



Daniel da Silva David Sistema de localização para colmeias



Daniel da Silva David Sistema de localização para colmeias

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Eletrónica e Telecomunicações, realizada sob a orientação científica do Dr. Paulo Bacelar Reis Pedreiras, Professor Auxiliar do Departamento de Eletrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro, e do Dr. Valter Filipe Miranda Castelão Silva, Professor Adjunto da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Águeda da Universidade de Aveiro.

o júri

presidente

Professor Doutor Alexandre Manuel Moutela Nunes da Mota
Professor Associado da Universidade de Aveiro

vogais

Doutor Paulo Jorge de Campos Bartolomeu
Globaltronic - Electrónica e Telecomunicações, Sa.

Professor Doutor Valter Filipe Miranda Castelão da Silva
Professor Adjunto da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Águeda

agradecimentos

Quero agradecer ao meu orientador de dissertação Professor Doutor Paulo Pedreiras e coorientador Professor Doutor Valter Silva por terem facilitado o meu trabalho com o seu apoio constante ao longo desta etapa. Quero também agradecer ao meu tio Agostinho por ter feito uma revisão linguística à dissertação e por todo o apoio que me deu. Também quero agradecer aos meus pais e à minha namorada por acreditarem sempre em mim e pela motivação que me deram.

palavras-chave

alarmística, sensores inerciais, comunicações wireless, localização, sistemas embutidos.

resumo

Em Portugal, ao contrário da tendência mundial, a apicultura é um sector de atividade que tem vindo a registar um crescimento sistemático. Contudo, o aumento de atividade veio acompanhado de um aumento do número de furtos de colmeias dos apiários. Os apiários encontram-se, regra geral, em locais remotos e isolados, como pinhais e zonas montanhosas, o que dificulta a sua vigilância e facilita a prática de furtos. Surge então a necessidade de existirem sistemas de vigilância eletrónica que detetem o furto e avisem o apicultor em tempo útil, por forma a desincentivar o roubo. Existem já em comercialização diversos sistemas de vigilância para colmeias que detetam o roubo e informam o apicultor, permitindo também, em alguns casos, conhecer a localização da colmeia em tempo-real. No entanto, estes sistemas são dispendiosos, quer em termos de instalação quer de exploração, implicando neste último caso uma avultada despesa com telecomunicações. Por esta razão, estes sistemas não lograram ainda atingir uma penetração significativa no mercado da apicultura.

No âmbito desta dissertação pretende desenvolver-se um sistema de vigilância com capacidade de localização, que combine eficiência e baixo custo. Na presente dissertação começa-se por introduzir conceitos básicos de apicultura, seguindo-se o Estado da Arte, onde se expõem e comparam alguns dos sistemas que se encontram em comercialização, e se avalia o impacto económico da aquisição e encargos mensais em telecomunicações associados a estes sistemas. De seguida, é descrita a arquitetura do sistema que se propõe desenvolver, seguida da escolha dos componentes a utilizar, da previsão de custos do sistema e do estudo do impacto económico para o apicultor com a sua aquisição e exploração. No capítulo seguinte descreve-se o software desenvolvido, após o que se apresentam e analisam os resultados de diversos testes realizados com um protótipo do sistema. Para finalizar, são sugeridos alguns melhoramentos a realizar no futuro, bem como apresentadas as conclusões.

keywords

alarms, inertial sensors, wireless communication, localization, embedded systems.

abstract

In Portugal, unlike the world trend, beekeeping is experiencing a sustained growth. However, the increase in activity was accompanied by an increase in the number of stolen bee hives from apiaries. Apiaries are generally deployed in remote and isolated places, such as forests and mountains, which makes it difficult to monitor them, allowing thefts to occur more easily. Thus, there is a need for electronic surveillance systems capable of detect the theft and warn the beekeeper promptly, to discourage theft. There are several surveillance systems for hives on the market, which detect the theft and inform the beekeeper. Some of these systems also allow real-time tracking of the stolen hives. However, these systems are costly and involving large fees with telecommunications, reason why their penetration on the market is very small. In this dissertation it is intended to develop a surveillance system with localization capability that combines efficiency and low cost. It by introducing basic concepts of beekeeping, followed by the State of Art, where some of the systems present on the market are reviewed and compared. It is also analyzed the economic impact of acquiring and maintaining the proposed system. Next, it is described the global system architecture and selected components, followed by an estimate of the system cost and economic impact of its deployment. Afterwards, the developed software is presented and the results of several experiments, carried out on a prototype system implementation, are presented and analyzed. This dissertation concludes with a few suggestions for improvements and conclusions.

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Conceitos básicos da apicultura	2
1.1.1	Ferramentas necessárias à apicultura	2
1.1.2	Localização	2
1.1.3	Transumância	3
1.2	Motivação do Roubo de Colmeias	3
2	Estado da arte	5
2.1	BeeGuard	5
2.2	SafeBee	7
2.3	SB-GPS-B	8
2.4	Apisafe GPS <i>Tracker</i>	9
2.5	Comparação dos sistemas apresentados	10
3	Arquitetura	15
3.1	Introdução	15
3.2	Arquitetura presente nos sistemas comerciais apresentados	15
3.3	Arquitetura proposta	16
3.4	Caraterísticas Essenciais	18
3.5	Arquitetura dos dispositivos	18
4	Camada do <i>Hardware</i>	21
4.1	Sensor	21
4.1.1	ADXL335	23
4.2	Módulo RF	24
4.3	Módulo GSM	25
4.3.1	NANO-GSM	25
4.4	Módulo GPS	26
4.4.1	MOD-GPS	26
4.5	Osciladores de cristal	27
4.6	Sistema computacional	27
4.6.1	PIC32MX120F032B	27
4.6.2	PIC32-T795	28
4.7	Autonomia	28
4.7.1	MCP1702-2502E	29
4.7.2	Estimativa do estado de carga da bateria	29
4.8	Estimativa de custos para a produção de um sistema comercializável	31
5	Camada dos device drivers	35
5.1	Módulo RF	35
5.2	Acelerómetro	40
5.3	Leitura do estado de carga da bateria	41

6	Software	43
6.1	Variante do TDMA	43
6.2	Funcionamento do módulo secundário	47
6.3	Funcionamento do módulo principal	49
7	Validações experimentais	51
7.1	Testes realizados ao acelerómetro	51
7.2	Testes realizados ao Módulo RF	54
7.2.1	Tempos de execução módulo RF pior caso	54
7.2.2	Distância entre módulos RF para uma comunicação viável	54
7.3	Teste realizados ao TDMA	55
7.4	Previsão do consumo energético	57
8	Conclusões e trabalho futuro	61

Lista de Figuras

2.1	Aspetto do dispositivo BeeGuard [1]	6
2.2	Diagrama das comunicações do BeeGuard [1]	7
2.3	Aspetto do dispositivo SafeBee [2]	8
2.4	Amortizações a 5 anos, BeeGuard, para 4 situações de cobertura	13
2.5	Amortizações a 5 anos, SafeBee, para 4 situações de cobertura	13
2.6	Amortizações a 5 anos, SB-GPS-B, para 4 situações de cobertura	13
2.7	Amortizações a 5 anos, Apisafe GPS <i>Tracker</i> , para 4 situações de cobertura	14
3.1	Diagrama de blocos dos dispositivos comercializados	15
3.2	Exemplo da distribuição dos módulos pelas colmeias	16
3.3	Diagrama de blocos da solução proposta	17
3.4	Arquitetura dos dispositivos	19
4.1	Arranjo de sensores de <i>tilt</i>	22
4.2	Sensores	23
4.3	Módulo ADXL335	23
4.4	Módulo NRF24L01 ⁺	24
4.5	Módulo NANO-GSM	25
4.6	módulo MOD-GPS	26
4.7	Aproximações do comportamento de uma bateria	30
4.8	Diagrama de blocos do circuito de acondicionamento	30
4.9	Esquema do circuito de acondicionamento	31
4.10	Amortização da compra do sistema	33
5.1	Diagrama de blocos do NRF24L01 ⁺ [3]	36
5.2	Máquina de estados[3]	37
5.3	Operação de leitura[3]	38
5.4	Operação de escrita[3]	38
5.5	Pacote de comunicação no módulo ShockBurst TM [3]	38
5.6	Procedimento para o envio de um pacote	39
5.7	Procedimento para a receção de um pacote	40
5.8	Diagrama de blocos do ADXL335 [4]	40
6.1	Divisão temporal do canal	43
6.2	Estrutura do ciclo da variante do TDMA	44
6.3	Sequência de operações até ao fim do <i>slot</i> M	45
6.4	Operações a realizar durante o atraso <i>State change delay</i>	46
6.5	Procedimento a realizar para a receção nos <i>slots</i> <i>Sn</i> por parte do <i>master</i>	46
6.6	Procedimento a realizar pelos slaves para o envio no <i>slot</i> S correspondente	46
6.7	Fluxograma representativo do funcionamento do módulo secundário	47
6.8	Escalonamento das tarefas concorrente no módulo secundário	48
6.9	Fluxograma representativo do funcionamento do módulo principal	49
6.10	Escalonamento das tarefas concorrentes no módulo principal	50
7.1	Aceleração da gravidade segundo eixo ZZ	52
7.2	Aceleração da gravidade segundo eixo XX	52

7.3	Aceleração da gravidade segundo eixo YY	52
7.4	Disposição dos nós para o teste	56

Lista de Tabelas

2.1	principais caraterísticas do sistema BeeGuard	6
2.2	principais caraterísticas do sistema SafeBee	8
2.3	principais caraterísticas do sistema SB-GPS-B	9
2.4	principais caraterísticas do sistema Apisafe	10
2.5	principais caraterísticas dos sistemas	11
2.6	projeção de custo e retornos anuais por colmeia	12
4.1	Preço módulo principal	32
4.2	Preço módulo secundário	32
4.3	Perfil de instalação	32
7.1	Valores máximos e mínimos medidos para cada saída	53
7.2	Média e variação de pico em cada saída	53
7.3	Tempos de execução módulos RF pior caso	54
7.4	Nº erros para as várias distâncias	55
7.5	Erros decorridos durante cada dia	56
7.6	Tempos máximo e mínimo que o nó ficou a escuta do canal	57
7.7	Corrente média para a tarefa <i>Movement Detection</i>	58
7.8	Corrente média para a tarefa <i>Read SoC</i>	58
7.9	Corrente média para o intervalo <i>Report Status</i>	58
7.10	Corrente média para <i>Sleep Mode</i>	58

Capítulo 1

Introdução

Segundo o Programa Apícola Nacional 2014-2016 "O setor apícola em Portugal, tal como no resto da União Europeia, é uma atividade tradicionalmente ligada à agricultura, sendo normalmente encarada como um complemento ao rendimento das explorações, existindo, contudo, uma pequena minoria de apicultores para os quais a apicultura é a principal base das receitas"[6]. A apicultura representa um serviço vital para a agricultura através da polinização e contribui para a preservação da biodiversidade ao manter a diversidade genética das plantas e o equilíbrio ecológico [6].

Ao contrário da tendência mundial a apicultura é um setor que regista crescimento em Portugal. A partir dos dados do Instituto Nacional de Estatística(INE), é possível verificar que a produção nacional de mel, cresceu 35% [5], de 9346 toneladas em 2013, para 12623 toneladas em 2015.

Segundo o Programa Apícola Nacional(PAN-2014-2016), existem atualmente em Portugal cerca de 17 mil apicultores registados, correspondendo a um universo de, aproximadamente, 40 mil apiários e 567 mil colmeias. A evolução desta atividade entre 2010 e 2013 registou um aumento de 1% no número efetivo de colmeias e um aumento de 5% no número de apiários, contudo registou um decréscimo de 1% no número de apicultores [6].

O crescimento da atividade não veio sozinho, este tem sido acompanhado de um aumento de furtos de colmeias dos apiários. Este incremento de furtos é preocupante para os apicultores. Segundo o jornal Observador no período de janeiro a abril de 2015 foram reportados à Guarda Nacional Republicana (GNR) seis furtos em apiários, onde desapareceram um total de 76 colmeias com um valor de aproximadamente 12700€ [7]. Numa outra notícia do mesmo jornal refere-se também o furto de 12 colmeias na zona da Serra da Estrela, durante o mês de março de 2015 [8]. O jornal A voz do Algarve apresenta uma noticia de 22 de maio de 2016 na qual descreve que a GNR de Silves realizou uma busca domiciliária onde apreenderam entre outros itens 5 caixas, 1 colmeia, centenas de quadros e 320 Kg de mel [9].

Esta situação de um maior número de furtos, levou a que algumas empresas tenham vindo a apostar cada vez mais na criação de sistemas que permitam detetar o roubo das colmeias, e proceder à sua geolocalização. No capítulo 2 são descritos alguns dos sistemas antirroubo para colmeias comercializados atualmente.

1.1 Conceitos básicos da apicultura

Nesta secção são abordados os seguintes conceitos básicos da apicultura:

- Ferramentas necessárias à apicultura, descritas na secção 1.1.1;
- Localização do apiário, na secção 1.1.2 descrevem-se os aspetos a ter em conta na escolha da localização do apiário;
- Transumância, esta prática é descrita em maior detalhe na secção 1.1.3.

1.1.1 Ferramentas necessárias à apicultura

Para um manuseio adequado das abelhas e colheita de mel são necessárias ferramentas apropriadas, nesta secção apresentam-se os itens essenciais para a realização da apicultura, nomeadamente:

- Colmeia - Colmeia é o nome dado ao abrigo construído para ou pelas abelhas. As abelhas utilizam a colmeia para abrigar a progenitora, criar as larvas e guardar o mel [10]. Existem atualmente vários tipos de colmeias padronizadas tais como a *Langstroth*, Reversível, Lusitana. Sendo que a Lusitana é mais utilizada no Norte do país, a Reversível no Sul e a *Langstroth* em Bragança [6];
- Quadros - Os quadros são uma estrutura retangular de madeira com 3 arames que percorrem o seu interior, é nestes quadros que as abelhas vão construindo os ninhos com cera produzida por elas [10];
- Enxame - O enxame é o conjunto de abelhas que habitam a colmeia. Normalmente o apicultor compra um enxame de abelhas que contenha pelo menos uma progenitora pois esta é que põe os ovos para que o enxame possa crescer [10].

1.1.2 Localização

A escolha de um local adequado para a instalação das colmeias não é uma decisão simples nem aleatória. Por forma a potencializar a produção o apicultor deve ter em conta os seguintes aspetos:

- Flora - A quantidade e a qualidade das flores existentes no campo condicionam a quantidade e a qualidade do mel produzido. A floração deve existir todo o ano e ser abundante num raio de dois quilómetros [11];
 - Água - O local onde as abelhas recolhem a água necessária, situa-se no máximo a 500 metros das colmeias. A água tem de ser limpa e potável, permitindo o bom estado sanitário das colónias e do mel [11];
 - Exposição - Em regiões acidentadas o apiário deve ser instalado nas encostas expostas a sul em regiões frias, e nas encostas expostas a sudeste em regiões mais quentes. Em regiões planas deve realizar-se a instalação em locais com sombras por forma a evitar demasiada exposição solar [11];
-

- Orografia - As colmeias devem ser instaladas de preferência em zonas com alguma inclinação, na meia encosta. Caso não seja possível, as zonas planas devem ser escolhidas tendo em conta que o local tem de ter humidade moderada. As diferenças de temperatura entre a noite e o dia não podem ser elevadas [11];
- Vento - O apiário tem de estar abrigado dos ventos dominantes. Ventos fortes dificultam a aproximação das abelhas às colmeias, impedem-nas de manter suas linhas de voo e prejudicam a produtividade do apiário [11];
- Distâncias de segurança - Os apiários devem respeitar a distância de pelo menos 50 metros de vias públicas, e 100 metros de edificações em utilização, com exceção de caminhos rurais e agrícolas ou instalações do apicultor detentor do apiário [12].

Estes aspetos levam a que a maioria dos apiários em Portugal se encontrem instalados em zonas rurais, não habitadas, a que qualquer pessoa tem acesso, mas que não têm qualquer tipo de vigia. Ao serem locais com pouca movimentação e não habitados, revelam-se ideais para um furto fácil.

1.1.3 Transumância

A transumância é o movimento de colmeias de um local para outro, com uma das seguintes finalidades [6]:

- Produção de mel - Neste caso o apicultor procura mudar as colmeias para zonas do território onde ocorrem florações distintas em datas desfasadas, voltando ao local de origem em altura apropriada. Deste modo mantém as colmeias em produção durante mais tempo, a transumância pode trazer um incremento da produção na ordem dos 50% a 100%, dependendo das culturas de origem e de destino.
- Polinização de culturas - Neste caso, a produção de mel pode ser considerada secundária, sendo que muitas vezes, dependendo do tipo de cultura não existe sequer produção de mel. Aqui o apicultor procura rentabilidade através da contratualização do serviço de polinização.
- Transumância de Inverno - Este tipo de transumância realiza-se essencialmente com vista a deslocar as colmeias para zonas com clima mais favorável, por forma a reduzir baixas nos enxames e a necessidade de intervenção nos mesmos, reduzindo assim o número de deslocações ao apiário, e conseqüentemente os gastos.

Em Portugal as deslocações de colmeias são normalmente feitas de Sul para Norte e do litoral para o interior. Contudo a maioria dos apicultores portugueses não recorre à prática de transumância, estima-se que se trate de uma prática realizada por menos de 10% dos apicultores [6].

1.2 Motivação do Roubo de Colmeias

Numa entrevista ao jornal Público [13] Manuel Dias presidente da Associação de Apicultores do Algarve diz que o aumento dos furtos de colmeias coincide com o aumento de apiários, através dos incentivos do programa de apoio financeiro ao desenvolvimento rural. O montante deste subsídio situa-se na casa dos 40% do valor de um projeto, como por exemplo o de criação de um apiário,

porém o auxílio só contempla a aquisição de material. O que, segundo o apicultor veterano, leva a que muitos adquiram enxames através do mercado ilícito. Numa outra notícia do mesmo jornal [14], a GNR concorda que os motivos do roubo se prendem com o valor económico, e reforça que, a diminuição do número de enxames disponíveis para aquisição é também um fator de peso uma vez que este fenómeno veio aumentar o valor comercial dos enxames, e relembra que, normalmente, os apiários estão em zonas isoladas, difíceis de serem controladas, o que torna o roubo das colmeias ainda mais atrativo. Os apicultores necessitam assim de um sistema que lhes permita desincentivar o furto, e que caso este aconteça lhes providencie uma notificação atempada ou até mesmo a possibilidade de recuperação dos bens.

Capítulo 2

Estado da arte

Um sistema de localização de colmeias tem por objetivo permitir ao apicultor realizar a detecção de furto e a geolocalização em tempo real das suas colmeias. Atualmente já se encontram em comercialização alguns sistemas para este fim. Neste capítulo realiza-se a exposição e comparação dos seguintes sistemas:

- BeeGuard.
- SafeBee.
- SB-GPS-B.
- Apisafe GPS *Tracker*.

Em seguida apresenta-se cada um dos sistemas com mais detalhe, focando as suas funcionalidades, preço e local de instalação.

2.1 BeeGuard

O BeeGuard é um sistema comercializado pela empresa SiConsult, composto por um dispositivo antirroubo que comunica com um *website*. Este apresenta as seguintes funcionalidades [1]:

Deteção de roubo - Aquando da deteção de um movimento suspeito da colmeia o sistema envia uma mensagem de texto (SMS) de alerta para o apicultor;

Rastreamento - É possível verificar o trajeto percorrido pelo dispositivo através do *website*, ou pedir a geolocalização atual do dispositivo, através de uma SMS;

Website - É através deste que o apicultor pode consultar os dados recolhidos pelos dispositivos e efetuar alterações dos parâmetros do sistema. Através desta plataforma é possível:

- averiguar se algum dos dispositivos está inativo;
- indagar se algum dos dispositivos necessita de alteração da bateria;
- verificar o histórico de temperaturas internas da colmeia;

- consultar o histórico de geolocalizações recolhidas;
- modificar os números de telemóvel para os quais são enviadas as mensagens de alerta;
- programar uma autorização de movimento de colmeia, para que se possa proceder à manutenção das mesmas sem que o sistema gere alertas.

Na Tabela 2.1 estão as principais características do sistema das quais se destacam a sua boa autonomia em *standby* e o seu tamanho reduzido.

Tabela 2.1: principais características do sistema BeeGuard

Caraterísticas		Valor
Dimensão		73x49x22 mm
Ativação/Desativação		Através do <i>website</i>
Comunicações	Tecnologia	GSM
	Operadora	Multi operadora
	Custo anual	36€
Autonomia	<i>Standby</i>	2 anos
	Rastreio	48 horas
Bateria	Tecnologia	Pilha de lítio ¹
	Custo da substituição	8€
	Preço do carregador	Não aplicável
Preço de cada dispositivo (com IVA)		246€

¹Não recarregável

O dispositivo tem o aspeto ilustrado na Figura 2.1 e destina-se a ser instalado no interior da colmeia. Este realiza a comunicação com o *website* através da tecnologia *Global System for Mobile Communications* (GSM). As alterações aos parâmetros do sistema e a consulta dos dados é sempre realizada através do *website*, o apicultor efetua sempre as ações através deste, seja diretamente num *browser* ou através de SMS, como se encontra ilustrado na Figura 2.2.

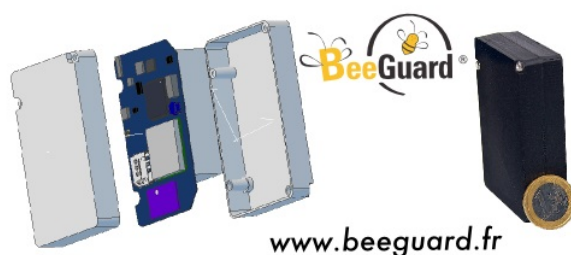


Figura 2.1: Aspeto do dispositivo BeeGuard [1]

A comunicação entre o dispositivo e o *website* é realizada através de GSM. Isto implica que cada dispositivo tem que ter um cartão *Subscriber Identity Module* (SIM) associado a um contrato ou tarifário. O sistema BeeGuard vem com um cartão SIM incluído associado um contrato de subscrição obrigatória com um custo de 3€ por mês por cada cartão SIM.

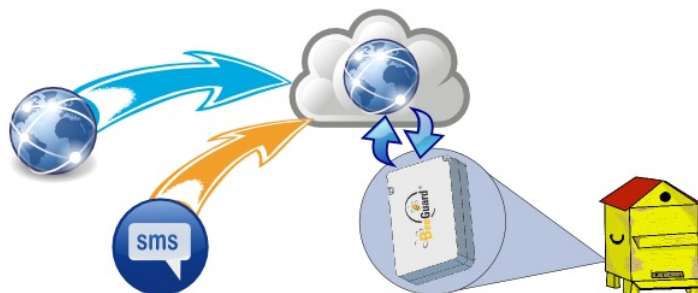


Figura 2.2: Diagrama das comunicações do BeeGuard [1]

2.2 SafeBee

O SafeBee é um sistema desenvolvido pelo Instituto Politécnico da Guarda, composto por um dispositivo antirroubo e uma aplicação para smartphone. Este apresenta as seguintes funcionalidades [15]:

Deteção de roubo - Aquando da deteção de um movimento suspeito e/ou abertura do tampo da colmeia, o aplicativo gera um sinal visual e sonoro no smartphone;

Rastreamento - Através do aplicativo é possível verificar o trajeto percorrido pelo dispositivo, ou pedir a sua geolocalização atual;

Aplicação - É através desta plataforma que o apicultor pode consultar os dados recolhidos pelos dispositivos e efetuar alterações de parâmetros do sistema. Através desta aplicação é possível:

- solicitar a geolocalização atual;
- verificar o histórico de dados recebidos organizado por data e hora, cada entrada do histórico contém informação sobre a latitude, longitude, altura, velocidade e ainda o estado da bateria;
- configurar o número de telemóvel associado ao cartão SIM que se encontra no dispositivo.
- estabelecer a ligação com o dispositivo;
- configurar o intervalo de tempo a decorrer entre cada nova entrada do histórico;

Na Tabela 2.2 estão as principais características do sistema, contudo não foi possível obter informação relativamente a todas as características consideradas relevantes.

Tabela 2.2: principais características do sistema SafeBee

Caraterísticas		Valor
Dimensão		Dados não disponíveis
Ativação/Desativação		Através da aplicação
Comunicações	Tecnologia	GSM
	Operadora	Multi operadora
	Custo anual	Dependente do tarifário
Autonomia	<i>Standby</i>	1 ano
	Rastreo	Dados não disponíveis
Bateria	Tecnologia	Dados não disponíveis
	Custo da substituição	Não aplicável
	Preço do carregador	24,60€ (com IVA)
Preço de cada dispositivo (com IVA)		202,95€

O dispositivo tem o aspeto ilustrado na Figura 2.3 e destina-se a ser instalado num quadro no interior da colmeia.



Figura 2.3: Aspeto do dispositivo SafeBee [2]

A comunicação entre o dispositivo e a aplicação é realizada através da tecnologia GSM. Isto implica que cada dispositivo tem que ter um cartão SIM associado a um contrato ou tarifário. O sistema SafeBee não inclui o cartão SIM, mas é compatível com qualquer operadora, fica assim a escolha do apicultor qual o contrato ou tarifário a associar ao cartão SIM.

2.3 SB-GPS-B

O SB-GPS-B é um sistema comercializado pela TroviSport, composto por um dispositivo anti-roubo e uma chave magnética. Este apresenta as seguintes funcionalidades [16]:

Deteção de roubo - Aquando da deteção de um movimento suspeito da colmeia, o aplicativo envia um SMS de alerta para o apicultor;

Rastreamento - Após enviar o alerta o dispositivo continua a enviar mensagens SMS de forma periódica, com informação sobre latitude, longitude, velocidade e estado de carga da bateria. Por forma a facilitar a visualização da geolocalização do dispositivo, a SMS contém também uma hiperligação para abrir o Google Maps na localização correspondente à latitude e longitude indicadas;

Alarme de bateria fraca - Quando a bateria se encontra abaixo de um determinado estado de carga é emitido um alerta via SMS para o apicultor;

Configuração através de SMS - Através de SMS é possível realizar as seguintes ações:

- ativar/desativar o modo de rastreio;
- gestão de contas de administradores;
- ativar/desativar o modo de manutenção.

Na Tabela 2.3 estão as principais características do sistema, das quais se destacam o facto de não necessitar de acesso à Internet para a configuração e de que a desativação do equipamento para manutenção pode ser feita no local através da chave magnética.

Tabela 2.3: principais características do sistema SB-GPS-B

Caraterísticas		Valor
Dimensão		137x63x11 mm
Ativação/Desativação		Com uma chave magnética
Comunicações	Tecnologia	GSM
	Operadora	Multi operadora
	Custo anual	Dependente do tarifário
Autonomia	<i>Standby</i>	6 meses a 1 ano
	Rastreio	2 a 6 dias
Bateria	Tecnologia	Bateria Li-Ion
	Custo da substituição	Não aplicável
	Preço do carregador	Incluído no preço total
Preço de cada dispositivo (com IVA)		150€

O dispositivo tem uma dimensão reduzida e deve ser instalado no interior da colmeia. As comunicações com o apicultor são realizadas por SMS através de GSM. Isto implica que cada dispositivo tem que ter um cartão SIM associado a um contrato ou tarifário. O sistema SB-GPS-B não inclui o cartão SIM, mas é compatível com qualquer operadora, fica assim à escolha do apicultor qual o contrato ou tarifário a associar ao cartão SIM.

2.4 Apisafe GPS Tracker

O Apisafe é um sistema comercializado pela Apisafe, composto por um dispositivo antirroubo e um controlo remoto. Este apresenta as seguintes funcionalidades [17]:

Deteção de roubo - Aquando da deteção de um movimento suspeito da colmeia, o dispositivo envia um SMS de alerta para o apicultor;

Rastreamento - Após enviar o alerta o dispositivo continua a enviar mensagens SMS de forma periódica, com informação sobre latitude, longitude, velocidade e estado de carga da bateria. Por forma a facilitar a visualização da geolocalização do dispositivo, a SMS contém também uma hiperligação para abrir o Google Maps na localização correspondente à latitude e longitude indicadas;

Controlo remoto - Para ativar e desativar o sistema quando se pretende realizar a manutenção das colmeias, e para efetuar alterações aos parâmetros do sistema este dispõe de um controlo remoto;

Comando SMS - Através de SMS é possível colocar ou retirar o dispositivo de modo de rastreio;

Alarme de bateria fraca - Quando a bateria se encontra abaixo de um determinado estado de carga é emitido um alerta via SMS para o apicultor;

Na Tabela 2.4 estão as principais características do sistema, realça-se também que todas as configurações tem que ser efetuadas na proximidade do aparelho pois é necessário introduzir comandos através do controlo remoto;

Tabela 2.4: principais características do sistema Apisafe

Caraterísticas		Valor
Dimensão		Dados não disponíveis
Ativação/Desativação		Através de controlo remoto
Comunicações	Tecnologia	GSM
	Operadora	Multi operadora
	Custo anual	Dependente do tarifário
Autonomia	<i>Standby</i>	6 meses a 1 ano
	Rastreio	Dados não disponíveis
Bateria	Tecnologia	Bateria Li-Íon
	Custo da substituição	Não aplicável
	Preço do carregador	Incluído no preço total
Preço de cada dispositivo (com IVA)		121,77€

O dispositivo tem uma dimensão reduzida e destina-se a ser instalado no interior da colmeia. As comunicações com o apicultor são realizadas por SMS através de GSM. Isto implica que cada dispositivo tem que ter um cartão SIM associado a um contrato ou tarifário. O sistema Apisafe não inclui o cartão SIM, mas é compatível com qualquer operadora, fica assim a escolha do apicultor qual o contrato ou tarifário a associar ao cartão SIM.

2.5 Comparação dos sistemas apresentados

Nesta secção é realizada uma comparação dos sistemas descritos anteriormente e uma análise do impacto económico da aquisição e encargos subjacentes dos mesmos.

Os dados presentes na Tabela 2.5 permitem verificar que os sistemas possuem entre si características bastante similares.

No entanto são de destacar as seguintes diferenças:

- O sistema BeeGuard é o que apresenta a maior autonomia em *standby*, contudo as baterias não são recarregáveis e apenas podem ser adquiridas através da empresa que comercializa o sistema;
- Os sistemas BeeGuard e SafeBee requerem ambos o uso do computador ou telemóvel para desativar o sistema. Requerem também que se efetue a alteração da localização no servidor à priori para que após efetuada a transumância, aquando da reativação do sistema, este não emita alertas;

Tabela 2.5: principais características dos sistemas

Caraterísticas		BeeGuard	SafeBee	SB-GPS-B	Apisafe
Dimensão		73x49x22 mm	Dados não disponíveis	137x63x11 mm	Dados não disponíveis
Ativação/Desativação		Através do <i>website</i>	Através da aplicação	Chave magnética	Controlo remoto
Comunicações	Tecnologia	GSM	GSM	GSM	GSM
	Operadora	Multi operadora	Multi operadora	Multi operadora	Multi operadora
	Custo anual	36 €	Dependente do tarifário	Dependente do tarifário	Dependente do tarifário
Autonomia	<i>Standby</i>	2 anos	1 ano	6 a 12 meses	6 a 12 meses
	Rastreo	48 horas	Dados não disponíveis	2 a 6 dias	Dados não disponíveis
Bateria	Tecnologia	Pilha de lítio ¹	Bateria Li-Íon	Bateria Li-Íon	Bateria Li-Íon
	Custo da substituição	8€	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável
	Preço do carregador	Não aplicável	Incluído no preço total	Incluído no preço total	Incluído no preço total
Preço de cada dispositivo ²		246€	202.95€	150€	121,77€

¹Não recarregável

²Preço inclui IVA (23%)

- O SafeBee obriga o apicultor a possuir um smartphone compatível com a aplicação, pois só através desta se pode usufruir totalmente das características do produto;
- O Apisafe GPS *Tracker* necessita de pelo menos um controlo remoto com o custo de 20 € que não acompanha os módulos ao preço tabelado.

Como se verifica os sistemas comercializados apresentam entre eles características bastante semelhantes, acabando por ser o preço da aquisição e encargos subjacentes, os dos fatores que mais diferenciam os sistemas.

Em Portugal existem dois tipos de apicultores, os profissionais e os amadores, sendo que a segurança das colmeias é um problema que afeta ambos. Pelo facto de apenas os profissionais realizarem práticas de transumância e possuírem um maior número de colmeias, estes apresentam valores de rentabilidade mais elevados por colmeia, existindo variações, em relação aos apicultores não profissionais, nos encargos fixos e variáveis anuais [6]. Nesse sentido, são apresentados dados relativos ao impacto económico respetivos a cada uma das situações.

A Tabela 2.6 apresenta uma estimativa dos custos e da produção por colmeia, para ambos os tipos de apicultores, segundo o Programa Apícola Nacional 2014-2016 [6].

Os custos fixos representam, entre outros, a amortização de ferramentas e equipamentos de segurança, mão de obra e despesas com deslocações e a amortização dos custos das colmeias, pois estas apresentam uma vida útil de 5 anos.

Os custos variáveis representam uma estimativa do gasto anual com reposição de ceras, reposição de quadros, alimentação artificial e controlo de doenças.

O valor bruto por colmeia foi obtido com base em dois pressupostos: Primeiro, o de que um apicultor não profissional tem a seu cuidado, em média 25 colmeias e comercializa todo o seu mel embalado a um preço de 5 euros por cada quilo, visto que a sua produção anual não exceder o valor

Tabela 2.6: projeção de custo e retornos anuais por colmeia

	não profissional	profissional
Nº médio de colmeias	25	400
Custo fixo por colmeia	61.93€	43.59€
Custo variável por colmeia	30.59€	26.88€
Produção de mel por colmeia	16 kg	33 kg
Enxames por colmeia	0.4	0.4
Valor de venda do quilo de mel	5€	2.74€
Valor de venda do enxame	55€	55€
Rendimento bruto por colmeia	102€	112.39€
Rendimento líquido por colmeia	9.48€	41.92 €

máximo que o produtor primário pode comercializar a retalho. Segundo, o de que estes obtêm dois enxames de abelhas por cada 5 colmeias, que podem ser comercializados a 55 euros cada.

Enquanto que, no caso do apicultor profissional, tem a seu cuidado em média 400 colmeias, tendo que comercializar a maior parte do seu mel a granel a um valor estimado em 2,65 euros por cada quilo, pois os produtores primários apenas podem comercializar uma quantidade máxima de 500 quilos de mel a retalho. Relativamente aos enxames, aplicam-se os mesmos valores que para o apicultor não profissional ou amador.

Segundo o Programa Apícola Nacional 2014-2016 [6] "O setor apícola em Portugal, tal como no resto da União Europeia, é uma atividade tradicionalmente ligada à agricultura, sendo normalmente encarada como um complemento ao rendimento das explorações, existindo, contudo, uma pequena minoria de apicultores para os quais a apicultura é a base das receitas de exploração". Na Tabela 2.6 o custo variável já inclui o preço da mão de obra, onde se inclui o ordenado dos apicultores profissionais, e visto os apicultores não profissionais não dependerem dos rendimentos da atividade para a sua subsistência, na análise que se segue é considerado que os apicultores podem dispensar a totalidade dos lucros para a aquisição do sistema.

Nos gráficos seguintes (Figura 2.4, Figura 2.5, Figura 2.6, Figura 2.7), é apresentada uma projeção das amortizações no investimento dos sistemas acima mencionados, ao longo de 5 anos, para coberturas de 25%, 50%, 75% e 100% do apiário. Em todos os sistemas que apresentam o custo das comunicações dependentes do contrato realizado pelo apicultor foi considerado que este tem a possibilidade de optar pelo tarifário Vodafone *Easy* 91. Este tarifário não está sujeito a carregamentos obrigatórios nem a subscrição, são sim cobrados 37 cêntimos por cada dia em que se efetue uma chamada, ou se proceda ao envio de SMS com um máximo de 200 SMS por dia [18]. Visto que os sistemas apenas enviam SMS quando necessitam de gerar um alerta relativo a um baixo nível de bateria ou em caso da colmeia ser movimentada, o valor médio de comunicações anuais por módulo é de 2,59 euros, correspondente a 7 dias por ano em que o sistema gera alertas.

O sistema BeeGuard é o que apresenta o custo mais elevado tanto na aquisição dos módulos como em encargos anuais. O apicultor não profissional mesmo instalando o sistema em apenas um quarto do apiário nunca chega a amortizar o investimento, isto deve-se ao facto dos encargos anuais com as comunicações e baterias para a situação de cobertura referida representarem 105% do rendimento líquido obtido. Em relação aos apicultores profissionais para a situação referida, embora no segundo ano já tenha sido amortizado por completo o investimento, os encargos anuais continuam a representar 23.85% do rendimento líquido obtido. Estes valores de encargos anuais são demasiado elevados para

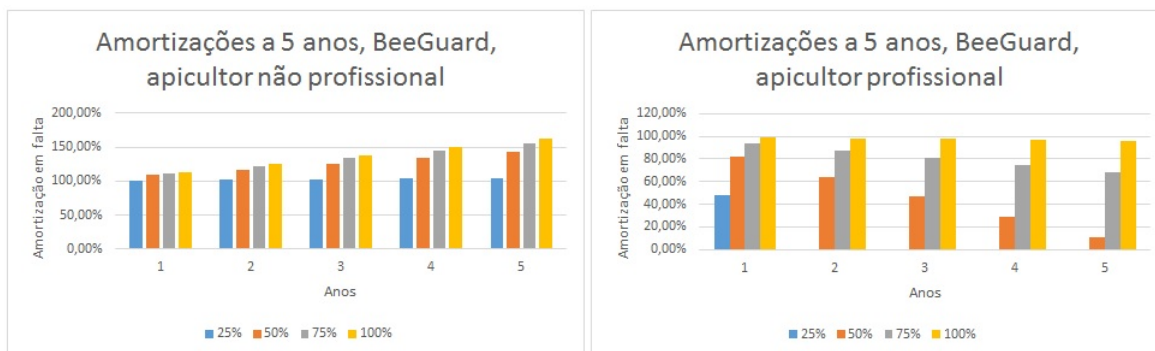


Figura 2.4: Amortizações a 5 anos, BeeGuard, para 4 situações de cobertura

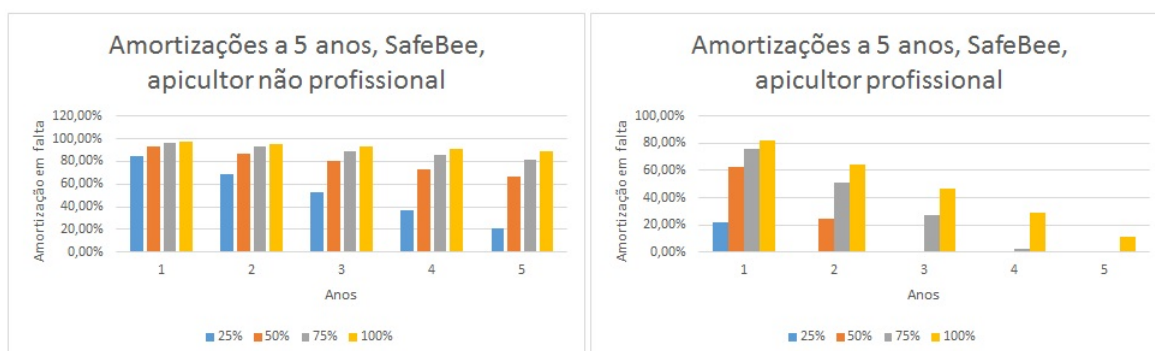


Figura 2.5: Amortizações a 5 anos, SafeBee, para 4 situações de cobertura

que este produto represente uma mais valia para o apicultor.

O sistema SafeBee apresenta um custo por módulo inferior ao anterior. Ao ter baterias recarregáveis e ao possibilitar ao apicultor escolher o serviço de telecomunicações apresenta um valor de encargos anuais inferior. Considerando a situação em que o sistema se encontra instalado em 25% das colmeias do apiário, os encargos anuais representam 6.8% e 1.5% dos rendimentos líquidos dos apicultores não profissionais e profissionais, respetivamente. No entanto, para esta situação de cobertura, o investimento representa mais de 5 anos de amortização para os apicultores não profissionais e superior a um ano para os apicultores profissionais. Este sistema já apresenta encargos anuais suportáveis para ambos os tipos de apicultores, contudo o valor do investimento inicial ainda é elevado face ao rendimento anual.

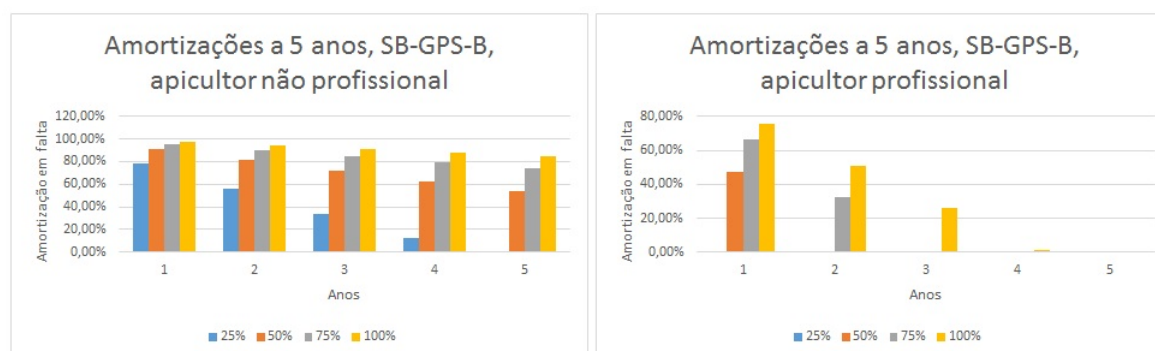


Figura 2.6: Amortizações a 5 anos, SB-GPS-B, para 4 situações de cobertura

O SB-GPS-B é o primeiro dos sistemas cujo o período de amortização para uma instalação com uma cobertura de 25% do apiário é inferior a um ano para os apicultores profissionais. O sistema tem encargos anuais iguais ao BeeGuard. Contudo para o apicultor não profissional continua a representar um investimento com uma amortização superior a 4 anos para a situação de cobertura referida.



Figura 2.7: Amortizações a 5 anos, Apisafe GPS *Tracker*, para 4 situações de cobertura

O Apisafe GPS *Tracker* é o sistema que apresenta os módulos com o preço mais reduzido. Os encargos anuais para a situação de 25% de cobertura são iguais aos do BeeGuard. A amortização para a mesma situação de cobertura representa 73% do rendimento líquido para o apicultor profissional. Contudo, para o apicultor não profissional continua a precisar de mais de 3 anos para amortizar o valor da aquisição do sistema. Este sistema é o que apresenta a menor duração da bateria em *standby* no entanto, para os valores apresentados pressupõem-se que o apicultor se desloque pelo menos 5 vezes por ano ao apiário [6], pelo que não se considerou qualquer despesa adicional em viagens para a alteração das mesmas.

Apenas foram consideradas instalações com uma cobertura de 25% do apiário, visto que para coberturas superiores, todas apresentam períodos de amortização, para ambos os apicultores, superiores a um ano.

Através desta análise conclui-se que já existem atualmente sistemas que representam uma mais valia para o apicultor, numa situação de 25% de cobertura do apiário. No entanto, para a cobertura total do apiário continua a representar um período de amortização superior a 3 anos, no caso dos apicultores profissionais, mesmo com o sistema de preço mais reduzido, e sempre superior a 5 anos no caso dos apicultores não profissionais. Os encargos anuais para uma cobertura total do apiário representam no mínimo 6.2% para os apicultores profissionais e 28% para os não profissionais, este custo é mais um entrave à possibilidade dos não profissionais realizarem este tipo de instalação.

Nesta dissertação procura-se assim desenvolver um sistema que permita uma maior cobertura da deteção de roubo, a um preço de aquisição inferior, e com menores encargos anuais em telecomunicações, por forma a que se adegue mais à realidade económica dos apicultores.

Capítulo 3

Arquitetura

3.1 Introdução

No âmbito desta dissertação pretende-se aperfeiçoar uma plataforma de *hardware* e *software*, com interface *web*, acedida através do computador ou de um dispositivo móvel, que permita realizar a monitorização das colmeias existentes num apiário. Em caso de furto o sistema deve gerar um alerta via SMS e permitir o rastreamento em tempo real das colmeias que tenham instalado o módulo adequado. Neste capítulo é introduzida a arquitetura de referência do sistema.

3.2 Arquitetura presente nos sistemas comerciais apresentados

No capítulo anterior foram apresentados e comparados alguns dos sistemas comercializados atualmente. Como foi mostrado, estes consistem num único dispositivo semelhante ao representado pelo diagrama de blocos da Figura 3.1.

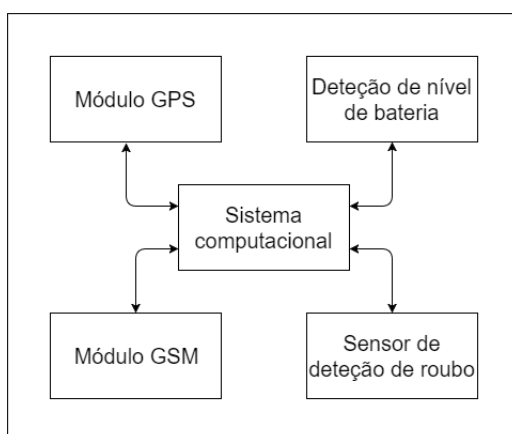


Figura 3.1: Diagrama de blocos dos dispositivos comercializados

O dispositivo contém um sistema computacional que lhe permite monitorizar um ou mais periféricos para efetuar a deteção de movimentação e/ou abertura da colmeia e o nível da bateria. Contém também um periférico recetor do sinal de satélite *Global Positioning System* (GPS) para obter dados

que permitam efetuar o rastreamento, e um periférico GSM para efetuar a comunicação do estado e gerar alertas para o apicultor.

3.3 Arquitetura proposta

Neste documento propõem-se uma solução modular, composta por dois tipos de módulos que se instalam no interior das colmeias. O módulo principal que possui todas as funcionalidades e o módulo secundário com funcionalidades reduzidas. O sistema destina-se a ser instalado numa relação de um módulo principal para vários módulos secundários, ou seja, instala-se o módulo principal numa das colmeias e módulos secundários nas colmeias circundantes, como ilustrado na Figura 3.2. Os módulos secundários apenas comunicam com o módulo principal e realizam-no através de uma rede sem fios local. O módulo principal é o único que envia informação diretamente ao apicultor e realiza-o via SMS.

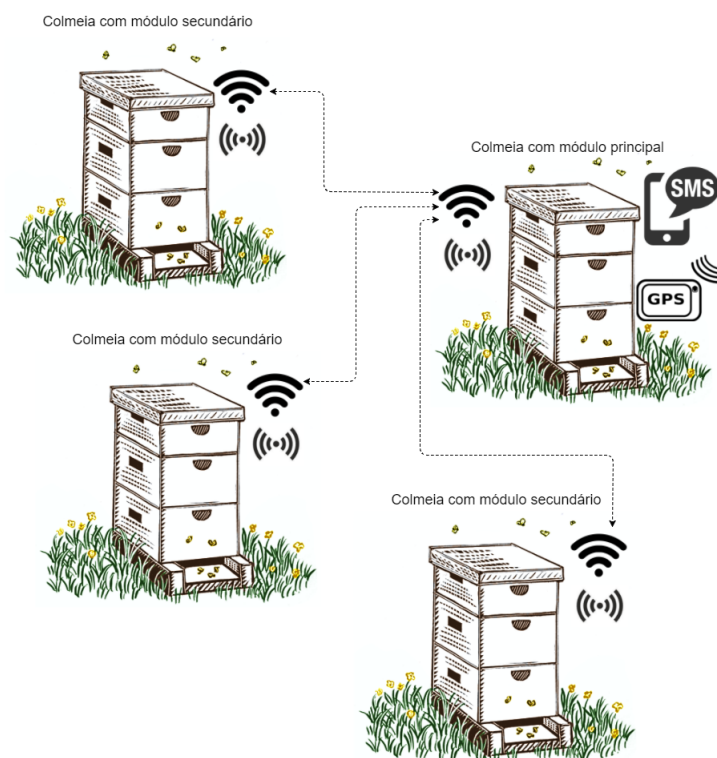


Figura 3.2: Exemplo da distribuição dos módulos pelas colmeias

O **módulo principal** é o de custo mais elevado, que se assemelha em grande parte aos módulos comercializados atualmente e descritos anteriormente. Contém um sistema computacional para a monitorização e controlo de periféricos, um sensor que proporciona a capacidade de detetar a movimentação da colmeia, um periférico que permite a deteção do nível da bateria, um periférico GSM para enviar alertas e informação relativa ao estado para o apicultor, um módulo de Radiofrequência (RF) para comunicar na rede local e um periférico GPS que permite que este módulo seja rastreável, como ilustrado na Figura 3.3.

O **módulo secundário** ao rescindir das funcionalidades de rastreamento e comunicação direta com o apicultor, apresenta um custo inferior. Este contém um sistema computacional para a monitorização e controlo de periféricos, um sensor que proporciona a capacidade de detetar a movimentação da colmeia, um periférico que permite a deteção do nível da bateria e um módulo RF para que possa comunicar através da rede local com o módulo principal (Figura 3.3).

A arquitetura do sistema é ilustrada na Figura 3.3. O sistema fica dotado da capacidade de detetar a movimentação da colmeia, em todas as colmeias em que esteja instalado qualquer um dos módulos. Caso seja movimentada uma colmeia onde se encontra um módulo secundário este comunica através da rede local com o módulo principal que procede ao envio de um SMS de alerta. No caso de ser movimentado o módulo principal, para além de enviar o alerta, este ativa o módulo GPS e envia periodicamente as coordenadas em que se encontra via SMS, permitindo assim efetuar o seu rastreamento e possível recuperação.

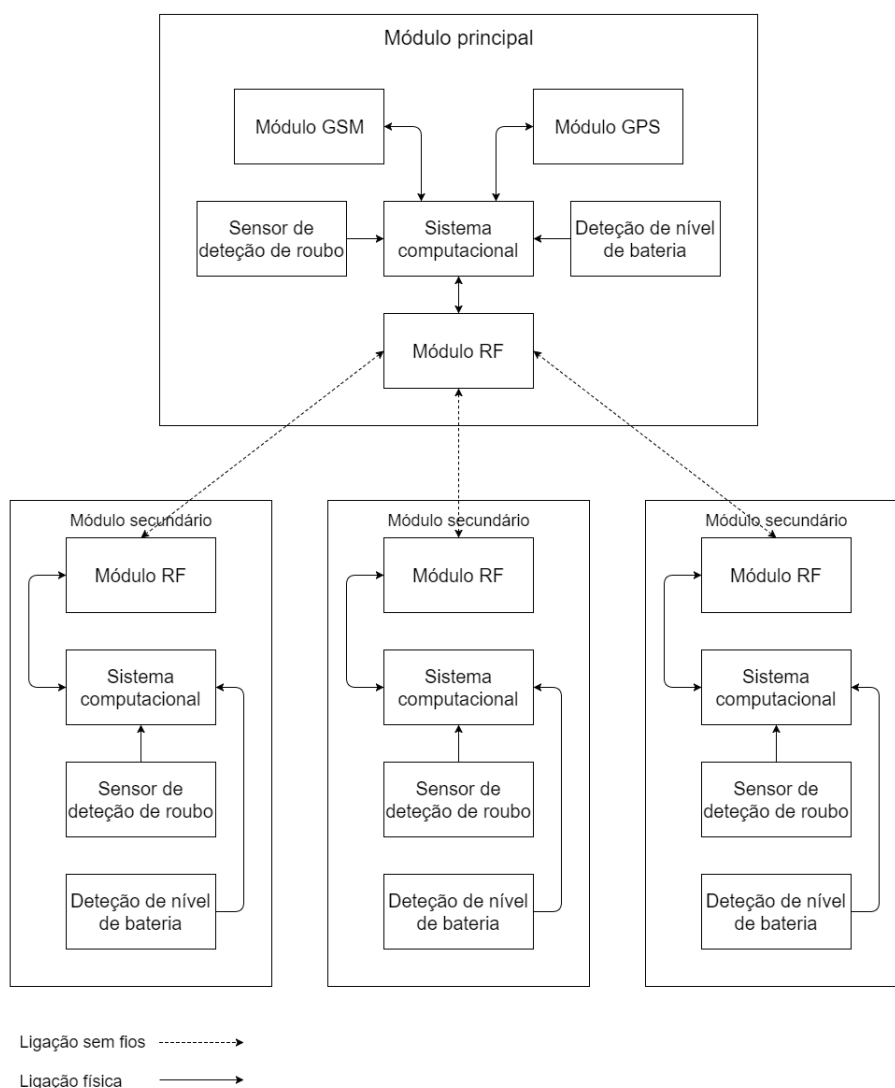


Figura 3.3: Diagrama de blocos da solução proposta

O sistema aqui proposto é um compromisso entre a capacidade de rastreio e a redução do preço com as comunicações e com a aquisição dos equipamentos, mantendo um elevado nível de deteção de

roubo. O sistema ao ser composto pelos dois módulos procura minimizar a quantidade de cartões SIM necessários e consequentemente o número de contratos associados. Como apenas o módulo principal necessita de um cartão SIM para efetuar as comunicações com o apicultor, e cada módulo principal permite que se conectem a ele até 50 módulos secundários, o apicultor pode assim chegar a ter instalações em que só necessita de um cartão SIM por cada 51 colmeias (1 módulo principal e 50 módulos secundários). Contudo apenas a que tem o módulo principal é rastreável, logo verifica-se uma diminuição da probabilidade de poder rastrear a colmeia roubada, mas com melhor preço, mais modular, e grande capacidade de deteção de roubo. A vantagem do sistema ao ser modular é que permite que cada apicultor possa adotar a relação entre módulos principais e secundários que achar que se adequam melhor ao tipo de furto que acontece na sua região, bem como ao valor que pode depender em comunicações e equipamentos.

3.4 Caraterísticas Essenciais

Devido à natureza e sítio, em que o sistema deve ser instalado existem critérios que tem que ser preenchidos durante a idealização do dispositivo. Abordam-se em seguida esses critérios, e quais a restrições que os mesmos implicam:

- **Dimensão** - os módulos devem ter uma dimensão suficientemente reduzida para que possam ser instalados no interior da colmeia sem perturbar significativamente a capacidade de produção da mesma;
- **Autonomia** - os apiários não costumam ter acesso a rede elétrica logo o sistema necessita de ter uma bateria e a autonomia do dispositivo deve de ser pelos menos 3 meses e se possível mais. Isto implica a escolha de componentes que apresentem consumos energéticos reduzidos, e tempos de estabelecimentos curtos para que possam ser desligados, ou possuir a possibilidade de serem hibernados;
- **Temperatura** - a temperatura dentro da colmeia pode variar entre os -10°C e os 40°C [11], logo o dispositivo deve ser capaz de operar dentro desta gama de temperaturas;
- **Toxicidade** - as colmeias são usadas para a produção de mel pelo que a caixa do dispositivo deve ser feita de um produto de qualidade alimentar, mas sem comprometer a sua capacidade como isolante.

3.5 Arquitetura dos dispositivos

Sistema Embutido pode ser descrito como um sistema computacional composto por *hardware*, *software* e (eventualmente) componentes mecânicos, projetado para desempenhar apenas uma função específica, fazendo frequentemente parte de um produto ou sistema mais vasto e complexo [19]. Ambos os módulos do sistema podem ser classificados como sistemas embutidos. Os módulos apresentam uma arquitetura por camadas como a ilustrada na Figura 3.4, embora apresentem diferenças em algumas das camadas, a divisão e o número de camadas é comum a ambos.

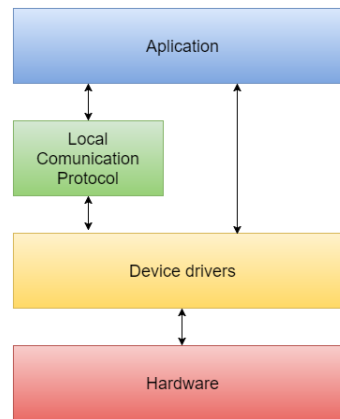


Figura 3.4: Arquitetura dos dispositivos

À camada inferior, a do *Hardware* correspondem os diversos componentes e módulos utilizados. Esta camada é descrita com mais detalhe no capítulo 4.

As camadas *Device drivers*, *Communications protocol*, e *Application* correspondem ao *software*. Estas camadas encontram-se descritas com mais pormenor nos capítulos 5 e 6.

Capítulo 4

Camada do *Hardware*

Neste capítulo descreve-se o *hardware* selecionado para a implementação do sistema bem como as características que motivaram a escolha do mesmo. Após a descrição do *hardware* utilizado é feita uma estimativa do custo de um protótipo comercializável e do impacto económico que a aquisição e custos com telecomunicações representam para o apicultor.

Nas secções seguintes são descritas e apresentadas as motivações para a escolha do seguinte *hardware*:

- Sensor de deteção de roubo - Na secção 4.1 são apresentadas algumas possibilidades de sensor que permitem a deteção de roubo, bem como as suas vantagens e desvantagens;
- Módulo RF - Na secção 4.2 é descrito o módulo RF escolhido para a implementação da comunicação entre os módulos;
- Módulo GSM - na secção 4.3 é descrito o módulo GSM escolhido para o envio de alertas para o apicultor;
- Módulo GPS - Na secção 4.4 é descrito o módulo GPS selecionado para a obtenção de dados, que permitam o rastreamento e possível recuperação da colmeia;
- Osciladores de cristal - Na secção 4.5 é abordada a necessidade de osciladores de cristal e a sua importância para a minimização do consumo energético;
- Sistema Computacional - Na secção 4.6 são descritos os sistemas computacionais selecionados;
- Circuito para estimação do estado de carga - Na secção 4.7 é descrito o circuito desenvolvido para realizar a estimativa do estado de carga da bateria (SoC).

4.1 Sensor

A deteção de movimentação da colmeia, pode ser realizada com recurso a vários tipos de sensores, que se encontram em comercialização, dos quais se destacam os descritos a seguir.

Células de carga - As células de carga são compostas por um corpo metálico que, quando sujeito a uma força, sofre uma deformação proporcional a esta, ao qual se encontra acoplado um extensómetro. Assim, a força aplicada é convertida numa variação de resistência, que pode ser

medida por meios eletrónicos [20] (Figura 4.2a). Com quatro células de carga é possível realizar uma plataforma semelhante a uma balança, que se coloca debaixo da colmeia, esta plataforma fornece uma maneira de obter informação sobre a força do peso que a colmeia exerce sobre a mesma, sendo assim possível identificar quando a colmeia é levantada da plataforma.

Interruptor de fim de curso - Os interruptores de fim de curso são dispositivos eletromecânicos que consistem num atuador ligado mecanicamente a um conjunto de contactos. Quando um objeto exerce uma força sobre o atuador o dispositivo opera os contactos ligando ou desligando a conexão elétrica (Figura 4.2b) [21]. Colocando um interruptor de fim de curso na parte inferior da colmeia, por forma a que quando a colmeia se encontre instalada, o peso desta exerça força sobre o atuador, é possível saber quando levantaram a colmeia, pois ao deixar de estar presente a força que o peso da colmeia exerce sobre o atuador, a conexão elétrica muda de estado.

Sensores de *tilt* - Os sensores de *tilt* permitem detetar a orientação ou inclinação. Eles são pequenos, de baixa potência, baratos e fáceis de usar. Eles são geralmente feitos por uma cavidade de algum tipo (cilíndrica é a mais popular, embora nem sempre a seja) e uma massa livre condutora no interior, como uma gota de mercúrio ou uma esfera. Uma extremidade da cavidade tem dois elementos condutores. Quando o sensor é orientado com a extremidade em que estão os elementos condutores, para baixo, a massa desloca-se para eles e fecha a malha (Figura 4.2c) [22]. Com um arranjo de dois sensores de *tilt* como o ilustrado na Figura 4.1, e instalados num eixo paralelo ao solo, é possível detetar quando a colmeia é inclinada segundo esse eixo, num valor superior ao ângulo formado entre os sensores e o solo.

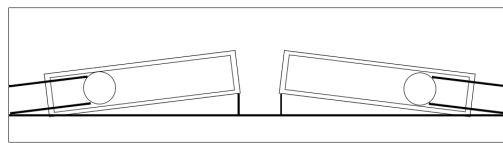


Figura 4.1: Arranjo de sensores de *tilt*

Acelerómetro - Um acelerómetro é um transdutor que mede a rapidez com a qual a velocidade de um corpo varia ao longo do tempo. Estes dispositivos tem como base uma massa inercial ligada por um elo flexível ao sistema do qual se pretende medir a aceleração. Quando o sistema é sujeito a uma aceleração, a massa sofre um deslocamento relativo proporcional a esta [20]. Usando um acelerómetro com capacidade de medição a três eixos ortogonais entre si (Figura 4.2d), é possível detetar variações da aceleração dinâmica nos três eixos (choques e/ou vibrações), se o mesmo permitir a medição da aceleração estática (aceleração da força gravítica), pode ainda obter-se informação sobre a inclinação da colmeia.

A funcionalidade de deteção de movimentação da colmeia deve ser realizada por um sensor que permita uma instalação simples, que não se encontre com uma simples inspeção visual ao exterior da colmeia, e que minimize a quantidade de falsos alertas.

Tanto a plataforma com as células de carga como a chave de fim de curso, para uma instalação mais fácil, podem ser colocadas na parte exterior da colmeia, mas tal pode originar situações em que podem ser encontradas e inutilizadas com facilidade. Para que estas passem a ser parte integrante da colmeia é preciso realizar alterações à estrutura exterior da mesma, o que conduz a instalações mais complicadas. Pelos motivos anteriores o uso deste tipo sensores não foi considerado viável.

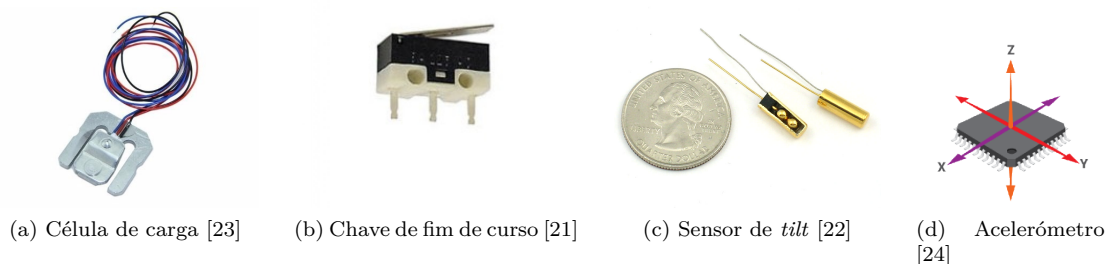


Figura 4.2: Sensores

Os sensores de *tilt* são a solução mais barata de entre as quatro e podem ser integrados no próprio módulo proporcionando a possibilidade que todo o sistema fique posicionado no interior da colmeia, assim já não apresentam o risco de ser facilmente encontrados e inutilizados. No entanto ao serem um dispositivo com um comportamento que se assemelha ao de um interruptor, ou seja, apenas se extrai informação relativa à massa condutora, estar em contacto com os elementos condutores ou não, pode conduzir a situações de falsas deteções ou em que a deteção não é efetuada de todo, devido a estas limitações estes não foram considerados como uma solução para a implementação.

O acelerómetro de entre todos foi o que demonstrou as melhores características para a implementação, pois tal como os sensores de *tilt* este pode ser integrado no próprio módulo, proporcionando assim a possibilidade de que todo o sistema fique posicionado no interior da colmeia. Sendo um dispositivo que devolve informação relativa à aceleração dentro de uma determinada gama, e não apenas às suas extremidades, permite efetuar reconhecimento de padrões, podendo assim ser reduzida a ocorrência de falsos positivos, e aumentar a sensibilidade da deteção, mesmo com movimentos mais subtis.

O acelerómetro escolhido para a implementação do sistema foi o ADXL335 (Figura 4.3).

4.1.1 ADXL335

O ADXL335 é um acelerómetro com três eixos ortogonais, que realiza a transdução do valor da aceleração num sinal de tensão. As características consideradas mais relevantes são [4]:



Figura 4.3: Módulo ADXL335

- Tem um tamanho reduzido, o circuito integrado mede 4 mm x 4 mm x 1.45 mm e o módulo apresentado na Figura 4.3 mede 28 mm x 22 mm x 3 mm;
- Tem um baixo consumo energético, o consumo típico é de 350 μA e a gama de tensão de alimentação é dos 1.8 V aos 3.6 V;

- Tem uma escala de medição de -3 g a 3 g em cada um dos eixos;
- As tensões de saída de cada eixo variam pouco com a temperatura, sendo a variação máxima de 20 mV na gama de -40 a 100 graus celsius;
- Permite a medição da aceleração estática e da dinâmica, permitindo assim obter informação sobre choque, vibração e inclinação;
- Tem um tempo de estabelecimento curto, desde o momento em que se liga até se poder começar a obter dados precisa de 1 ms.

4.2 Módulo RF

O sistema necessita de uma rede local para a comunicação entre os módulos secundários e o módulo principal. Por forma a que a instalação seja mais simples e para não haver cabos a serem passados entre as colmeias optou-se por uma rede local sem fios. Atualmente existe uma grande oferta de transceptores RF com as mais variadas características e preços. Após uma pesquisa detalhada e tendo como fatores principais o consumo e o preço foi selecionado o NRF24L01+ (Figura 4.4). O transceptor NRF24L01+ 2.4GHz, é um módulo compacto e de baixo consumo do qual se sobressaem as seguintes características [3]:

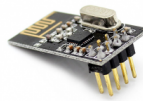


Figura 4.4: Módulo NRF24L01+

- Tem tamanho reduzido o circuito integrado mede 4 mm x 4 mm x 0.45 mm enquanto o módulo completo com a antena em PCB mede 13 mm x 27 mm x 3 mm;
 - Opera na banda de frequências ISM 2.4 GHz a 2.5 GHz, esta banda de frequências está disponível para uso sem necessidade de licenças no mundo inteiro;
 - Suporta velocidades de transmissão de 250 kbps, 1 Mbps e 2 Mbps;
 - Tem um baixo consumo, 11.3 mA em modo de transmissão, 13.5 mA em modo de receção, 900 nA em modo *power-down* e a gama de tensão de alimentação é dos 1.9 V aos 3.6 V;
 - Tem um tempo de estabelecimento baixo, 1.5 ms a partir do modo *power-down*;
 - A comunicação entre o módulo e o sistema computacional realizada via *Serial Peripheral Interface* (SPI);
 - Tem antena integrada na Placa de Circuito Impresso (PCB);
 - Tem protocolo de comunicação em banda base embutido, o ShockBurstTM.
-

4.3 Módulo GSM

A funcionalidade de gerar alertas para o apicultor e enviar a localização em caso de rastreamento, implicam que o sistema deve ter a capacidade de comunicar para fora da rede local, como em caso de rastreamento o módulo vai estar em movimento implica a necessidade de uma tecnologia móvel de comunicações. Por forma a reunir todos estes critérios optou-se por uma comunicação para fora da rede local realizada através de GSM.

O GSM (Sistema Global para Comunicações Móveis) é uma tecnologia móvel e o padrão mais popular para telemóveis do mundo. O GSM diferencia-se muito dos seus predecessores porque o sinal e os canais de voz são digitais, este é visto como um sistema de comunicações celulares de segunda geração (2G). [25]

Para a implementação desta funcionalidade foi escolhido o NANO-GSM que é um módulo comercializado pela Olimex.

4.3.1 NANO-GSM

O NANO-GSM permite comunicações GSM/GPRS/Bluetooth 3.0. Este sistema vem com um chip da SIMCOM o SIM800H. A principal motivação para a escolha deste módulo foi o mesmo já existir disponível no departamento. Destacam-se deste as seguintes características [26]:



Figura 4.5: Módulo NANO-GSM

- Capacidade de enviar e receber mensagens via GSM nas bandas de frequência GSM850, EGSM1800 e PCS1900;
- Capacidade de enviar e receber dados via GPRS a uma velocidade de transferência máxima de 85.6 kbps;
- A comunicação com o sistema computacional é feita via porta série e é baseada em comandos de controlo AT Commands 3GPP TS 27.007,27.005;
- Baixo consumo, este módulo pode ser alimentado na gama de tensão de 3.4 V a 4.4 V, em estado IDLE com comunicação ativa tem um consumo de 18.7 mA, contudo dependendo da qualidade da antena o consumo poder ter picos de 2 A aquando do envio de uma SMS;
- O módulo já dispões de uma ranhura para colocar o cartão SIM.

4.4 Módulo GPS

A funcionalidade de rastreamento implica que o sistema tem que ter a capacidade de identificar a sua localização. Esta capacidade é obtida através de um módulo GPS.

A sigla GPS vem do inglês "Global Positioning System" que quer dizer sistema de posicionamento global. O GPS é um sistema de navegação baseado no "Global Navigation Satellite system" (GNSS), o sistema permite a geolocalização com um erro de metros do aparelho receptor do sinal de satélite, em quaisquer condições atmosféricas e a qualquer momento. Através de uma atualização periódica da geolocalização há atualmente aparelhos que ainda nos proporcionam informação relativa à velocidade, sentido e altitude em relação ao mar, o que torna o uso do sistema bastante útil na aviação geral e comercial, na navegação marítima, ou para a navegação do carro no dia a dia [27].

Para a implementação do sistema foi selecionado o módulo MOD-GPS da Olimex.

4.4.1 MOD-GPS

O MOD-GPS tem uma antena PCB embutida. A motivação desta escolha foi a sua disponibilidade imediata. Este apresenta uma boa sensibilidade aliada a um baixo consumo. Destacam-se ainda as seguintes características [28]:



Figura 4.6: módulo MOD-GPS

- Contém um chipset MT3329 da Mediatek com 20 canais "All-In-View" tracking e sensibilidade de -159 dBm;
- Baixo consumo, o consumo típico é de 38 mA e pode ser alimentado na gama de tensão de 3.3 V a 6 V;
- Permite a atualização da posição a uma frequência máxima de 10 Hz, com uma precisão de 5 a 25 metros, para velocidades de movimento entre 0.1 m/s a 515 m/s e acelerações inferiores a 4 g;
- A interface com o sistema computacional é realizada via porta série;
- Possui três tempo de aquisição de sinal do GPS, *Cold* 42 s, *Warm* 38 s e *Hot* 1 s e reacquirição automática de sinal a cada 0.1 s em média, podendo no máximo levar 1 s.

4.5 Osciladores de cristal

O baixo consumo energético é um dos pontos fulcrais para que o sistema seja viável, para se atingir esse objetivo o sistema deve ter a capacidade de se encontrar hibernado, durante o máximo de tempo possível. Esta necessidade implica a existência de uma sincronia entre o módulo principal e os módulos secundários, para que estes se encontrem no modo ativo ao mesmo tempo para realizarem as comunicações. Para atingir este objetivo cada módulo tem dois osciladores de cristal.

Um de maior frequência 20MHz e com uma precisão de 30ppm [29] para o relógio primário, que o microcontrolador usa enquanto está em modo ativo, e um de menor frequência 32.768kHz e precisão 20ppm [30] para o oscilador secundário que o microcontrolador usa enquanto está em modo *sleep*.

A título de exemplo, usando o oscilador LPRC do microcontrolador para o oscilador secundário, considerando que estes realizam comunicações de 2 em 2 minutos, os microcontroladores, no pior caso, podem passar para o estado ativo com uma diferença de 36 segundos (precisão de 150000 ppm). Enquanto que usando os oscilares de cristal descritos, no pior caso, os microcontroladores passam para o estado ativo com uma diferença de 4.8 ms.

4.6 Sistema computacional

O sistema computacional a usar tem que ser pequeno, de baixo consumo, e possuir as interfaces necessárias para operar os restantes periféricos. Para esta função optou-se pelo uso de microcontroladores.

Um microcontrolador é um dispositivo programável que integra, num único circuito três componentes fundamentais: microprocessador; Memória; Portos I/O. Costumam também incluir outros dispositivos de suporte, tais como: Timers; Conversores A/D; Serial I/O (RS232,I2C,SPI,CAN,...). Estes dispositivos são interligados por barramentos(dados, endereços e controlo). Por norma, estão organizados em portos I/O. Os mesmos pinos externos podem ser configurados para diferentes funções. [31]

O microcontrolador selecionado para a implementação dos módulos secundários foi o PIC32MX120F032B. O módulo principal necessita de um microcontrolador com um maior número de interfaces, para este foi selecionada a placa de desenvolvimento PIC32-T795.

4.6.1 PIC32MX120F032B

O PIC32MX120F032B é um microcontrolador de arquitetura 32 bit da Microchip. As motivações desta escolha foram o seu baixo consumo energético, baixo custo, a disponibilidade imediata, e o facto de estar familiarizado com esta família de microcontroladores. Contudo assegurou-se que o microcontrolador preenchia os seguintes requisitos:

- Baixo consumo energético, este consome tipicamente 2 mA em modo de operação a uma frequência de trabalho igual ou inferior a 4 MHz, 67 μ A em modo *sleep* [32];
- Gama de alimentação que permita que o mesmo seja alimentado a bateria, a gama de alimentação do microcontrolador é de 2.3 V a 3.6 V [32];
- Tem que dispor de pelo menos um conversor A/D com 4 canais, 3 para o acelerómetro e um para verificar o nível da bateria, este dispõe de 10 canais [32];

- Tem que dispor de comunicação SPI, embora esta possa ser realizada por software a sua disponibilidade é uma mais valia, este contém dois módulos SPI [32];
- Tem que dispor de conectividade para um oscilador secundário de cristal, esta funcionalidade é importante para que se possa ter controlo temporal com precisão nas alturas em que o microcontrolador se encontra em modo *sleep*. Embora os microcontroladores disponham de um oscilador RC interno para controlo temporal em modo de *sleep* este carece da precisão necessária para o sistema poder ter a eficiência energética pretendida.

4.6.2 PIC32-T795

A PIC32-T795 é uma placa de desenvolvimento comercializada pela Olimex. Ao ser uma placa de desenvolvimento esta vem pronta a usar em placa branca o que permite uma maior flexibilidade para a implementação do protótipo. A escolha desta placa deve-se principalmente a esta ter como microcontrolador um PIC32MX795F512H, já conter os osciladores de cristal tanto para a fonte de relógio principal, como para o oscilador secundário, de 8 MHz e 32.768 kHz respetivamente [33], e já estar disponível. As características do PIC32MX795F512H mais relevantes para o módulo principal são [34]:

- Baixo consumo energético, este consome 6 mA em modo de operação a uma frequência de trabalho igual ou inferior a 4 MHz, 64 μ A em modo *sleep*;
- Gama de alimentação que permita que o mesmo seja alimentado a bateria, a gama de alimentação do microcontrolador é de 2.3 V a 3.6 V;
- Tem que dispor de pelo menos um conversor A/D com 4 canais, 3 para o acelerómetro e um para verificar o nível da bateria, este dispõe de 16 canais;
- Tem que dispor de comunicação SPI, embora esta possa ser realizada por software a sua disponibilidade é uma mais valia, este contém três módulos SPI;
- Tem que dispor de pelo menos duas interfaces série para comunicar com o módulo GSM e o módulo GPS, este dispõe de 6 interfaces série.

4.7 Autonomia

A natureza das funcionalidades do sistema implicam que este deve ter a sua própria fonte de energia. Atualmente existem vários tipos de soluções disponíveis comercialmente, para a aplicação em causa considerou-se que baterias polímero de lítio (Li-Po) seriam as mais indicadas pois estas apresentam uma maior capacidade que as de outras tecnologias, para o mesmo peso [35], e retêm melhor a carga em situações de repouso ou de baixo consumo [36].

Na realização deste projeto não foi adquirida qualquer bateria, pois não foi considerada necessária para a validação do sistema, foi considerado que a grande maioria das baterias polímero de lítio comerciais podiam ser aproximada através do circuito equivalente ilustrado na Figura 4.7b, e que o seu ciclo de descarga segue o ilustrado na Figura 4.7a. Sabe-se que estas aproximações representam uma simplificação substancial do que é a realidade, contudo como o sistema não é de natureza crítica, e

apenas se pretende avisar o apicultor atempadamente para que este possa proceder à substituição da bateria por uma carregada considerou-se que esta aproximação era suficiente.

4.7.1 MCP1702-2502E

Na Figura 4.7a podemos verificar que as baterias de uma célula Li-Po fornecem 90% da sua capacidade numa gama de tensões entre 4.2 V e 3.5 V. Contudo os componentes do módulo secundário apenas podem ser alimentados na gama 2.3 V a 3.6 V, por forma a adaptar a tensão de saída da bateria para uma tensão de alimentação válida para o circuito é usado um regulador de tensão, com uma queda de tensão baixa, o MCP1702-2502E que apresenta as seguintes características [37]:

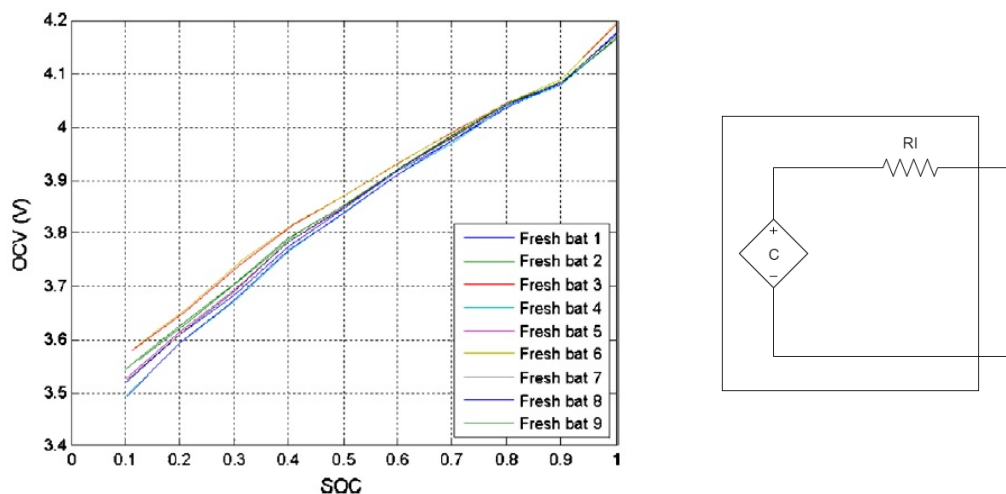
- corrente de saída máxima de 250 mA;
- Tensão de saída $2.5\text{ V} \pm 3\%$;
- A diferença mínima entre a tensão de entrada e a de saída é tipicamente de 650 mV para uma corrente de 250 mA;
- Baixo consumo em repouso tipicamente de $2\ \mu\text{A}$;
- Gama de tensão de entrada de 2.7 V a 12 V;

4.7.2 Estimativa do estado de carga da bateria

Para que se possa avisar o apicultor de que deve proceder a uma troca da bateria na próxima deslocação ao apiário, é necessário realizar uma estimativa do estado de carga da bateria. O método escolhido para obter esta estimativa foi o da tensão em circuito aberto (OCV). Apesar de ser uma forma fiável de obter uma estimativa do estado de carga da bateria em repouso, o método apresenta falhas quando é aplicado numa bateria em utilização, uma vez que não considera o efeito de recuperação da bateria [38]. Contudo, como o dispositivo não é de natureza crítica, ou seja se a estimativa apresentar um desvio da realidade, e o sistema encerrar ou apresentar um comportamento irregular antes do instante previsto, não vai resultar em danos materiais avultados, ou danos à integridade física de nenhuma pessoa ou animal, esta escolha representa um compromisso entre um maior erro na estimativa e um menor consumo energético, pois este método não exige um número elevado de cálculos, não requer uma monitorização constante, o que levava a que não se pudesse colocar o microcontrolador em modo *Sleep*, nem requer muito *hardware* adicional, apenas o circuito de acondicionamento para que se possam realizar as leituras através do conversor analógico-digital (ADC) do microcontrolador.

A aproximação do estado de carga da bateria é realizada através da medição da tensão aos terminais da mesma, num instante em que uma aproximação da corrente consumida pelo módulo é conhecida. Ao efetuar a medição da tensão aos terminais da bateria, e como a aproximação da corrente consumida é conhecida, pode calcular-se uma aproximação da tensão em circuito aberto, e comparando esta com os valores ilustrados no gráfico da Figura 4.7a, obtém-se então a estimativa do estado de carga da bateria.

Por forma a que as leituras da tensão aos terminais da bateria possam ser realizadas com a ADC do microcontrolador foi desenvolvido um circuito de acondicionamento de sinal, com recurso aos seguintes componentes:



(a) Relação entre a tensão em circuito aberto e o SoC [39]

(b) Circuito equivalente da bateria

Figura 4.7: Aproximações do comportamento de uma bateria

- Resistências - 1 de $1\text{k}\Omega$ com tolerância $\pm 5\%$, 2 de $154\text{k}\Omega$ tolerância $\pm 1\%$, 2 de $221\text{k}\Omega$ de tolerância $\pm 1\%$;
- Amplificadores operacionais - 2 amplificadores operacionais *rail to rail* na entrada e na saída. Os dois amplificadores operacionais são um circuito integrado, O MCP6022 produzido pela empresa Microchip. Estes amplificadores operacionais têm um baixo consumo (1 mA) [40];
- Díodo de referência - 1 diodo de referência, o LM336 produzido pela Texas Instruments, este apresenta aos seu terminais uma tensão de 2.5 V quando alimentado com uma corrente entre $400\ \mu\text{A}$ a 10 mA , e possui uma baixa variação de tensão com a temperatura [41].

O circuito desenvolvido funciona da maneira ilustrada no diagrama de blocos da Figura 4.8. Para o bom funcionamento do módulo secundário a tensão aos terminais da bateria deve estar dentro da gama $[3.25\text{ a }4.2]\text{ V}$. A tensão de referência usada é de 2.5 V e com o ganho de 1.435 V/V obtemos uma gama à saída do circuito de $[1.076\text{ a }2.439]\text{ V}$.

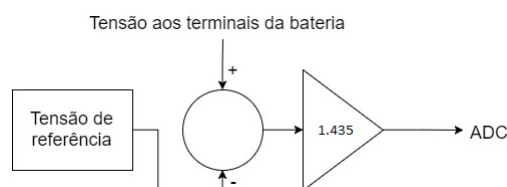


Figura 4.8: Diagrama de blocos do circuito de acondicionamento

O esquema do circuito é ilustrado na Figura 4.9. A resistência R1 foi dimensionada de modo a que, à tensão de alimentação mínima (3.25 V), o diodo de referência seja atravessado por uma corrente igual ou superior a $400\ \mu\text{A}$, e à tensão de alimentação máxima (4.2 V) não seja atravessado por uma corrente superior a 10 mA . O conjunto das resistências R2, R3, R4, R5 e o amplificador operacional

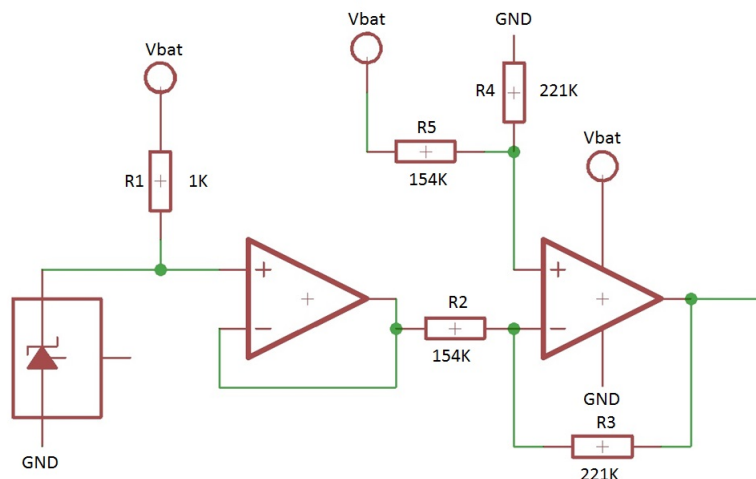


Figura 4.9: Esquema do circuito de acondicionamento

A1, formam um amplificador diferença com um ganho de aproximadamente 1.435 V/V, foram usadas aqui as resistências de menor tolerância, para minimizar o ganho em modo comum. O amplificador A2 é usado como um seguidor de tensão, para minimizar o efeito da resistência interna do díodo de referência no ganho em modo comum do amplificador diferença.

4.8 Estimativa de custos para a produção de um sistema comercializável

Na execução do protótipo durante a dissertação optou-se por usar placas de desenvolvimento por uma questão de simplicidade e rapidez de montagem. Contudo, um futuro sistema comercial não será composto por este tipo de componentes, devido ao seu tamanho, custo e robustez, não serem adequados ao produto final. Nesta secção mostra-se uma possível seleção de componentes e respetivos preços para uma implementação comercializável, e uma análise do impacto económico para o apicultor, da aquisição deste sistema.

Na Tabela 4.1 estão os preços por unidade para a aquisição de 1000 ou mais unidades de cada componente, e o valor da soma dos mesmo, para os componentes relativos ao módulo principal. Na tabela 4.2 estão os preços por unidade para a aquisição de 1000 ou mais unidades de cada componente, e o valor da soma dos mesmo, para os componentes relativos ao módulo secundário.

O preço final do módulo principal é de 90 euros com IVA e do módulo secundário é de 38 euros com IVA, o gráfico (Figura 4.10) mostra a amortização para a apicultores profissionais e não profissionais considerando instalações de acordo com a Tabela 4.3. Para as despesas em telecomunicações anuais considerou-se que o apicultor opta pelo tarifário Vodafone Easy 91. Este tarifário não está sujeito a carregamentos obrigatórios nem a subscrição, são sim cobrados 37 centimos por cada dia em que se efetue uma chamada, ou se proceda ao envio de SMS com um máximo de 200 SMS por dia [18]. Visto que os sistemas apenas enviam SMS quando necessitam de gerar um alerta relativo a um baixo nível de bateria ou em caso da colmeia ser movimentada, o valor médio de comunicações anuais por módulo é de 2,59 euros, correspondente a 7 dias por ano em que o sistema gera alertas.

Tabela 4.1: Preço módulo principal

Componente	Preço unitário 1000 ⁺ unidades	unidades por módulo	Revendedor
PIC32MX130F128H	2.15€	1	Microchip
ADXL335	2.13€	1	Analog Devices
NRF2401 ⁺	1.78€	1	Semiconductor store
SIM800	6.25€	1	TME
Antena GSM	1.99€	1	TME
Ranhura SIM	0.38€	1	Farnell
MOD-GPS	15.96€	1	Olimex
LM336	0.25€	1	Farnell
MCP6022	1.05€	2	Microchip
Oscilador 20 MHz	0.12€	1	Farnell
Oscilador 32.768 kHz	0.12€	1	Farnell
Bateria Li-po 8000 mAh	10.80€	2	ebay
PCB e montagem	7.50€	1	
Condensadores e resistências vários	3.00€	1	
Total	64.28€		

Tabela 4.2: Preço módulo secundário

Componente	Preço unitário 1000 ⁺ unidades	unidades por módulo	Revendedor
PIC32MX120F032B	1.68€	1	Microchip
ADXL335	2.13€	1	Analog Devices
NRF2401 ⁺	1.78€	1	Semiconductor store
LM336	0.25€	1	Farnell
MCP6022	1.05€	1	Microchip
Oscilador 20 MHz	0.12€	1	Farnell
Oscilador 32.768 kHz	0.12€	1	Farnell
MCP1702	0.31€	1	Microchip
Bateria Li-po 4000 mAh	7.20€	1	ebay
PCB e montagem	7.50€	1	
Condensadores e resistências vários	3.00€	1	
Total	25.14€		

Tabela 4.3: Perfil de instalação

	Não Profissional	Profissional
Nº de colmeias	25	400
Nº módulos principais	1	16
Nº módulos secundários	24	384
Preço de todos os módulos	1002€	16032€
Preço anual em telecomunicações	2.59€	41.44€

O sistema nestas condições de instalação permite detetar o roubo de qualquer colmeia pois todas as colmeias contêm um módulo. Contudo apenas 4% apiário se encontra com módulos rastreáveis.



Figura 4.10: Amortização da compra do sistema

Assim o apiário encontra-se com 100% de deteção de roubo e com capacidade de rastreamento para as colmeias que tenham o módulo principal. Da análise do impacto económico podemos verificar que para os apicultores profissionais o sistema é pago na totalidade logo no primeiro ano e os encargos anuais com telecomunicações representam 0.25% do lucro anual. Para os apicultores não profissionais, o investimento apenas fica completamente pago ao fim de 5 anos e os encargos anuais com telecomunicações representam 1.09%. Este sistema apresenta-se assim como uma solução com um preço mais atrativo para a deteção de roubo das colmeias que os comercializados atualmente, apresenta também uma poupança considerável dos encargos anuais com telecomunicações, mantendo a capacidade de efetuar o rastreamento para as colmeias com módulos adequados.

Capítulo 5

Camada dos device drivers

Neste capítulo descreve-se como foram realizados os *device drivers* para os dispositivos do módulo secundário, nomeadamente:

- Módulo RF na secção 5.1.
- Acelerómetro na secção 5.2.
- Circuito para leitura do estado de carga da bateria na secção 5.3.

5.1 Módulo RF

O módulo NRF24L01⁺ tem uma estrutura como a ilustrada no diagrama de blocos da Figura 5.1. A parte do *RF Transmitter* é controlada pelo *Baseband Engine*, a interface entre o módulo e o microcontrolador é realizada através dos pinos CSN (SPI *Chip Select*), SCK (SPI *Clock*), MISO (SPI *Slave Data Output*), MOSI (SPI *Slave Data Input*), IRQ (*Maskable Interrupt*), CE (*Chip Enable*). Os pinos CSN, SCK, MISO e MOSI formam uma ligação SPI.

O bloco *Register map* representa o conjunto dos 36 registos internos que permitem configurar e controlar o *Baseband Engine* e o *Radio Control*. Deste conjunto evidenciam-se os seguintes registos:

- *CONFIG* - Através deste registo é possível determinar quais as fontes de interrupção que geram sinal no pino IRQ, definir se o *Baseband Engine* vai usar CRC e qual o seu tamanho (1 ou 2 bytes). É também neste registo que se encontram os bits *PRIM_RX* e *PWR_UP* usados como entradas na máquina de estados interna;
- *SETUP_AW* - permite configurar o tamanho do endereço de envio e de receção (3,4 ou 5 bytes);
- *RF_Channel* - serve para seleccionar a frequência do canal entre os 2.4 GHz e os 2.525 GHz;
- *RF_SETUP* - permite configurar a velocidade e potência de transmissão;
- *STATUS* - é neste registo que se encontram todas a *IRQ flags*;
- *FIFO_STATUS* - através deste registo é possível verificar o estado das FIFOS.

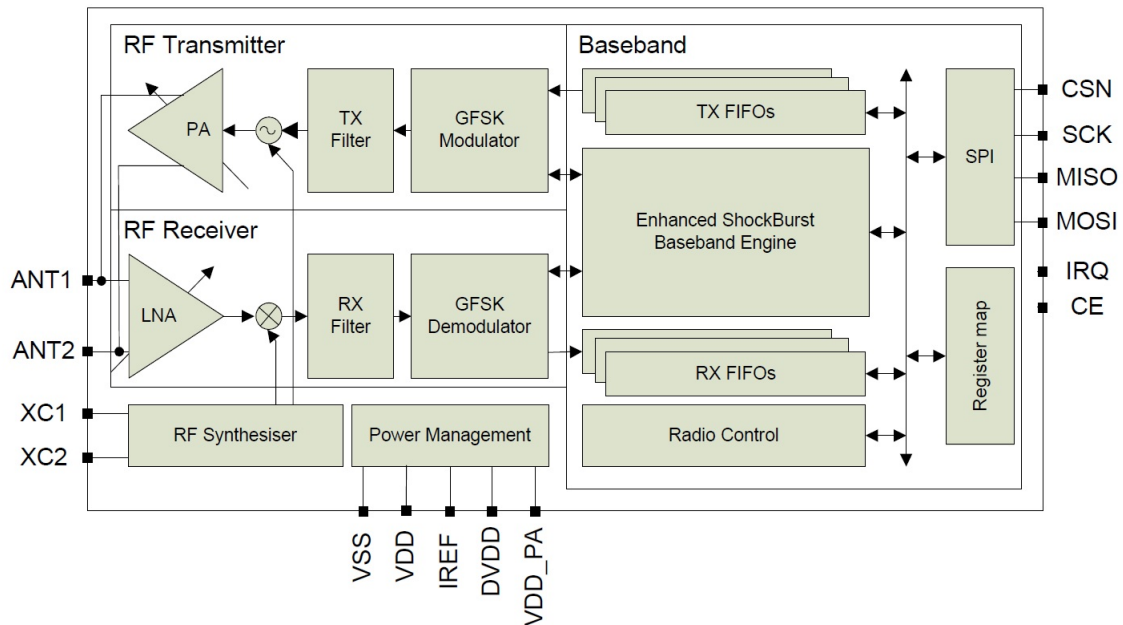


Figura 5.1: Diagrama de blocos do NRF24L01+ [3]

O bloco *Radio Control* contém uma máquina de estados que controla as transições entre os vários modos de operação do módulo. A máquina de estados tem como entradas os *bits PWR_UP* e *PRIM_RX* do registo *CONFIG*, o estado das *FIFOS* e o sinal *CE*. Na Figura 5.2 encontra-se ilustrada a máquina de estados interna da qual se evidenciam os seguintes estados:

- *Power Down Mode* - Este é o estado de menor consumo. Neste modo são mantidas as configurações efetuadas e é possível efetuar alterações aos registos de configuração via *SPI*;
- *Standby-1* - Neste estado algumas parte do relógio são mantidas ativas para minimizar o tempo de alteração para os estado *RX Mode* e *TX Mode*, mas mantendo um consumo menor que nestes estados. Este é o estado que permite realizar operações sobre as *FIFOS* com menor consumo;
- *RX Mode* - Neste estado o módulo encontra-se em receção ativa, ou seja, está constantemente a desmodular o sinal recebido à procura de um pacote válido. Se encontrar um pacote válido (com o endereço e código *CRC* corretos) coloca a sua *payload* na *RXFIFO* e sinaliza a receção através do sinal *IRQ*;
- *TX Mode* - Neste modo o módulo encontra-se em transmissão ativa, ou seja, verifica se tem conteúdo na *TXFIFO*. Caso tenha, envia uma posição da mesma para o canal de transmissão. Após o envio se o pino *CE* ainda se encontrar no estado *high*, volta a verificar se tem mais informação para enviar, caso tenha, repete o processo, e continua assim até que a *TXFIFO* se encontre vazia, ou o pino *CE* seja alterado de estado.

A interação com os registos internos e as *FIFOS* é realizada através de operações *SPI*. As operações consistem no envio de um comando, seguido da respetiva leitura ou escrita do registo pretendido. De seguida, são enunciados os comandos mais relevantes para a implementação do *device-driver*:

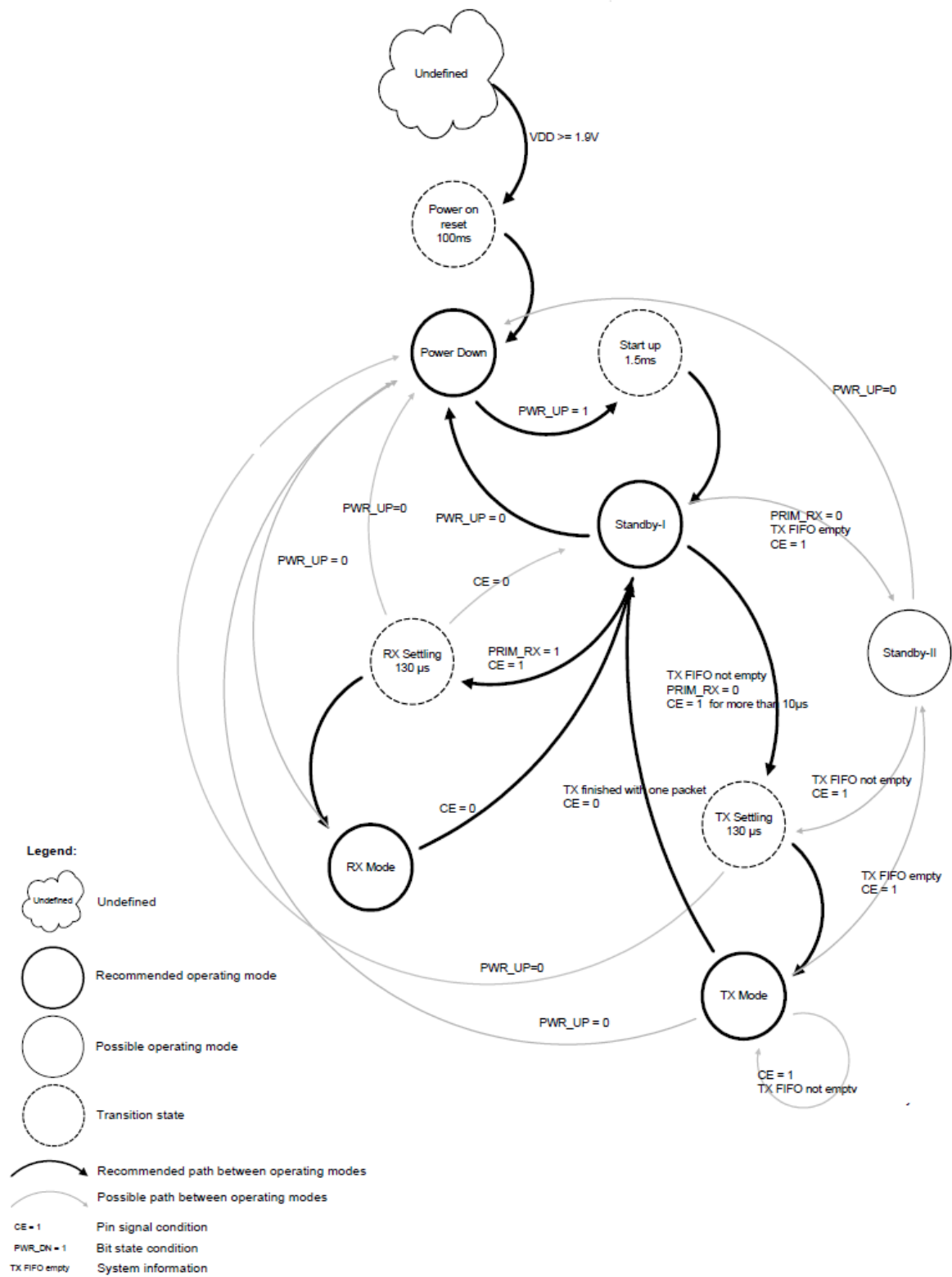


Figura 5.2: Máquina de estados[3]

- $R_REGISTER$ - Comando usado para ler um registo. Este comando é composto por 8 bits divididos em "000AAAAA", onde "AAAAA" é o endereço do registo que se pretende ler e "000"

indica que é uma operação de leitura;

- *W_REGISTER* - Comando usado para escrever num registo, este comando é composto por 8 bits divididos em "001AAAA", onde "AAAA" é o endereço do registo que se pretende escrever e "001" indica que é uma operação de escrita;
- *R_RX_PAYLOAD* - Comando usado para ler da *RXFIFO*;
- *W_TX_PAYLOAD* - Comando usado para escrever na *TXFIFO*;
- NOP - Comando usado para sinalizar que não se pretende efetuar qualquer operação. Dado que módulo RF responde sempre com o conteúdo do status ao primeiro byte de qualquer operação, este comando pode ser usado para ler o *STATUS* através de uma operação SPI de um único byte, e deve ser usado para enviar como *dummy* byte em operações de leitura.

Na Figuras 5.3 e 5.4 encontram-se ilustradas as operações de leitura e de escrita, onde C_n representa os bits do comando, S_n representa os bits do registo *STATUS* e D_n representa bits de dados.

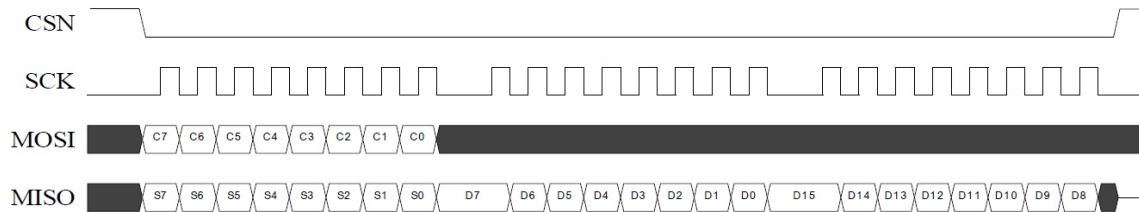


Figura 5.3: Operação de leitura[3]

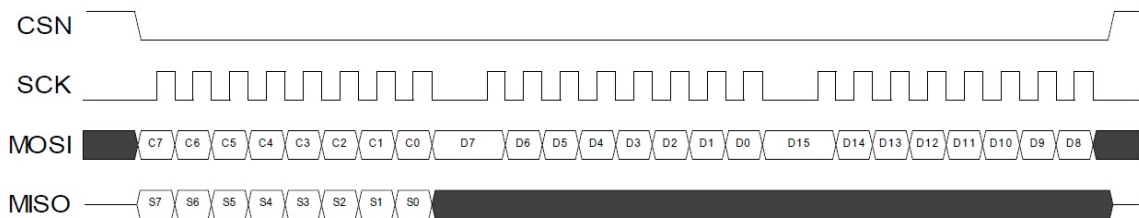


Figura 5.4: Operação de escrita[3]

O bloco *Enhanced ShockBurst Baseband Engine* é o responsável pela gestão do protocolo de banda base o ShockBurstTM. Este protocolo é baseado em troca de pacotes, os quais apresentam o formato ilustrado na Figura 5.5, e contêm os seguintes campos:



Figura 5.5: Pacote de comunicação no módulo ShockBurstTM [3]

Preamble : sequência de oito bits alternados que é usada para sincronização e para detetar os patamares correspondentes aos níveis lógicos '0' e '1';

Address : endereço do recetor. Este é o campo que o recetor valida para verificar se o pacote se destina a ele. O campo *Address* pode ser configurado para tamanhos de 3, 4 ou 5 bytes;

Payload : campo onde se encontra a informação que se pretende efetivamente transmitir. Este campo pode ser configurado com tamanho entre 1 e 32 bytes;

CRC : é um mecanismo de deteção de erros no pacote. Pode ter 1 ou 2 bytes de tamanho e é calculado com base nos campos *Address* e *Payload*.

Os campos *Address*, *CRC* e o tamanho da *Payload* são configuráveis através de comandos SPI. Para que se efetuem trocas de pacotes entre os módulos RF estes devem ter as mesmas configurações relativamente ao tamanho da *Payload* e do *CRC*, devendo também ter os campos de *Address* corretamente configurados.

O envio de um pacote é realizado através da sequência ilustrada na Figura 5.6.

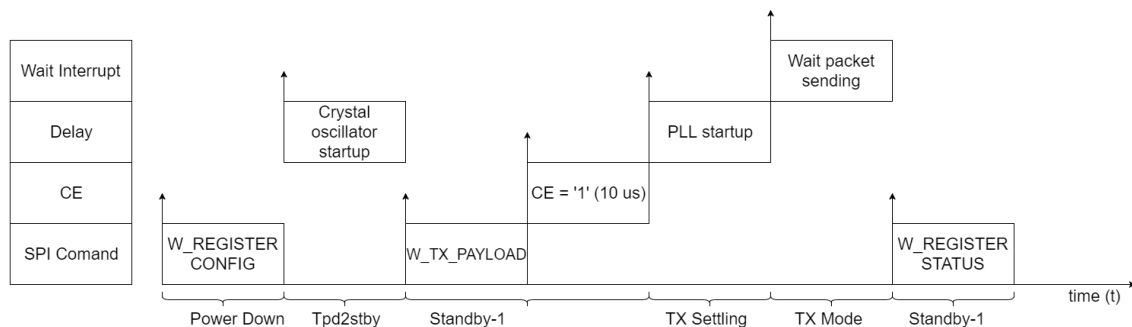


Figura 5.6: Procedimento para o envio de um pacote

O primeiro passo é realizar o comando SPI *W_REGISTER* para registo *CONFIG* por forma a passar para o estado *Standby-1* com o bit *PRIM_RX* = '0' (modo de transmissão). A transição entre estes dois estados implica a passagem pelo estado de transição *Tpd2stby* para realizar a inicialização do oscilador, pelo que, é necessário a introdução do atraso *Crystal oscillator startup*. Logo após o *delay* é realizado o comando SPI *W_TX_PAYLOAD* para colocar o conteúdo que se deseja enviar no pacote na *TXFIFO*. Após a escrita, é necessário sinalizar a intenção de enviar o pacote. Para esse efeito tem que se alterar o pino CE para o estado 'HIGH' por um período mínimo de 10 μ s. Após esse intervalo o módulo passa para o estado transitório *TX_Setting* onde sincroniza a PLL (Phase Locked Loop) para começar a gerar a portadora. Após a sincronização o pacote é enviado para o canal de transmissão, sendo o fim desta operação sinalizado no pino IRQ. Após o fim do envio é necessário realizar o *reset* da *Interrupt flag* através da escrita no registo *STATUS*.

A **recepção** de um pacote é realizado através da seguinte sequência ilustrada na Figura 5.7.

O primeiro procedimento é o envio do comando SPI *W_REGISTER* para registo *CONFIG* por forma a passar para o estado *Standby-1* com o bit *PRIM_RX* = '1' (modo de recepção). A transição entre estes dois estados implica a passagem pelo estado *Tpd2stby* pelo que é necessário o atraso *Crystal oscillator startup*. Após o atraso altera-se o estado do pino CE para '1' para passar para o estado *RX Mode*. Contudo, esta passagem implica a passagem pelo estado transitório *RX Settling* onde é

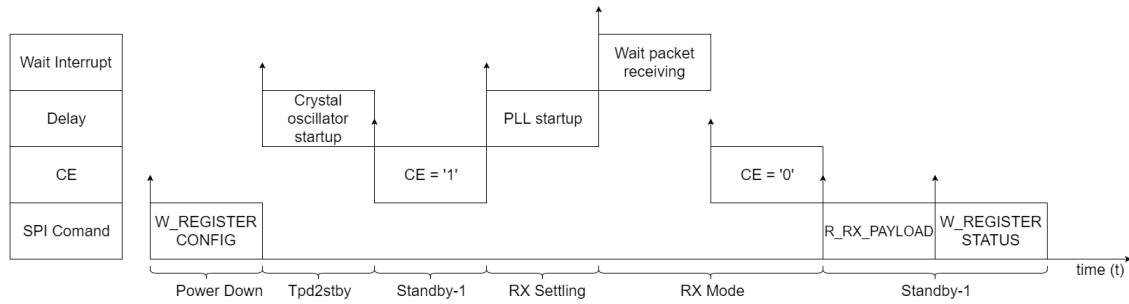


Figura 5.7: Procedimento para a receção de um pacote

sincronizada a PLL. Após a sincronização da PLL, o módulo começa a desmodular qualquer sinal recebido à procura de um pacote com endereço e CRC válidos. Quando tal acontece coloca o mesmo na *TXFIFO* e sinaliza a receção no pino *IRQ*. Aquando da sinalização, para economizar energia, deve alterar-se o estado do pino *CE* para '0' para voltar ao estado *Standby-1*, onde se procede ao comando *R_RX_PAYLOAD* para ler os dados que chegaram. Por fim realiza-se o comando *W_REGISTER* para registo *STATUS* para limpar a *flag* da interrupção.

5.2 Acelerómetro

O módulo *ADXL335* tem uma estrutura como a ilustrada no diagrama de blocos da Figura 5.8. Para permitir ligar e desligar o módulo a partir de um pino digital do microcontrolador foi adicionado um *MOSFET*. O pino *ST* que serve para realizar o *selftest* do *ADXL335*. Quando se coloca este pino no estado "high" este realiza uma variação do sinal de saída em todos os eixos, para que se possa verificar se o módulo se encontra a funcionar corretamente. As saídas X_{out} , Y_{out} e Z_{out} fornecem sinais analógicos que são lidos através da *ADC* do microcontrolador. Os condensadores C_x , C_y e C_z servem para definir a largura de banda.

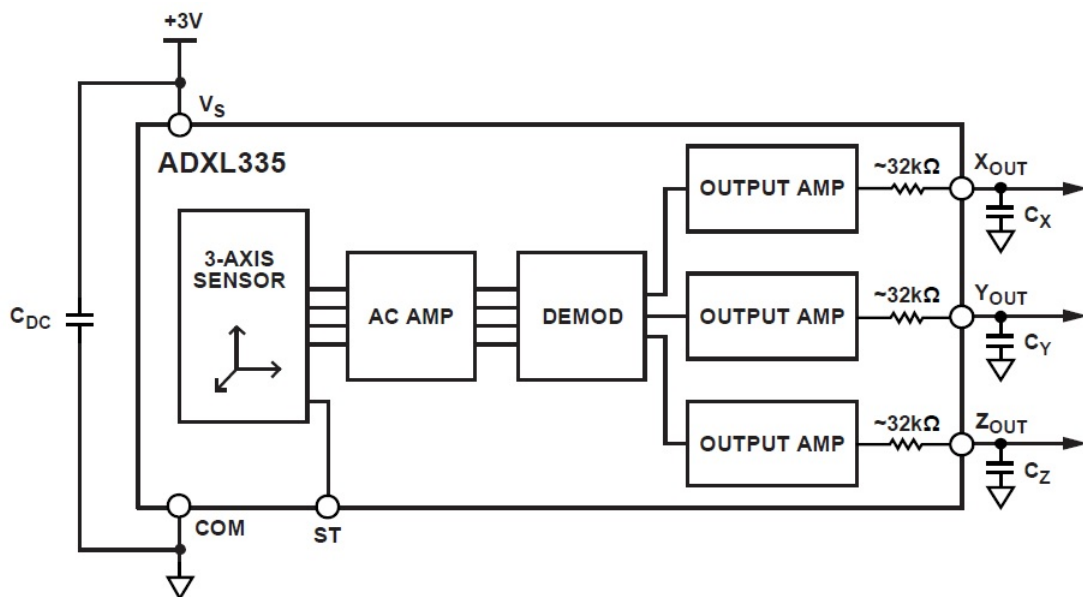


Figura 5.8: Diagrama de blocos do *ADXL335* [4]

O sistema tem com função a detecção de roubo. O transporte de uma colmeia de abelhas, devido ao seu peso, dimensão e características típicas do terreno onde costuma estar instaladas, é um processo com uma duração da ordem dos minutos, pelo que se definiu que a detecção de movimento é realizada a cada 30 segundos, por um período de 1.9 segundos. O módulo já contém os condensadores C_x , C_y e C_z soldados na PCB, ficando assim este com uma largura de banda de 50 Hz em todas as saídas. Por forma a evitar *aliasing* definiu-se uma frequência de amostragem de 200 Hz. Se durante a leitura forem registadas mais que um determinado número de leituras que demonstrem que a colmeia está a ser mexida é alterado o estado da *flag* que assinala potencial de roubo.

5.3 Leitura do estado de carga da bateria

A leitura do estado de carga da bateria é feita com recurso ao circuito ilustrado na Figura 4.9 no capítulo 4. Este circuito tem uma saída analógica em tensão que é lida com recurso a um canal do ADC do microcontrolador.

Para a leitura da tensão aos terminais da bateria é realizado um número predefinido de leituras à frequência de 100 Hz, sendo retirados o maior e menor valor lidos e calculada a média.

Após a leitura do valor, este é passado para o equivalente valor da tensão em circuito aberto através da Fórmula 5.1.

$$V_{OCV} = \frac{V_l}{G_{ad}} + V_{Dref} + (I_{aprox} * R_{bat}) \quad (5.1)$$

Onde V_{OCV} é a tensão aos terminais da bateria, V_l é a tensão lida na ADC, G_{ad} é o ganho do amplificador diferença, V_{Dref} é a queda de tensão no diodo de referência, I_{aprox} é uma aproximação da corrente consumida durante a amostragem e R_{bat} é o valor da resistência interna da bateria.

Relacionando o valor calculado (V_{OCV}) com a aproximação de primeira ordem da curva de descarga ilustrada na Figura 4.7a, é possível obter uma estimativa do estado de carga da bateria através da Fórmula 5.2.

$$SoC = \frac{V_{OCV} - b}{m} = \frac{V_{OCV} - 3.45}{0.75} \quad (5.2)$$

Onde SoC é o estado de carga da bateria, b é a intersecção da reta com a origem, e m é o declive da reta.

Capítulo 6

Software

Neste capítulo começa-se por introduzir o protocolo de comunicação usado para a comunicação local, o variante do TDMA. A seguir explica-se o funcionamento do módulo principal e do secundário.

6.1 Variante do TDMA

A sigla TDMA quer dizer Acesso Múltiplo por Divisão no Tempo. O TDMA é um método que permite que vários nós transmissores se conectem a um recetor ao dividir temporalmente o acesso ao canal de transmissão. O tempo é dividido em ciclos de duração finita, que por sua vez, são divididos em *slots*. A cada nó é atribuído um ou mais *slots*, correspondendo esses ao tempo em que o respetivo nó pode transmitir. Após ter esgotado os *slots* que lhe foram atribuídos, o nó tem que esperar pelos seus *slots* no próximo ciclo para que possa continuar a transmitir dados. Este método permite assim gerir a divisão dos recursos do canal entre os nós e uma comunicação livre de colisões, ao assegurar que não há dois nós a transmitir em simultâneo [42].

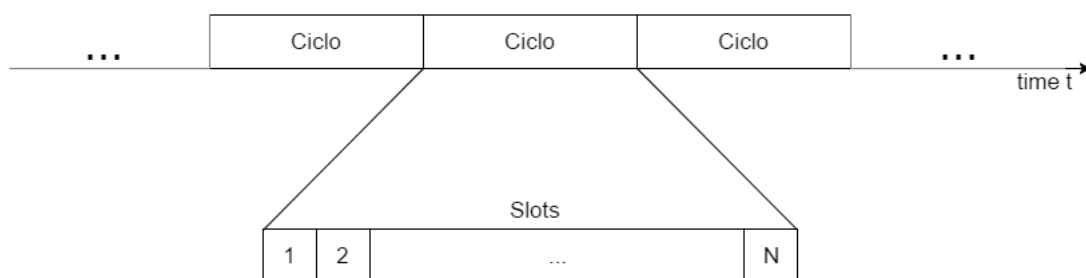


Figura 6.1: Divisão temporal do canal

O método usado para realizar a comunicação RF entre o módulo principal e os módulos secundários é uma variante do TDMA. Nesta variante procura-se manter as características que tornam o TDMA um método livre de colisões. Esta variante tem uma arquitetura *Master-Slave*. O módulo principal é o *Master* e comunica com vários *Slave*. Os módulos secundários são os *Slave* e comunicam apenas com o *Master*, não comunicam entre si.

À semelhança do TDMA consiste na divisão temporal do canal, em ciclos de duração finita como ilustrado na Figura 6.2. Os ciclos, contudo, não são completamente preenchidos com *slots*, sendo divididos em dois intervalos de comunicação um no início e outro a meio. Cada um destes intervalos

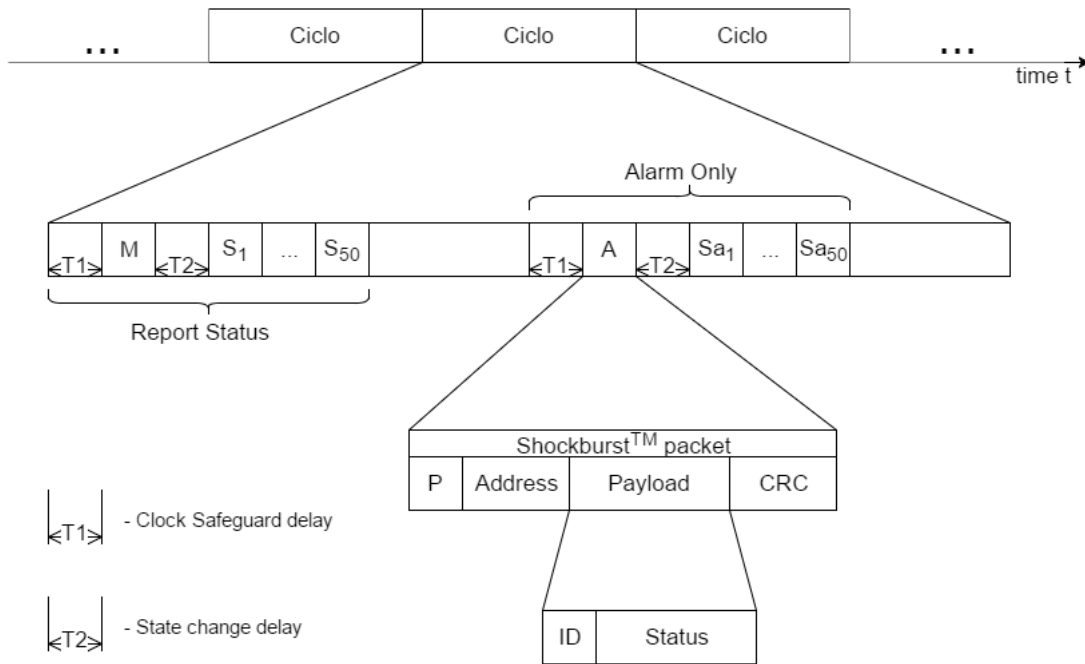


Figura 6.2: Estrutura do ciclo da variante do TDMA

contêm um máximo de 51 *slots*, um para o nó *master* e um para cada nó *slave*. Fora destes intervalos nenhum nó coloca informação no canal. Em cada um destes *slots* efetua-se a troca de um pacote ShockBurst™. No campo *Payload* do pacote vai o ID do dispositivo que o enviou, e o *Status* que contém informação relativa ao estado de carga da bateria e se este detetou movimento.

O intervalo de comunicação *Report Status* é de carácter obrigatório devendo todos os *slaves* responder no *slot* destinado. No intervalo *Alarm Only* apenas devem responder os *slaves* que tenham alarmes a reportar. Assim, através do primeiro intervalo é possível detetar se algum nó deixou de responder, o segundo intervalo permite reduzir a latência entre a deteção de um alarme e a comunicação do mesmo ao apicultor, sem que isso implique um aumento de consumo energético nos *slaves* em funcionamento normal (sem alarmes a reportar), pois apenas estarão acordados os que necessitarem.

Na Figura 6.3 encontra-se ilustrada a sequência de operações realizada desde o início da frame até ao fim do *slot* M.

O atraso *Clock Safeguard delay* serve para mitigar o problema das variações dos osciladores. Estas variações podem gerar situações em que o *master* transmite o pacote dos *slots* M ou A antes dos *slaves* estarem prontos a realizar a sua receção. Assim, quando o *master* acorda espera a duração do atraso antes de enviar informação para o canal. Por sua vez, os *slaves* assim que acordam colocam-se logo à escuta do canal.

O *slot* M serve para o *master* enviar um pacote em *broadcast*, que permite que os nós *slaves* realizem um *reset* do relógio sincronizando-se com o *master* no início de cada frame. A realização do *reset* permite que não se acumulem diferenças na contagem do tempo devido às variações do oscilador por durações maiores que um ciclo. A duração do atraso *Clock Safeguard delay* pode ser obtida a partir da fórmula $t = t_d * m_d * 2$, onde t_d é o tempo decorrido a partir do último instante de sincronização e m_d é o máximo desvio do oscilador. Deve-se considerar este valor a dobrar para que contemple a situação em que *master* se adianta e o *slave* se atrasa ou vice-versa.

Na Figura 6.4 encontram-se ilustradas as operações a realizar durante o atraso *State change delay*.

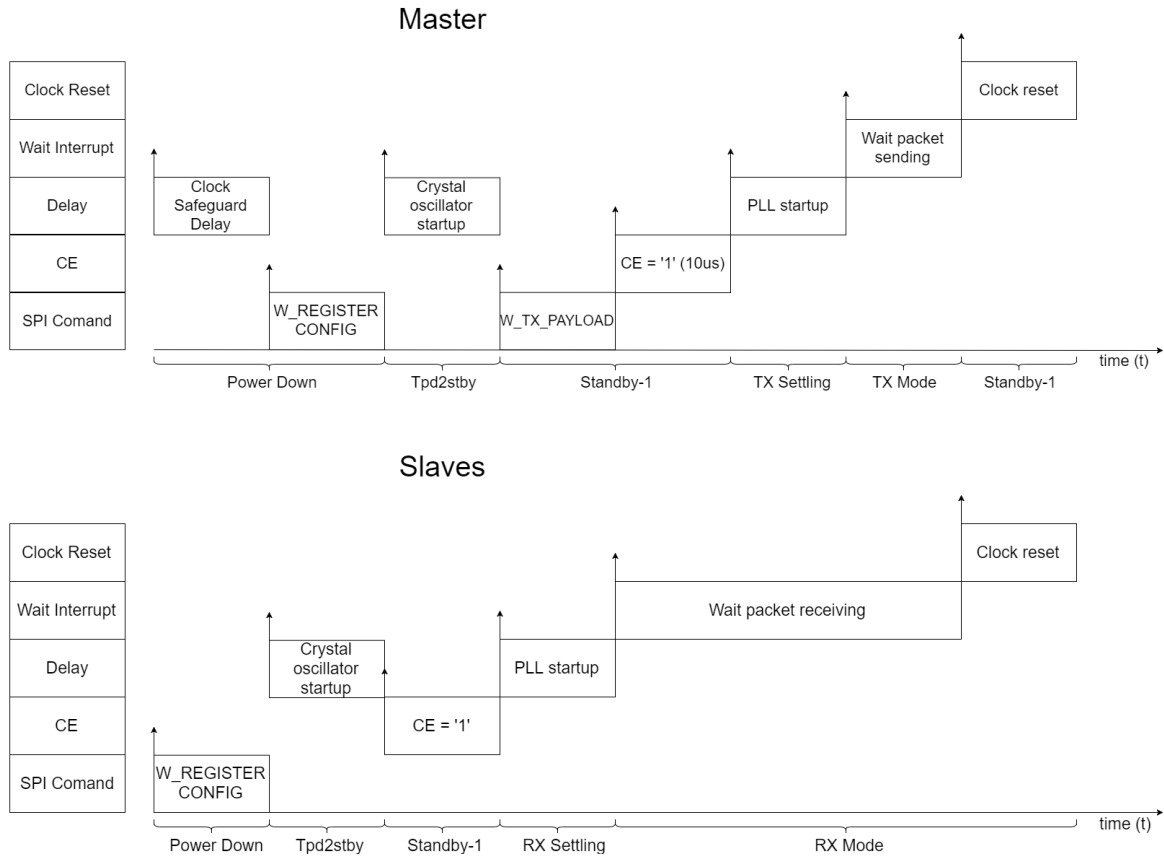


Figura 6.3: Sequência de operações até ao fim do *slot M*

Durante este atraso os *slaves* leem a *payload* da *RX_FIFO*, realizam as configurações necessárias para passar para o modo de transmissão e escrevem a mensagem a enviar na *TX_FIFO*. O *master* espera um tempo determinado (*Slave read delay*) antes de realizar as alterações necessária para começar a escutar o canal no início do *slot S₁*. O atraso é aqui inserido para que o módulo RF não esteja em modo de receção ativa (*TX Mode*) mais tempo que o necessário.

Na Figura 6.5 encontram-se os procedimentos realizados pelo *master* para a receção dos pacotes nos *slots S_n*.

O *master* é mantido sempre em modo de receção ativo, pois assim não é necessário estar à espera da sincronização da PLL em cada *slot* permitindo assim, que estes tenham uma duração inferior. O *master* pára de escutar o canal assim que recebe o pacote do último *slave*, ou o tempo do intervalo de comunicação termine. No fim do intervalo, coloca-se o módulo RF no estado de menor consumo (*Power Down*), através da alteração do registo *CONFIG*.

Na Figura 6.6 encontra-se o procedimento realizado pelos *slaves* para o envio do pacote no respetivo *slot S_n*.

Os *slaves* esperam o tempo necessário até ao início do *slot* que lhes corresponde (*Wait slot*), depois procedem com o envio do pacote. Assim que terminam de o enviar, limpam a *flag* e alteram o seu estado para *Power Down*.

No intervalo *Alarm Only* as comunicações acontecem de forma semelhante, com a diferença que no *slot A* o *master* não realiza o *reset* do relógio. Os *slaves* que tenham alarmes a reportar seguem os mesmos procedimentos que no intervalo *Report Status*.

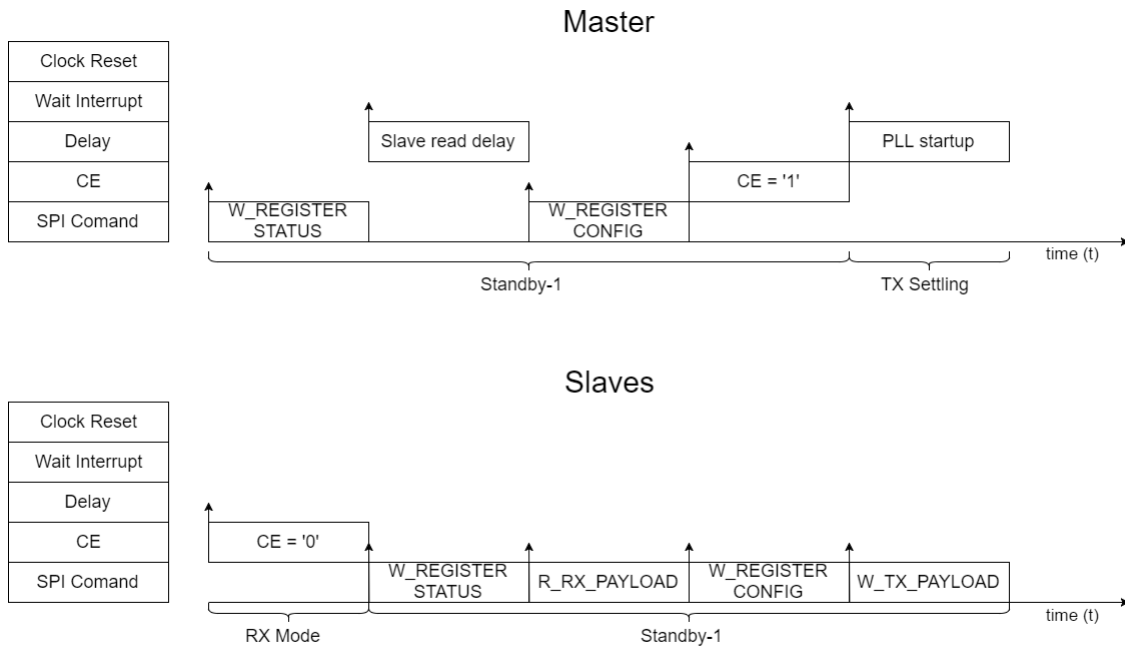


Figura 6.4: Operações a realizar durante o atraso *State change delay*

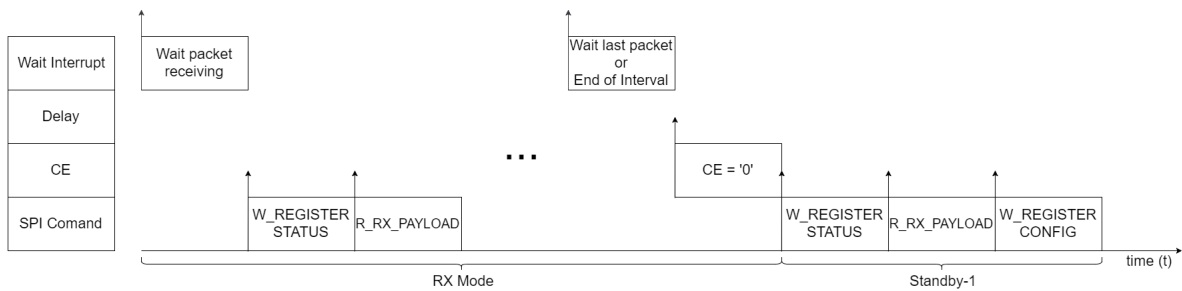


Figura 6.5: Procedimento a realizar para a receção nos *slots Sn* por parte do *master*

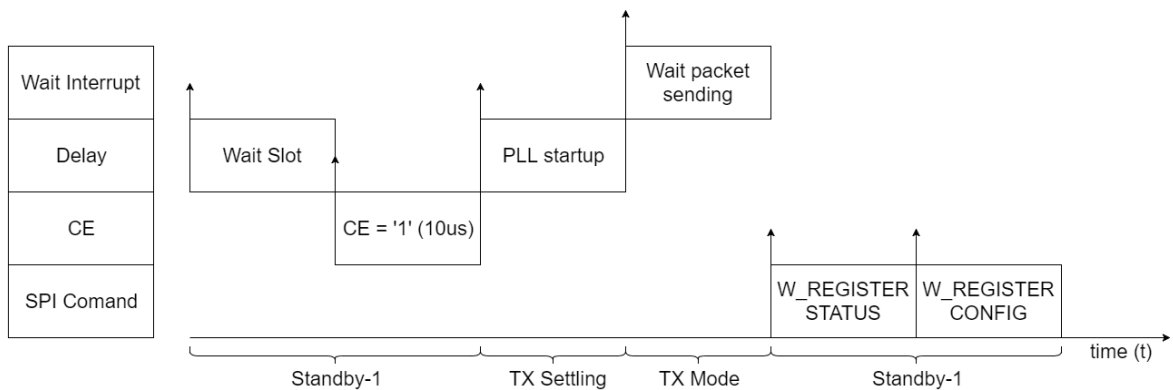


Figura 6.6: Procedimento a realizar pelos slaves para o envio no *slot S* correspondente

Este método para realizar as comunicações entre o módulo principal e os módulos secundários torna os instantes de comunicação previsíveis, permitindo que no restante tempo os módulos RF possam

estar hibernados, por forma a reduzir o consumo energético.

6.2 Funcionamento do módulo secundário

O funcionamento do módulo secundário segue o fluxograma ilustrado na Figura 6.7.

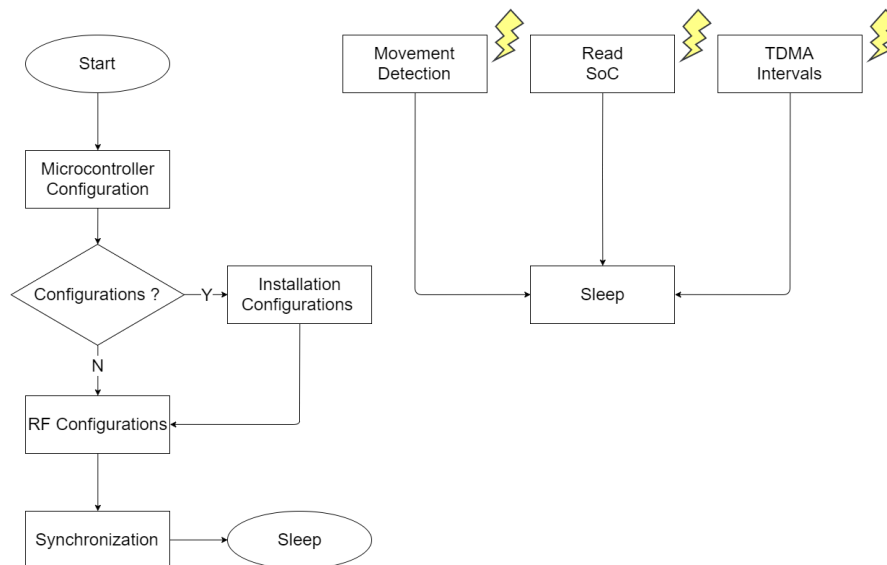


Figura 6.7: Fluxograma representativo do funcionamento do módulo secundário

Assim que o módulo secundário é ligado realiza as configurações do microcontrolador (*Microcontroller Configurations*), onde são configurados os parâmetros tais como: a frequência do relógio principal, o módulo SPI, o módulo *Universal asynchronous receiver/transmitter* (UART), o módulo ADC e os portos digitais e analógicos correspondentes.

Após as configurações do microcontrolador é enviada uma mensagem através do UART. Se o utilizador responder a esta mensagem, o módulo envia um menu de configurações. Caso a mensagem não seja respondida num intervalo de tempo predeterminado, o módulo passa para o bloco *RF Configurations*.

Através do menu de configurações (*Installation Configurations*) o sistema permite que o utilizador realize alterações aos dados de configuração que se encontram na memória *flash* do microcontrolador, realizar testes ao acelerómetro e testar a comunicação com o módulo principal. O menu é enviado via UART e o utilizador deve enviar o respetivo número da entrada para selecionar essa opção. O menu tem a estrutura que se segue:

- **0 - ID** - esta opção permite alterar o valor do campo identificação (1 a 50) do módulo secundário. Este número deve ser único a cada módulo secundário que se encontre ligado ao mesmo módulo principal;
- **1 - Address** - esta opção permite alterar os valores dos campos dos endereços de envio e receção a usar pelo módulo RF;
- **2 - Channel** - esta opção permite alterar o valor do campo frequência do canal de comunicação. O módulo RF dispõe de 126 frequências espaçadas de 1 MHz entre elas, na banda 2.4 GHz a 2.525 GHz;

- **3 - *Conection Test*** - quando se escolhe esta opção, são carregadas as configurações que se encontram na memória *flash* para o módulo RF, e é realizada a troca de mensagens com o módulo principal. Após serem enviados um determinado número de mensagens, é avaliado quantas foram respondidas;
- **4 - *Accelerometer test*** - esta opção realiza um teste ao acelerómetro e tara os valores para todos os canais (X,Y e Z);
- **5 - *Quit*** - esta opção permite que se abandone o menu de configurações.

No bloco Configurar RF o módulo carrega as configurações presentes na memória *flash* para o módulo RF.

Após configurado o módulo RF, o sistema fica a escuta do canal de comunicação até receber uma mensagem de início de ciclo, ficando assim sincronizado.

Após estar sincronizado com o módulo principal, o funcionamento pode ser descrito como a realização de três tarefas concorrentes:

- ***Movement Detection*** - nesta tarefa o módulo realiza a aquisição de dados através do acelerómetro da maneira enunciada na secção 5.2. Caso se verifique que a colmeia está a ser mexida altera a *flag* por forma a que seja reportado ao módulo principal no próximo intervalo de comunicação. Esta tarefa é realizada quatro vezes na duração de um ciclo;
- ***Read SoC*** - Nesta tarefa realiza-se a estimativa do estado de carga da bateria da maneira descrita na secção 5.3. Após realizada a estimativa, atualiza o valor no campo correspondente. Contudo, esta tarefa não realiza efetivamente a leitura em todas as ativações, mas sim, a cada número predeterminado de ativações, pois o estado de carga é uma grandeza que altera lentamente quando comparado com a duração de uma *frame*.
- ***TDMA Intervals*** - Esta tarefa é a execução das comunicações nos intervalos do TDMA.

Sempre que os módulos não têm tarefas a executar, hiberna por forma a economizar energia (*Sleep*).

A tarefa *Movement Detection* é realizada de forma periódica e colocada de maneira a que uma das execuções aconteça o mais próximo possível de um intervalo de comunicação, como se encontra ilustrado na Figura 6.8.

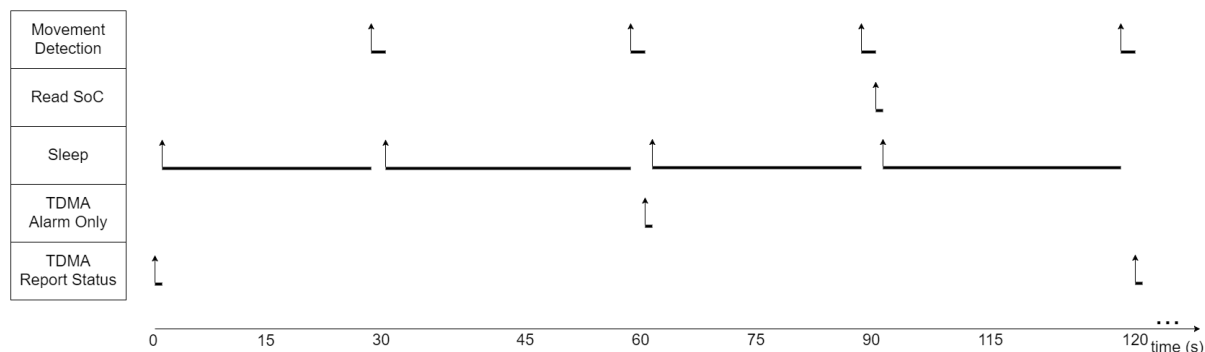


Figura 6.8: Escalonamento das tarefas concorrente no módulo secundário

Assim, todas as tarefas e comunicações ocorrem em instantes previsíveis, permitindo maximizar os intervalos em que o módulo se encontra hibernado.

6.3 Funcionamento do módulo principal

O funcionamento do módulo principal segue o diagrama de fluxo ilustrado na Figura 6.9.

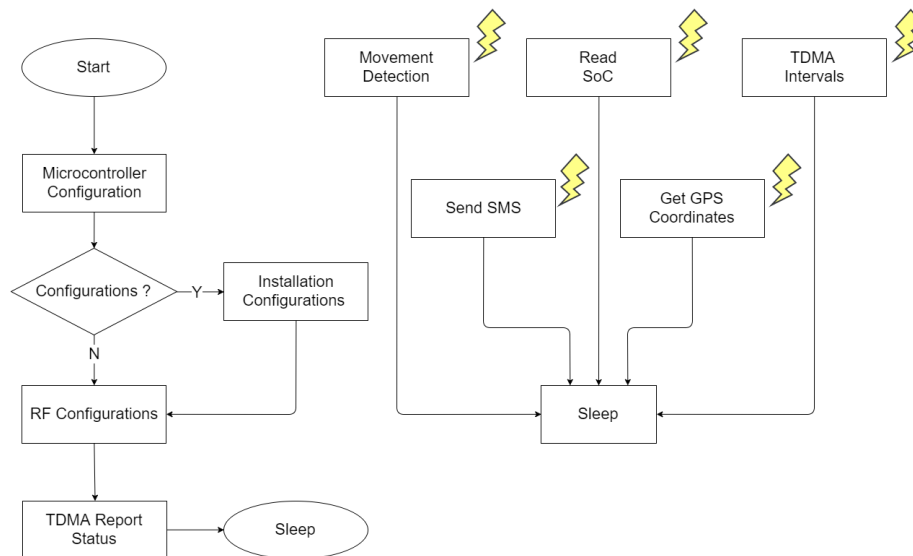


Figura 6.9: Fluxograma representativo do funcionamento do módulo principal

O módulo principal inicia de maneira semelhante ao módulo secundário. Assim que é ligado efetua a configuração do microcontrolador (*Microcontroller Configuration*) e envia uma mensagem via UART para que o utilizador possa ter acesso ao menu de configurações.

O menu de configurações no módulo principal contém as seguintes entradas:

- **0 - *N Slaves*** - esta opção permite alterar o valor do campo *N_Slaves*, que define o número de módulos secundários que vão estar ligados ao módulo principal (entre 0 a 50).
- **1 - *Address*** - esta opção permite alterar os valores dos campos dos endereços de envio e receção a usar pelo módulo RF;
- **2 - *Channel*** - esta opção permite alterar o valor do campo frequência do canal de comunicação;
- **3 - *Connection Test*** - nesta opção são carregadas as configurações que se encontram na memória *flash* para o módulo RF, e coloca-se o mesmo em escuta no canal. Sempre que recebe uma mensagem, responde a esta com uma mensagem com o mesmo *payload*;
- **4 - *Accelerometer test*** - esta opção realiza um teste ao acelerómetro e tara os valores para todos os canais (X, Y e Z);
- **5 - *Phone number*** - esta opção permite alterar o número para o qual são enviadas as SMS;
- **6 - *Quit*** - esta opção permite que se abandone o menu de configurações.

Após sair do menu ou se não se entrar no mesmo, são carregadas a configurações que se encontram na memória *flash* para o módulo RF (*RF Configurations*).

Após configurar o módulo RF, o funcionamento pode ser descrito como um conjunto de cinco tarefas concorrentes:

- *Movement Detection* - nesta tarefa o módulo realiza a aquisição de dados através do acelerómetro da maneira enunciada na secção 5.2. Caso se verifique que a colmeia está a ser mexida altera a *flag* correspondente e inicializa o módulo GPS para que esteja disponível para a aquisição das coordenadas na próxima *frame*;
- *Read SoC* - nesta tarefa realiza-se a estimativa do estado de carga da bateria da maneira descrita na secção 5.3. Após realizada a estimativa, atualiza o valor no campo correspondente. Esta tarefa não realiza efetivamente a leitura em todas as ativações, mas sim, a cada número predeterminado de ativações.
- *TDMA Intervals* - esta tarefa é a execução das comunicações nos intervalos do TDMA.
- *Send SMS* - esta tarefa verifica se existem alarmes a reportar ao apicultor ou se é para enviar a localização. Se se verificar algumas das condições anteriores, envia uma SMS ao apicultor com a informação;
- *Get GPS Coordinates* - esta tarefa verifica se o módulo está em modo de rastreio (módulo GPS ligado e pronto a adquirir dados). Caso esteja, realiza a aquisição da geolocalização através do módulo GPS, para que sejam enviados os dados na próxima SMS enviada ao apicultor.

Quando não existem tarefas a realizar o módulo hiberna por forma a poupar energia (*Sleep*).

As tarefas são escalonadas segundo o exemplo ilustrado na Figura 6.10

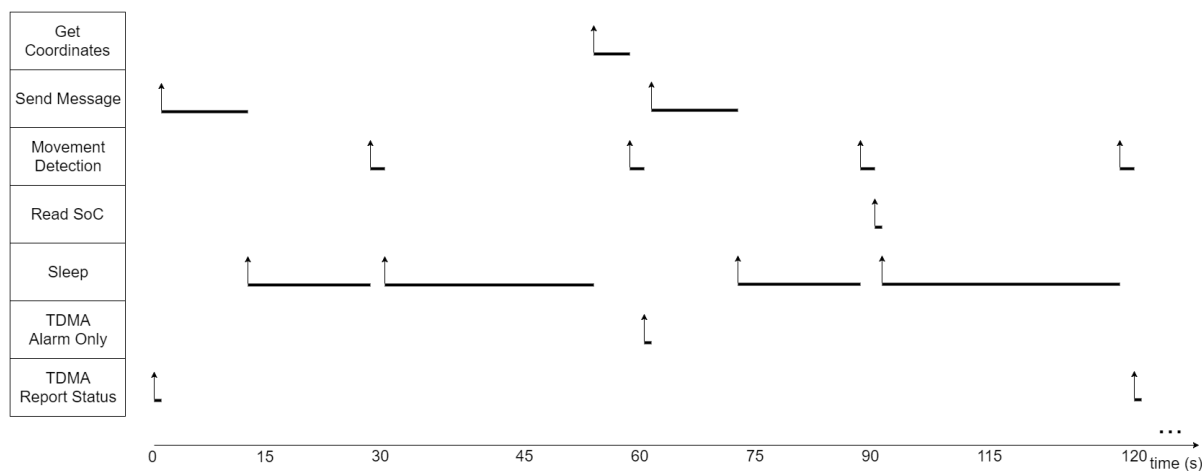


Figura 6.10: Escalonamento das tarefas concorrentes no módulo principal

Através deste escalonamento procura-se, tal como no módulo secundário, que a deteção de roubo seja realizada de forma periódica, e no instante que fique o mais próximo possível da altura em que se realizam as comunicações. O envio de SMS é escalonado logo a seguir a realizar a comunicação com o módulos secundários, para reduzir a latência entre a receção de alarmes destes, e o envio para o apicultor. À semelhança do módulo secundário este escalonamento torna os instantes em que existem tarefas a executar previsíveis, possibilitando que o módulo seja hibernado no restante tempo.

Capítulo 7

Validações experimentais

Neste capítulo, reportam-se os resultados dos testes efetuados aos subsistemas desenvolvidos. Os subsistemas testados foram os seguintes:

- Acelerómetro - testes reportados na Secção 7.1.
- Módulo RF - testes reportados na Secção 7.2.
- TDMA - testes reportados na Secção 7.3
- Consumo energético - previsão para o consumo energético na Secção 7.4

7.1 Testes realizados ao acelerómetro

O sistema deve ser capaz de realizar a deteção da movimentação das colmeias com a menor ocorrência de falsos positivos possível. Para tal é necessário caracterizar o acelerómetro. Por forma a obter uma caracterização do acelerómetro realizaram-se os seguintes testes:

- Acelerómetro pousado de maneira a que o eixo ZZ se encontre ortogonal com a gravidade: aceleração de 1 g na Figura 7.1a e aceleração de -1 g na Figura 7.1b
- Acelerómetro pousado de maneira a que o eixo XX se encontre ortogonal com a gravidade: aceleração de 1 g na Figura 7.2a e aceleração de -1 g na Figura 7.2b
- Acelerómetro pousado de maneira a que o eixo YY se encontre ortogonal com a gravidade: aceleração de 1 g na Figura 7.3a e aceleração de -1 g na Figura 7.3b

Os testes foram realizados com as seguintes configurações: tensão de alimentação do acelerómetro 2.5 V; tensão de alimentação do microcontrolador 3.3 V; largura de banda X_{out} , Y_{out} e Z_{out} de 50 Hz; frequência de amostragem do conversor analógico-digital (ADC) 200 Hz; *baudrate* do UART 115200.

Na Tabela 7.1 encontram-se os valores de tensão máximos e mínimos lidos para cada saída, em cada experiência. Na Tabela 7.2 encontra-se a média e a variação de pico a pico dos valores em tensão lidos para cada saída, em cada experiência.

A partir dos dados recolhidos com estas experiências, determinou-se a variação em tensão que representa uma diferença de 1g sobre cada eixo. Contudo, durante a execução das experiências, devido

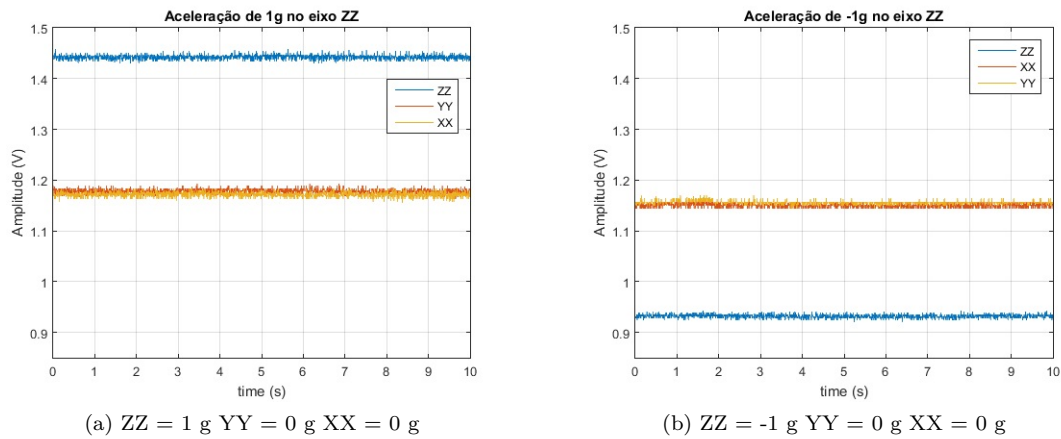


Figura 7.1: Aceração da gravidade segundo eixo ZZ

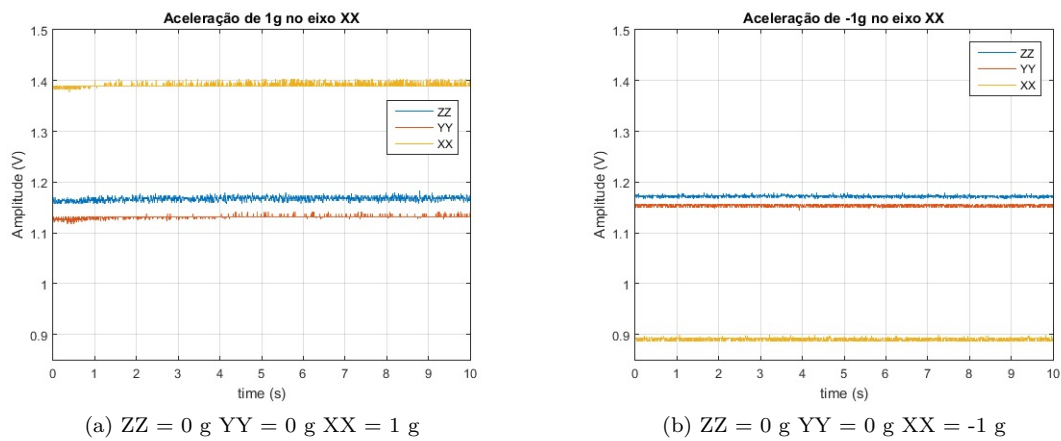


Figura 7.2: Aceração da gravidade segundo eixo XX

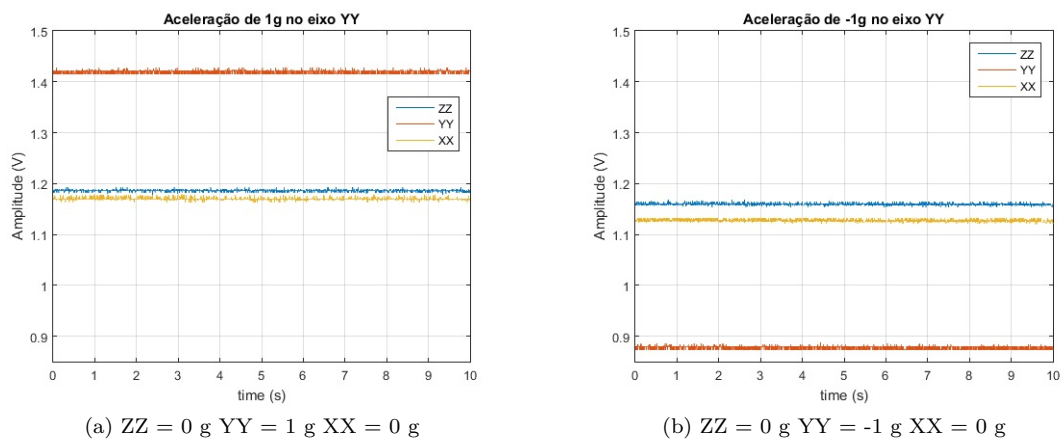


Figura 7.3: Aceração da gravidade segundo eixo YY

ao circuito estar implementado em placa branca, não havia possibilidade de garantir que os eixos estivessem perfeitamente ortogonais em relação à força da gravidade. Como tal, foram consideradas

Tabela 7.1: Valores máximos e mínimos medidos para cada saída

Teste	Max ZZ (V)	Max YY (V)	Max XX (V)	Min ZZ (V)	Min YY(V)	Min XX(V)
ZZ = 1g	1.457	1.192	1.183	1.431	1.163	1.157
ZZ = -1g	0.941	1.157	1.170	0.0922	1.144	1.144
YY = 1g	1.183	1.141	1.402	1.157	1.118	1.376
YY = -1g	1.180	1.157	0.889	1.167	1.144	0.886
XX = 1g	1.192	1.427	1.180	1.180	1.415	1.163
XX = -1g	1.167	0.886	1.131	1.154	0.873	1.118

Tabela 7.2: Média e variação de pico em cada saída

Teste	Média ZZ (V)	Média YY (V)	Média XX (V)	ΔZZ (V)	ΔYY (V)	ΔXX (V)
ZZ = 1g	1.444	1.180	1.173	0.026	0.029	0.026
ZZ = -1g	0.931	1.151	1.157	0.019	0.013	0.022
XX = 1g	1.167	1.131	1.389	0.026	0.023	0.026
XX = -1g	1.173	1.154	0.889	0.013	0.013	0.013
YY = 1g	1.186	1.421	1.170	0.012	0.012	0.017
YY = -1g	1.160	0.880	1.128	0.013	0.013	0.013

apenas as medições em que o equipamento se encontrava pousado na bancada, sem necessidade de apoio extra. Desta maneira consideram-se as seguintes situações para cada eixo:

- **eixo ZZ** - consideram-se as leituras em que se registou a leitura de uma aceleração de 1 g sobre o eixo ZZ (Figura 7.1a), e em que se registou uma leitura de uma aceleração de -1 g sobre o eixo ZZ (Figura 7.1b), obtendo-se para o eixo ZZ uma taxa de variação da tensão de saída de 252 mV/g;
- **eixo XX** - consideram-se as leituras em que se registou uma aceleração de 1 g sobre o eixo dos ZZ (Figura 7.1a), e em que se registou uma aceleração de -1 g sobre o eixo XX (Figura 7.2b), obtendo-se para o eixo XX uma taxa de variação da tensão de saída de 284 mV/g;
- **eixo YY** - consideram-se as leituras em que se registou uma aceleração de 1 g sobre o eixo dos ZZ (Figura 7.1a), e em que se registou uma aceleração de 1g sobre o eixo YY (Figura 7.3a), obtendo-se para o eixo YY uma taxa de variação da tensão de saída de 241m V/g;

Numa instalação do sistema não se vai nivelar a colmeia, logo a deteção de roubo não se baseia em intervalos predefinidos. Assim, durante a instalação, realiza-se a tara do acelerómetro. Caso alguma das saídas apresente uma variação acima do limite predefinido, por um determinado número de amostras consecutivas, é sinalizado que estamos perante uma potencial situação de furto.

Através dos dados recolhidos, verifica-se que o ruído provoca variações máximas pico a pico de 29 mV. Contudo, para minimizar o número de falsos positivos considerou-se que o limite para a sinalização de furto é uma variação de 35 mV.

Este limite representa, para o eixo YY, em que a variação da tensão de saída por g é menor, uma aceleração de 0.145 g, ou, caso este seja o eixo que se encontra ortogonal em relação à força da gravidade, uma inclinação de 8.35°. Para qualquer outro eixo como a variação da tensão de saída por g é maior, logo a sensibilidade é também maior. Apesar de não terem sido realizados testes de campo, esta forma de testes parece ser suficiente.

7.2 Testes realizados ao Módulo RF

Nesta secção reportam-se os resultados de dois conjuntos de testes referentes aos módulos RF. No primeiro teste mediram-se os tempos de pior caso associados a cada uma das operações elementares, enquanto no segundo conjunto de testes se mediu a variação da taxa de erros em função da distância entre os módulos.

7.2.1 Tempos de execução módulo RF pior caso

A realização do protocolo TDMA requer o conhecimento do tempo que as operações elementares a serem realizadas pelo módulo RF implicam. Para tal, foi necessário caracterizar as operações quanto ao pior tempo de execução das mesmas.

Na Tabela 7.3 encontram-se os tempos de execução para o pior caso. Para a medição destes tempos usaram-se as seguintes configurações: a SPI com um sinal de relógio de 250 kHz; o módulo RF com uma velocidade de transferência de 250 kbps, com um endereço de tamanho 3 bytes, CRC de um byte e uma *payload* composta por 4 bytes.

Tabela 7.3: Tempos de execução módulos RF pior caso

Operação	Nº de medições efetuadas	Tempo medido pior caso
W_REGISTER	100	108 μ s
W_TX_PAYLOAD	100	246 μ s
R_RX_PAYLOAD	100	246 μ s
Envio da <i>payload</i>	100	436 μ s

Foram realizadas 100 medições para cada um dos tempos apresentados. Considerou-se que este número de medições era suficiente, pois os tempos medidos foram sempre semelhantes.

Através dos valores obtidos é possível calcular a dimensão que têm que ter o atraso *Slave read delay* e os *slots* S_n para as configurações testadas.

O atraso *Slave read delay* é o tempo que os slaves levam a realizar os comandos W_TX_PAYLOAD e R_RX_PAYLOAD, logo deve ter o valor de 492 μ s.

Os *slots* S_n devem ter uma duração superior ao tempo que a mensagem leva a ser transmitida para o canal, ou o tempo que demora a ler a *payload* e limpar a *flag* de interrupção o que tiver uma duração maior, visto que o módulo tem a capacidade de receber um novo pacote enquanto se lê o anterior da *FIFO*. Neste caso, a duração maior é o tempo que leva a transmitir a mensagem para o canal, ou seja os *slots* S_n devem ter uma duração superior a 436 μ s. Uma vez que os relógios são imperfeitos, é necessário também acomodar a eventual dessincronização entre o início e o final de cada *slot* que ocorre, quer entre o *master* e os *slaves*, quer entre os próprios *slaves*. Uma vez que os cristais têm uma precisão de 30 ppm [29], considerou-se uma folga de 64 μ s, que é mais que suficiente para acomodar este erro, bem como o *jitter* nos processos de transmissão e receção.

7.2.2 Distância entre módulos RF para uma comunicação viável

Os apiários normalmente comportam diversas colmeias dispostas numa área de algumas dezenas de metros. Assim, foi realizado um conjunto de testes para verificar a variação da taxa de erros com a distância, e assim estimar a área que cada módulo base pode cobrir.

Os módulos RF para este teste foram configurados com a maior potência de transmissão disponível 0 dB.

Os teste foram realizados numa área em que o caminho entre os módulos não continham obstáculos, ou seja, era possível da posição de um módulo avistar o outro.

Por forma a avaliar a qualidade da comunicação foram efetuadas 10 ciclos de comunicação TDMA para cada uma das distâncias. O módulo principal permaneceu estacionário e ligado a um computador, deslocando-se apenas o módulo secundário, que se encontrava ligado a um *PowerBank*.

A Tabela 7.4 apresenta o resultados obtidos para as várias distância testadas.

Tabela 7.4: N° erros para as várias distâncias

Distância (m)	N° de ciclos	N° erros
8	10	0
16	10	0
24	10	0
32	10	0
40	10	0
48	10	0
56	10	0
64	10	0
72	10	0
80	10	0
88	10	0
96	10	0
104	10	5
112	10	10

Através dos dados obtidos verifica-se que os módulos permitem uma comunicação estável até uma distância de 96 metros, o que se pensa ser suficiente para o tipo de instalação pretendida. No entanto este teste foi realizado sem que os módulos estivessem numa colmeia, e sem a presença de outras colmeias no caminho entre eles, o que pode degradar a qualidade do sinal e consequentemente a distância a que se consegue uma comunicação estável.

7.3 Teste realizados ao TDMA

Nesta secção apresentam-se os resultados obtidos ao manter os módulos a realizar ciclos do TDMA durante 3 dias. Para a realização deste teste foram usadas as seguintes configurações: tensão de alimentação dos módulos RF 2.5 V; ciclos com uma duração de 2 minutos; SPI com um sinal de relógio de 250 kHz; módulo RF com uma velocidade de transferência de 250 kbps, *address* de 3 bytes, CRC de 1 byte e *payload* de 4 bytes; UART com um *baudrate* de 2400; tensão de alimentação do microcontrolador de 3.3 V. Anteriormente considerou-se o uso de um regulador de tensão de 2.5 V para a implementação dos módulos secundários. Contudo, durante a execução deste teste, verificou-se que os microcontroladores quando alimentados a 2.5 V, por vezes não saíam do modo *sleep*. Após uma pesquisa mais detalhada do *datasheet*, verificou-se que o oscilador secundário apresenta um funcionamento deteriorado para uma tensão de alimentação inferior a 2.7 V [32], por este motivo, este teste foi realizado com uma tensão de alimentação de 3.3 V para os microcontroladores.

A realização deste teste foi feita com recurso a 3 módulos RF, implementando-se um nó *master* e 2 nós *slave* (*slave_1* e *slave_2*). O nó *master* e o nó *slave_1* foram os dois ligados ao mesmo computador e afastados 1 metro entre si. O nó *slave_2* foi ligado a um outro computador pousado noutra bancada a uma distância de 3 metros dos outros nós, como se encontra ilustrado na Figura 7.4.

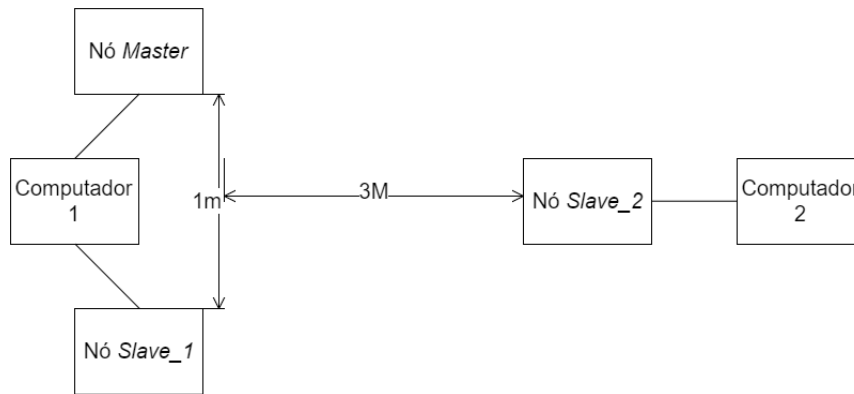


Figura 7.4: Disposição dos nós para o teste

Neste teste procurou-se validar todos os *slots* S_n . Por forma a que isto fosse possível, o nó *master* envia na sua *payload* um número entre 1 e 49. O nó *slave_1* responde no *slot* correspondente ao número recebido, o nó *slave_2* responde no *slot* seguinte ao número recebido. A cada ciclo o nó *master* incrementa uma unidade ao número enviado. Após enviar o número 49, volta ao número 1. Através desta rotação dos *slots*, ao fim de cada 49 ciclos todos os *slots* são usados. Os nós *slave* transmitem em *slots* adjacentes pois esta é a situação em que existe maior probabilidade de ocorrerem colisões.

Ao fim de cada intervalo de comunicação o nó *master* envia, via UART, informação relativa ao número do ciclo que executou, a qual o instante de comunicação que terminou, aos *slots* em que recebeu mensagens e ao número de vezes que cada um dos nós *slave* não respondeu no *slot* correspondente. Os nós *slave*, ao fim de cada intervalo em que efetuam comunicações, enviam via UART, informação relativamente ao *slot* em que responderam e ao tempo que estiveram a escuta no canal para receber a mensagem do nó *master* no corrente ciclo, e o tempo máximo e mínimo registados.

Na tabela 7.5 encontram-se os dados recolhidos ao fim de cada dia de teste, relativamente ao número de erros ocorridos.

Tabela 7.5: Erros decorridos durante cada dia

Nº de ciclos	Nº de erros total	Nó <i>master</i>	Nó <i>slave_1</i>	Nó <i>slave_2</i>
720	1	0	1	0
1440	1	0	1	0
2160	2	0	1	1

Em ambas as situações de erro, os nós *slave* não acusaram a receção da mensagem enviada pelo nó *master*, ficando à escuta do canal até ao segundo intervalo de comunicação do ciclo, onde receberam a mensagem do nó *master* e voltaram a ficar síncronos com ele, continuando a partir daí a realizar as comunicações normalmente.

Na Tabela 7.6 encontram-se os tempo registados pelos nós *slave*.

Tabela 7.6: Tempos máximo e mínimo que o nó ficou a escuta do canal

Nó	Tempo máximo	Tempo mínimo
<i>slave_1</i>	60005476 μ s	2848 μ s
<i>slave_2</i>	60004262 μ s	4352 μ s

Nos dados enviados pelos nós *slave* é possível verificar que estes se encontraram durante a duração de meio ciclo à escuta do canal. Contudo, a partir dos dados não é possível determinar se estes não receberam a mensagem do nó *master* devido a interferência no canal, ou por não estarem a escuta do canal quando a mensagem foi enviada. Os valores mínimos são devidos a ciclos em que o nó *master* se adiantou em relação ao nós *slave*, levando a que estes ficassem menos tempo à escuta antes de receberem a mensagem. Através deste valores mínimos verifica-se que nos ciclos efetuados com sucesso a incerteza entre o *slave_1* e o *master* é de 19.3 ppm, enquanto que para o *slave_2* a incerteza é de 3.73 ppm. Estas grandezas de incerteza encontram-se dentro do intervalo esperado que é de 40 ppm (20 ppm do oscilador do *master*, 20 ppm do oscilador do *slave*).

7.4 Previsão do consumo energético

O sistema deve ter autonomia suficiente, para não obrigar o apicultor a realizar deslocações extra ao apiário para proceder à troca de baterias.

Nas Tabelas 7.7, 7.8, 7.9 e 7.10, apresentam-se os consumos médios para as tarefas executadas pelo módulo secundário. As linhas Consumo previsto contêm valores fornecidos pelos fabricantes e no caso do LM336 o valor calculado para a sua polarização, as linhas Consumo medido contêm os valores efetivamente medidos.

Para a medição deste valores de corrente foi usado um multímetro DT-830B que têm uma precisão de $\pm 1\%$ para as escalas usadas (20 mA, 2 mA e 200 μ A) [43].

A tensão de alimentação usada para os dispositivos durante a realização destas medidas foi de 3.3 V, com exceção do circuito para realizar a medida da tensão aos terminais da bateria que foi alimentado com um tensão de 4.2 V.

A estimativa do consumo para o instante de comunicações do ciclo TDMA foi feita tendo em consideração uma precisão de 70 ppm. Isto deve-se ao facto de que os osciladores de cristal perdem precisão com o tempo, a um ritmo de 5 ppm por ano [30]. Assim, considerando um tempo de vida útil de 10 anos para o sistema, é necessário considerar a precisão que estes vão ter nessa altura. Esta precisão inferior leva a que o atraso *Clock Safeguard delay* tenha que ser de 16.8 ms, para que seja válido quando o osciladores tiverem 10 anos, o que representa um tempo maior a escuta no canal por parte do módulo secundário e consequentemente um maior consumo energético. É considerado também, que este é o nó que irá ocupar o *slot* 50, pois isso implica que o mesmo permaneça mais tempo ativo até realizar o envio do pacote.

A tarefa *Read SoC* não é executada em cada ciclo TDMA, mas sim a cada 240 ciclos, ou seja de 8 em 8 horas.

Devido ao método usado para a medição das correntes, houve valores no intervalo *Report Status* que não foram possíveis medir, para a corrente média deste intervalo foram usados os valores fornecidos

pelo fabricante sempre que não foi possível obter uma medida dos mesmos.

A disparidade entre o consumo em corrente previsto para o microcontrolador em estado *sleep* prevista pelo fabricante e o valor medido, deve-se em grande parte ao facto de se usar o oscilador secundário que acrescenta um consumo de 1mW [30], ou seja 303 μA .

Tabela 7.7: Corrente média para a tarefa *Movement Detection*

Aparelho	Consumo previsto	Consumo medido	Tempo
microcontrolador	2 mA	3.34 mA	1.97 s
módulo ADC	250 μA	328 μA	1.97 s
Acelerómetro	350 μA	278 μA	1.97 s
Corrente média	2.600 mA	3.946 mA	1.97 s

Tabela 7.8: Corrente média para a tarefa *Read SoC*

Aparelho	Consumo previsto	Consumo medido	Tempo
microcontrolador	2 mA	3.34 mA	1.4 s
módulo ADC	250 μA	328 μA	1.4 s
LM336	1.7 mA	1.68 mA	1.4 s
MCP6022	1 mA	0.63 mA	1.4 s
Corrente média	4.950 mA	5.978 mA	1.4 s

Tabela 7.9: Corrente média para o intervalo *Report Status*

Aparelho	Consumo previsto	Consumo medido	Tempo
microcontrolador	2 mA	3.34 mA	44.528 ms
NRF24L01+ <i>Power Down</i>	0.9 μA	2.4 μA	108 μs
NRF24L01+ <i>Tp2stby</i>	400 μA	—	1.5 ms
NRF24L01+ <i>Standby-1</i>	26 μA	19 μA	25.424 ms
NRF24L01+ <i>TX Settling</i>	8 mA	—	130 μs
NRF24L01+ <i>RX Settling</i>	9 mA	—	130 μs
NRF24L01+ <i>TX Mode</i>	11.3 mA	—	436 μs
NRF24L01+ <i>RX Mode</i>	12.6 mA	13.8 mA	16.8 ms
Corrente média	6.832 mA	8.731 mA	44.528 ms

Tabela 7.10: Corrente média para *Sleep Mode*

Aparelho	Consumo previsto	Consumo medido	Tempo
microcontrolador	120 μA	634 μA	112.08 s
NRF24L01+ <i>Power Down</i>	0.9 μA	2.4 μA	112.08 s
Corrente média	120.9 μA	636.4 μA	112.08 s

Através dos dados das tabelas anteriores, calculou-se o valor do consumo médio em corrente, segundo os valores fornecidos pelos fabricantes (Equação 7.1) e com os valores medidos (Equação 7.2).

Através dos valores fornecidos pelos fabricantes o módulo secundário apresentaria um consumo médio em corrente de:

$$I_{mf} = \frac{(2.6 * 1970 * 4) + (6.832 * 44.528) + (0.1209 * 112.1 * 10^3) + \frac{4.95 * 1400}{8 * 3.6 * 10^6}}{12 * 10^4} = 0.286 \text{ mA} \quad (7.1)$$

Caso se tivessem verificado estes valores e considerando que se consegue usar 60% da carga contida na bateria, o módulo funcionaria durante um período de $(4000 * 0.6)/0.286 = 8391$ horas, o que corresponderia a 349 dias sem necessitar de trocar a bateria.

Através dos valores medidos o módulo secundário apresenta um consumo médio em corrente de:

$$I_{mm} = \frac{(3.946 * 1970 * 4) + (8.731 * 44.528) + (0.6364 * 112.1 * 10^3) + \frac{5.978 * 1400}{8 * 3.6 * 10^6}}{12 * 10^4} = 0.857 \text{ mA} \quad (7.2)$$

Através deste consumo médio e considerando que se consegue usar 60% da carga contida na bateria, o módulo pode funcionar durante um período de $(4000 * 0.6)/0.857 = 2800$ horas, o que corresponde a aproximadamente 116 dias, sem necessitar que se troque a bateria.

Verifica-se assim que a autonomia é aproximadamente um terço do esperado. Contudo, dado que o apicultor se desloca regularmente ao local onde tem as colmeias, considera-se que o grau de autonomia de facto excede as necessidades.

Capítulo 8

Conclusões e trabalho futuro

O trabalho apresentado nesta dissertação é motivado pelo facto de se ter verificado um aumento de furtos de colmeias em apiários. Este aumento dos furtos levou a que algumas empresas e universidades tenham estudado e desenvolvido sistemas de monitorização para apiários. Contudo, os sistemas que se encontram em comercialização atualmente mostram-se desajustados à realidade económica dos apicultores. Assim, nesta dissertação, propõe-se um sistema de monitorização modular, composto por dois tipos de módulos. O módulo principal, à semelhança dos comercializados atualmente, permite a deteção de furto e, após a deteção, envia um alerta ao apicultor e começa a enviar periodicamente a sua geolocalização, para que este possa reaver a colmeia. O módulo secundário apenas permite a deteção de furto. Este sistema difere dos restantes pelo facto de os módulos secundários serem mais simples, não possuindo forma de enviar alertas diretamente ao apicultor. Estes ligam-se ao módulo principal através de uma rede local sem fios, sendo o módulo principal a encaminhar os eventuais alertas sinalizados pelos módulos secundários. Deste modo, o sistema permite manter uma elevada capacidade de deteção de furtos no apiário, com uma considerável redução de custos de instalação e exploração, nomeadamente no que respeita a encargos com telecomunicações.

Após ser idealizado, procedeu-se a uma prova de conceito do sistema. Para esse fim foram selecionados os componentes necessários. Contudo, foi dada prioridade ao estudo dos módulos secundários, pois estes são os que se destinam a ser usados em maior quantidade. Assim, não chegaram a ser testados os módulos GPS e GSM, pois para o módulo principal só foi desenvolvida a capacidade de realizar as comunicações com os módulos secundários, para que estes pudessem ser adequadamente testados. Os testes realizados mostram que os componentes escolhidos para a implementação do módulo secundário permitem que este efetue a deteção de roubo, bem como a comunicação com o módulo principal. Os testes realizados ao subsistema de comunicação mostram que é possível suportar até 50 módulos secundários por cada módulo principal, abrangendo uma área geográfica de algumas dezenas de metros, sendo a latência de reporte de eventos da ordem de 50 ms. Tendo em vista aumentar a autonomia dos módulos, foi implementada uma variante do protocolo TDMA que torna os instantes de comunicação previsíveis, permitindo assim manter os módulos em modo de baixo consumo durante uma parte significativa do tempo de operação. De acordo com os dados de consumo medidos, com as baterias selecionadas os módulos secundários possuem uma autonomia de aproximadamente 4 meses. Os testes realizados mostram que o método de comunicação entre o módulo principal e os módulos secundários cumpre os requisitos, contribuindo para que os módulos apresentem uma autonomia

significativa, o que torna o sistema viável do ponto de vista energético. Foi selecionada uma tensão de alimentação de 2.5V para alimentação dos módulos, tendo-se verificado posteriormente que esta tensão é insuficiente. Assim, para trabalho futuro, sugere-se a troca do regulador de tensão. Para que o sistema tenha o funcionamento desejado, é preciso validar os tempos das tarefas que envolvem o uso dos módulos GPS e GSM, pois não há a certeza que o escalonamento sugerido seja possível. Para que o sistema tenha utilidade prática, é também necessário que se idealize uma solução para proceder à desativação do mesmo durante as operações de manutenção das colmeias. Por forma a que a informação enviada para o apicultor seja mais fácil de interpretar, é necessária a implementação de um *website* que permita, entre outras funcionalidades: colocar um esquema do apiário que identifique que qual a(s) colmeia(s) geradoras de alarmes; permita ver o trajeto que as várias geolocalizações emitidas por um módulo formam.

Bibliografia

- [1] SiConsult, “BeeGaurd,” Available: <https://www.beeguard.fr/index.php/s/beeguard>. Last accessed 25 de maio 2016. iii, 5, 6, 7
- [2] MagicKey, “Anúncio MagikKey,” Available: <http://www.custojusto.pt/guarda/informatica-acessorios/gps-tracker-autonomia-1-ano-gps-para-colmeias-19130189>. Last accessed 25 de maio 2016. iii, 8
- [3] NORDIC SEMICONDUCTOR, “NRF24L01+ product specification,” Available: <http://www.nordicsemi.com/eng/Products/2.4GHz-RF/nRF24L01P>. Last accessed 31 de maio 2016. iii, 24, 36, 37, 38
- [4] ANALOG DEVICES, “ADXL335 datasheet,” Available: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADXL335.pdf>. Last accessed 31 de maio 2016. iii, 23, 40
- [5] Instituto Nacional de Estatística, “Produção de Mel (t) por Localização Geográfica,” Available: http:https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0008957&contexto=bd&selTab=tab2. Last accessed 11 de novembro 2016. 1
- [6] G. A. do Plano Apícola, “Programa apícola nacional 2014-2016,” Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território, Tech. Rep., 2015. 1, 2, 3, 11, 12, 14
- [7] P. Novais, “Operação da gnr “colmeias seguras” para prevenir furtos no distrito de bragança,” Jornal Observador online: http://www.all-sun.com/manual/Dt830_en.pdf. Last accessed 11 de novembro 2016, 2015. 1
- [8] P. Novais, “Apicultores preocupados com furtos de colmeias na serra da estrela,” Jornal Observador online: <http://observador.pt/2015/03/19/apicultores-preocupados-furtos-colmeias-na-serra-da-estrela/>. Last accessed 11 de novembro 2016, 2015. 1
- [9] GNR, “Gnr de silves recupera colmeias furtadas,” Jornal A voz do @lgarve online: <http://www.avozdoalgarve.pt/detalhe.php?id=8108>. Last accessed 11 de novembro 2016, 2015. 1
- [10] Yamada Bee Farm, “Iniciação à apicultura,” Available: http://www.3838.com/portuguese/mitsubachi_park/beekeep/beekeep02/beekeep_step02_1.html. Last accessed 11 de novembro 2016. 2
- [11] R. S. N. Alves, “Os sistemas de informação geográfica na avaliação da aptidão para a apicultura: Aplicação ao concelho de leiria.” Master’s thesis, Univesidade de Lisboa, 2015. 2, 3, 18

-
- [12] Direção Regional de Agricultura e Pescas do Centro, “Manual do Apicultor,” Available: http://www.drapc.min-agricultura.pt/base/documentos/manual_apicultor.htm. Last accessed 11 de novembro 2016. 3
- [13] I. Revez, “Produtores algarvios culpam regras do proder,” jornal Público online: <https://www.publico.pt/sociedade/noticia/produtores-algarvios-culpam-regras-do-proder-1541090>. Last accessed 11 de novembro 2016, 2012. 3
- [14] H. Geraldés, “Aumento de roubos de colmeias preocupa apicultores,” jornal Público online: <https://www.publico.pt/sociedade/noticia/produtores-algarvios-culpam-regras-do-proder-1541090>. Last accessed 11 de novembro 2016, 2012. 4
- [15] MagicKey, “SafeBee,” Available: <http://www.safebee.ipg.pt/inicio.php>. Last accessed 25 de maio 2016. 7
- [16] TroviSport, “sb-gps-b,” Available: <http://trovisport.pt/artigos-de-caca/optica/detectores-de-movimento/localizador-gps-colmeias-sistema-anti-roubo-colmeias>. Last accessed 25 de maio 2016. 8
- [17] Apisafe, “Apisafe,” Available: <http://apisafe.com/?product=apisafe>. Last accessed 25 de maio 2016. 9
- [18] Vodafone, “Detalhes do Vodafone Easy 91,” Available: <http://www.vodafone.pt/main/particulares/tarifarios/easy/detalhes-easy-91.html>. Last accessed 27 de outubro 2016. 12, 31
- [19] tutorialspoint, “Chaves fim de curso,” Available: <http://ab.rockwellautomation.com/pt/Sensors-Switches/Limit-Switches>. Last accessed 28 de outubro 2016. 18
- [20] P. Fonseca, “Sistemas de instrumentação electrónica.” 22
- [21] Rockwell Automation®, “Chaves fim de curso,” Available: <http://ab.rockwellautomation.com/pt/Sensors-Switches/Limit-Switches>. Last accessed 28 de outubro 2016. 22, 23
- [22] adafruit, “Embedded Systems - Overview,” Available: https://www.tutorialspoint.com/embedded_systems/es_overview.htm. Last accessed 31 de maio 2016. 22, 23
- [23] mercado livre, “Célula de carga,” Available: http://produto.mercadolivre.com.br/MLB-799114057-celula-de-carga-sensor-de-peso-50kg-arduino-pic-_JM. Last accessed 28 de outubro 2016. 23
- [24] DIWO, “Usando los sensores del terminal: Acelerómetro y sensor de orientación,” Available: <http://diwo.bq.com/usando-los-sensores-del-terminal-acelerometro-y-sensor-de-orientacion/>. Last accessed 28 de outubro 2016. 23
- [25] OFICINA DA NET, “O que é GSM e como funciona?” Available: https://www.oficinadanet.com.br/artigo/733/gsm_o_que_e_e_como_funciona. Last accessed 31 de maio 2016. 25
- [26] SIMCom, “SIM800 Features Brochure,” Available: <https://www.olimex.com/Products/Duino/AVR/OLIMEXINO-NANO-GSM/resources/SIM800H.pdf>. Last accessed 31 de maio 2016. 25
-

-
- [27] T. R. Cunha, “High precision navigation integrating satellite information - gps - and inertial system data,” Ph.D. dissertation, FEUP, 2002. 26
- [28] Olimex, “MOD-GPS Features Brochure,” Available: <http://www.farnell.com/datasheets/1700998.pdf>. Last accessed 31 de maio 2016. 26
- [29] QANTEK, “QCL Series datasheet,” Available: http://www.farnell.com/datasheets/1998803.pdf?_ga=1.78611421.856635054.1477613135. Last accessed 27 de outubro 2016. 27, 54
- [30] IQD Frequencie Products, “Crystal Specification,” Available: http://www.farnell.com/datasheets/1852964.pdf?_ga=1.257445058.856635054.1477613135. Last accessed 27 de outubro 2016. 27, 57, 58
- [31] T. O. e. S. José Luís Azevedo, Arnaldo Oliveira, “Arquitectura de computadores ii, deti/ua.” 27
- [32] Microchip, “PIC32MX1XX/2XX Family Data Sheet,” Available: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/60001168J.pdf>. Last accessed 31 de maio 2016. 27, 28, 55
- [33] OLIMEX, “PIC32-T795-SCHEMATIC-REV-A,” Available <https://www.olimex.com/Products/Duino/PIC32/PIC32-T795/resources/PIC32-T795-SCHEMATIC-REV-A.pdf>. Last accessed 31 de maio 2016. 28
- [34] Microchip, “PIC32MX5XX/6XX/7XX Family Data Sheet,” Available: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/60001156J.pdf>. Last accessed 31 de maio 2016. 28
- [35] TECMUNDO, “Li-ion e li-po: Diferenças entre as baterias usadas no iphone e no galaxy,” Available: <http://www.tecmundo.com.br/bateria/37981-li-ion-e-li-po-diferencas-entre-as-baterias-usadas-no-iphone-e-no-galaxy.htm>. Last accessed 28 de outubro 2016. 28
- [36] Antonio Francisco de Castro Corrêa, “Manual das baterias recarregáveis, pilhas e carregadores,” Available: <http://www.ebah.pt/content/ABAAAgUCcAC/manual-das-baterias-recarregaveis-pilhas-carregadores?part=2>. Last accessed 28 de outubro 2016. 28
- [37] Microchip, “MCP1702 Data Sheet,” Available: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/22008E.pdf>. Last accessed 31 de maio 2016. 29
- [38] P. M. M. da Silva, “Aplicação de filtro de kalman estendido na estimação de estado de carga de um sistema de gestão de baterias,” Master’s thesis, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2016. 29
- [39] S. Lee, J. Kim, J. Lee, and B. Cho, “State-of-charge and capacity estimation of lithium-ion battery using a new open-circuit voltage versus state-of-charge,” *Journal of Power Sources*, vol. 185, no. 2, pp. 1367 – 1373, 2008. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378775308017965> 30
- [40] Microchip, “Mcp6021/2/3/4 data sheet,” Available: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21685d.pdf>. Last accessed 31 de maio 2016. 30
-

- [41] Texas Instruments, “Lm236-2.5, lm336-2.5, lm336b-2.5 (rev. e),” Available: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm336-2.5.pdf>. Last accessed 31 de maio 2016. 30
- [42] M. Schwartz, *Mobile Wireless Communications*. Cambridge University Press, New York, 2005. 43
- [43] all-sun, “Owner’s Operation Manual For 830 Series,” Available: http://www.all-sun.com/manual/Dt830_en.pdf. Last accessed 11 de novembro 2016. 57
-