

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO



Sistema de Detecção de Incêndio Adaptável

José Ricardo Silva Sousa

Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: Prof. Hélio Mendonça

Co-orientador: Eng. João Rodrigues

28 de Junho de 2021

Resumo

Nesta dissertação é descrito um sistema de detecção de incêndio modular inovador, capaz de funcionar com sistemas convencionais e endereçáveis, tanto individualmente, como em conjunto, de forma automática (“ligar e usar”). Para tal utiliza uma arquitetura baseada numa placa-mãe onde são inseridas placas para monitorização de dispositivos convencionais e endereçáveis, sendo a placa-mãe o ponto de ligação com a central. Para além da central, foi desenvolvida uma placa para monitorização de zonas convencionais, para aliar à placa endereçável já existente na NIBBLE, compatível com a placa-mãe existente. A interação do utilizador com a central é através de um ecrã LCD, utilizando a framework TouchGFX e o sistema operativo FreeRTOS. O sistema descrito obteve muito bons resultados, sendo capaz de funcionar com ambos os tipos de sistemas de forma modular, com reconhecimento automático das placa existentes no sistema, apresentando o comportamento esperado, incluindo a capacidade “ligar e usar”. No entanto, bastante trabalho é necessário para implementar as restantes funcionalidades requeridas pelas normas.

Abstract

In this dissertation, an innovative modular fire detection system is described, able to work with both conventional and addressable systems, individually and both at the same time. The system is “plug and play”, meaning it can switch between these modes automatically. It uses an architecture based on a motherboard, onto which boards for monitoring of conventional and addressable devices are inserted, with this motherboard being the connection point between the fire detection central and the devices. Along with the fire detection central, a conventional board was developed capable of interfacing the already existing motherboard at NIBBLE. The user interacts with the central through an LCD screen, which uses the framework TouchGFX and the operating system FreeRTOS. The developed system had good results, being able to work modularly, with automatic detection of the boards present in the system, achieving the objective of being “plug and play”. However, much work is still left to implement the remaining features required by the standards.

Agradecimentos

Gostava de dar os meus sinceros agradecimentos à toda a equipa na NIBBLE, em particular o Eng. José Azevedo, que me recebeu de braços abertos e que providenciou esta oportunidade. Ao Eng. João Rodrigues, o meu orientador na NIBBLE, o meu enorme obrigado pela mentoria durante esta dissertação, que possibilitou o enorme desenvolvimento pessoal que experienciei e o bom sucesso desta dissertação. Por fim, gostaria de agradecer o meu orientador Prof. Hélio Mendonça pelos bons conselhos e paciência demonstrados, apesar de talvez nem sempre tenha sido o mais célere nas respostas.

A todos o meu muito obrigado,

José Sousa

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento e Motivação	1
1.2	Objectivos	1
1.3	Estrutura do Documento	2
2	Revisão Bibliográfica	3
2.1	Normas EN 54	3
2.2	Sistemas Convencionais	4
2.3	Sistemas Endereçáveis	5
2.4	Subsistemas Comuns a ambos os Convencionais e Endereçáveis	7
2.4.1	Dispositivos de Visualização	7
2.4.2	Sistemas Operativos	8
2.4.3	Interfaces Gráficas	10
2.4.4	Comunicação Intra-Sistemas	10
2.4.5	Comunicação Inter-Sistemas	12
2.5	Análise dos sistemas disponíveis no mercado	13
2.5.1	Exemplos de sistemas convencionais	14
2.5.2	Exemplos de sistema endereçáveis	15
2.5.3	Melhorias possíveis ao estado da arte	16
3	Arquitetura do Hardware	19
3.1	Central	20
3.2	Placa-mãe	20
3.3	Placa Convencional	21
3.3.1	Desenvolvimento do Esquemático	21
3.3.2	Desenvolvimento do PCB	25
4	Arquitetura do Firmware	31
4.1	Central	31
4.1.1	Escolha de Sistema Operativo	31
4.1.2	Escolha da Framework de Interface Gráfica	32
4.1.3	Estrutura do Firmware	32
4.1.4	Tarefa de Processamento	34
4.1.5	Tarefa da interface gráfica (TouchGFX)	35
4.1.6	Modelo	36
4.2	Placa Convencional	38
4.2.1	Estrutura do Firmware	39

5	Testes e Resultados	43
5.1	Metodologia	43
5.2	Resultados	43
6	Conclusões e Trabalho Futuro	47
6.1	Conclusão	47
6.2	Trabalho Futuro	47

Lista de Figuras

2.1	Central convencional com 3 zonas [1]	5
2.2	Condições para a detecção dos vários estados possíveis numa central convencional [1]	5
2.3	Exemplo de um protocolo para centrais endereçáveis [1]	6
2.4	Interruptor rotativo de décadas [1]	6
2.5	Central endereçável com uma zona convencional [1]	7
2.6	Central convencional com LEDs individuais e LCD alfanumérico [2]	8
2.7	Central endereçável com LCD a cores e touchpad [3]	9
2.8	Como é utilizado a camada CMSIS [4]	9
2.9	SPI em modo daisy-chain [5]	11
2.10	I2C [6]	11
2.11	1-Wire [7]	12
2.12	Conectores Tipo A e Tipo C [8]	13
2.13	Modelo OSI [9]	14
2.14	Teletek Electronics MAG2P [10]	15
2.15	Global Fire Equipment Orion + [11]	16
2.16	Teletek Electronics IRIS [12]	17
2.17	Global Fire Equipment Orion + [13]	18
3.1	Diagrama Hardware	19
3.2	Kit STM32F769IDISCOVERY	20
3.3	Placa-mãe com um placa de interface endereçável	20
3.4	Esquemático do circuito de monitorização da zona	22
3.5	Esquemático do circuito de activação da saída auxiliar	25
3.6	Esquemático do microcontrolador e alimentação	27
3.7	Vista superior e inferior do PCB da Placa Convencional	28
3.8	Cálculo da largura mínima das pistas de potência usando a calculadora do Pulsonix	29
4.1	Diagrama das tarefas	32
4.2	Diagrama de estados da tarefa de comunicação	34
4.3	Acções realizadas na tarefa de processamento	35
4.4	Exemplo de ecrã de repouso, com as ações disponíveis em modo de acesso 2 e 3	36
4.5	Exemplo de ecrã de dispositivos, apresentando um dispositivo endereçável com o endereço 3 e associado à zona 5	37
4.6	Exemplo de ecrã de zonas, com 4 zonas ativas	37
4.7	Exemplo de ecrã de alarmes, com 2 alarmes ativos	38
4.8	Exemplo de ecrã de avarias, com 2 avarias ativas	39
4.9	Fluxo de execução das máquinas de estado da Placa Convencional	39
4.10	Máquina de estados da comunicação placa convencional - central	40

4.11	Máquina de estados da monitorização do estado dos dispositivos e saída auxiliar .	40
5.1	Deteção de um alarme de um dispositivo endereçável	45
5.2	Deteção de um alarme de um dispositivo convencional	46
5.3	Deteção de dois alarmes, em um dispositivo convencional e endereçável	46
5.4	Deteção de duas avarias, uma na zona convencional e outra na saída auxiliar . . .	46

Lista de Tabelas

3.1	Correntes na zona (com 150 Ω , 180 Ω e 39 Ω em série com R_L)	23
3.2	Tensões medidas no ADC	24
3.3	Resistência na saída auxiliar	24
3.4	Tensões possíveis no ADC durante a monitorização	26
3.5	Valor dado pelo ADC para a zona	27
3.6	Valor dado pelo ADC para a monitorização	27

Capítulo 1

Introdução

1.1 Enquadramento e Motivação

A invenção de métodos para criar e controlar fogo, foi um ponto de viragem na evolução do ser humano. Esta invenção tecnológica permitiu cozinhar alimentos, o que permitiu uma absorção mais eficiente de nutrientes. Rodeando fogueiras, os seres humanos primitivos socializaram, protegeram-se dos elementos e predadores.

800000 anos depois, fogo não é algo que apenas criamos intencionalmente, para nosso benefício. Muitas vezes este é acidental, perigoso e destrutivo. Para proteger vidas e bens, o ser humano criou vários métodos para detetar e combater incêndios, com estes métodos melhorando em utilidade com o advento da revolução dos micro controladores.

O aparecimento dos microcontroladores e a manutenção da lei de Moore durante décadas permitiu o desenvolvimento de centrais de deteção de incêndio mais poderosas, mas também mais baratas.

Apesar de, à primeira vista, o mercado das centrais de deteção de incêndio parece ser um mercado maduro, com melhorias apenas incrementais pequenas, existem ainda possibilidades de melhoria pouco exploradas. Uma destas possibilidades seria uma central de deteção modular, capaz de monitorizar ambos tipos de sistemas, convencionais e endereçáveis.

Esta nova abordagem seria inovadora no mercado, permitindo uma melhoria de custos quando se torna necessário mudar de método de deteção de incêndio devido a novos requerimentos. Isto é comum, por exemplo, em empresas em expansão, na qual a partir de certo ponto é necessário mudar o tipo de monitorização realizado.

1.2 Objectivos

O objetivo desta dissertação é criar uma central de deteção de incêndios modular, que permita ao utilizador alternar entre os dois métodos de deteção de incêndio existentes presentemente sem necessitar a compra de uma central completamente nova, alterando apenas os componentes necessários. A central deverá estar pronta a utilizar imediatamente, detetando automaticamente

a sua configuração, adaptando-se aos três casos possíveis: sistema apenas convencional, apenas endereçável e misto.

1.3 Estrutura do Documento

Esta dissertação encontra-se dividida em 6 capítulos: o primeiro capítulo, o atual, no qual é feito o enquadramento e motivação, e também os objetivos pretendidos. O segundo capítulo é sobre a revisão bibliográfica, onde é aprofundado o conhecimento sobre o que são sistemas convencionais e endereçáveis e o estado da arte disponível atualmente no mercado. O capítulo 3 e 4 tratam das arquiteturas do hardware e software, respetivamente. O quinto capítulo é sobre os testes e resultados, incluindo a metodologia aplicada. O último capítulo retira conclusões e possível trabalho futuro.

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

2.1 Normas EN 54

Sendo equipamentos importantes para a segurança de pessoas e estruturas, os equipamentos que fazem parte de um sistema de detecção e alarme de incêndio são regulados pela série de normas EN 54, constituída por mais de 20 documentos. Estas normas cobrem todas as facetas de detecção e alarme de incêndios, regulando centrais, detetores, sistemas de alarme, entre outros. Para esta dissertação, 3 normas podem ser relevantes:

- Sistemas de detecção e de alarme de incêndio
Parte 1: Introdução (EN 54-1) [[14](#)]
- Sistemas de detecção e alarme de incêndio
Parte 2: Equipamento de controlo e sinalização (EN 54-2) [[15](#)]
- Sistemas de detecção e alarme de incêndio
Parte 4: Equipamento de alimentação de energia (EN 54-4) [[16](#)]

A primeira norma, Sistemas de detecção e de alarme de incêndio - Parte 1: Introdução (EN 54-1), tem com função descrever e definir todos os termos usados no resto da série de normas EN-54, tal como as funções necessárias para implementar um sistema de detecção e alarme de incêndios.

A norma EN 54-2, Equipamento de controlo e sinalização, descreve todas as funções essenciais e opcionais de sistemas de comando e sinalização, sendo a norma mais relevante para este trabalho. Esta inicialmente define mais alguns termos que não estão presentes em EN 54-1 que serão utilizados no resto do documento. Os requisitos gerais são apresentados, sendo de realçar as condições funcionais possíveis:

- condição de repouso,
- condição de alarme,
- condição de sinalização de avaria,

- condição de isolamento,
- condição de ensaio.

A condição de repouso apenas tem a condicionante de que qualquer sinalização usada neste estado não pode ser capaz de ser confundida com as sinalizações das restantes condições, podendo ser apresentada qualquer tipo de informação.

A condição de alarme é a condição com maiores requisitos na EN 54-1. Inicialmente declara requisitos sobre receção e processamento de sinais de alarme, prosseguindo para como deve ser sinalizada o alarme e as zonas em alarme, tanto visualmente como auditivamente. A definição das condições necessárias para ser possível a reposição do sistema depois de um alarme é feita antes dos requisitos sobre ativações de saídas quando no estado de alarme.

A condição de alarme é definida de maneira semelhante à condição de alarme, iniciando pelos requisitos de receção e processamento, prosseguindo para as sinalizações, com uma secção extra sobre sinalizações no caso de falha total de alimentação de energia. Por fim, é definido as condições de reposição e ativação de saídas.

A EN 54-2 prevê capacidade de isolamento, tanto de zonas como variadas saídas. Necessita de sinalização separada das restantes condições.

Na condição de ensaio, uma ou várias zonas devem ser capazes de serem testadas sem afetar o funcionamento normal das restantes, incluindo sinalizações. Nesta condição, não devem ser ativadas saídas devido a zonas em ensaio, para não existir confusões com alarmes verdadeiros.

A norma EN 54-4, Equipamento de alimentação de energia, para além de requisitos de funcionamento do sistema de alimentação de energia, especifica também os tipos de ensaios que devem ser realizados para garantir um bom funcionamento do sistema. Um dos pontos mais importantes, é obrigação do uso de, no mínimo, duas fontes de alimentação separadas, em que uma necessita de ser uma bateria recarregável, acompanhada do respetivo sistema de carregamento automático.

2.2 Sistemas Convencionais

O método convencional é um método analógico no qual a central de deteção monitoriza, continuamente, o circuito elétrico associado a uma zona através da corrente elétrica neste. Os sensores são ligados em paralelo, com uma resistência de terminação no fim neste circuito.

Para realizar esta monitorização, a central alimenta este circuito com uma tensão conhecida. Em condições normais, os detetores estão em aberto, tornando o circuito equivalente apenas a resistência de terminação. Como a tensão de alimentação e a resistência são conhecidas, a corrente induzida no circuito é definida como a de funcionamento normal. Quando um sensor deteta uma condição de incêndio, este curto-circuita os seus terminais, transformando o circuito em um paralelo entre a resistência de terminação e a resistência de condução do elemento que comuta no detetor. Como a resistência de terminação é várias ordens de grandeza superior à resistência de condução do detetor, a resistência equivalente do circuito baixa drasticamente, provocando um aumento

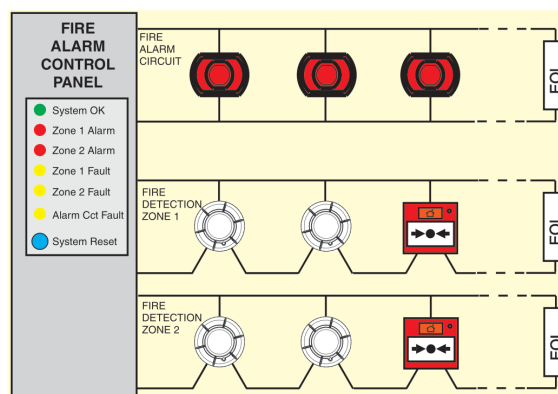


Figura 2.1: Central convencional com 3 zonas [1]

inequívoco na corrente. Este aumento é detetado pela central como um incêndio, a qual ativa os alarmes de incêndio.

No caso de uma falha em circuito aberto do circuito, por exemplo um corte de um dos condutores, a central deixa de detetar uma corrente, podendo sinalizar o problema para retificação. Infelizmente, este método não consegue distinguir qual o detetor responsável pelo aumento da corrente, apenas a zona onde ocorreu o alarme. Como a única granularidade disponível é ao nível das zonas, não é possível perceber a dimensão e a evolução do incêndio numa zona em específico. Esta figura exemplifica como estas condições podem ser detetadas.

	Monitoring of detection line (example only)	
Condition	Current	Voltage
Open Circuit	<3mA	24V
Normal	5mA (dependant on EOL device)	18V
Fire	50mA (dependant on control panel)	4–15V
Short Circuit	High (dependant on control panel)	0V

Figura 2.2: Condições para a detecção dos vários estados possíveis numa central convencional [1]

Por esta razão é recomendado o uso em zonas relativamente pequenas, para que a localização e resposta ao incêndio seja rápida. Estas centrais (e detetores) têm um custo mais baixo em relação às endereçáveis, mas o facto de serem ligadas em paralelo, o custo de instalação (incluindo cablagem) é mais alto, para o mesmo número de elementos no circuito.

2.3 Sistemas Endereçáveis

Ao contrário do método convencional, o método endereçável é digital, periodicamente perguntando aos detetores de uma determinada zona o seu estado atual, através de um protocolo bem definido.

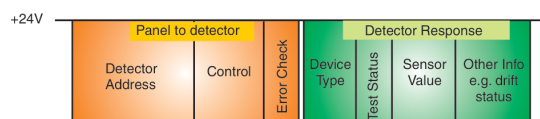


Figura 2.3: Exemplo de um protocolo para centrais endereçáveis [1]

Como o nome sugere, cada elemento no circuito tem um endereço único, permitindo relacionar uma mensagem com o elemento que a enviou. Para definir estes endereços podem ser usados interruptores rotativos, DIL ou DIP, entre outros.



Figura 2.4: Interruptor rotativo de décadas [1]

Os detetores são ligados em série, criando um loop, permitindo que a central continue a comunicar com os restantes elementos caso um sofra uma avaria. É possível integrar uma zona convencional num loop endereçável, inserindo no loop um elemento que realize a monitorização descrita na secção anterior e responda à central endereçável com o estado desse circuito convencional. As limitações do convencional descritas anteriormente continuam a existir, não sendo possível identificar qual o elemento da zona em específico, mas apenas que algum elemento da zona identificou um incêndio. Para conseguirem comunicar com a central através de um protocolo digital específico é necessário que cada elemento do loop possua o seu próprio microcontrolador, ao contrário do método convencional. Caso haja uma falha de detetor ou um corte de um condutor que impeça a comunicação numa direção, o detetor envia uma mensagem assinalando avaria, permitindo uma identificação mais rápida do local onde realizar reparações.

Numa situação de incêndio, o detetor responde à central com o respetivo alarme, incluindo o seu endereço na mensagem. É assim possível à central identificar não apenas a zona, mas a localização em específico do incêndio. Permite também acompanhar a dimensão e evolução do incêndio, verificando quais os detetores em alarme.

Este tipo de sistema é o estado da arte na deteção de incêndios, sendo a central endereçável mais cara do que a convencional. Mas a ligação em loop torna a instalação, com apenas um cabo por zona, mais barata e fácil para o mesmo número de elementos em relação ao convencional. Pode eventualmente existir um ponto de crossover onde um sistema convencional pode ser mais caro do que o endereçável.

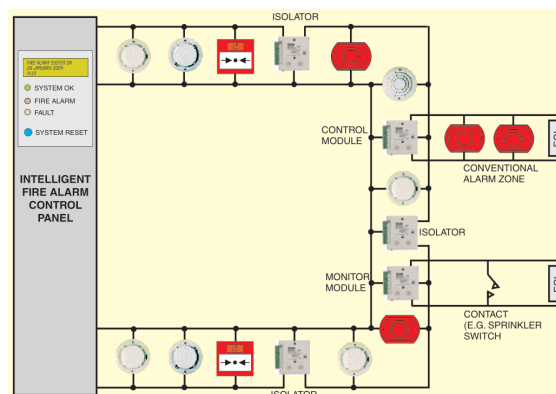


Figura 2.5: Central endereçável com uma zona convencional [1]

2.4 Subsistemas Comuns a ambos os Convencionais e Endereçáveis

Os dispositivos de deteção (convencionais ou endereçáveis) são apenas uma parte de um sistema de deteção e combate de incêndios funcional. Para se obter um sistema completo, vários subsistemas comuns a ambos os tipos de detetores são necessários, que serão descritos neste sub-capítulo.

2.4.1 Dispositivos de Visualização

Um sistema de deteção de incêndios estaria incompleto sem uma interface visual para monitorizar o estado do sistema. Os requisitos para esta interface variam consoante o tipo de sistema de deteção que estamos a considerar. Devido à simplicidade dos sistemas convencionais, é possível realizar uma interface com LEDs individuais, indicando o estado de cada zona (incêndio/avaria) e outros indicadores necessários sobre o estado da central, como a indicação que a central está energizada. Pode também ser adicionado um ecrã alfanumérico, tipicamente LCD, para informações textuais de baixa dimensão.

Uma interface com LEDs individuais é de fácil execução e de baixo custo, mas a sua simplicidade é uma limitação quando queremos uma central mais avançada, impossibilitando ou tornando maçador, por exemplo, a visualização dos registos mantidos pela central, sendo necessário a sua transferência para outro sistema ou retirar o módulo de armazenamento da central.

Para centrais mais avançadas, como as endereçáveis, ecrãs com cores são mais desejáveis. Tipicamente do tipo LCD, o seu uso permite a criação de uma interface gráfica com uma maior densidade de informação, sendo muitas mais intuitiva. É possível, por exemplo, ter uma planta do edifício com a localização e estado dos detetores em tempo real, para mais facilmente determinar o local do incêndio. Aliados à capacidade de touchscreen ou touchpad, é possível controlar a central sem o uso de botões individuais, utilizando o paradigma que popularizado pelos smartphones.



Figura 2.6: Central convencional com LEDs individuais e LCD alfanumérico [2]

2.4.2 Sistemas Operativos

Um sistema operativo é uma abstracção sobre o hardware que providencia um conjunto de serviços que agiliza a criação de sistemas com várias tarefas distintas. Dos vários serviços que disponibilizam, destaca-se o agendamento de tarefa, gestão de recursos e mecanismos de comunicação entre tarefas.

Em sistemas embarcados de baixo âmbito (normalmente com apenas uma tarefa), o uso de um sistema operativo não se justifica quando comparado com os recursos extra necessários, mas o seu uso é bastante mais apelativo em sistemas mais complexos, com tarefas concorrentes.

2.4.2.1 Sistema Operativo de Tempo Real

É comum que um dos requisitos em sistemas embarcados seja o tempo de resposta e tempo de execução máximos sejam finitos, determinísticos e invioláveis.

De forma que seja possível garantir essas condições sejam respeitadas, foram desenvolvidos sistemas operativos de tempo real. Normalmente utilizando o princípio da preempção, em que tarefas com maior prioridade podem suspender a execução de tarefas de menor prioridade, é possível garantir que o tempo de resposta máximo não é violado.

2.4.2.2 FreeRTOS

FreeRTOS é um sistema operativo open-source de tempo real, criado especificamente para o uso em microcontroladores, normalmente caracterizados pelos seus baixos recursos. Como tal, apenas disponibiliza um conjunto mínimo de funcionalidades para permitir o desenvolvimento de tarefas concorrentes, como agendamento de tarefas, comunicação e sincronização entre estas e timing. [17]



Figura 2.7: Central endereçável com LCD a cores e touchpad [3]

2.4.2.3 CMSIS

CMSIS (Cortex Microcontroller Software Interface Standard) é uma camada de abstração de hardware para microcontroladores baseados nos processadores Arm Cortex. Facilita a criação de código portátil e middlewares entre diferentes fabricantes de microcontroladores que utilizem a mesma arquitetura Arm, disponibilizando várias interfaces simples para o microcontrolador e periféricos. Como tem o objetivo de uniformização e portabilidade, não pressupõe um compilador específico.

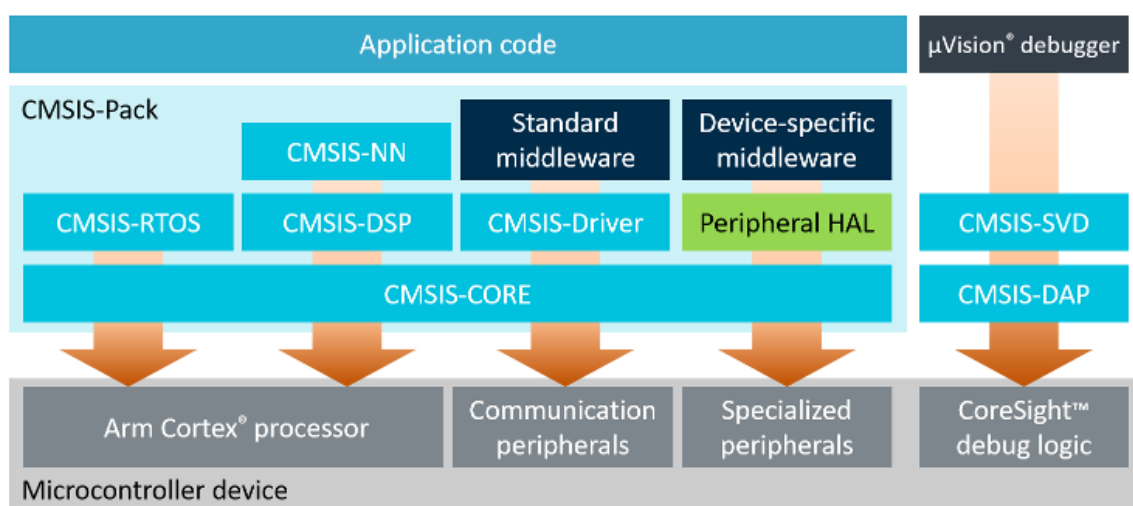


Figura 2.8: Como é utilizado a camada CMSIS [4]

2.4.3 Interfaces Gráficas

Em sistemas interativos, uma interface gráfica é mais apelativa e consegue transmitir maior informação do que uma interface de texto. No ecossistema da ST, 2 frameworks possuem suporte nativo, STemWin e TouchGFX.

2.4.3.1 STemWin

STemWin [18], versão licenciada à ST pela Segger da framework emWin [19], é uma solução proprietária disponível há vários anos no mercado, baseada em C. Extremamente adaptável, sendo capaz de funcionar com qualquer controlador de ecrã e com ou sem sistema operativo. Possui um gestor de janelas incorporado, com um baixo custo de memória (50 bytes por janela). Inclui vários widgets (ou controlos), com capacidade de criação de novos manualmente. Através do simulador, é possível testar a interface antes de programar o microcontrolador.

2.4.3.2 TouchGFX

TouchGFX [19] é uma solução recente proprietária pertencente à própria ST, baseada em C++. Utiliza um paradigma Modelo-Apresentador-Ecrã. Especialmente projetado para microcontroladores STM32, faz uso das capacidades de aceleração gráfica geralmente incluídas nestes microcontroladores, conseguindo uma baixa utilização de CPU. Tal como o STemWin, pode funcionar com e sem sistema operativo. Através da ferramenta TouchGFX Designer e o simulador, é possível uma velocidade de desenvolvimento rápida, e a arquitetura Modelo-Apresentador-Ecrã possibilita código modular e de alto desempenho.

2.4.4 Comunicação Intra-Sistemas

Em sistemas com alguma complexidade, é comum a existência de vários ICs no mesmo sistema que necessitam de comunicar entre si. Para permitir esta comunicação, 3 protocolos se destacaram: SPI, I2C, 1-Wire.

2.4.4.1 SPI

SPI é um protocolo síncrono Master/Slave full-duplex, que permite comunicação à frequência de MHz. Necessita de pelo menos 4 sinais (MOSI, MISO, SS, SCLK), podendo existir vários SS dependendo da topologia implementada.

No caso da topologia normal, são necessários sinais SS individuais para cada slave, rapidamente aumentando a complexidade do circuito, mas é compatível com qualquer slave. A outra topologia possível é em anel (ou daisy-chained), em que o sinal SS é partilhado por todos. Para que esta topologia funcione é necessário que todos os slaves sejam capazes de funcionar em modo transparente, isto é, capazes de propagar os dados sem os processar quando SS estiver a 0. Apenas realiza processamento quando SS estiver a 1.

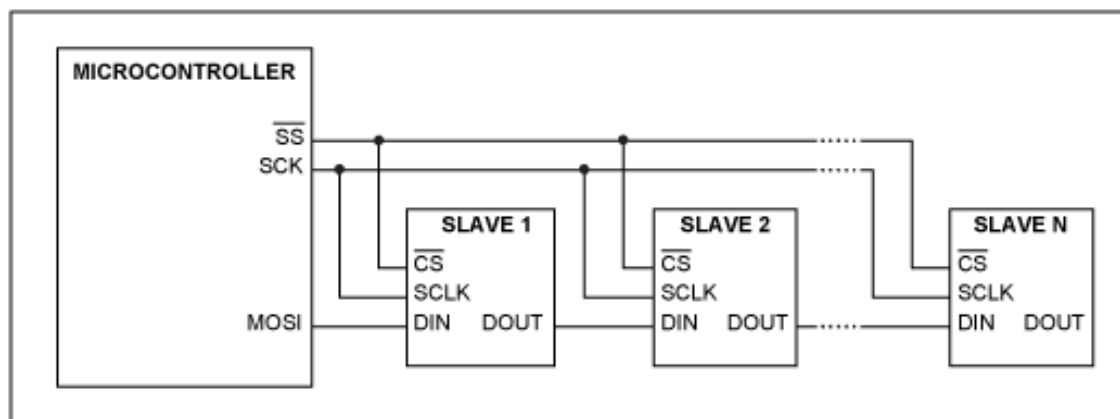


Figura 2.9: SPI em modo daisy-chain [5]

2.4.4.2 I2C

I2C, à semelhança de SPI, é um protocolo síncrono, mas, ao contrário do anterior, pode ter vários Masters no mesmo bus. Realiza comunicação half-duplex entre as centenas de kHz até alguns MHz. Apenas necessita de 2 sinais (SCL e SDA), necessitando resistências de pull-up para cada linha, devido à arquitetura dreno-aberto.

Todos os elementos têm o seu endereço único. Para iniciar uma transação, devido há falta de sinais exclusivos para indicar qual o slave com que queremos comunicar, é necessário enviar o endereço do slave e a operação que queremos que este execute, leitura ou escrita, depois de primeiro o master gerar a condição que inicia uma nova transação. Depois de um reconhecimento pelo slave que tem esse endereço, o resto da transação pode continuar.

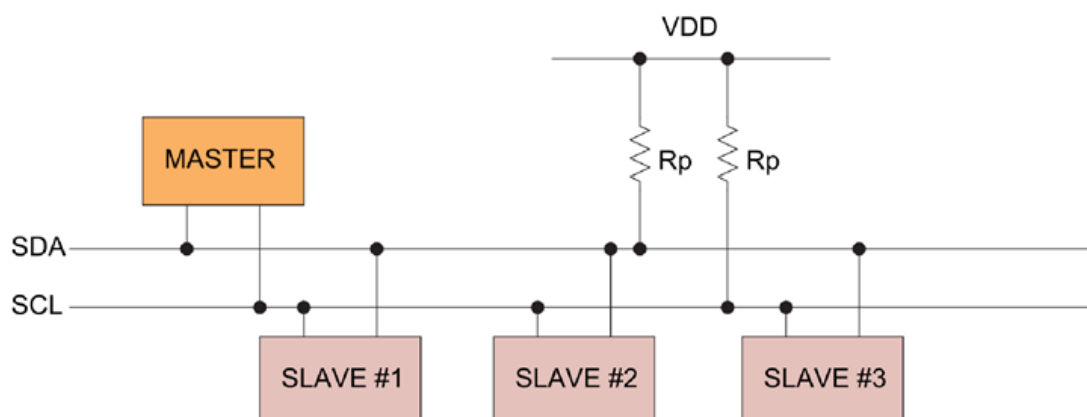


Figura 2.10: I2C [6]

2.4.4.3 1-Wire

1-Wire, tal como o nome indica, é um protocolo que utiliza apenas 1 sinal para comunicar. Como tal, é assíncrono e de baixa frequência (dezenas de kHz até 125 kHz). Possui apenas um master, com comunicação half-duplex. Tal como I2C, necessita de resistência de pull-up na linha devido à arquitetura dreno-aberto.

Os dados são codificados no intervalo de tempo em que a linha está a 0. Como é um protocolo assíncrono, a linha é amostrada dentro de um intervalo de tempo bem definido. Se a linha estiver a 0 quando for amostrada, é considerado um 0, se estiver a 1 é considerado como 1.

Uma característica interessante deste protocolo é a capacidade de poder alimentar os slaves sem estes necessitarem da sua própria alimentação. Tal é conseguido com o uso de um diodo e condensador, em que o condensador é carregado quando a linha está a 1. Quando a linha está a 0, o diodo impede que o condensador descarregue para o master, alimentando assim o slave.

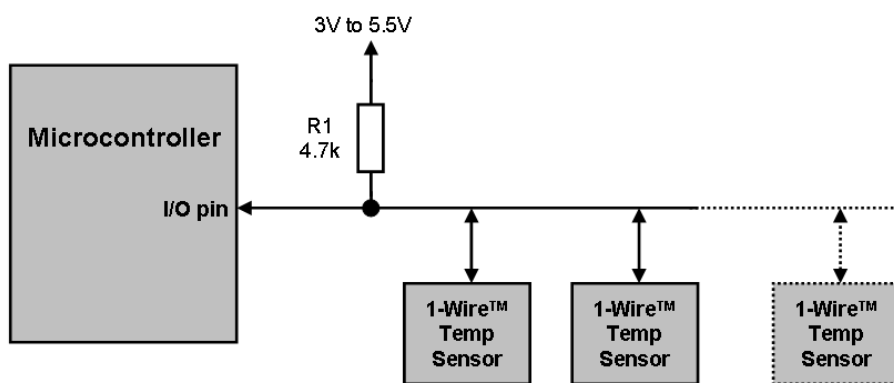


Figura 2.11: 1-Wire [7]

2.4.5 Comunicação Inter-Sistemas

Uma das melhores maneiras de construir sistemas complexos é a ligação entre vários sistemas diferentes mais simples. Para este objetivo, vários protocolos e interfaces foram desenvolvidos, tendo a interoperabilidade em mente.

2.4.5.1 UART e USART

UART é um protocolo de comunicação assíncrona série full-duplex. Sendo assíncrono, possui uma velocidade de transmissão relativamente baixa, em que o baud-rate necessita de ser acordado pelos dispositivos anteriormente. Para melhorar a distância e a velocidade possível, este protocolo pode ser usado em modo diferencial, sendo necessário mais 1 cabo para cada sinal. Em modo diferencial, a integridade do sinal é melhorada porque qualquer ruído normalmente afetaria ambos os cabos, com o seu impacto desaparecendo com a subtração inerente ao modo diferencial. A nível

físico, este protocolo pode ser implementado com recurso a TIA232, TIA422, TIA485. TIA232 é o único unipolar, com a menor velocidade (115 kbps) e distância (15 m). Apenas suporta 2 dispositivos. TIA422 e TIA485 suportam a mesma velocidade e distância máxima (10 Mbps e 1200 m), sendo ambos diferenciais. A diferença entre eles é que TIA422 suporta apenas 10 dispositivos, existindo apenas 1 master, enquanto TIA485 suporta vários masters e 32 dispositivos no total.

USART é uma versão síncrona de UART, com uma linha extra para o sinal de relógio, o que permite maiores velocidades quando comparado com UART. Ao contrário de UARTs, que transmitem byte a byte, USART transmitem pacote a pacote. Geralmente, o que é implementado nos ICs são USART, dado a sua capacidade de funcionar também como UART.

2.4.5.2 USB

USB (Universal Serial Bus) é uma interface série criada para tentar estandardizar uma interface entre computadores pessoais e periféricos, estando atualmente presente em virtualmente todos os PCs e grande parte dos periféricos. Desde a sua criação várias versões foram criadas, sendo anunciado em 2019 a versão 4. Esta interface permite, não só a transferência de dados a alta velocidade, como energia. USB define vários conectores, sendo os mais habituais os Tipo A e Tipo C. Comunica à base de pacotes.



Figura 2.12: Conectores Tipo A e Tipo C [8]

2.4.5.3 Ethernet

Ethernet é um protocolo de comunicação para redes baseado em pacotes. Como no modelo OSI apenas define as 2 camadas mais baixas, Physical e Data Link, normalmente está associado a outros protocolos para realizar comunicações, como por exemplo TCP/IP, que define a Internet. [20]

2.5 Análise dos sistemas disponíveis no mercado

Como descrito nos capítulos 2.2 e 2.3, os sistemas existentes no mercado dividem-se em dois tipos: convencionais e endereçáveis.

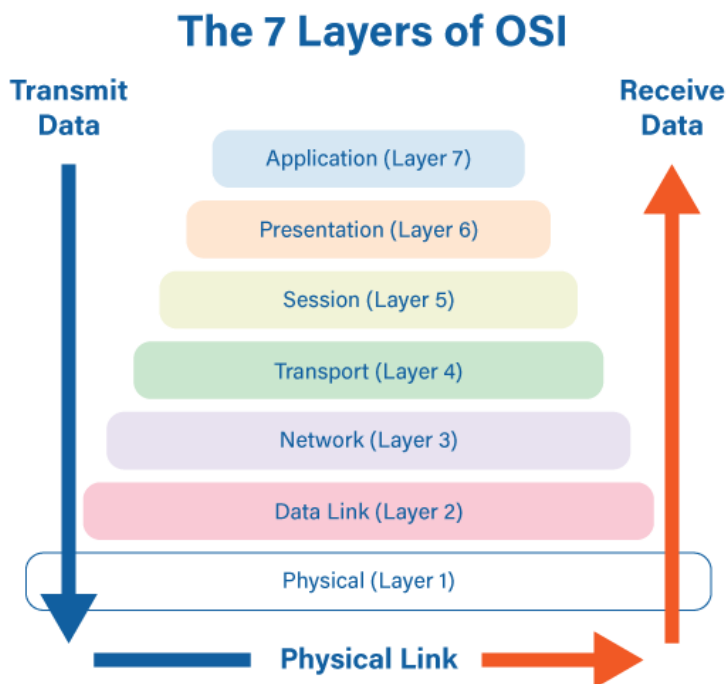


Figura 2.13: Modelo OSI [9]

2.5.1 Exemplos de sistemas convencionais

Neste sub-capítulo, duas centrais convencionais são descritas, sendo avaliados os seus benefícios e possíveis problemas.

2.5.1.1 Teletek Electronics MAG2P

O Teletek Electronics MAG2P [10] (fig 2.14) (é um sistema convencional de 2 zonas, existindo também modelos com 4. Cada zona pode ter um máximo de 32 detetores e um número ilimitado de botoneiras. Apresenta uma interface muito simples, baseada apenas em LEDs e botões individuais. É uma central de baixo custo, para zonas residenciais e escritórios até 1000 m².

Um dos possíveis problemas desta central é a incapacidade de expansão. Caso o utilizador necessite de um maior número de zonas, necessita de comprar uma central completamente nova. De igual forma, se o utilizador pretender uma central endereçável, mais avançada, novamente não é possível sem uma central nova, o que é bastante dispendioso. Para além da central, necessita de comprar dispositivos novos para substituir os já existentes, não havendo possibilidade de os reutilizar num sistema misto convencional-endereçável.

2.5.1.2 Global Fire Equipment Orion +

O Global Fire Equipment Orion + [11] (fig 2.15), tal como o Teletek MAG2P, é uma central convencional. Mais avançada do que a MAG2P, oferece possibilidade de expansão de zonas, de



Figura 2.14: Teletek Electronics MAG2P [10]

8 para 16, em incrementos de 4. Ao contrário da central da Teletek, a ORION + não utiliza apenas LEDs para informar o utilizador sobre o seu estado, possuindo um LCD alfanumérico monocromático. Neste apresenta um relógio e registos de eventos do sistema, com data e hora. Pode ser utilizada em conjunto com painéis repetidores, ligados à central com recurso a uma de várias interfaces, como RS232, RS422/485, fibra óptica, GSM-GPRS e TCP/IP.

Apesar de todas estas vantagens em relação à Teletek MAG2P, continua a ser uma central puramente convencional. Uma migração para um sistema endereçável implica trocar todo o sistema, incluindo detetores.

2.5.2 Exemplos de sistema endereçáveis

Neste sub-capítulo, duas centrais endereçáveis são avaliadas, para ser possível uma comparação com os sistemas convencionais descritos anteriormente.

2.5.2.1 Teletek Electronics IRIS

O Teletek Electronics IRIS [12] (fig 2.16) é uma central endereçável de 1 a 4 laços, com capacidade para 96 zonas, em que cada zona pode ter até 250 dispositivos. Sendo uma central endereçável, possui a vantagem de ser possível de localizar com maior precisão o local em alarme, como descrito em 2.3. Ao contrário da central convencional MAG2, do mesmo fabricante, a IRIS possui um LCD gráfico com ecrã tátil, para além dos LEDs de estado. Toda a configuração é realizada através do ecrã tátil, não existindo botões físicos. A central suporta 2 protocolos de comunicação com os dispositivos diferentes, ambos proprietários à Teletek Electronics: IRIS TTE e IRIS SS. Sendo uma central puramente endereçável, não é possível o uso de uma zona convencional já existente. Tal como descrito anteriormente, esta impossibilidade torna a expansão de um sistema convencional para um sistema endereçável mais dispendiosa.



Figura 2.15: Global Fire Equipment Orion + [11]

2.5.2.2 Global Fire Equipment G-One

O Global Fire Equipment G-One [13] (fig 2.17) é uma central endereçável com 1 laço, com um máximo de 250 dispositivos. É capaz de integrar uma rede com mais 31 outras centrais G-One, centrais GEKKO, entre outras, através de RS422, fibra óptica e TCP/IP. Este rede suporta até um máximo de 384 zonas. Possui um ecrã LCD gráfico mais LEDs individuais, mas, ao contrário da Teletek Electronics IRIS, não possui ecrã tátil, recorrendo a botões físicos para a sua interface. Suporta três protocolos de comunicação com dispositivos: ZEOS e GFE, ambos proprietários à Global Fire Equipment, e Apollo digital analogue addressable [21]. Tal como a Teletek Electronics IRIS, é uma central puramente endereçável, não permitindo sistemas mistos.

2.5.3 Melhorias possíveis ao estado da arte

Analisando a amostra de sistemas convencionais e endereçáveis descritos acima, há uma capacidade não existente em todos os sistemas: não é possível a utilização em simultâneo de zonas convencionais e endereçáveis na mesma central. Uma central apenas é convencional, ou apenas endereçável, não existindo opção de sistemas mistos. Isto deixa o consumidor numa situação complicada, principalmente quando projeta o seu primeiro sistema de deteção de incêndio. Inicialmente, um sistema convencional pode ser mais que adequado, mas se o consumidor tiver intenções de, no futuro, expandir o seu sistema de deteção, no qual faça sentido ter um sistema endereçável, que tipo de central escolhe? Se escolher uma central convencional, o investimento inicial é menor, mas se necessitar de mudar para um sistema endereçável, terá que se desfazer de ambas a central e detetores já existentes. Terá que comprar não apenas detetores para as novas áreas a monitorizar, mas também terá que substituir as já existentes. Efetivamente, o investimento inicial é perdido.



Figura 2.16: Teletek Electronics IRIS [12]

Caso o consumidor instale um sistema endereçável logo de início, prevenindo uma expansão futura, terá que realizar um investimento inicial maior, que pode não ser comportável numa fase inicial. E, se no futuro, chegar à conclusão que uma expansão não é necessária, o maior investimento inicial foi desnecessário.

Uma central expansível, capaz de funcionar de maneira mista, monitorizando sistemas convencionais e endereçáveis, teria um espaço no mercado para os consumidores descritos acima. Providenciaria capacidade de expansão para um sistema endereçável mantendo o sistema convencional já existente.

Para habilitar esta flexibilidade, a interface entre os diversos sistemas poderia ser abstraída da central, através de uma placa-mãe separada na qual se inseriam combinações de placas convencionais ou endereçáveis, na configuração pretendida pelo cliente. Estas placas teriam a responsabilidade de monitorizar a sua zona respetiva, com a central tendo uma responsabilidade mais supervisiória. Esta configuração mista permite novas funcionalidades, não existentes nos sistemas atuais, como a criação de zonas lógicas mistas, com dispositivos convencionais e endereçáveis. Isto permite usar, por exemplo, zonas convencionais para fazer a monitorização, cujos detetores são menos dispendiosos do que os homólogos endereçáveis, e apenas um laço endereçável, possuindo apenas sirenes. Através do uso de zonas lógicas, cada sirene estaria associada apenas a uma zona convencional.

2.5.3.1 Conclusão

Em suma, esta nova abordagem permitiria um menor custo a longo prazo quando comparado com um sistema convencional que é depois substituído por um endereçável, e mais maior flexibilidade e potencialmente menor custo que um sistema endereçável.

Um sistema deste tipo seria constituído pela central, a placa-mãe, mais as placas para os tipos de sistemas pretendidos. Para um sistema inicial apenas com uma placa convencional, é um investimento inicial ligeiramente mais alto do que uma central puramente convencional. Mas a sua maior flexibilidade e capacidade de reutilização do sistema original torna-o muito mais barato do que a substituição por um sistema puramente endereçável.



Figura 2.17: Global Fire Equipment Orion + [13]

Capítulo 3

Arquitetura do Hardware

Um sistema de detecção de incêndios pode ser dividido em 2 partes principais: a central de detecção e controlo e os dispositivos que possibilitam a detecção e o alarme em situações de incêndio.

Para que um sistema modular seja possível, é necessário existir a capacidade de alterar a configuração do sistema de maneira ágil e simples. Assim sendo, tal capacidade tem que estar disponível independentemente da central.

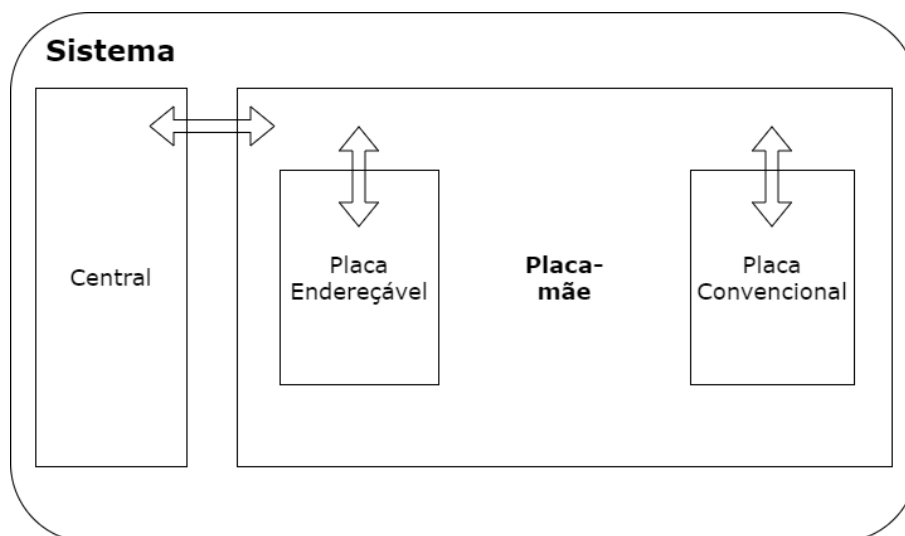


Figura 3.1: Diagrama Hardware

Neste sentido, a NIBBLE desenvolveu uma placa-mãe, independente da placa mãe da central, na qual podem ser introduzidas várias placas, cada uma independente das outras. Estas placas são responsáveis por monitorizarem o seu laço respetivo e reportar o seu estado à placa mãe quando pedido.

Como cada placa é independente, para ser possível a monitorização de uma zona convencional é apenas necessário a criação de uma nova placa, para inserir na placa-mãe, capaz de monitorizar e reportar o seu estado à placa mãe.

3.1 Central

Para o desenvolvimento da central foi escolhido como base o kit STM32F769IDISCOVERY, da STMicroelectronics. Este kit, com base no microcontrolador STM32F769NI, foi escolhido por já estar disponível na NIBBLE e possuir um LCD a cores de 4" com touch capacitivo, que permite a interação do utilizador com a central.

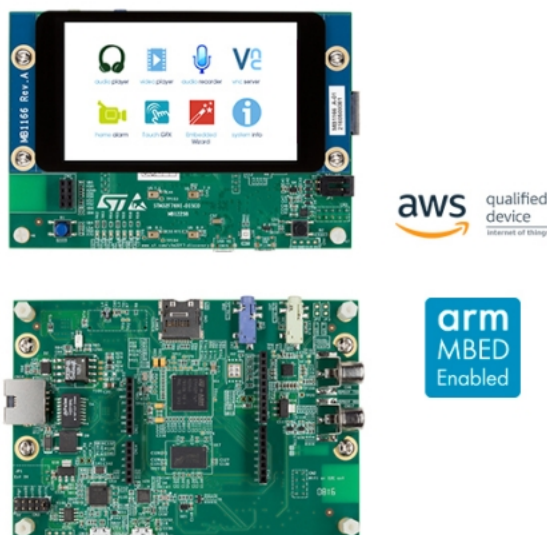


Figura 3.2: Kit STM32F769IDISCOVERY

A comunicação com a placa-mãe é assegurada pela utilização de uma das várias portas USART disponíveis. É também usada os pinos de +3.3V e GND do kit para alimentação desta placa.

3.2 Placa-mãe

Para permitir modularidade e expansibilidade do sistema, uma placa mãe foi desenvolvida pela NIBBLE. Nesta podem ser inseridas placas com funcionalidades diversas, tais como placas com protocolos endereçáveis diferentes (ex. DALI), ou placas de comunicação por fibra óptica.

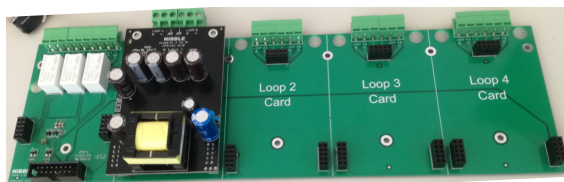


Figura 3.3: Placa-mãe com um placa de interface endereçável

A placa tem 3 conectores em cada slot:

- o conector no canto inferior esquerdo proporciona acesso ao barramento de comunicação série (TX e RX), pinos de endereçamento e alimentação de 3.3 V para os microcontroladores.
- o conector do canto inferior direito tem como função disponibilizar a alimentação de 28V para os dispositivos de monitorização.
- o conector do topo dá acesso aos sinais de monitorização e comunicação com os dispositivos.

Uma característica interessante desta placa é o uso de 2 pinos exclusivamente para endereçamento. De forma a que cada placa de expansão possa determinar a que pedidos responder, cada slot tem os pinos de endereçamento ligados de maneira diferente, com a slot 1 a ter o endereço 0 (00), a slot 2 o endereço 1 (01), e assim sucessivamente. Na inicialização do microcontrolador de cada placa, estes pinos são lidos para determinar o seu endereço, e assim determinar que mensagens no barramento são destinadas a si.

3.3 Placa Convencional

Para adicionar a capacidade de monitorização de uma zona convencional, uma nova placa de expansão para a placa-mãe foi projetada. Esta nova placa tinha de cumprir os seguintes requisitos:

- ser compatível com a placa-mãe, incluindo alimentação e endereçamento,
- ter capacidade de monitorizar uma zona convencional para deteção de incêndios,
- disponibilizar uma saída auxiliar capaz de fornecer até 500mA de corrente, para sirenes ou outros dispositivos de alarme,
- deteção de falhas na zona convencional e saída (curto-circuitos e circuitos abertos).

Para o desenvolvimento de ambos esquemático e PCB, a ferramenta Pulsonix [22] foi utilizada, sendo esta a utilizada na NIBBLE.

3.3.1 Desenvolvimento do Esquemático

Para agilizar o projeto, a placa foi dividida em 3 grandes partes:

- circuito de monitorização da zona
- circuito de ativação da saída auxiliar, com deteção de falhas
- microcontrolador e alimentação

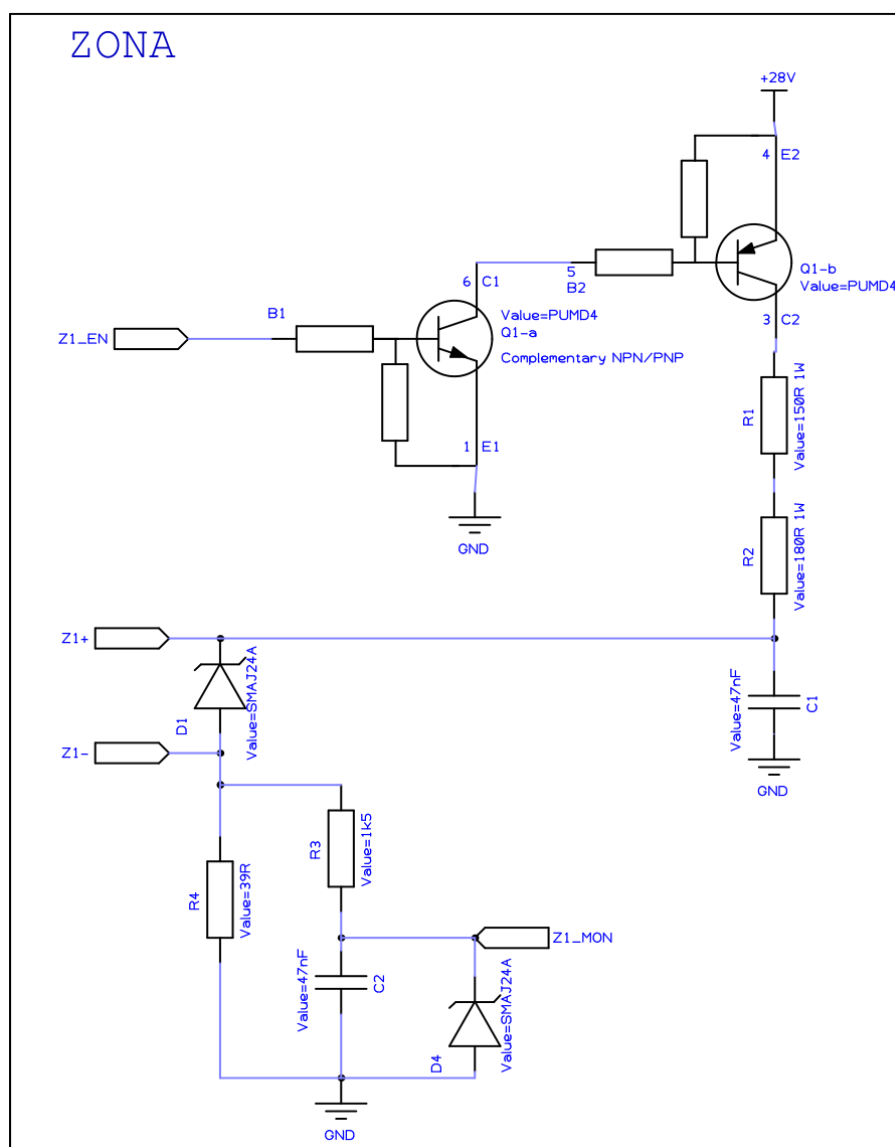


Figura 3.4: Esquemático do circuito de monitorização da zona

3.3.1.1 Circuito de monitorização da zona

Como discutido na Revisão Bibliográfica (2.2), a monitorização do estado da zona convencional é realizada com base na corrente que está a ser utilizada por esta. Para medir esta corrente, é necessário converter esta numa tensão capaz de ser lida por um dos ADCs do microcontrolador. Felizmente, tal conversão é facilmente realizada através de uma das leis fundamentais da análise de circuitos: lei de Ohm.

$$V = R * I \quad (3.1)$$

Para ligar o circuito ao ADC, uma resistência e condensador são utilizados, com este último ligado aos pinos do ADC. A resistência e o condensador criam um filtro passa-baixo, filtrando

Tabela 3.1: Correntes na zona (com 150 Ω , 180 Ω e 39 Ω em série com R_L)

R_L	$+\infty\Omega$	4905 Ω	1270 Ω	344 Ω	30 Ω
I_L	0	5.3 mA	17.4 mA	40.9 mA	75.8 mA

possível ruído que possa afectar a amostragem do ADC. O condensador tem uma segunda função, funcionando como reserva de carga para carregar os condensadores internos do ADC, garantindo que a tensão medida não seja menor que a real.

A corrente deste circuito varia consoante a resistência equivalente entre a resistência de terminação (normalmente 3300 Ω) e a resistência apresentada pelos detetores e botoneiras. Em circuito aberto, a resistência é infinita. Em repouso, esta resistência equivalente tem um valor de 4905 Ω , aumentando para 1270 Ω quando os detetores passam para o estado de alarme. Para poder distinguir entre um detetor e uma botoneira manual, esta apresenta uma resistência mais baixa, de 344 Ω . Foi considerado uma situação de curto-circuito quando a resistência equivalente é menor que 30 Ω . A tabela 3.1 demonstra as correntes para cada estado possível da zona, com as resistências de 150 Ω , 180 Ω e 39 Ω em série com a resistência equivalente.

Estas correntes traduzem-se nas tensões descritas na tabela 3.2, medidas pelo ADC.

Para proteger o circuito de descargas eletrostáticas, um díodo de proteção foi adicionado entre os pinos da zona. Para garantir que o limite de corrente que o microcontrolador pode suportar nos seus pinos não seja ultrapassada quando é feito um curto circuito entre os pinos da zona, são colocados 2 resistências em série, de 180 e 130 Ω . Como o ADC tem uma resistência interna de 1000 Ω , no pior caso, em que o condensador ligado ao ADC está descarregado, a tensão na resistência R_4 será

$$V_{R4} = \frac{28 * 39 // (1500 + 1000)}{(180 + 150 + (39 // (1500 + 1000)))} = 2.91V \quad (3.2)$$

o que se traduz numa corrente no pino do ADC de

$$I_{ADC} = \frac{V_{R4}}{1000 + 1500} = 1.1mA \quad (3.3)$$

muito menor que os 15 mA descritos na datasheet como valor máximo.

3.3.1.2 Circuito de ativação da saída auxiliar

De acordo com os requisitos definidos, é necessário monitorizar o estado da saída auxiliar quando esta está desligada. Podemos, assim, dividir o circuito projetado em 2 partes:

- a parte responsável por ligar e desligar a saída, capaz de fornecer 500 mA,
- e a parte de monitorizar.

Quando pretendemos ativar a saída, o transístor Q2-b (DMG6602SVT) é ligado através do NPN Q6-a, ativado pelo sinal de controlo SND_EN. De maneira semelhante, o NPN Q6-b liga T2,

Tabela 3.2: Tensões medidas no ADC

I_L	0	5.3 mA	17.4 mA	40.9 mA	75.8 mA
V_{ADC}	0	0.21 V	0.68 V	1.60 V	2.96 V

um Low-Side Power Switch (BTS3205N), que providencia proteção contra curto-circuito quando a saída está ligada. Este circuito integrado tem uma corrente de corte de, no máximo, 1.2 A, bastante menor que os 2.2 A do DMG6602SVT (Q2-b).

Quando a saída está desligada e é necessário realizar a sua monitorização, os transístores NPN ligados a Q2-b e T2 não conduzem, passando o transístor Q4-b, um PMOS, a conduzir, apresentando 3.3 V ao díodo D2. Considerando uma queda de 0.7 V no díodo, a saída fica alimentada com 2.6 V. Através de Q5-b, a saída é ligada ao ADC do microcontrolador, de maneira semelhante à monitorização da zona.

Para a monitorização, os valores usado para a resistência ligada à saída auxiliar estão descritos na tabela 3.3.

Para uma tensão de 2.6 V, a tensão lida pelo ADC é dada por um simples divisor de tensão.

$$V_{ADC} = 2.6 * \frac{4.7k}{4.7k + R_L} \quad (3.4)$$

Para as resistências na tabela 3.3, as seguintes tensões foram calculadas 3.4.

Como a tensão de referência do ADC é 3.3 V (VDD) e este é de 12 bits, o número de estados possível é $2^{12} = 4096$, o que corresponde a $V_{bit} = \frac{3.3}{4096} = 0.8$ mV por bit. Para converter um valor de tensão no valor correspondente lido pelo ADC, é utilizada a seguinte equação:

$$N = \frac{V_{ADC}}{V_{bit}} \quad (3.5)$$

Utilizando esta equação, os valores esperados para a zona (3.5) e para a monitorização (3.6) foram calculados.

De forma a proteger o micro controlador de um curto-circuito à tensão de 28V quando a monitorização está ativa, um díodo zener de 4.3V, inversamente polarizado, é colocado entre o pino do ADC e a massa. Segundo a datasheet, um pino do tipo FT_a (que é o tipo do pino PA1 onde está ligado o ADC) pode suportar $VDD (3.3V) + 4.0$ V, um díodo de 4.3V não ultrapassa estes limites.

3.3.1.3 Microcontrolador e alimentação

O microcontrolador escolhido para este projeto foi o STM32G070KB. Com 36 kB de RAM, 128 kB de Flash, DMA de 7 canais, 4 USARTs e 1 ADC de 12 bits com 16 canais externos, é mais

Tabela 3.3: Resistência na saída auxiliar

Estado	Aberto	Repouso	Curto Circuito
R_L	$+\infty$	10000 Ω	500 Ω

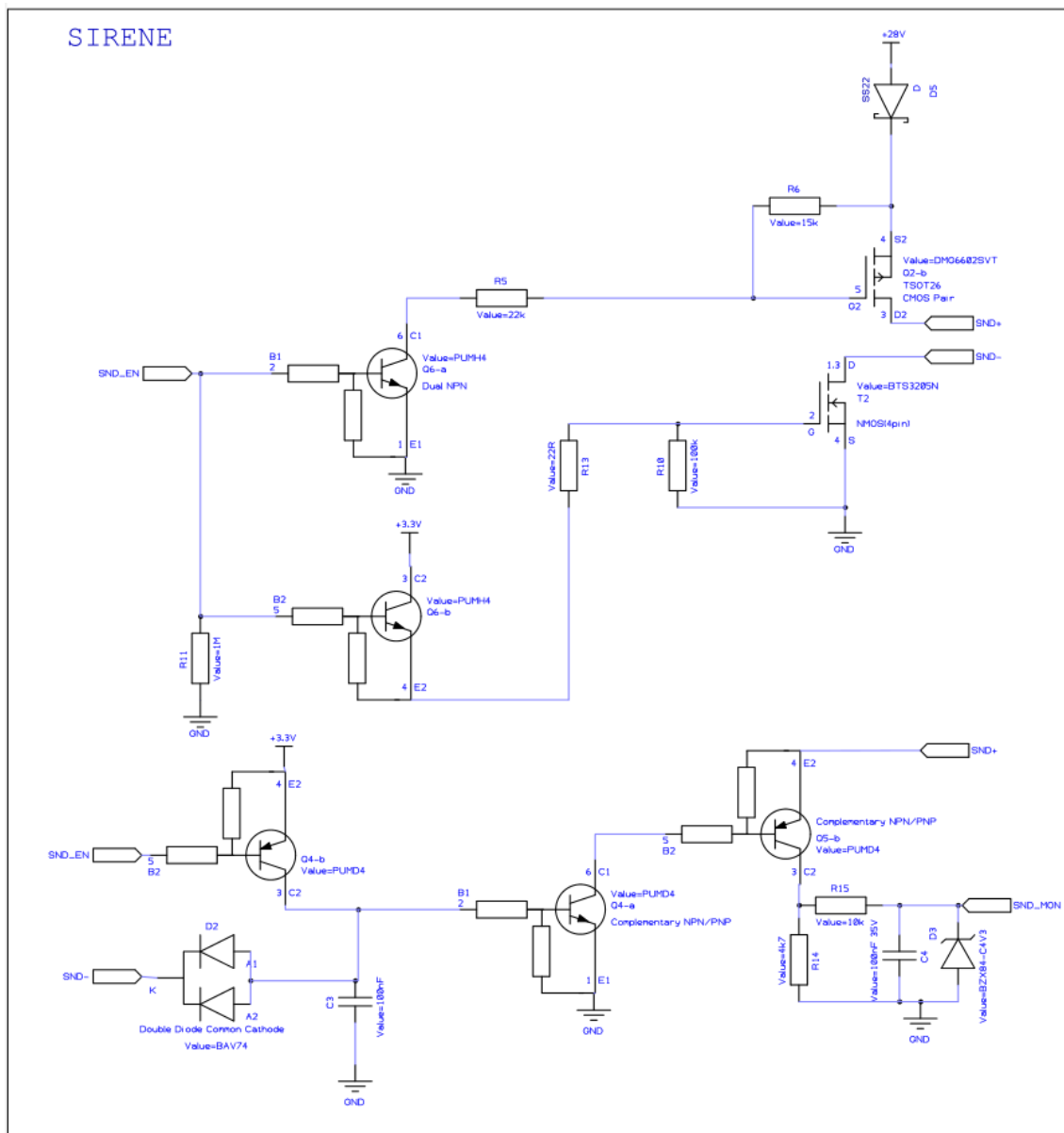


Figura 3.5: Esquemático do circuito de activação da saída auxiliar

do que suficiente para os requisitos deste projeto. Devido à incerta sobre as necessidades de RAM e Flash, optou-se por escolher um microcontrolador com maior capacidade de ambos nesta fase de prototipagem. Mas como todos os microcontroladores da família STM32G0 com o mesmo package apresentam o mesmo pinout, seria trivial mudar para um microcontrolador com capacidades de memória mais modestas se tal se justificasse.

3.3.2 Desenvolvimento do PCB

Para o desenho do PCB, considerações mecânicas foram as primeiras a serem consideradas. Como esta placa será inserida na placa-mãe, o tamanho da placa e o formato e localização dos

Tabela 3.4: Tensões possíveis no ADC durante a monitorização

R_L	$+\infty$	$3000\ \Omega$	$500\ \Omega$
V_{ADC}	0 V	0.83 V	2.35 V

conectores já estão predefinidas. O PCB foi desenhado com 2 camadas, com todos os componentes na camada inferior. Isto permite maior flexibilidade durante o roteamento, simplificando o desenho. Na camada superior posicionou-se as pistas verticalmente, enquanto que na inferior estas eram desenhadas horizontalmente. Permite, também, que uma camada (neste caso, a superior) seja utilizada com poucas disrupções como plano exclusivo de massa. Na camada inferior, onde existiu espaço disponível, estas foram preenchidas com zonas de cobre e ligadas à camada superior de massa através de vias, criando um plano contínuo de massa constituído por ambas as camadas. Desta forma, a distância média da corrente de retorno para a massa é reduzida, o que diminui as variações de tensão do plano de massa.

Segundo as especificações do fabricante usado, Eurocircuits [23], a profundidade das pistas é de $35\ \mu\text{m}$ [24]. Usando a calculadora do Pulsonix, obteve-se um valor de 0.30 mm para a largura mínima das pistas, considerando uma temperatura ambiente de $25\ ^\circ\text{C}$, um aumento de temperatura de $10\ ^\circ\text{C}$ e uma corrente de 1,2 A. Este valor foi o considerado como o mais alto previsto no circuito, quando a saída auxiliar sofre um curto-circuito quando ligada aos 28 V, como descrito no capítulo 3.3.1.2. O circuito de monitorização da zona convencional, como tem 2 resistências de $180\ \Omega$ e $150\ \Omega$ em série com este circuito, tem um valor de corrente máximo muito menor do que os 1,2 A acima referidos na tabela 3.1. Findo este cálculo, o valor da largura da pista de potência escolhido foi de 0.4 mm, providenciando uma margem de segurança. Para as pistas de sinal, foi utilizado 0.2 mm.

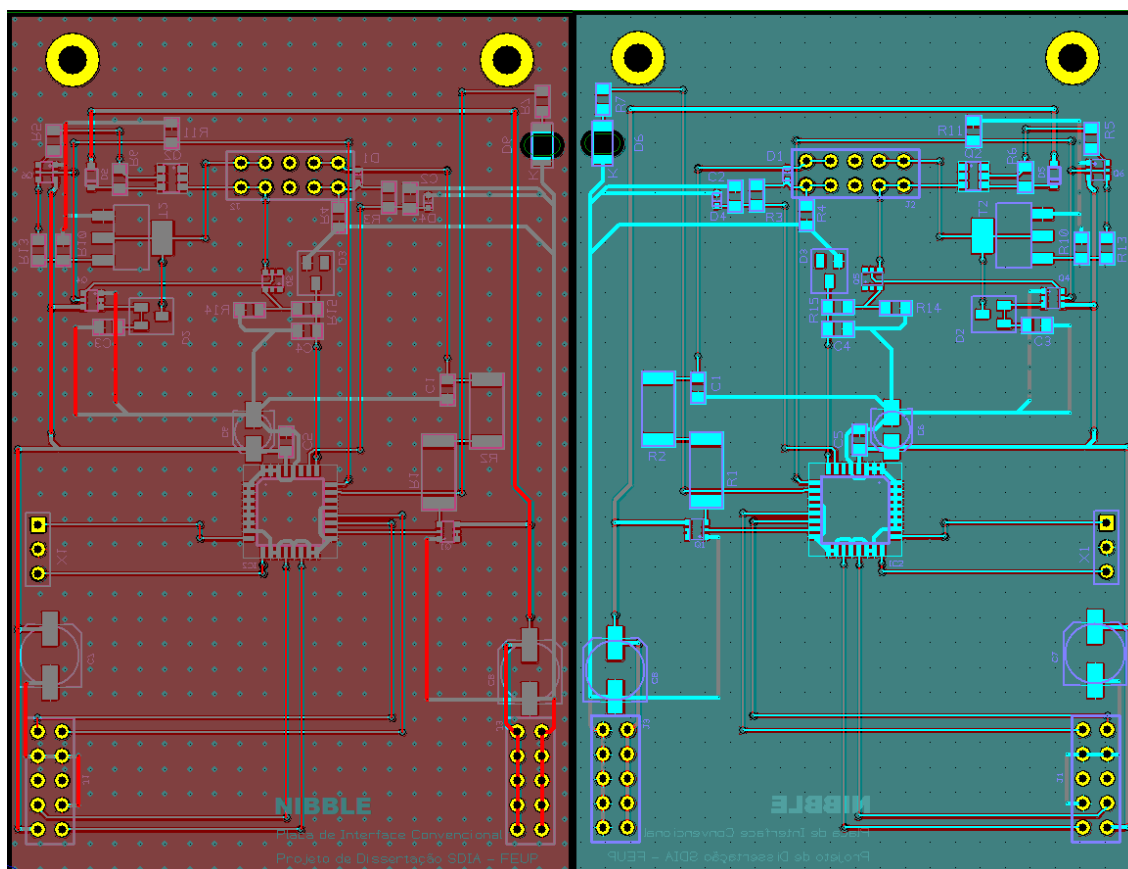


Figura 3.7: Vista superior e inferior do PCB da Placa Convencional

Design Calculators: Track Width and Resistance

Heat Sink Basic RLCF Convert

Scientific Track Width and Resistance Track Impedance Via Resistance

Calculate: Required Track Width

Inputs:

Track Layer: ☒ External ☐ Internal

Track Thickness: 35 micron

Current: 1.2 Amps

Temperature Rise: 15 Celsius (C)

Ambient Temperature: 25 Celsius (C)

Track Length: 16.85 mm

Copper Resistivity: 1.7e-06 Ohm-cm Use Default

Results:

Required Track Width: 0.302014 mm

Resistance: 0.0286843 Ohms

Voltage Drop: 0.0344212 Volts

Power Loss: 0.0413055 Watts

NOTE: These calculations are approximations, and should not be used if a high degree of accuracy is required. View the online help for more information about the formulas used.

Figura 3.8: Cálculo da largura mínima das pistas de potência usando a calculadora do Pulsonix

Capítulo 4

Arquitetura do Firmware

Para este projeto, 2 firmwares foram desenvolvidos:

- Firmware para a central de detecção, responsável pela interação com o utilizador e monitorizar o estado do sistema,
- e firmware para a placa convencional, responsável pela monitorização dos dispositivos convencionais ligados a esta e respetiva comunicação com a central.

O sistema funciona na arquitetura líder-seguidor, em que a central é o líder e inicia todos os pedidos, e as placas de monitorização apenas respondem quando indicadas.

Como os microcontroladores escolhidos são da STMicroelectronics, o ambiente de programação escolhido foi o STM32CubeIDE, utilizando o compilador GCC. O firmware da central foi escrita em C e C++, sendo C++ utilizado apenas na tarefa da interface gráfica. O firmware da placa convencional foi desenvolvida apenas em C.

4.1 Central

Antes de iniciar o desenvolvimento da central, duas decisões fundamentais seriam necessárias:

- Utilizar um sistema operativo?
- Que framework para a interface gráfica utilizar?

4.1.1 Escolha de Sistema Operativo

Um sistema operativo, principalmente de tempo real, é bastante apelativo para um sistema com interação direta com o utilizador. Com recurso a tarefas com prioridades diferentes e o uso de preempção, é possível garantir um desempenho mínimo adequado da interface, algo bastante importante para a satisfação de um utilizador. Torna, também, o código mais simples e modular. Os mecanismos de comunicação inter-tarefas e sincronização facilitam a criação de código concorrente que utilize recursos partilhados, algo bastante comum em sistemas com várias funções. Mas

estas vantagens têm um custo em processamento, memória RAM e memória Flash extra, que, em sistemas de recursos mais reduzidos, podem ser impraticável.

Como o kit de desenvolvimento da ST utilizado, descrito anteriormente (3.1), possui bastantes recursos, o uso de um RTOS não apresenta desvantagens. FreeRTOS, através da interface CMSIS v2, foi o sistema operativo escolhido, sendo o RTOS recomendado pela ST.

4.1.2 Escolha da Framework de Interface Gráfica

Para a interface gráfica, 2 opções rapidamente se tornaram apelativas pelo seu suporte nativo da ST:

- STemWin,
- TouchGFX.

STemWin, versão licenciada à ST pela Segger da framework emWin, é uma solução disponível há vários anos no mercado. TouchGFX, solução proprietária da própria ST, é mais recente do que STemWin, e em desenvolvimento ativo. Sendo uma propriedade da ST, TouchGFX é apresentada por esta como a solução para o futuro. Sendo que, para o âmbito deste projecto, ambas as frameworks são mais que capazes, a decisão foi determinada pelas perspetivas futuras das respectivas soluções. Assim, a escolha para este projeto foi o TouchGFX.

4.1.3 Estrutura do Firmware

O firmware da central foi dividido em 3 tarefas, de acordo com as funções necessárias (listadas por prioridade):

- Tarefa de comunicação com as placas e decodificação dos pacotes
- Tarefa de processamento, responsável por determinar o estado atual do sistema
- Tarefa da interface gráfica (TouchGFX)

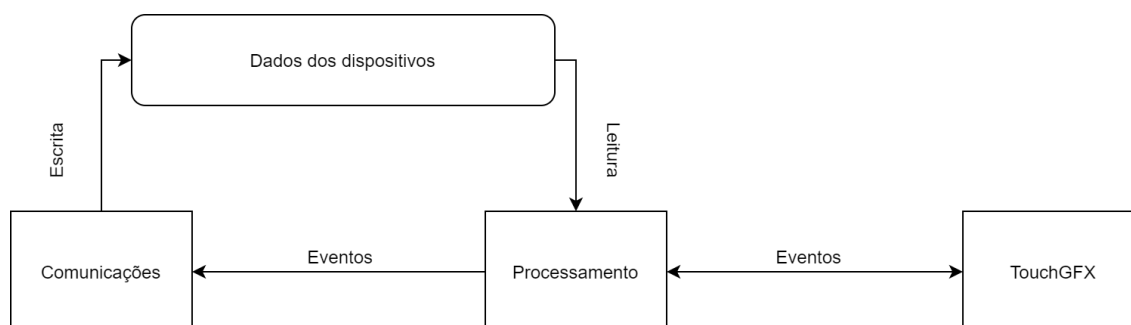


Figura 4.1: Diagrama das tarefas

O objetivo principal desta dissertação é possibilitar o uso simultâneo de ambos dispositivos endereçáveis e dispositivos convencionais, de forma automática, sendo possível associá-los em zonas lógicas, sobre as quais fazemos o processamento para determinar o estado da central. Será esta zona lógica o ponto de ligação entre os dois tipos de dispositivos.

De forma a permitir o uso "ligar e usar", a primeira coisa que a central faz após inicialização é enviar um pacote de estado para cada endereço disponível na placa-mãe, sequencialmente. Se obtiver resposta correta, é atualizada a lista de placas no sistema e a respetiva placa é inicializada de acordo com o seu tipo.

De forma a manter o estado total do sistema, 6 estrutura de dados foram criadas:

- Estrutura com os dados dos dispositivos endereçáveis,
 - Tamanho: 508 dispositivos por laço * 2 laços possíveis
- estrutura com os dados dos dispositivos convencionais,
 - Tamanho: 2 laços possíveis
- estrutura com a informação das zonas,
 - Tamanho: 120 zonas, com cada zona a ter no máximo 256 dispositivos
- estrutura com a lista de alarmes,
 - Tamanho: 100 alarmes concorrentes
- estrutura com a lista de falhas,
 - Tamanho: 100 falhas concorrentes
- estrutura com informação geral do sistema
 - número de dispositivos,
 - número de zonas,
 - número de alarmes,
 - número de zonas em alarme
 - número de falhas,
 - número de zonas em falha

Todas estas estruturas foram alocadas estaticamente. Uma análise rápida facilmente demonstra que a estrutura com a informação das zonas tem uma dimensão considerável, mas, no entanto, o seu uso não é necessário. O seu uso é justificado pelo facto de o kit STM32F769IDISCOVERY usado ter muito mais memória RAM do que é absolutamente necessário. Num compromisso clássico entre utilização de RAM e ciclos extra de processamento, optou-se pelo uso de mais memória, dado que a não utilização destas estruturas implica ter que percorrer a lista de dispositivos várias vezes para determinar o estado de cada zona, potencialmente 120 vezes.

4.1.3.1 Tarefa de comunicação e descodificação

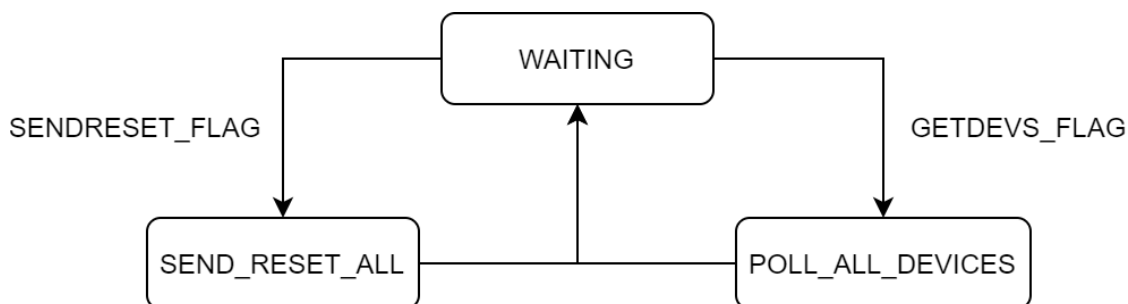


Figura 4.2: Diagrama de estados da tarefa de comunicação

Devido à necessidade de garantir que não perdemos nenhum pacote, esta tarefa é aquela com maior prioridade no sistema. Para garantir que as restantes tarefas têm acesso a tempo de processamento, a tarefa de comunicação apenas executa quando é explicitamente pedida, estando o resto do tempo suspensa. Para possibilitar este comportamento, eventos e DMA foram utilizados, em conjunto com uma máquina de estados, descrita na figura 4.2. Um timeout foi adicionado às comunicações, para impedir que esta tarefa fique para sempre suspensa caso exista uma falha nas comunicações e um pacote seja perdido.

Quando a tarefa está no estado WAITING, esta está suspensa, sendo apenas acordada quando pelo sistema operativo quando existir um novo evento. Os eventos que podem acordar esta tarefa são:

- GETDEVS_FLAG, evento que sinaliza um pedido para interrogar às placas de monitorização o estado atual dos dispositivos,
- SENDRESET_FLAG, que sinaliza um pedido para enviar a todas as placas ordem para apagarem o estado atual dos seus dispositivos.

No estado POLL_ALL_DEVICES, é enviado a todas as placas um pedido para enviarem o seu estado respectivo. Devido à sua estrutura como máquina de estados, é trivial adicionar funcionalidades extras a esta tarefa.

4.1.4 Tarefa de Processamento

A tarefa de processamento executa 2 ações principais. Primeiramente, actualiza a informação das zonas de cada dispositivo, que pode ter sido alterada na através da interface, na tarefa TouchGFX. De seguida, determinamos o estado atual do sistema.

Primeiramente, verificamos se recebemos um evento da interface a sinalizar um pedido de reset ao sistema. Caso o utilizador tenha pedido o reset, apagamos a informação de todos e dispositivos e as suas associações a zonas e enviamos um evento à task das comunicações para enviar o pedido de reset a todas as placas ligadas à placa de laços.

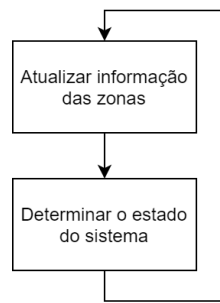


Figura 4.3: Acções realizadas na tarefa de processamento

Se não houve um pedido de reset, procedemos à determinação do estado do sistema, percorrendo todas as zonas existentes em sequência. Para cada zona, percorremos todos os seus dispositivos e verificamos o seu estado. Primeiro verificamos se este está em alarme. Se o dispositivo estiver em alarme, adicionamos o dispositivo à lista de alarmes, sinalizamos a tarefa da interface com o evento de alarme, e atualizamos a informação da zona, para indicar o novo número de dispositivos em alarme.

4.1.5 Tarefa da interface gráfica (TouchGFX)

De acordo com a arquitetura do TouchGFX, Modelo-Apresentador-Ecrã, vários ecrãs foram criados, de acordo com as necessidades do projeto. Foi utilizada a ferramenta TouchGFX Designer para o desenvolvimento destes ecrãs. Esta ferramenta visual permite o desenvolvimento de interfaces com a escrita do mínimo código possível, dado que esta é capaz de o gerar com base nos esquemas desenvolvidos na ferramenta. A sua capacidade de contentores, que permite a geração de widgets personalizados reutilizáveis, foi utilizada intensamente, para diminuir ainda mais o código necessário.

Foram criados os seguintes ecrãs:

- Ecrã de repouso,
- ecrã de login,
- ecrã de dispositivos,
- ecrã de zonas,
- ecrã de alarmes.
- ecrã de avarias.

Cada um destes ecrãs tem o seu próprio Apresentador, de acordo com a arquitetura da framework. No entanto, como vários dados e métodos são comuns a muitos ecrãs, foi criado um Apresentador base, onde estes métodos se encontram. Os Apresentadores individuais herdam todos deste Apresentador base.

Todos os ecrãs partilham uma barra superior, contendo um relógio, atalhos para os diferentes ecrãs, ícones de estado do sistema, nível de acesso atual e botão para login/logout.

4.1.6 Modelo

O Modelo, onde a lógica da interface gráfica e interação com as restantes tarefas acontece, segue uma simples máquina de estados. Quando recebe um evento da tarefa de processamento a indicar um alarme, muda de estado para alarme e altera o ecrã em visualização para o de alarme. Como, de acordo com a norma, o ecrã de alarme tem de ser mostrado no máximo de 30 em 30s, um timer é inicializado. Caso este timer atinja os 30s, o modelo recebe um evento para voltar a mudar para o ecrã de alarme. Esta máquina de estados apenas volta ao estado de repouso quando o reset é pedido pelo utilizador, pedido que é propagado pelo resto do firmware através de um evento.

4.1.6.1 Ecrã de repouso

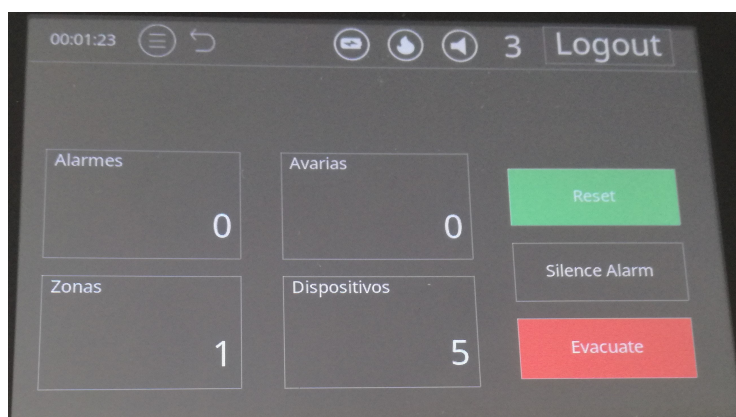


Figura 4.4: Exemplo de ecrã de repouso, com as ações disponíveis em modo de acesso 2 e 3

O ecrã de repouso (figura 4.4) tem a função de, rapidamente, mostrar o estado do sistema e disponibilizar acesso rápido aos ecrãs principais. Disponibiliza 4 botões no nível de acesso 1, com cada botão indicando o número de casos existentes:

- Zonas,
- Dispositivos,
- Alarmes,
- Avarias.

No nível de acesso 2 e 3, 3 botões extras são adicionados:

- Reset,
- Silenciar sirene,
- Evacuar.

4.1.6.2 Ecrã de login

O ecrã de login disponibiliza um teclado para permitir alterar o nível de acesso, disponibilizando funções mais avançadas, tais como fazer reset ao sistema, mudar a zona associada a um dispositivo, entre outras.

4.1.6.3 Ecrã de dispositivos

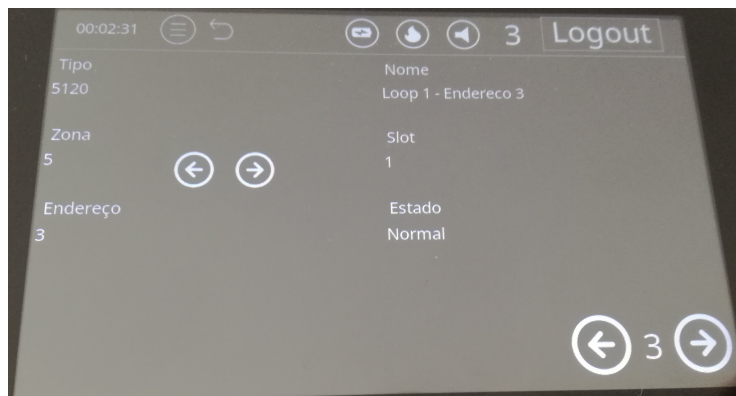


Figura 4.5: Exemplo de ecrã de dispositivos, apresentando um dispositivo endereçável com o endereço 3 e associado à zona 5

O ecrã de dispositivos (figura 4.5) apresenta todas as informações sobre os dispositivos, como o tipo, zona, endereço e estado. Lista os dispositivos por ordem crescente do laço em que estão inseridos na placa-mãe, sendo possível percorrer a lista através de 2 botões no canto inferior direito. A alteração da zona a que um dispositivo pertence é realizada aqui. Sendo esta alteração apenas autorizada para o nível de acesso 3, os botões apenas serão desenhados nesse nível.

4.1.6.4 Ecrã de zonas

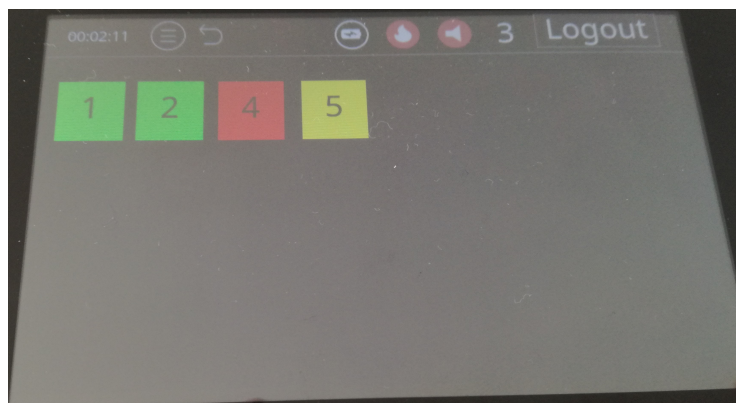


Figura 4.6: Exemplo de ecrã de zonas, com 4 zonas ativas

O ecrã de zonas (figura 4.6) apresenta, de maneira rápida e cómoda, as zonas ativas e o seu estado, representado pela cor do quadrado. A cor verde representa uma zona em estado normal, amarelo em estado de avaria e vermelho em estado de alarme. Um toque num quadrado representando uma zona mostra uma lista dos dispositivos dessa zona, com layout semelhante ao ecrã de dispositivos descrito anteriormente.

4.1.6.5 Ecrã de alarmes

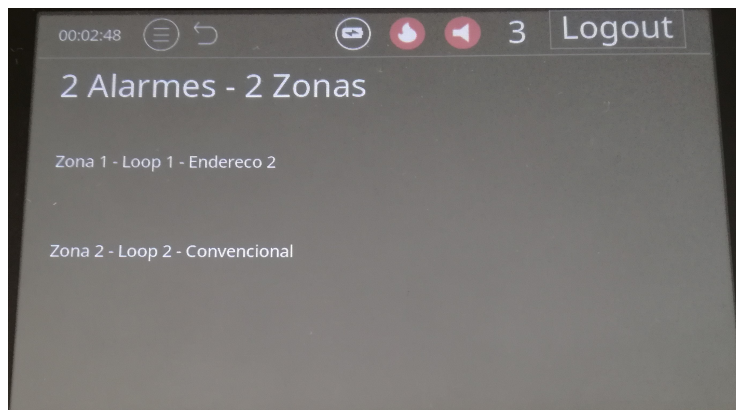


Figura 4.7: Exemplo de ecrã de alarmes, com 2 alarmes ativos

O ecrã de alarmes (figura 5.3) indica 4 dados sobre o sistema.

- Número de alarmes,
- número de zonas em alarme,
- primeiro dispositivo em alarme,
- dispositivo em alarme mais recente.

Esta lista é atualizada cada vez que existe um novo alarme, apenas sendo apagada por um reset manual.

4.1.6.6 Ecrã de avarias

O ecrã de avarias é semelhante ao de alarmes, apresentando o número de avarias, o número de zonas em alarme, o primeiro dispositivo em avaria e qual o tipo de avaria e o último dispositivo em avaria e qual o tipo.

4.2 Placa Convencional

A placa convencional é bastante mais simples do que a central. A sua função é periodicamente ler o ADC para determinar o estado dos dispositivos a si ligados, verificar o estado da saída auxiliar quando esta não está ativa e responder aos pedidos da central.

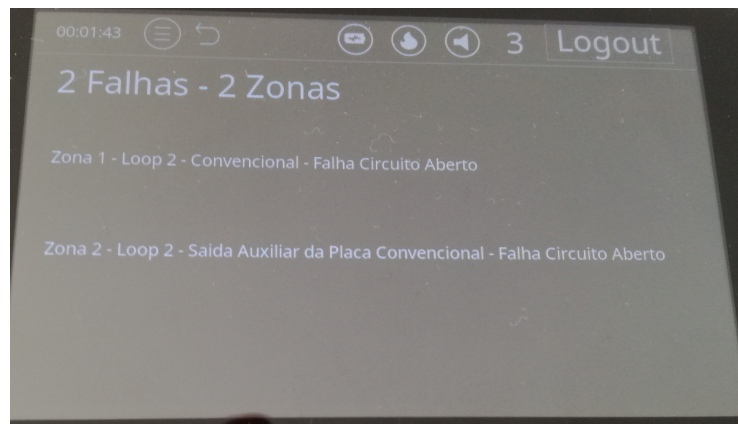


Figura 4.8: Exemplo de ecrã de avarias, com 2 avarias ativas

4.2.1 Estrutura do Firmware



Figura 4.9: Fluxo de execução das máquinas de estado da Placa Convencional

O firmware é estruturado em 2 máquinas de estado principais:

- Comunicação com a central,
- monitorização do estado dos dispositivos e saída auxiliar.

Devido à simplicidade do que é proposto, não é usado um sistema operativo. É utilizado interrupções de fim de receção da porta série e fim de conversão do ADC para sinalizar as máquinas de estado de comunicação e monitorização, respetivamente.

4.2.1.1 Comunicação com a central

À semelhança da tarefa de comunicação da central (capítulo 4.1.3.1), segue uma simples máquina de estados (figura 4.10). No estado inicial, é determinado o endereço da placa, como

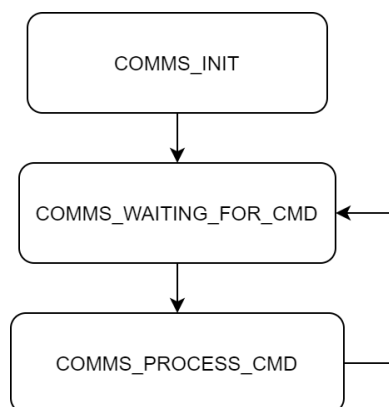


Figura 4.10: Máquina de estados da comunicação placa convencional - central

explicado na arquitetura do hardware (figura 3.2). Sendo o endereço conhecido, ficamos à espera de um pedido da central e respondemos apropriadamente. Os pedidos possíveis são os seguintes:

- estado da zona e saída,
- ativar a monitorização,
- apagar os dados de estado da zona e saída (reset),
- ligar saída,
- desligar saída.

À exceção do primeiro pedido, no qual enviamos o estado da zona e saída, nos restantes a placa envia apenas um reconhecimento (acknowledge), para sinalizar que recebeu e interpretou o pedido.

4.2.1.2 Monitorização do estado dos dispositivos e saída auxiliar

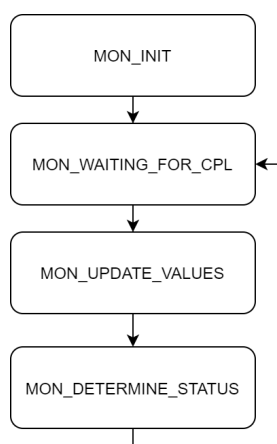


Figura 4.11: Máquina de estados da monitorização do estado dos dispositivos e saída auxiliar

Como referido acima (capítulo 4.2.1), é utilizado a interrupção de fim de conversão do ADC para sinalizar a máquina de estados, utilizando uma variável volátil. Quando esta variável tem o valor 0xFF (tendo sido inicializada a 0), a máquina de estado transita para o estado MON_UPDATE_VALUES. Como estamos a usar 2 canais do mesmo ADC e a conversão é sequencial, usamos o módulo 2 para separar os dois tipos de dados que nos interessam. Como estamos a realizar 128 amostras de cada vez (64 por canal) para diminuir o impacto de potencial ruído, a média dos valores medidos é calculada para ambas as informações pretendidas.

Findo este cálculo, transitamos para o estado MON_DETERMINE_STATUS. Utilizando o valor médio calculado no estado anterior, comparamos estes valores com os limites definidos. De acordo com os valores calculados na arquitetura de hardware (capítulo 3.3.1.2), é determinado se a zona está em falha, alarme ou repouso. E a mesma comparação é feita para a saída, determinando se esta está em falha ou normal.

Capítulo 5

Testes e Resultados

5.1 Metodologia

De forma a verificar se o objetivo de uma central que suporte ambos os tipos de sistemas foi conseguido, vários testes foram desenvolvidos. Inicialmente verificou-se o comportamento do sistema quando a placa de laços tinha apenas uma placa endereçável. Depois foi analisado o comportamento com uma única placa convencional. Por fim, ambas as placas foram colocadas na placa dos laços para testar o comportamento misto. Os seguintes pontos foram avaliados:

- comunicações com a placa, incluindo deteção automática
- enumeração correta dos dispositivos existentes no laço,
- deteção correta do estado de cada dispositivo (i.e. se está normal, em alarme, em falha, etc.),
- capacidade de adicionar dispositivos a zonas lógicas, independentemente se é convencional ou endereçável,
- resposta correta a eventos (alarmes, falhas, etc.),
- usabilidade, fiabilidade e fluidez da interface gráfica.

Para a realização dos testes, o laço endereçável continha 1 botoneira manual e 3 sensores de fumo, enquanto que a zona convencional era composta por uma botoneira manual e 1 sensor de fumo.

5.2 Resultados

Para o funcionamento correto do sistema, é obrigatoriamente necessário que seja possível estabelecer comunicações com cada placa (endereçável e individual). Como tal, foi das primeiras coisas a serem desenvolvidas e testadas. Quando o seu sucesso foi demonstrado, incluindo a deteção automática das placas instaladas no sistema, o restante desenvolvimento pode prosseguir.

A placa para monitorização para zonas convencionais necessita, para além de comunicar como a central (como descrito em cima), precisa de detetar corretamente o estado da zona a si ligada, bem como o estado da saída auxiliar. Como descrito na arquitetura de hardware, os valores esperados e os lidos pelo ADC foram comparados, para situações de repouso, alarme, ativação de botoneira e curto circuito. Em todos os casos, obteve-se o resultado correto. Este resultado foi depois transmitido à central, com os resultados descritos a seguir.

Para ambos os tipos de sistema, os dispositivos foram enumerados corretamente. A central detetou corretamente os 3 sensores e a única botoneira, com os endereços corretos. O mesmo se verificou para a zona convencional, sendo reconhecida como apenas um dispositivo. A saída auxiliar presente na placa convencional também foi detetada corretamente.

Findo esta análise, testou-se a associação das zonas. Primeiramente, verificou-se, como esperado, que todos os dispositivos eram inicialmente atribuídos à zona 1. Depois, no ecrã dos dispositivos, vários dispositivos foram associados a zonas diferentes da 1. Esta associação aconteceu corretamente, sendo verificado no debugger a presença dos valores corretos do laço e do endereço na estrutura que guarda os dados das zonas.

A funcionalidade mais importante deste sistema é a sua resposta correta a alarmes. O comportamento esperado quando é detetado um alarme é que a sinalização na barra superior seja ativada, que a sinalização sonora, neste caso a saída auxiliar ligada a sirene, também seja ativada e que a interface mude para o ecrã de alarmes, para ser possível a visualização dos dispositivos e zonas em alarme. Esta deteção e resposta ocorreu corretamente. A máquina de estados presentes no modelo garante que o ecrã é mudado para o de alarmes imediatamente, e que de 30 em 30 segundos o ecrã é repostado no dos alarmes, caso o utilizador tenha alterado. No topo do ecrã, o número de alarmes e zonas é atualizado corretamente. O primeiro dispositivo em alarme é escrito corretamente na interface, e não é alterado mesmo quando mais dispositivos entram em alarme. O dispositivo mais recente atualiza corretamente consoante a evolução dos alarmes. Na figura 5.1 é possível ver um alarme de um dispositivo endereçável quando o sistema está apenas em modo endereçável. 5.2 foi o resultado de um alarme numa zona convencional, novamente com o sistema apenas com um tipo de placa. Na figura 5.3, podemos ver o resultado quando o sistema está em modo misto de 2 alarmes, um deles do tipo endereçável e o outro convencional. No topo do ecrã, o número de alarmes e zonas é atualizado corretamente. O primeiro dispositivo em alarme é escrito corretamente na interface, e não é alterado mesmo quando mais dispositivos entram em alarme. O dispositivo mais recente atualiza corretamente consoante a evolução dos alarmes.

O teste a avarias também foi um sucesso. A central deteta, sem problemas, situações de avaria, sinalizando corretamente, como se pode ver na figura 5.4.

A utilização de um sistema operativo e comunicação assíncrona, não bloqueando enquanto esperamos que algo seja enviado e recebido pela UART, permite que a interface permaneça sempre fluída, sem bloqueios notórios. O único ponto menos favorável é o touchscreen, que nem sempre deteta o toque do utilizador. Uma calibração talvez seria útil, mas tal não foi realizada.

Em suma, o sistema cumpre com os requisitos propostos. O objetivo principal de uma central capaz de trabalhar com ambos os tipos de sistemas, endereçável e convencional, foi atingido,

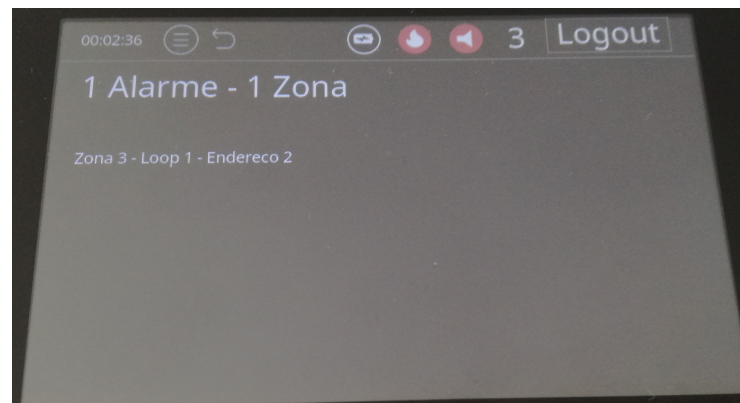


Figura 5.1: Detecção de um alarme de um dispositivo endereçável

incluindo o desenvolvimento de uma placa para monitorização de zonas convencionais e capacidade de “ligar e usar”. No entanto, como será explicado na secção de trabalho futuro, várias funcionalidades ficaram por implementar para que esta central estivesse de acordo com a norma.

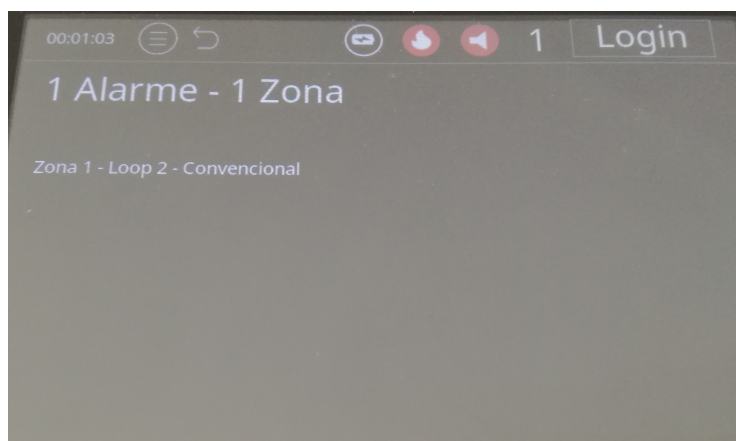


Figura 5.2: Detecção de um alarme de um dispositivo convencional

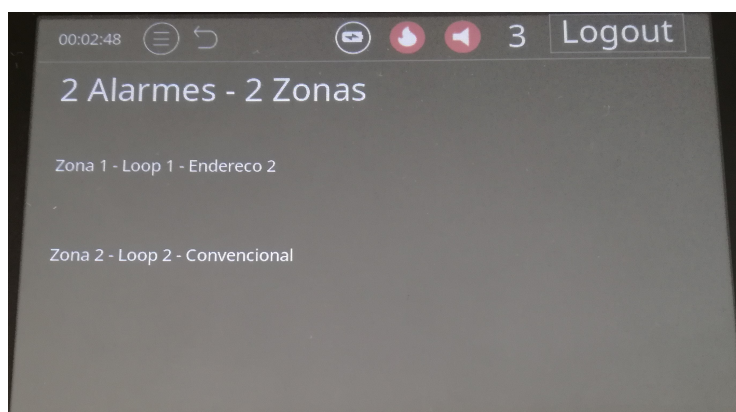


Figura 5.3: Detecção de dois alarmes, em um dispositivo convencional e endereçável

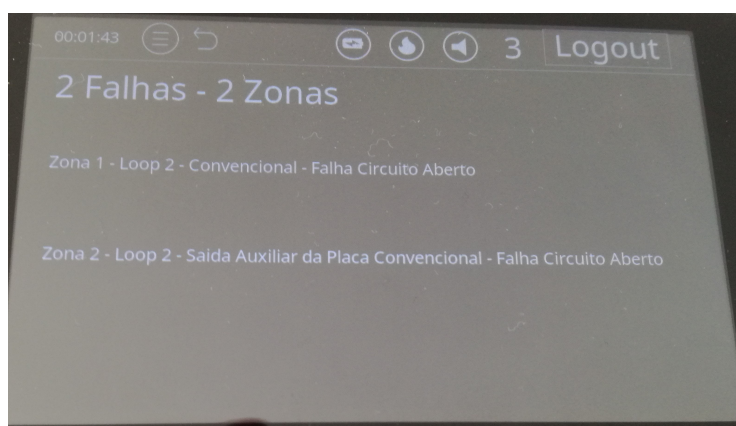


Figura 5.4: Detecção de duas avarias, uma na zona convencional e outra na saída auxiliar

Capítulo 6

Conclusões e Trabalho Futuro

6.1 Conclusão

A configuração de central mais placas individuais, ligadas entre si por uma placa-mãe demonstrou ser capaz de proporcionar uma base com potencial para um sistema modular de detecção de incêndio, incluindo capacidade “ligar e usar”. O sistema proposto é funcional, capaz de detetar alarmes e avarias e atuar apropriadamente. Como proposto, o sistema funciona de forma “ligar e usar”, detetando automaticamente o número e tipo de placas ligadas na placa-mãe. No entanto, bastante trabalho está por realizar para obter um sistema que respeite todas as normas EN 54-2 [15] e EN 54-4 [16], que regulam este tipo de equipamentos. Funcionalidades como isolamento, ensaio e regras para a alimentação do sistema, por exemplo, não foram implementadas e são necessárias para estar em conformidade com a norma. Como foi utilizado um kit de avaliação da STMicroelectronics, é necessário o desenho de uma placa para a central, com escolha de microcontrolador e ecrã apropriado.

6.2 Trabalho Futuro

Apesar de o sistema apresentar o básico para ser considerado um sistema de detecção de incêndio, bastante trabalho ainda é necessário para ser um sistema pronto para utilizadores finais. Várias funcionalidades requeridas pelas EN 54-2 [15] e EN 54-4 [16], que regulam este tipo de equipamentos, não foram implementadas como, por exemplo, isolamento de dispositivos e zonas e capacidade de ensaio. Como foi utilizado um kit de desenvolvimento da STMicroelectronics, para agilizar o processo de desenvolvimento, seria necessário o desenho de uma placa para a central, que siga, também, as normas de alimentação da EN 54-4 [16].

Bibliografia

- [1] Notifier by Honeywell. Fire detection systems. Último acesso em 2020/11/23. URL: <https://www.notifierfiresystems.co.uk/docs/notifierfiresystems/en/gd/Fire%20detection%20systems%200710.pdf>.
- [2] Bosch Security. Fpc-500 conventional fire panel | fpc-500 | conventional fire panel | fire alarm systems - en54 | product segments | nlexp site. Último acesso em 2021/02/05. URL: <https://commerce.boschsecurity.com/nlexp/en/FPC-500-Conventional-Fire-Panel/p/1252291339/>.
- [3] Bosch Security. Avenar panel 2000 | avenar panel 2000 kits | avenar panel | fire alarm systems - en54 | product segments | nlexp site. Último acesso em 2021/02/07. URL: <https://commerce.boschsecurity.com/nlexp/en/AVENAR-panel-2000/p/74075132811/>.
- [4] Keil. Introduction. Último acesso em 2021/06/15. URL: https://www.keil.com/pack/doc/CMSIS_Dev/General/html/index.html.
- [5] Maxim Integrated. Daisy-chaining spi devices - maxim integrated. Último acesso em 2021/02/07. URL: <https://www.maximintegrated.com/en/design/technical-documents/app-notes/3/3947.html>.
- [6] Analog Devices. I2c primer: What is i2c? (part 1) | analog devices. Último acesso em 2021/02/07. URL: <https://www.analog.com/en/technical-articles/i2c-primer-what-is-i2c-part-1.html>.
- [7] picprojects.net. picprojects.net | ds1820 1-wire temperature sensor. Último acesso em 2021/02/09. URL: <http://www.picprojects.net/ds1820/>.
- [8] Electronics Notes. Usb 3.0 & 3.1 - superspeed » electronics notes. Último acesso em 2021/02/09. URL: <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/usb-universal-serial-bus/usb3-usb-3-1-superspeed.php>.
- [9] Profitap. Osi 7 layers explained the easy way. Último acesso em 2021/02/08. URL: <https://insights.profitap.com/osi-7-layers-explained-the-easy-way>.

- [10] Teletek Electronics. Mag2p - teletek electronics. Último acesso em 2021/06/15. URL: <https://teletek-electronics.com/en/products/fire-alarm-solution/conventional/conventional-control-panels/mag-2-p-98/>.
- [11] Global Fire Equipment. Orion + - global fire equipment. Último acesso em 2021/06/15. URL: <https://globalfire-equipment.com/product/orion-plus/>.
- [12] Teletek Electronics. Iris- teletek electronics. Último acesso em 2021/06/15. URL: <https://teletek-electronics.com/en/products/fire-alarm-solution/addressable/addressable-control-panels/iris-129/>.
- [13] Global Fire Equipment. G-one - global fire equipment. Último acesso em 2021/06/15. URL: <https://globalfire-equipment.com/product/g-one/>.
- [14] Instituto Português da Qualidade. Em *Fire detection and fire alarm systems - Part 1: Introduction*. CEN, 2011.
- [15] Instituto Português da Qualidade. Em *Sistemas de deteção e alarme de incêndio Parte 2: Equipamento de controlo e sinalização*. IPQ, 2014.
- [16] Instituto Português da Qualidade. Em *Sistemas de deteção e alarme de incêndio Parte 4: Equipamento de alimentação de energia*. IPQ, 2014.
- [17] FreeRTOS. Why rtos and what is rtos? Último acesso em 2021/05/31. URL: <https://www.freertos.org/about-RTOS.html>.
- [18] STMicroelectronics. Stemwin - professional graphical stack library enabling the building up of graphical user interfaces (guis) (an4323), stemwin, stmicroelectronics. Último acesso em 2021/06/15. URL: <https://www.st.com/en/embedded-software/stemwin.html>.
- [19] SEGGER. emwin. Último acesso em 2021/06/15. URL: <https://www.segger.com/products/user-interface/emwin/>.
- [20] Contemporary Controls. Introduction to ethernet, 1999. Último acesso em 2021/02/08. URL: <https://www.ccontrols.com/pdf/ExtV1N3.pdf>.
- [21] Apollo Fire Detectors. Addressable fire systems | soteria discovery xp95 | apollo fire detectors. Último acesso em 2021/06/15. URL: <https://www.apollo-fire.co.uk/products/system-types/addressable-range/>.
- [22] Pulsonix. Pulsonix | pcb design software. Último acesso em 2021/06/26. URL: <https://pulsonix.com/>.
- [23] Eurocircuits. Pcb & pcba prototypes and small series "right first time" - eurocircuits. Último acesso em 2021/06/26. URL: <https://www.eurocircuits.com/>.

- [24] Eurocircuits. Pcb order details - eurocircuits. Último acesso em 2021/06/26. URL: <https://www.eurocircuits.com/pcb-services-overview-notes/>.