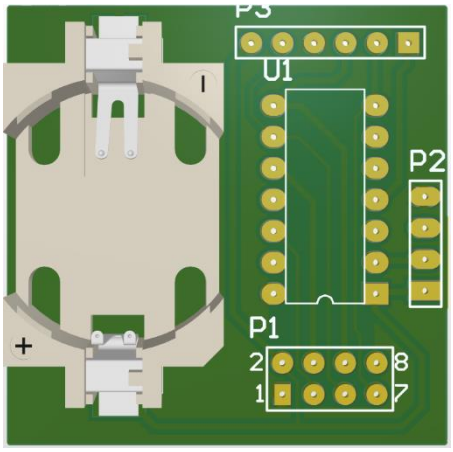


Figura 7 - PCB do Sensor de Temperatura/Humidade

Na figura à esquerda podemos observar uma visualização em 3D da placa desenvolvida. Do lado esquerdo da placa encontra-se o *socket* para colocar a pilha do formato CR2032 ou semelhantes. Com P3 esta indicado um conjunto do *headers* que têm como principal objetivo permitir a reprogramação do microcontrolador ATtiny84 dentro do circuito (*in circuit programming*). O próprio microcontrolador assenta no local assinalado com U1. *Headers* assinalados com P1 servem para colocar o módulo radio (nRF24L01). O próprio sensor de temperatura e humidade assenta no local indicado como P2.

Na figura à direita está representado o modelo desenhado em 3D para acomodar a PCB do sensor. As dimensões da caixa são 40x40x19 mm. Uma das faces laterais inclui aberturas para facilitar a livre circulação do ar, permitindo as leituras mais precisas do sensor.

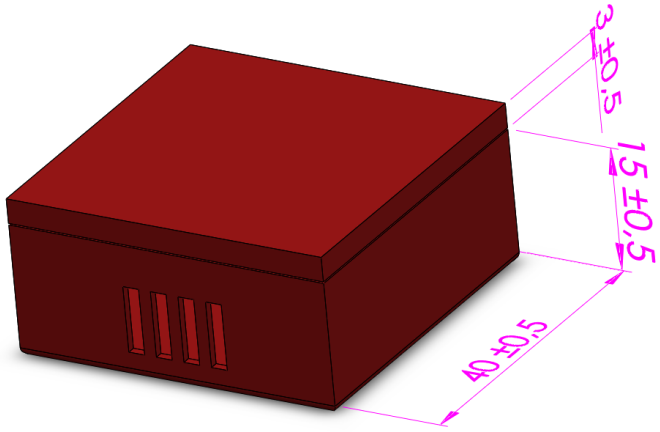
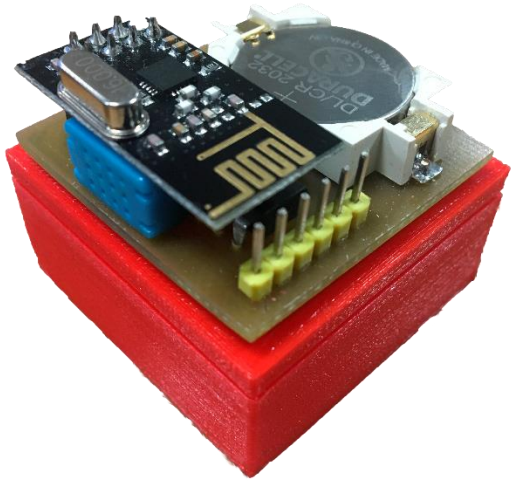


Figura 8 - Caixa 3D para o sensor de Temperatura/Humidade



Versão final do módulo em cima da própria caixa impressa em PLA. Para diminuir o tamanho do módulo, sem alterar a lista dos componentes a utilizar, podemos: trocar o ATtiny84 por ATtiny85 num *enclosure* SOIC8; nRF24l01 pelo mesmo, mas uma versão SMD; mudar o formato das pilhas para mais pequenas, mas duplicar a quantidade das mesmas.

Figura 9 - Versão final do módulo de Temperatura/Humidade

Componentes utilizados:

- *Socket* para CR2032 ou semelhantes;
- ATtiny84 – microcontrolador AVR de 8 bits;
- nRF24L01 Nordic semiconductor radio transceiver;
- DHT11 sensor de temperatura e humidade.

Figura 10 - Componentes utilizados no sensor de Temperatura/Humidade

3. Sensor REED

Nó responsável pela monitorização do estado de uma porta ou janela. Deteta se a mesma esta fechada ou aberta. Tem como microcontrolador ATtiny84 e transfere a informação para o *Gateway* através de nRF24L01. A comunicação entre os mesmo é realizada através do protocolo SPI. Corre numa frequência de 8MHz. Maior parte do tempo encontra-se em modo *stand-by* (LPM POWER DOWN). Implementa uma rotina de interrupção acionada pela troca do estado do pino. Esta rotina faz *restart* to microcontrolador, forçando assim a sida do modulo do estado SLEEP. Se esta não for acionada dentro de 8 segundos, o modulo corda, faz a leitura do estado do pino onde o REED *switch* encontra-se ligado e envia a informação sobre o mesmo para o *Gateway* (descrição do funcionamento demonstrado esquematicamente na figura ao lado). Esta abordagem permite uma robustez do sistema, garantido os consumos baixos da bateria e ao mesmo tempo exclui trocas do estado não registadas. Para notificar o Gateway, empacota os dados numa estrutura (*struct*), liga o *transceiver* radio, e efetua a transmissão do pacote gerado.

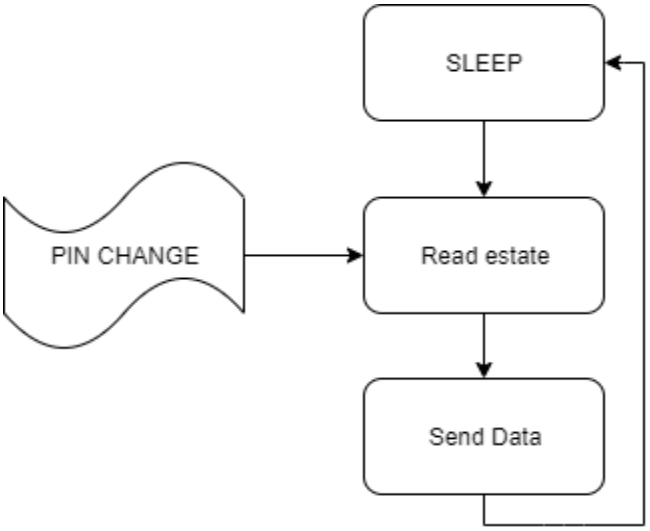


Figura 11 - Diagrama de blocos para o Sensor REED

Em modo SLEEP, o nó apresenta consumos extremamente baixos (menos de 1mA), permitindo assim uma life-time elevada utilizando apenas uma pilha de 3V (formato CR2032 aprox. 230mAh). No momento de transmissão, o sistema consome cerca de 3mA. A transmissão é feita no período menor do que um segundo. No entanto calcular a vida útil de uma bateria torna-se quase impossível devido ao facto de haver interrupções que retiram o sistema do estado SLEEP n número de vezes. Devido a este facto, podemos apenas estimar o tempo da vida útil da bateria apenas em condições ideais (onde não acontecem interrupções). Sendo assim, este pode chegar a 3 meses, o que não é pouco, mas mesmo assim é um dos aspetos a melhorar. Para aumentar o tempo entre a troca dos elementos de alimentação, podemos diminuir o *aquisition rate* do sensor, passando de 8 para pelo menos 16 segundos (ou mesmo desligar o WDT, registando apenas as interrupções); adicionar mais uma pilha em série, duplicando a capacidade (2 x 230mAh) ou colocar um acumulador de Li-Po juntamente com o circuito de monitorização de carga (um dos pontos a melhorar).

Na figura a direita podemos observar uma visualização em 3D da placa desenvolvida. Do lado esquerdo da placa encontra-se o *socket* para colocar a pilha do formato CR2032 ou semelhantes. Com P3 esta indicado um conjunto do *headers* que têm como principal objetivo permitir a reprogramação do microcontrolador ATtiny84 dentro do circuito (*in circuit programming*). O próprio microcontrolador assenta no local assinalado com U1. *Headers* assinalados com P1 servem para colocar o modulo radio (nRF24L01). Os *headers* assinalados por P2 servem para ligar o REED *switch* juntamente com uma resistência de *pull-down* (470kOhm) entre pino de dados e GND.

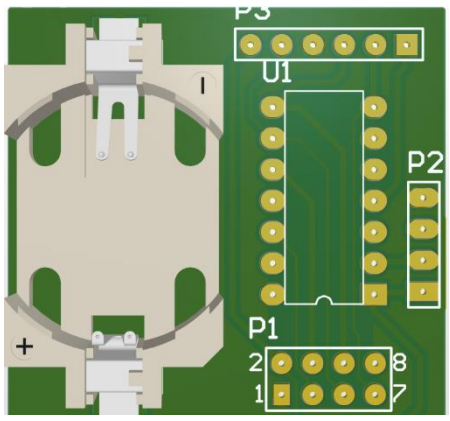
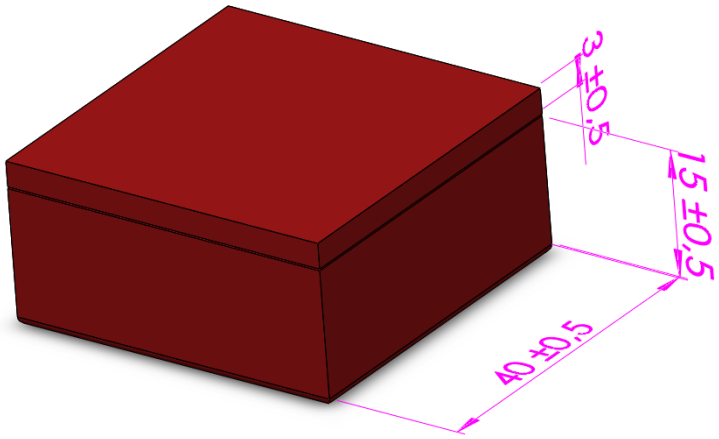


Figura 12 - PCB do Sensor REED



Na figura à esquerda está representado o modelo desenhado em 3D para acomodar a PCB do sensor. A caixa tem dimensões 40x40x19 mm. Uma das faces laterais situa o sensor magnético (REED *switch*) que é ativado no momento de apresentação de um íman numa distância inferior a 1cm.

Figura 13- Caixa 3D para o sensor REED

Versão final do modulo em cima da própria caixa impressa em PLA. Para diminuir o tamanho do modulo, sem alterar a lista dos componentes a utilizar: podemos trocar o ATtiny84 por ATtiny85 num *enclosure* 8SOIC; nRF24l01 pelo mesmo, mas uma versão SMD; mudar o formato das pilhas para mais pequenas, mas duplicar a quantidade das mesmas.

Figura 14 - Versão final do módulo REED

Componentes utilizados:

- *Socket* para CR2032 ou semelhantes;
- ATtiny84 – microcontrolador AVR de 8 bits;
- nRF24L01 Nordic semiconductor radio transceiver;
- REED *switch* (sensível ao campo magnético);

Figura 15 - Componentes utilizados no sensor REED

4. Sensor de movimento (PIR)

Nó responsável pela monitorização e deteção do movimento. Tem como microcontrolador ATtiny84 e transfere a informação para o *Gateway* através de nRF24L01. A comunicação entre os mesmo é realizada através do protocolo SPI. Corre numa frequência de 8MHz. Maior parte do tempo encontra-se em modo *stand-by* (LPM POWER DOWN). Implementa uma rotina de interrupção acionada pela troca do estado do pino. Esta rotina faz *restart* do microcontrolador, forçando assim a saída do modulo do estado *SLEEP*. Se esta não for acionada dentro de 8 segundos, o modulo corda, faz a leitura do estado do pino onde o PIR sensor encontra-se ligado e envia a informação sobre o mesmo para o Gateway (descrição do funcionamento demonstrado esquematicamente na figura ao lado). Esta abordagem permite uma robustez do sistema, garantido os consumos baixos da bateria e ao mesmo tempo exclui trocas do estado não registadas. Para notificar o Gateway, empacota os dados numa estrutura (*struct*), liga o *transceiver* radio, e efetua a transmissão do pacote gerado. A placa do sensor PIR fornece dois potenciómetros que permitem ajustar a sensibilidade do modulo e a duração do impulso na deteção do movimento. A principal limitação do sensor utilizado é o seu ângulo de visão, que consiste em <120º em menos de 7 metros de distância.

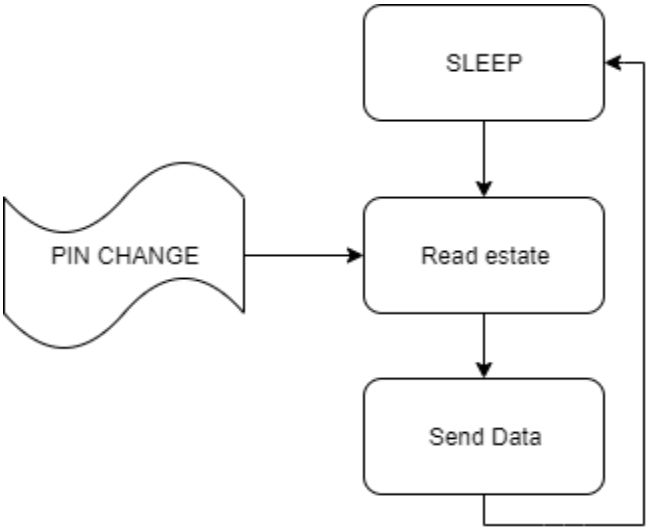


Figura 16 - Diagrama de blocos para o Sensor de movimento

Relativamente aos consumos de energia, estes são semelhantes ao modulo REED *switch*. O sensor PIR consome 50uA em estado standby, não interrompendo a monitorização do ambiente em que este é colocado. Para aumentar o tempo entre as trocas do elemento de alimentação pode ser desligado o WDT, passando a registar apenas as mudanças do estado do pino.

Na figura à direita encontra-se representada uma visualização em 3D da placa desenvolvida. Do lado esquerdo da placa encontra-se o *socket* para colocar a pilha do formato CR2032 ou semelhantes. Com P3 esta indicado um conjunto do *headers* que têm como principal objetivo permitir a reprogramação do microcontrolador ATtiny84 dentro do circuito (*in circuit programming*). O próprio microcontrolador assenta no local assinalado com U1. *Headers* assinalados com P1 servem para colocar o modulo radio (nRF24L01). Os *headers* assinalados por P2 servem para ligar o sensor PIR.

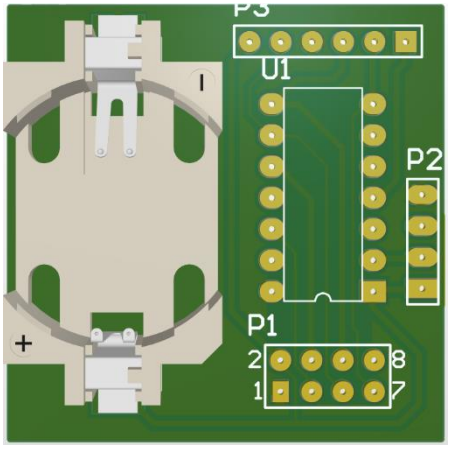


Figura 17 - PCB do sensor de movimento

Na figura à direita está representado o modelo desenhado em 3D para acomodar a PCB do sensor. As dimensões desta caixa são 40x63x19 mm. A face frontal situa uma abertura para o sensor de movimento (PIR) que é ativado no momento de deteção do movimento.

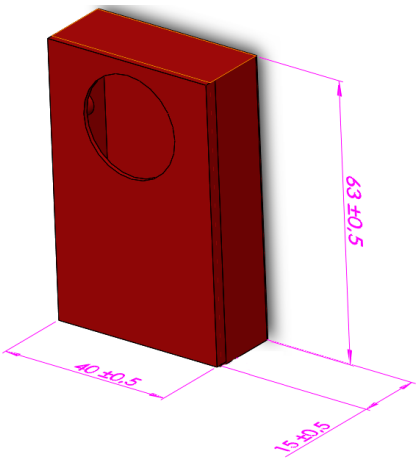


Figura 18 - Caixa 3D para o sensor de movimento

Figura 19 - Versão final do módulo para o sensor de movimento

Versão final do módulo, a impressão da caixa foi feita em PLA. Sendo este um sensor de movimento, esta caixa tem a particularidade de ter uma abertura para colocar-se o sensor de movimento. Para diminuir o tamanho do módulo, sem alterar a lista dos componentes a utilizar, podemos: trocar o ATtiny84 por ATtiny85 num *enclosure* SOIC8; nRF24l01 pelo mesmo, mas uma versão SMD; mudar o formato das pilhas para mais pequenas, mas duplicar a quantidade das mesmas.

Componentes utilizados:

- *Socket* para CR2032 ou semelhantes;
- ATtiny84 – microcontrolador AVR de 8 bits;
- nRF24L01 Nordic semiconductor radio transceiver;
- Sensor PIR (sensível ao movimento);

Figura 20 - Componentes utilizados para o sensor de movimento

5. Modulo do Relé

Nó responsável pelo relé. Tem como microcontrolador ATtiny84 e transfere a informação para o Gateway através do nRF24L01. A comunicação entre os mesmo é realizada através do protocolo SPI. Corre numa frequência de 8MHz. Este módulo tem um conversor de 220V-5V e não é eficiente em termos de consumo energético, pois o módulo está sempre ligado à rede elétrica. O último estado do relé é sempre guardado numa memória não volátil.

Este módulo foi o único a não ser realizado dentro do período estipulado, porém este módulo iria funcionar do seguinte modo: o nRF24L01 estaria sempre à espera de receber algum comando, após a recessão deste passava à sua execução e iria tentar enviar a informação até receber um *acknowledge* e de seguida ficaria, outra vez, à espera de receber algum comando.

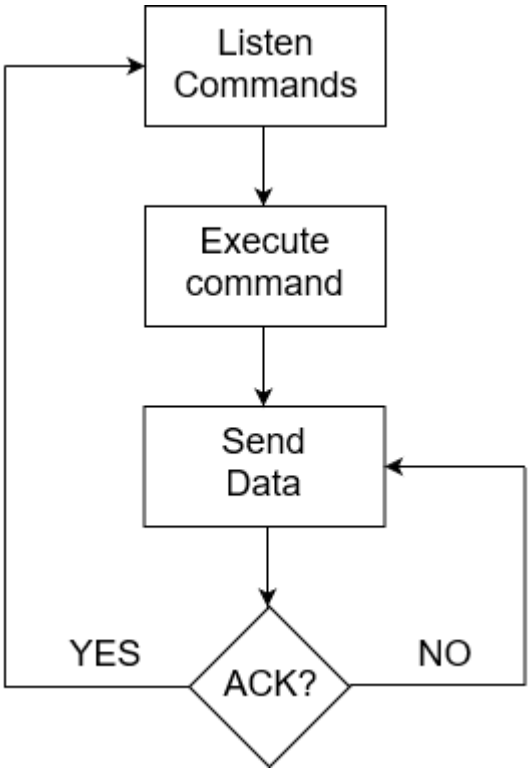


Figura 21 - Diagrama de blocos do Relé

Componentes utilizados:

- *Socket* para CR2032 ou semelhantes;

- ATtiny84 – microcontrolador AVR de 8 bits;

- nRF24L01 Nordic semiconductor radio transceiver;

- Módulo Relé**.**

Figura 22 - Componentes utilizados no módulo relé

Interface gráfica de utilizador

Nesta secção usou-se um display da *Nextion* para se poder consultar as informações relativas aos sensores e atuadores, e alterar/configurar as definições relativas ao broker MQTT e rede local.

Na figura 23 encontra-se a página principal do *display*, nesta é possível consultar as horas, o nome da rede local à qual o dispositivo está ligado, bateria atual do display, botão que redireciona para o menu dos sensores, menu dos atuadores e menu das definições.

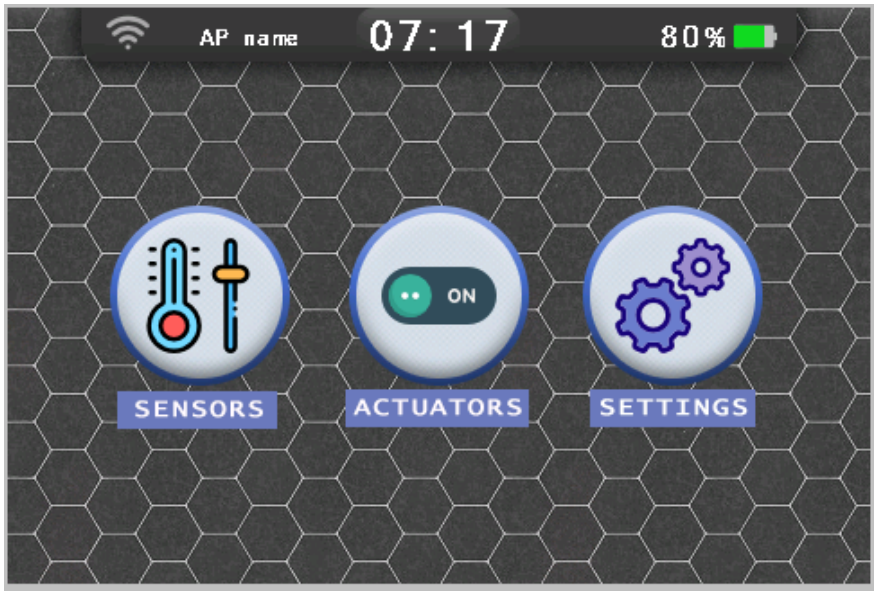


Figura 23 - Menu principal do Display

Na figura 24 é possível observar o menu dos sensores, onde se consegue monitorizar em tempo real as variações de temperatura e humidade do local onde o sensor de temperatura/humidade encontram-se; também é possível observar se o sensor da porta detetou se esta encontra-se aberta ou fechada e por fim, ainda se consegue visualizar se o sensor de movimento detetou algum movimento.

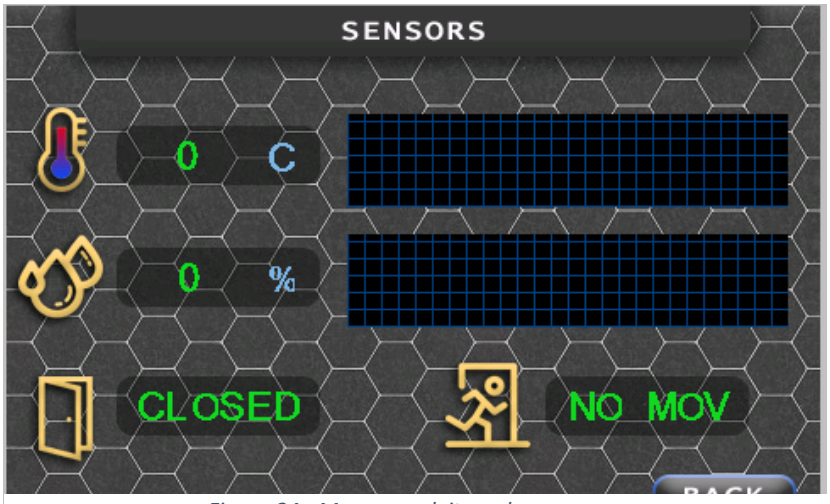


Figura 24 - Menu para leitura dos sensores

Neste menu é possível controlar o estado do relé, o modo *off* seria para quando o relé estivesse aberto e *on* seria para quando o relé estivesse fechado, mas como não se conseguiu realizar o módulo relé, este menu só publica para o *broker*.

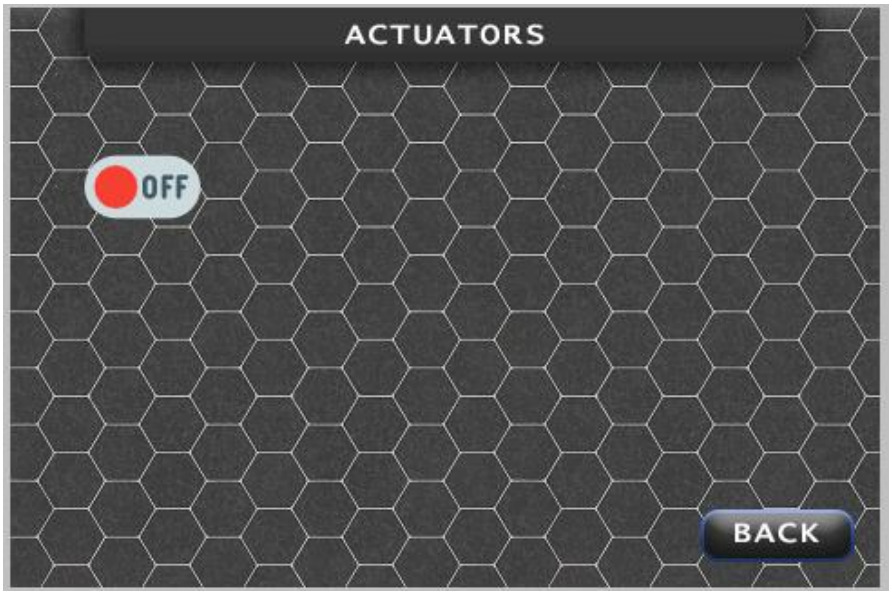


Figura 25 - Menu para controlar o relé

No menu das *settings* é possível escolher a rede local à qual o utilizador se quer conectar, escolher o IP do *broker*, o tópico para a comunicação MQTT e a porta, pela qual o *display* e o broker irão comunicar.

Figura 26 - Menu para controlar as opções da rede local e MQTT

Conclusão

Na prática, apesar da complexidade do presente projeto, a sua realização foi conseguida praticamente na íntegra. Contudo, faltou a realização do módulo relé devido à escassez do tempo dentro do período estipulado para a realização do trabalho.

Aquando da realização do trabalho, algumas das dificuldades que surgiram foram:

- implementação do MQTT, sendo que se optou pelo uso de uma alternativa ao CC3100, que resultou com sucesso;
- FreeRTOS, isto devido à necessidade de coordenar várias tarefas entre si, que se revelou ser bastante difícil;
- redução do consumo de energia dos sensores quando estes encontravam-se em *Sleep mode*.

Para concluir, é de salientar, que apesar das dificuldades encontradas e da não realização completa do projeto de acordo com os objetivos estipulados inicialmente, o trabalho cumpre as especificações propostas. É de acrescentar, que a realização de um projeto complexo e multidisciplinar como o proposto, serviu de base para a aquisição de novas competências e aprofundamento dos conhecimentos existente previamente. Para além disso, este trabalho permitiu explorar vários conteúdos teóricos que foram lecionados na Unidade Curricular de Sistemas Embebidos ao longo do presente semestre.