

SISTEMA DE CONTROLO REMOTO DE LUZES DE AERÓDROMO

Emanuel António Carvalhido Lomba



Departamento de Engenharia Electrotécnica

Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Área de Especialização Automação e Sistemas

2015

Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de
Dissertação do Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Candidato: Emanuel António Carvalhido Lomba, Nº 1940254, eacl@isep.ipp.pt

Orientação científica: José Ricardo Teixeira Puga, jtp@isep.ipp.pt

Co-orientação científica: Maria Judite Madureira da Silva Ferreira, mju@isep.ipp.pt



Departamento de Engenharia Electrotécnica

Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Área de Especialização Automação e Sistemas

2015

Às minhas marias: Maria, Lara e Diana.

"Uma vez que tenha experimentado voar, andar pela terra com os olhos voltados para o ceu, pois l esteve e para lá desejar voltar."

Leonardo da Vinci

Agradecimentos

Gostaria de expressar o meu agradecimento a todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

Em primeiro lugar, fico agradecido aos amigos do Aero Clube de Viseu por um dia terem publicado uma fotografia da consola de controlo das luzes do aeródromo que os alberga. Sem esta fotografia, dificilmente ter-se-iam gerado a conversa e troca de ideias que se geraram nesses dias e sem a qual não teria tido a ideia nem a vontade de criar o sistema que apresento neste relatório; já lá vão dois anos...

Em segundo lugar, fico agradecido aos Professores Doutores Ricardo Puga e Judite Ferreira por me terem motivado a fazer do trabalho desenvolvido, um trabalho de Mestrado. Além da motivação constante, os comentários sempre oportunos e as orientações dadas, num ambiente informal, mas carregado de sabedoria, são motivos de satisfação pessoal pela qual também fico muito agradecido.

Do mesmo modo, agradeço aos seguintes amigos, o apoio dado sob os respectivos pontos de vista, no esclarecimento das minhas dúvidas: aos Controladores de Tráfego Aéreo Mário Coelho e Hugo Ferreira, aos pilotos-aviadores Comandante Tiago Falcão, Mário Marcão e Arlindo Silva, e ao Técnico de Manutenção de Aeronaves Pedro Maia.

Finalmente, agradeço à minha família. À Maria, pelo apoio e motivação a cada momento. Às meninas, por apesar da tenra idade, compreenderem e aceitarem as minhas ausências em alguns momentos das suas vidas.

Resumo

Este relatório apresenta o trabalho realizado no âmbito da unidade curricular de Dissertação do Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores – área de especialização de Automação e Sistemas.

O trabalho realizado consiste no desenvolvimento de um Sistema de Controlo Remoto de Luzes de Aeródromo (SCRLA) que pode ser aplicado em paralelo aos comandos locais de controlo das luzes de aproximação, pista ou circulação, entre outras, de uma infra-estrutura aeroportuária.

O objectivo fundamental deste sistema consiste em permitir ao piloto de uma aeronave o acendimento das luzes do aeródromo desde a própria aeronave, recorrendo apenas ao equipamento de rádio VHF existente a bordo da mesma e que é normalmente usado para comunicações com os serviços de controlo de tráfego aéreo.

Este sistema, em aeródromos com possível operação nocturna (*e.g.*, heliportos de hospitais), permite uma redução dos custos associados a despesas com eventual pessoal técnico ou a redução da carga de trabalho neste, e uma diminuição do consumo de energia eléctrica, uma vez que as luzes apenas são acendidas quando necessário. Este sistema permite também reduzir a poluição luminosa no ambiente e contribui positivamente para a longevidade dos equipamentos luminosos.

No desenvolvimento do sistema, foram adquiridos e/ou aplicados conhecimentos nas áreas de navegação aérea, infra-estruturas aeroportuárias, telecomunicações, normalização e standardização, electrónicas analógica e digital, programação de baixo nível em microcontroladores, desenho e construção de circuitos impressos, desenho e construção mecânica.

Palavras-Chave

SCRLA, PCL, ARCAL, Banda Aérea, *Pilot Controlled Lighting*, Especificações L-854, Sistema Tipo I, Descodificador tipo A.

Abstract

This report presents the project developed for the Dissertation module of the Master Degree in Electrical and Computers Engineering, specialization in Automation and Systems areas.

The produced work consists in the development of a Pilot Controlled Lighting System (SCRLA - *Sistema de Controlo Remoto de Luzes de Aeródromo*) that can be applied in parallel to any approach, runway or taxiway lighting control system, at some airfield.

The main objective of this system is to allow an aircraft's pilot to control the airfield's lighting from its own aircraft, by using the onboard VHF radio equipment that is normally used for communication with air traffic control services.

This system, in airfields that may operate during night (*e.g.*, hospital heliport), can reduce the expense or workload related to specialized personnel, and electricity consumption, since the lights will only be turned ON when necessary. This system also reduces the lighting pollution in the neighbourhood and increases the light bulbs life's expectancy.

During the development of this system, knowledges about the following areas have been acquired and/or applied: air navigation, airfield infrastructures, telecommunications, technical specifications and standards, analog and digital electronics, microcontroller low-level programming, printed circuit board design and manufacture, mechanical design and manufacture.

Keywords

SCRLA, PCL, ARCAL, Airband, Pilot Controlled Lighting, L-854 Specifications, Type I system, Type A decoder.

Índice

<i>Agradecimentos</i>	ii
<i>Resumo</i>	iii
<i>Abstract</i>	vv
<i>Índice</i>	vii
<i>Índice de Figuras</i>	ix
<i>Índice de Tabelas</i>	xi
<i>Acrónimos</i>	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
<i>1.1 BREVE HISTÓRIA DA AVIAÇÃO</i>	1
<i>1.2 CONTEXTUALIZAÇÃO</i>	3
<i>1.3 OBJECTIVOS</i>	8
<i>1.4 ORGANIZAÇÃO DESTE RELATÓRIO</i>	9
2. O ESTADO DA ARTE	11
<i>2.1 Os SISTEMAS PCL</i>	11
<i>2.2 AS ESPECIFICAÇÕES L-854</i>	12
<i>2.3 A BANDA AÉREA</i>	14
<i>2.4 RECEPÇÃO DOS SINAIS DE RÁDIO</i>	16
<i>2.5 SISTEMAS PCL DISPONÍVEIS NO MERCADO</i>	18
3. ESPECIFICAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA	25
<i>3.1 INTRODUÇÃO</i>	25
<i>3.2 O RECEPTOR DE RÁDIO</i>	27
<i>3.3 A RECEPÇÃO ALTERNATIVA DE RÁDIO</i>	37
<i>3.4 O DECODIFICADOR</i>	40
<i>3.5 O CONTROLADOR</i>	42
<i>3.6 A INTERFACE PESSOA-MÁQUINA</i>	44
<i>3.7 AS SAÍDAS DO SISTEMA (RELÉS)</i>	46
<i>3.8 A FONTE DE ALIMENTAÇÃO</i>	47
4. DESENHOS	49
<i>4.1 Os PAINÉIS DO SISTEMA</i>	49
<i>4.2 O RECEPTOR DE RÁDIO</i>	50
<i>4.3 A FONTE DE ALIMENTAÇÃO</i>	52
<i>4.4 A INTERFACE PESSOA-MÁQUINA</i>	53
<i>4.5 O MÓDULO CONTROLADOR</i>	54

5. TECNOLOGIAS E FERRAMENTAS DE DESENVOLVIMENTO	57
5.1 INTRODUÇÃO	57
5.2 O LADO FÍSICO	57
5.3 O LADO LÓGICO	58
5.4 O LADO EXPERIMENTAL	59
6. CONCLUSÃO E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	65
6.1 CONCLUSÃO	65
6.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	66
<i>Referências Documentais</i>	67
Anexo A. Aeródromos de Portugal	71
Anexo B. Heliportos de Portugal	75
Anexo C. Fotografias do Sistema	77
Anexo D. <i>Specification L-854</i>	79

Índice de Figuras

Figura 1 – Receptor super-heteródino de conversão simples	16
Figura 2 – Diagrama de bloco de um <i>Software Defined Radio</i>	17
Figura 3 – Diagrama de blocos do SCRLA	27
Figura 4 – Diagrama de blocos do módulo receptor	27
Figura 5 – Filtro Passa-Faixa do Módulo Receptor	28
Figura 6 – Resposta em frequência do filtro Passa-Faixa	28
Figura 7 – "imagens" da Banda Aérea, depois desta ser multiplicada por f_{OL} , no <i>Mixer</i>	29
Figura 8 – 1º Filtro FI	30
Figura 9 – Resposta em frequência do 1º Filtro FI	30
Figura 10 – Amplificador de FI	31
Figura 11 – Resposta em frequência do Amplificador de FI	31
Figura 12 – Diagrama de blocos do DDS, modelo AD9850	32
Figura 13 – 2º Filtro FI	33
Figura 14 – Resposta em frequência do 2º Filtro FI	33
Figura 15 – Ajuste do VFO	34
Figura 16 – 2º Amplificador de FI	34
Figura 17 – Resposta em frequência do 2º Amplificador de FI	35
Figura 18 – Esquema de princípio do Detector de Tom	36
Figura 19 – Funcionamento do Detector de Tom	36
Figura 20 – Rádio ICOM IC-R5 utilizado	37
Figura 21 – Sinal na saída de áudio do receptor sem e com sinal RF detectado	38
Figura 22 – Circuito de condicionamento de sinal	39
Figura 23 – Fluxograma e código-fonte do módulo Descodificador	41
Figura 24 – Ciclo de tarefas do microcontrolador	43
Figura 25 – Páginas da interface Pessoa-Máquina	45
Figura 26 – Relés, no PCB de Controlador	46
Figura 27 – Consola de controlo das luzes do aeródromo de Viseu	47
Figura 28 – PCB da fonte de alimentação	48
Figura 29 – Painel frontal do sistema (Escala 1:2,85)	49
Figura 30 – Painel traseiro do sistema (Escala 1:2,85)	49
Figura 31 – Esquema do Receptor de Rádio	50
Figura 32 – Esquema da Fonte de Alimentação	52

Figura 33 – <i>Layout</i> do PCB da Fonte de Alimentação	52
Figura 34 – Esquema da Interface Pessoa-Máquina	53
Figura 35 – <i>Layout</i> do PCB da Interface Pessoa-Máquina	53
Figura 36 – Esquema do Controlador	54
Figura 37 – <i>Layout</i> do PCB do Módulo Controlador	56
Figura 38 – Atenuador não-balanceado de 110 dB	60
Figura 39 - Desenho do aeródromo de demonstração	60
Figura 40 – Maquete de aeródromo para demonstração <i>indoor</i>	61
Figura 41 – Desenvolvimento da antena $\lambda/4$ com plano de massa para a Banda Aérea	62
Figura 42 – Análise da antena construída, com recurso ao <i>MiniVNA</i>	63

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Tipos de sistemas L-854	13
Tabela 2 – Sistemas PCL propostos pela Hamtronics, Inc. [20][21][22]	19
Tabela 3 – Comparativo de sistemas de controlo remoto de luzes de aeródromo	24

Acrónimos

A3E	<i>Double-sideband full-carrier</i> (AM)
AC	<i>Advisory Circular</i> (documento publicado pela FAA)
AFIS	<i>Aerodrome Flight Information Service</i> (Serviço de informação de voo de aeródromo)
AITA	Agente de Informação de Tráfego de Aeródromo
ALS	<i>Approach Lighting System</i> (Sistema de luzes de aproximação)
AM	Amplitude Modulada (A3E)
ANAC	Autoridade Nacional da Aviação Civil (adaptação do Instituto Nacional de Aviação Civil – INAC, ao regime estabelecido na lei-quadro das entidades reguladoras, aprovada pelo Conselho de Ministros, em 23 de Dezembro de 2014)
ANACOM	Autoridade Nacional de Comunicações
ARCAL	<i>Aircraft Radio Control of Aerodrome Lighting</i> (Luzes do aeródromo controladas pelo radio da aeronave)
ATCO	<i>Air Traffic Control Officer</i> (Controlador de tráfego aéreo)
ATIS	<i>Automatic Terminal Information Service</i> (Serviço automático de informação do terminal)
CFR	<i>Code of Federal Regulations</i> (Codificação das regras publicadas pela FCC)
CTA	Controlo de Tráfego Aéreo
DDS	<i>Direct Digital Synthesiser</i>
FI	Frequência Intermédia
FM	Frequência Modulada (F3E)
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i> (Administração federal da aviação; é o órgão governamental responsável pelos regulamentos e todos os aspectos da aviação civil nos Estados Unidos)
FCC	<i>Federal Communications Commission</i> (Comissão federal das comunicações; é a entidade reguladora da área de telecomunicações e radiodifusão nos Estado Unidos)
H3E	<i>Single-sideband full-carrier</i>

ICAO	<i>International Civil Aviation Organization</i> (Organização internacional da Aviação Civil)
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineer</i>
IFR	<i>Instrument Flight Rules</i> (Regras de voo por instrumentos)
ILS	<i>Instrument Landing System</i> (Sistema de aterragem por instrumentos)
ISO	<i>International Standardization Organization</i>
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
LVO	<i>Low Visibility Operation</i> (Operação de baixa visibilidade)
NIL	<i>None, Nothing</i> (Nada)
NTIA	<i>National Telecommunications and Information Administration</i>
NVFR	<i>Night Visual Flight Rules</i> (Regras de voo visual nocturno)
OL	Oscilador Local
PAL	<i>Pilot-Activated Lighting</i> (Luzes activadas pelo piloto)
PAPI	<i>Precision Approach Path Indicator</i> (Indicador de percurso de aproximação de precisão)
PCB	<i>Printed Circuit Board</i> (Placa de circuito impresso)
PCL	<i>Pilot Controlled Lighting</i> (Luzes controladas pelo piloto)
PEP	<i>Peak Envelope Power</i>
PLL	<i>Phase Locked Loop</i>
PTT	<i>Push To Talk</i> (Botão que coloca o rádio a aeronave em modo de emissão)
RCLS	<i>Runway Centerline Lighting System</i> (sistema de luzes que marcam o centro da pista)
SCRLA	Sistema de Controlo Remoto de Luzes de Aeródromo
SMS	<i>Short Message Service</i>
REIL	<i>Runway End Identifier Lights</i> (Luzes de identificação do fim da pista)
RSSI	<i>Received Signal Strength Indication</i>
SDR	<i>Software Defined Radio</i> (Radio definido por <i>software</i>)
SWR	<i>Standing Wave Ratio</i> (Relação de ondas estacionárias)
T/C	<i>Transport Canada</i> (Ministério dos Transportes do Canadá)
TDZL	<i>Touchdown Zone Lights</i> (Luzes da zona de toque, na pista)

UHF	Ultra High Frequency (Faixa de frequências entre 300 MHz e 3 GHz do espectro radio-eléctrico)
UV	Ultravioleta
VASI	<i>Visual Approach Slope Indicator</i> (Indicador visual da ladeira de aproximação)
VFO	<i>Variable Frequency Oscillator</i> (Oscilador de frequência variável)
VFR	<i>Visual Flight Rules</i> (Regras de voo visual)
VHF	<i>Very High Frequency</i> (Faixa de frequências entre 30 MHz e 300 MHz do espectro radio-eléctrico)
VOR	<i>Very High Frequency Omnidirectional Range</i> (Radio-ajuda à navegação aérea)

1. INTRODUÇÃO

1.1 BREVE HISTÓRIA DA AVIAÇÃO

Voar é provavelmente o sonho mais atrevido que o Homem alguma vez teve e concretizou.

As estórias mais remotas acerca da necessidade do Homem voar, remontam aos tempos da Grécia Antiga com a desventura de Ícaro e o sucesso do seu pai Dédalo, na mitologia grega. Ao longo da História da humanidade, foram inúmeras e perigosas as tentativas de elevar o Homem aos céus. Se, já na Idade Média, houve quem tentasse voar sem os conhecimentos fundamentais nem a tecnologia necessária, só nos séculos XIV e XV é que apareceram os primeiros estudos sérios e inteligentes sobre este assunto, pelas mãos de Albert de Saxe (filósofo alemão) e de Leonardo da Vinci (polímata italiano) [1, pp 12-15]. Porém, foi no século XVIII que apareceram as primeiras experiências com sucesso relativo. Inicialmente, perante a corte portuguesa e sob a condução de Frei Bartolomeu de Gusmão (o "padre voador", sacerdote e inventor luso-brasileiro), um objecto mais pesado do que o ar elevou-se na atmosfera [2]. Mas só setenta e quatro anos mais tarde, em Paris no ano de 1783, é que o Homem voou pela primeira vez, a bordo do balão de ar quente «Le Réveillon» [3]. Durante o século XIX, a par dos voos com aeróstatos que rapidamente se tornaram populares e marcaram verdadeiramente o início da conquista do Ar, surgiram os primeiros planadores; aeronaves semelhantes aos aviões, mas não dotados de meios próprios de propulsão. No início do século XX apareceram os primeiros planadores com voo controlável; daqui nasceu o Voo à Vela: voo controlado e prolongado, com recurso às diversas correntes de ar ascendente. O Voo à Vela apareceu em Portugal no ano de 1909, perto de Linda-a-Pastora, pelas mãos de dois alunos do Instituto Industrial e de um

jornalista [4][5]. O voo motorizado e controlado apareceu na mesma década. Quanto a isto, umas fontes atribuem o primeiro voo deste tipo aos irmãos Wright (Orville e Wilbur, ambos pioneiros norte-americanos da aviação), outras a Alberto Santos-Dumont (pioneiro franco-brasileiro da aviação) e outras ainda a Gabriel Voisin (construtor e piloto francês).

Até ao início da primeira guerra mundial, as máquinas voadoras aperfeiçoaram-se, permitindo voar mais longe, mais rapidamente e mais pesadas. Nasceram um pouco por toda a Europa, escolas de aviação, organizaram-se *meetings* aéreos e salões internacionais de aeronáutica, bateram-se recordes sucessivos e foram realizadas as primeiras acrobacias aéreas. As tensões políticas crescentes na Europa motivaram os governos a olhar para a aviação como uma ferramenta ímpar. A primeira grande guerra pôs em prática as aeronaves (balões e aviões) em voos de reconhecimento, de bombardeamento, de combate e eventualmente em voos sanitários [1, pp 454-459]. Durante este período bélico, nasceu nos Estados Unidos da América o primeiro transporte aéreo comercial cuja aeronave apenas transportava um único passageiro [6]. Com o fim do conflito armado, a aviação civil herdou diversas práticas militares; tais como a observação aérea, o transporte de correio e de pequenas mercadorias, e o transporte de passageiros¹.

No período entre-guerras mundiais, o crescimento da aviação comercial em termos de velocidade, tráfego e capacidade conduziu a preocupações relativamente à segurança de pessoas e bens. Os líderes desta nova indústria concluíram que era necessário definir uma regulamentação para as actividades aéreas. As primeiras normas regulamentavam a navegação aérea, a certificação de pilotos e de aeronaves, bem como, a definição de rotas e de dispositivos de ajuda à navegação. Nos anos 20, os aeródromos mais movimentados rapidamente necessitaram de técnicos para coordenar e dar indicações visuais aos pilotos, por meio bandeiras ou de luzes, para evitar acidentes. Em 1930 apareceu a primeira sala de controlo equipada com rádio, e durante esta década multiplicaram-se as radio-ajudas para a navegação aérea, a par dos faróis de rota que eram instalados um pouco por todo o lado. Com a expansão da aviação comercial dos anos 30, as companhias pressionaram para que houvesse coordenação e seguimento dos voos para além dos aeródromos; i.e., ao longo das rotas.

A segunda guerra mundial trouxe alterações dramáticas à aviação. Nunca na História, a Ciência e a Tecnologia tiveram um progresso tão pronunciado como durante este conflito e

¹ Em 1919, foi fundada a KLM - *Koninklijke Luchtvaart Maatschappij* (Companhia Real de Aviação), a mais antiga companhia aérea ainda existente.

de maneira tão célere como no desenvolvimento da aviação militar neste mesmo período [7]. As necessidades emergentes trouxeram às companhias aéreas mais trabalho do que estas eram capazes de executar, em termos de transporte de pessoas e mercadorias. As tecnologias disponíveis geraram aeronaves mais rápidas, com maiores capacidades de carga e de alcance, mas o maior impacto na indústria foi o da adopção do radar².

No pós-guerra, apesar da excitação criada pelo aparecimento do motor a jacto, foram precisos treze anos para que a aviação comercial começasse a operar aeronaves a jacto. Começou aqui a Era de Ouro da aviação comercial. Voava-se mais alto, mais rápido e para mais longe, em aeronaves com maiores capacidades de passageiros e/ou de carga. Com a evolução das rádio-ajudas, das tecnologias de navegação e de controlo de tráfego aéreo, passou a ser possível voar de dia e de noite, sob quase todas as condições meteorológicas. A aviação atingiu o clímax com a exploração comercial do voo supersónico, graças ao Concorde [1, pp 274-285]. Deste ponto em diante, na História, a indústria aeronáutica apenas evoluiu e evolui no sentido de se adaptar indirectamente aos fenómenos da Globalização, quer sob o ponto de vista político-económico-financeiro, quer sob o ponto de vista demográfico, pela pressão dos mercados e das migrações, respectivamente.

Os mercados aeronáuticos subdividem-se em duas grandes categorias de aviação: a Aviação Civil e a Aviação Militar. Esta última, como a própria designação sublinha, está relacionada com as actividades militares, sejam num contexto bélico ou pacificador, sejam em contextos humanitários (*e.g.*, busca e salvamento, evacuação médica, etc). Pelo outro lado, a Aviação Civil subdivide-se em duas categorias: a aviação comercial (no transporte de passageiros e de carga) e a aviação particular (para lazer ou desporto) – a aviação particular é também conhecida por Aviação Geral (em inglês, G.A. de *General Aviation*).

1.2 CONTEXTUALIZAÇÃO

Apesar de toda a evolução tecnológica ao longo da história da aviação e até do facto de as aeronaves (tripuladas) mais avançadas serem capazes de aterrar autonomamente, a circulação das aeronaves no solo ainda é controlada pela mão do Homem, mediante referências visuais. Da mesma forma é controlada a aeronave na descolagem e aterragem

2 RADAR é acrónimo de RAdio Detection And Ranging; desenvolvido para a defesa militar, revolucionou o controlo de tráfego aéreo.

na (praticamente) totalidade dos voos. De facto, só em condições extremas de falta de visibilidade e em último recurso é que uma aeronave tripulada aterra de forma automática (sem controlo directo do piloto, mas sob supervisão deste) [8]. Excepção feita a esta situação particular, todas as aterragens são realizadas visualmente pelos pilotos; de dia ou de noite.

Cada vez que um piloto opera uma aeronave, o seu voo normalmente começa e termina num aeródromo. Por aeródromo, no sentido lato, entenda-se qualquer infra-estrutura destinada à descolagem, aterragem e movimentação de aeronaves sobre a mesma; *e.g.*, um aeroporto, um heliporto ou um heliponto³, uma simples banda de terra batida num terreno privado.

Existem diversos tipos de aeródromos, podendo estes ser classificados de diversas formas, segundo a finalidade de uso (*e.g.*, civis, militares, públicos ou privados), segundo o tipo de aeronaves para as quais estão certificados (conforme o peso e/ou a envergadura máximos), segundo a capacidade de tráfego de passageiros e/ou carga, ou ainda segundo os tipos de operações permitidas (VFR, NVFR, IFR), entre outras.

Qualquer que seja o tipo de aeródromo, a entrada e saída deste fazem-se normalmente pelo controlo directo do piloto sobre a aeronave, mediante referências visuais no exterior da aeronave. Estas referências são constituídas por marcações no pavimento do aeródromo e/ou por sinalética luminosa [9][10][11].

A variedade e o tipo dos sistemas de sinalização luminosa, depende do volume e da complexidade das operações no aeródromo em causa. Estes sistemas de luzes são normalizados para que todas as infra-estruturas aéreas usem os mesmos esquemas de cores para as mesmas aplicações: pistas, caminhos de circulação, etc.

Dentro da panóplia dos sistemas de luzes de um aeródromo, os mais comuns são [16]:

- Baliza (*Beacon*): Este sinalizador luminoso ajuda o piloto a identificar um aeródromo durante a noite. Pode tratar-se de um dispositivo omnidireccional com uma luz intermitente, ou de um farol giratório a velocidade constante. A combinação de cores de luz indica o tipo de aeródromo (civil, militar, heliporto, hidroporto).

³ Um heliponto é um heliporto que não dispõe de facilidades complementares tais como áreas de circulação, reabastecimento ou hangares para estacionamento ou manutenção. Os helipontos ficam normalmente situados no topo de edifícios, em navios ou em plataformas petrolíferas, por exemplo.

- Luzes de aproximação: Estas luzes servem principalmente como meio de transição entre o voo IFR (por instrumentos) e o voo VFR (por referências visuais no solo). Estas luzes também auxiliam os pilotos em voo VFR noturno (NVFR). A configuração geométrica destas luzes depende do tipo de precisão do voo por instrumentos, permitido no aeródromo.
- Indicadores visuais de ladeira: Estes sistemas fornecem ao piloto uma informação visual da sua posição vertical, relativamente ao ponto de toque na pista. Com esta informação, o piloto mantém a aeronave em descida, numa ladeira virtual, livre de obstáculos até à pista. Os principais tipos de indicadores são os VASI e os PAPI, bicolores. Ambos recorrem a um conjunto de luzes vermelhas e brancas. Conforme a posição vertical da aeronave, o piloto verá mais luzes vermelhas do que brancas se estiver abaixo da ladeira ideal, verá mais luzes brancas do que vermelhas se estiver acima da ladeira, ou verá igual número de luzes de cada cor se estiver na ladeira ideal.
- Luzes de pista: Existem diversas luzes que identificam as diversas partes da pista, consoante a complexidade do aeródromo. Estas assistem o piloto na segurança da execução noturna de uma aterragem ou descolagem. As principais são:
 - a) As *Runway End Identifier Lights* (REIL) fornecem uma informação rápida e segura do lado de aproximação a uma pista, para aterrar. Este sistema é constituído por um par de luzes intermitentes síncronas, instaladas de cada lado da cabeceira da pista em uso⁴.
 - b) As *Runway Edge Lights* servem para delinear os limites da pista. Nas laterais, as luzes têm cor branca ou âmbar. No início são de cor verde e no fim da pista, as luzes são vermelhas.
 - c) O *Runway Centerline Lighting System* (RCLS) é o conjunto de luzes existentes ao longo do centro da pista de alguns aeródromos, para facilitar a aterragem em condições adversas de visibilidade.
 - d) As *Touchdown Zone Lights* (TDZL) são luzes instaladas em algumas pistas com possibilidade de aproximação de precisão, para indicar a zona de toque (dos trens de aterragem das aeronaves, na pista).
- Luzes dos caminhos de circulação (*Taxiway Lights*): São luzes omnidireccionais de cor azul que delinham os limites destes caminhos. Alguns aeroportos

4 Fisicamente, uma pista é um segmento de recta sobre o qual as aeronaves pousam ou levantam voo. Em aviação, este mesmo segmento de recta possui duas pistas. Uma pista começa numa ponta e termina na outra extremidade do segmento. A outra pista é vista no sentido inverso. A pista em uso indica o sentido em que deve ser usada a pista para as operações de aterragem e descolagem. A pista em uso é normalmente definida pela direcção do vento.

possuem também luzes de centro nestes caminhos; de cor verde.

Conforme o tipo do aeródromo, relativamente ao volume de tráfego e se o mesmo opera (*i.e.*, se está aberto ao tráfego) em horário nocturno⁵, o mesmo poderá estar, ou não, equipado de Torre de Controlo, e/ou ter ou não um técnico de aeródromo (AITA) ou controlador de tráfego aéreo (ATCO). Existem no entanto aeródromos (maioritariamente heliportos), que apesar de estarem certificados para operação visual nocturna (NVFR), *e.g.* heliportos de hospitais, não possuem serviços de controlo ou de informação de aeródromo (AFIS). Neste caso, a activação do sistema de iluminação está a cargo de um responsável nomeado pelo Director do aeródromo/heliporto, de acordo com as regras vigentes [12]. Por exemplo, no Hospital Distrital de Viana do Castelo, a activação do sistema de iluminação do heliporto está a cargo do electricista de serviço (por se tratar de uma figura que está sempre em serviço no hospital)⁶.

Existem diversos motivos pelos quais a maioria dos aeródromos não possuem meios humanos para o controlo do sistema de iluminação (exceptuando desde já os aeródromos que nem sequer possuem sistema de iluminação). O principal motivo será o horário de funcionamento do aeródromo. Um aeródromo inoperativo em horário nocturno não necessita de pessoal técnico, uma vez que normalmente, não recebe aeronaves durante a noite. Neste caso, nem faria sentido o dito aeródromo estar equipado com sistema de iluminação. Porém há aeródromos que apesar de estarem normalmente inoperativos no período nocturno, admitem a aterragem de aeronaves, mediante “marcação prévia”, junto do Director do aeródromo.

Por exemplo, admitindo que está prevista a aterragem de uma aeronave durante o período nocturno, de acordo com as regras especificadas no Manual do Aeródromo⁷, num aeródromo normalmente inoperativo durante este mesmo horário, existem *a priori* duas soluções possíveis para garantir que o sistema de luzes do aeródromo esteja activo para receber a aeronave. A primeira solução consiste em deixar as luzes ligadas durante toda a noite até que o Técnico regresse ao serviço no dia seguinte para desligá-las. Dentro desta solução, há também a possibilidade de utilizar um temporizador, devidamente programado

5 Na aviação, o período nocturno decorre entre o pôr do Sol mais 25 minutos e o nascer do Sol menos 25 minutos [12].

6 Informação confirmada em Maio de 2015, por um responsável dos Serviços de Instalações e Equipamentos daquele hospital, onde por acaso o autor deste relatório foi electricista, há mais de 20 anos.

7 Cada aeródromo devidamente certificado pela ANAC, possui um Manual do Aeródromo que contém as especificações definidas em Regulamento aprovado pela mesma Autoridade e publicada em Diário da República [14].

para ligar as luzes “um pouco” antes da hora prevista de chegada da aeronave. Porém, esta nuance, apesar de mais ecológica (e económica), levanta questões de segurança (e.g., a aeronave pode chegar mais cedo devido a ventos favoráveis encontrados em rota).

A segunda solução obriga a que seja designada uma pessoa com a responsabilidade de ligar as luzes assim que a aeronave esteja nas “imediações” do aeródromo. Neste caso, apesar da solução ser mais económica do ponto de vista energético e material, ela tem de contemplar o custo do recurso humano envolvido. Para uns casos poderá ficar mais barato deixar as luzes ligadas toda a noite, para outros será o contrário; dependendo do tipo de aeródromo e da frequência com que ocorrem operações nocturnas.

Para resolver de alguma forma o problema de ter um técnico a operar em horário nocturno versus deixar as luzes ligadas, começaram a surgir em aeródromos particulares, sistemas simples que ligavam as luzes do aeródromo, através de um relé (ou contactor) comandado remotamente pelo rádio VHF da aeronave (normalmente usado para comunicações de voz com os Centros de Controlo de Tráfego Aéreo). Estes sistemas foram aperfeiçoados e os respectivos *bugs* procedimentais foram corrigidos, resultando nos sistemas conhecidos actualmente por *Pilot Controlled Lighting* (PCL) ou *Aircraft Radio Control of Aerodrome Lighting* (ARCAL) e amplamente instalados em pequenos aeródromos da América do Norte. Na Europa, estes sistemas são vulgares em numerosos aeródromos de países como a Dinamarca ou a França (entre outros). Já na Alemanha este sistema não faz sentido uma vez que a *Luftfahrt Bundesamt* (LBA)⁸ não autoriza aterragens ou descolagens nocturnas sem a presença de um técnico. No Reino Unido, estes sistemas existem em aeródromos licenciados mas a respectiva utilização estava (até 2014) restrita aos serviços de emergência. A crescente implementação deste tipo de sistemas, desde o seu aparecimento no mercado, em aeródromos não-licenciados motivou a *United-Kingdom Civil Aviation Authority* (CAA) a realizar uma consulta pública (à comunidade aeronáutica), no sentido de estudar a possibilidade de estender a utilização destes sistemas a todos os pilotos. Em 28 de Agosto de 2014, a CAA emitiu uma Circular Informativa informando os aeródromos britânicos da alteração das restrições na utilização dos sistemas de controlo de luzes pelos pilotos [15].

Em Portugal, o *website* do *Aeronautical Information Services* (AIS) da NAV Portugal S.A.⁹ disponibiliza ao público as cartas dos aeródromos certificados em Portugal [www.nav.pt/ais/]. Em Abril de 2015, estas infra-estruturas decompunham-se em 39

⁸ A *Luftfahrt Bundesamt* (LBA) é, na Alemanha, a entidade homóloga da ANAC em Portugal.

⁹ A NAV Portugal é a entidade que tem por missão prioritária a prestação de Serviços de Tráfego Aéreo nas Regiões de Informação de Voo (RIV) sob a responsabilidade portuguesa.

aeródromos/aeroportos, 55 heliportos (dos quais, 31 em hospitais) e 24 pistas para aviação ultra-ligeira. Porém existem outras infra-estruturas semelhantes que por serem de uso privado ou por não reunirem as mínimas condições técnicas legais, não são certificadas pelo ANAC e como tal, não figuram na lista publicada pela NAV. O Anexo I apresenta dois quadros que listam os aeródromos e os heliportos de Portugal assim como as respectivas principais características: sistemas de luzes instalados, períodos de operacionalidade, tipo de tráfego autorizado, entidade responsável pela infra-estrutura e eventuais serviços prestados ao tráfego (controlo de tráfego, técnico de aeródromo, etc).

Da análise feita às cartas referidas acima e compilada nos Anexos A e B, conclui-se que NENHUMA infra-estrutura aérea em Portugal está equipada com um sistema de luzes controlado pelo piloto, apesar de muitas estarem equipadas com sistemas de luzes de pista e/ou aproximação. Estes sistemas são operados por pessoal técnico, numa das duas formas apresentadas no exemplo dado anteriormente.

1.3 OBJECTIVOS

O objectivo principal do trabalho apresentado neste relatório é a activação remota do sistema de luzes de um aeródromo, mediante um comando enviado pelo piloto de uma aeronave em aproximação ao referido aeródromo.

Este sistema deve cumprir os requisitos técnicos e procedimentais existentes na legislação internacional em vigor, por exemplo a norma *Specification L-854, Radio Control Equipment* (Estados Unidos da América) [13].

À falta de demonstração em ambiente real do correcto funcionamento do sistema desenvolvido, será usada uma maquete de um aeródromo, criada para o efeito.

Ao longo do desenvolvimento do sistema surgiram ideias cuja implementação, de uma parte permite alguma redundância no controlo remoto do sistema de luzes (possibilidade de uso de um telemóvel para a activação das luzes), de outra parte oferece a possibilidade de aviso e monitorização do estado do sistema de luzes.

1.4 ORGANIZAÇÃO DESTE RELATÓRIO

Este relatório encontra-se estruturado em seis capítulos.

O primeiro capítulo, como introdução, resume a história da aviação, apresenta uma contextualização deste trabalho e descreve os objetivos do mesmo. Este capítulo termina com a descrição da organização deste relatório.

O capítulo II apresenta o Estado da Arte relativamente aos sistemas de luzes de aeródromo controladas pelo piloto (PAL, PCL, ARCAL). Este capítulo contempla as diversas soluções encontradas no mercado e traça uma comparação entre todas, no que respeita às respectivas funcionalidades e custos. Este capítulo faz ainda referência à Banda Aérea, às técnicas de recepção de sinais de rádio e às Especificações Técnicas vigentes.

O capítulo III apresenta as especificações do sistema desenvolvido bem como a descrição dos diversos módulos do mesmo.

O capítulo IV apresenta os esquemas do sistema.

O capítulo V faz referência às ferramentas usadas no desenvolvimento tanto a nível de *hardware* como de *software*, bem como os recursos extraordinários, propositadamente desenvolvidos para o ensaio do sistema. Este capítulo refere ainda alguns dos cuidados que foram tidos em conta no desenvolvimento do sistema.

No capítulo VI expõem-se as conclusões retiradas do trabalho realizado e traçam-se linhas de orientação para trabalhos futuros, quer no que respeita a melhoramentos ao sistema existente, quer relativamente ao desenvolvimento de periféricos para o mesmo.

2. O ESTADO DA ARTE

2.1 Os SISTEMAS PCL

Os sistemas PCL (*Pilot Controlled Lighting*), ou ARCAL (*Aircraft Radio Control of Aerodrome Lighting*) permitem aos pilotos o controlo remoto do sistema de luzes de um aeródromo, através do rádio VHF disponível a bordo da aeronave e que normalmente é usado para comunicações de voz com os serviços de controlo de tráfego aéreo (entre outros).

Os sistemas de luzes variam de um aeródromo para outro, consoante as características operacionais destas infra-estruturas. Estes sistemas podem ser tão simples quanto o conjunto de luzes que delimita a pista do aeródromo ou a placa de um heliporto, ou tão complexos quanto serem constituídos pelos vários conjuntos de luzes que foram referidos no primeiro capítulo; *e.g.* identificação do aeródromo¹⁰ ou ainda iluminação da manga de vento.

Os sistemas PCL são comuns (fora de Portugal) em aeródromos sem serviço de controlo de tráfego aéreo ou sem técnico de informação de tráfego (AITA), tais como aeródromos particulares ou pequenos aeródromos, onde não é economicamente viável deixar as luzes ligadas toda a noite, nem suportar os custos de ter um funcionário responsável pelo controlo das mesmas.

¹⁰ Há aeródromos que têm na cobertura de um *hangar* ou no solo paralelamente à pista, a respectiva denominação e/ou o nome da cidade mais próxima, em letras pintadas ou construídas com aglomerados de pedras claras sobre fundo escuro (*e.g.*, COVILHÃ, BRAGANÇA).

Os sistemas PCL permitem ao piloto ligar as luzes apenas quando necessário, possibilitando assim:

- um menor consumo de energia eléctrica ou a redução de custos com pessoal técnico
- ma redução da poluição luminosa
- o prolongamento da vida útil dos equipamentos.

Os aeródromos equipados com sistema PCL publicam nos respectivos manuais de aeródromo a frequência em que devem ser transmitidos os comandos. As mesmas aparecem também mencionadas nas cartas aéreas. Estas frequências pertencem à Banda Aérea civil, na sub-faixa que vai de 118 MHz a 136 MHz.

Existem no mercado dois tipos de sistemas PCL, os de tipo J e os de tipo K. Os sistemas de tipo J são activados por cinco cliques¹¹ no botão PTT (*Push To Talk*) do rádio, num intervalo de tempo de cinco segundos. Os sistemas de tipo K são activados por sete cliques do PTT, também num intervalo de tempo de cinco segundos. Os sistemas de tipo K, uma vez activado, permitem que a intensidade das luzes seja alterada para baixa, média ou alta intensidade, mediante três, cinco ou sete cliques respectivamente, num novo intervalo de tempo de cinco segundos. Normalmente, os sistemas mantêm as luzes ligadas durante quinze minutos, a partir do momento em que foi recebido o último comando válido. Isto é, é possível ao piloto reiniciar a contagem dos quinze minutos, mediante o reenvio de um comando. Na prática, é recomendado aos pilotos que fazem uso de sistemas PCL, o envio de um novo comando pouco antes da aterragem para reiniciar a contagem do temporizador do sistema (sobretudo se o sistema já tiver sido activado por alguma aeronave precedente). Nalguns aeródromos, o sistema PCL pisca algumas vezes para alertar o piloto de que a temporização está prestes a terminar.

2.2 AS ESPECIFICAÇÕES L-854

No ano 2007, o *U.S. Department of Transportation* publicou através da FAA, a *Advisory Circular (AC)* com o número 150/5345-49C contendo a Especificação L-854 [Anexo D]. Nesta publicação, estão reunidos os requisitos técnicos e funcionais aos quais devem

¹¹ Por "clique" entende-se a acção de premir momentaneamente o botão de PTT (*Push To Talk*) do rádio da aeronave.

obedecer os equipamentos de controlo por rádio, a serem aplicados no controlo dos sistemas de luzes dos aeródromos. Estes requisitos aplicam-se aos sistemas de controlo remotos das luzes de aeródromo, que estejam instalados em aeronaves, no solo ou em ambos. Neste documento, estes sistemas são genericamente referidos como sistemas L-854.

O sistema L-854 básico compreende o(s) receptor(es) de rádio, o(s) emissor(es) de rádio, o(s) codificador(es) e o(s) decodificador(es) de sinais.

São especificados três tipos de sistemas L-854, conforme apresenta a Tabela 1:

Tipo I	<u>Ar-Solo</u> - consiste num detector de portadora de sinal AM ou FM e respectivo decodificador tipo A (definido a seguir). Este tipo de sistema é controlado desde uma aeronave, mediante o premir do PTT, no microfone do rádio VHF da aeronave.
Tipo II	<u>Solo-Solo</u> - consiste num transmissor de sinal FM, num codificador e num decodificador tipo B (cf. Anexo D). Este tipo de sistema foi projectado para o controlo dos sistemas de luzes, a partir da Torre de Controlo do aeródromo.
Tipo III	<u>Ar-Solo mais Solo-Solo</u> - consiste num emissor FM, dois receptores (AM e FM), um codificador e dois decodificadores (tipos A e B). Este tipo de sistema é um misto dos sistemas de tipo I e II, e foi pensado para ser usado em aeródromos com Torre de Controlo em <i>part-time</i> ; i.e., quando a Torre está operacional, a unidade Ar-Solo (tipo I) está desactivada, estando a operar a unidade Solo-Solo (tipo II). Quando a Torre está inoperacional, o sistema Ar-Solo está activo e o sistema Solo-Solo está inactivo. A transição de operação de tipo Solo-Solo para o tipo Ar-Solo é feita pelo sistema Solo-Solo.

Tabela 1 - Tipos de sistemas L-854

Os decodificadores dos sinais recebidos podem ser de dois tipos: A e B. O decodificador de tipo B não faz parte do âmbito deste trabalho. Este tipo de decodificador está especificado no Anexo D.

O decodificador de tipo A deve activar 1, 2 ou 3 relés mediante a recepção de uma série

(7 no máximo) de impulsos (correspondentes aos cliques no PTT), num intervalo de tempo de 5 segundos, manter os relés activados durante um intervalo de tempo de 15 minutos e desactivar os relés, terminado estes 15 minutos. Isto é, inicia-se a contagem do intervalo de 5 segundos, logo que seja recebido o primeiro impulso. Ao terceiro impulso, o primeiro relé é activado. Ao quinto impulso, o segundo relé é activado. Ao sétimo impulso, o terceiro relé é activado.

Se 2 ou 3 relés estão activos e for recebida uma nova série de impulsos, ao terceiro impulso, todos os relés excepto o primeiro são desactivados e o temporizador é reiniciado para um novo intervalo de 15 minutos. Ao quinto impulso, o segundo relé é activado. Ao sétimo impulso, o terceiro relé é activado.

Além da especificação das funcionalidades dos sistemas L-854, esta AC especifica também os requisitos técnicos destes sistemas sob todos os aspectos eléctricos, físicos e mecânicos de todos os componentes constituintes, ao abrigo de normas internacionais da NTIA, FCC, IEEE e ISO.

2.3 A BANDA AÉREA

As radiocomunicações aeronáuticas estão, dentro de certas faixas de frequências do espectro radio-eléctrico, reservadas à aeronáutica através de tratados internacionais [17] [18]. Em Portugal, de acordo com os tratados internacionais, a Banda Aérea está contemplada no Quadro Nacional de Atribuição de Frequências (QNAF), publicado pela Autoridade Nacional de Comunicações (ANACOM) [19]. Esta faixa subdivide-se em diversas faixas de frequências, porém nas comunicações entre aeronaves e aeródromos civis é normalmente usada a faixa de VHF que se estende entre os 108 MHz e os 137 MHz. Esta faixa, por sua vez subdivide-se nas faixas seguintes:

- 1) 108 MHz - 117,975 MHz: Radio-navegação aeronáutica (radio-ajudas aeronáuticas);
- 2) 117,975 MHz - 137 MHz: Móvel aeronáutico

Os primeiros 10 MHz da faixa (108 MHz - 117,975 MHz) estão divididos em 200 canais com 50 kHz de largura de faixa. Estes canais destinam-se a sistemas de auxílio à navegação tais como balizas VOR, e a sistemas de aproximação de precisão tais como um Sistema de Aterragem por Instrumentos (*Instrument Landing System* - ILS).

Os últimos 19 MHz, na maioria dos países, subdividem-se em 2280 canais com 8,33 kHz de largura de faixa, destinados maioritariamente a transmissões de voz em Amplitude Modulada; alguns canais estão reservados a transmissão de dados (*e.g.*, *Aircraft Communications Addressing and Reporting System* - ACARS¹²). Nesta sub-faixa, as mensagens de voz podem ser de dois tipos:

- 1) Mensagens pré-gravadas (*e.g.*, ATIS ou VOLMET) que são emitidas continuamente, numa frequência particular, com mensagens de ordem meteorológica e outras informações necessárias ao piloto.
- 2) Mensagens de comunicações entre a aeronave e o centro de controlo de tráfego aéreo ou o centro de operações da companhia aérea a que pertence a dita aeronave.

Actualmente, muitos países operam ainda estes 19 MHz divididos em apenas 760 canais com 25 kHz de largura de faixa, conforme ficou definido em 1990. No entanto, por força da escassez de canais em algumas regiões “aeronauticamente congestionadas” do mundo, triplicou-se o número de canais ($760 \times 3 = 2280$), reduzindo para um terço a largura de faixa de cada canal inicial ($25 / 3 = 8,33$). Assim, a 31 de Dezembro de 2018, todos os equipamentos radio-eléctricos para esta faixa, deverão operar em canais espaçados de 8,33 kHz¹³.

Sendo o alcance das ondas VHF praticamente em linha-de-vista, a Banda Aérea é utilizada para comunicações de curta e média distância. A Conferência europeia das administrações de correios e telecomunicações (CEPT - *Conférence Européenne des Administrations des Postes et Télécommunications*) é responsável pela harmonização das frequências na Banda Aérea VHF, na Europa. Esta faixa é operada em Modulação de Amplitude (H3E ou A3E).

12 ACARS é um sistema usado na aviação comercial para a transmissão de mensagens de texto entre as aeronaves os centros de operações das companhias aéreas ou até os centros de controlo de tráfego aéreo.

13 Implementação da Directiva Europeia (EU) n.º 1079/2012 de 16 de Novembro de 2012, da Comissão Europeia. Norma disponível na Internet em: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:320:0014:0024:EN:PDF>

Os sistemas PCL operam na segunda sub-faixa (117,975 MHz ~ 137 MHz), em canais particulares, publicados no manual do aeródromo e nas cartas aéreas.

2.4 RECEPÇÃO DOS SINAIS DE RÁDIO

As Especificações L-854, no respectivo parágrafo 3.4.3 (*Receiver*), referem que o receptor para sistemas L-854 de Tipo I deve ser de tipo super-heteródino.

O receptor típico de rádio de tipo super-heteródino é composto por um filtro passa-faixa de entrada, um oscilador de frequência variável (VFO – *Variable Frequency Oscillator*), por um misturador ou multiplicador (*Mixer*) e por um outro filtro, para sintonizar o sinal desejado numa frequência intermédia (se for de múltipla conversão) ou numa faixa de frequências de base. A saída deste filtro é seguidamente digitalizada e processada ou simplesmente aplicada a um desmodulador seguido de um amplificador de áudio (*e.g.*, no caso de um rádio vulgar). Se o receptor possuir apenas um *Mixer*, é apelidado de receptor super-heteródino de conversão simples; se tiver dois conversores, será um receptor de dupla conversão, e por aí em diante. A Figura 1 ilustra a composição típica de um receptor super-heteródino de conversão simples.

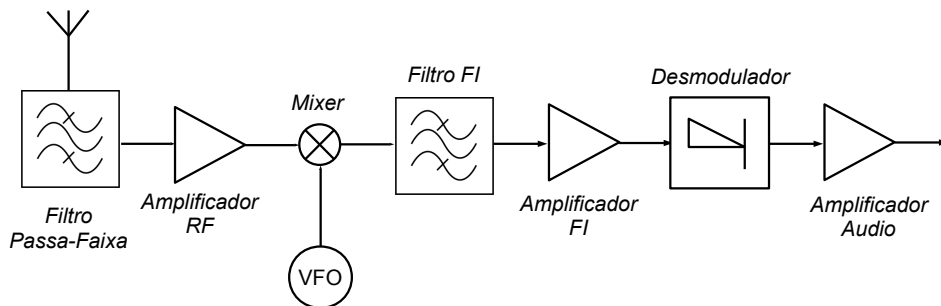


Figura 1 – Receptor super-heteródino de conversão simples

Existem no entanto, receptores de conversão directa; *i.e.*, sem conversão de frequência (sem *Mixer*), também conhecidos por homódinos ou *zero-IF* (*zero Intermediate Frequency*). Nestes receptores, o sinal é desmodulado usando uma detecção síncrona do mesmo, através de um oscilador local cuja frequência é idêntica à do sinal recebido. Este tipo de circuito apesar de ser mais simples, possui uma resposta dinâmica muito limitada; o

que, por exemplo, sem o recurso a uma PLL, inviabiliza a recepção de sinais modulados em AM ou FM.

Nos anos '70, a análise computadorizada de sinais marcou o início de uma transformação paradigmática nos sistemas de rádio: os receptores digitais. Porém só na década seguinte é que apareceram (no seio de agências governamentais) os primeiros receptores de rádio digitais controlados por *software*. Com o desenvolvimento da tecnologia electrónica e o aparecimento dos Processadores Digitais de Sinal (*DSP*), o típico receptor de rádio viu a maioria dos seus elementos constituintes (Figura 1), serem substituídos por linhas de código de programação. Trata-se aqui do *Software Defined Radio* (SDR). A Figura 2 apresenta um diagrama de bloco de um típico sistema SDR.

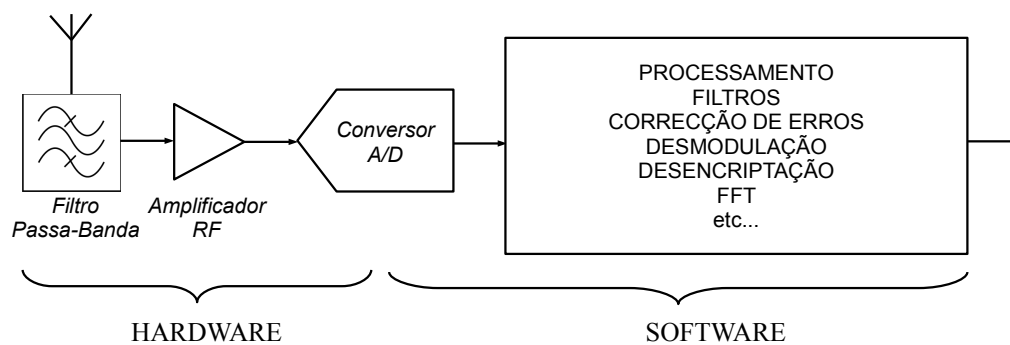


Figura 2 – Diagrama de bloco de um *Software Defined Radio*

O sistema SDR ideal consistiria em acoplar uma antena directamente à entrada de um Conversor Analógico-Digital (ADC) e seria capaz de cobrir a faixa de frequências entre os 9 kHz e os 300 GHz, conseguindo desmodular todos os modos e respectivas larguras de faixa, configurando-se autonomamente perante o reconhecimento automático do tipo de sinal recebido. Porém, a tecnologia disponível em termos de desempenho na área de RF, bem como na área dos semicondutores, nomeadamente os conversores ADC, limitam a aplicabilidade deste paradigma.

À fiabilidade do *hardware* desenvolvido, há a ter em conta a fiabilidade (ou falta dela) do *software* associado e que por este representar o maior componente deste tipo de receptores, acaba por definir a fiabilidade global do mesmo.

2.5 SISTEMAS PCL DISPONÍVEIS NO MERCADO

No mercado de equipamentos para aeródromos, encontram-se sistemas PCL a preços que vão desde cerca de 300 € até mais de 5.000 €, consoante a origem do equipamento, as funcionalidades de cada um, mas sobretudo pelo facto do equipamento cumprir ou não as normas técnicas da FAA (*Federal Aviation Administration*) e da FCC (*Federal Communications Commission*)¹⁴.

2.5.1 Hamtronics, Inc.

Os mais simples e rudimentares encontrados são, de facto, *kits* desenvolvidos e vendidos nos Estados Unidos pela Hamtronics, Inc.; uma empresa fundada por radioamadores e especializada no desenvolvimento de soluções radio-eléctricas em VHF e UHF. Esta empresa oferece três sistemas PCL sob a denominação *Aviation Runway Light Controller*, com preços que vão desde os 299 USD aos 399 USD. Pelo facto destes equipamentos serem vendidos em *kit*, os mesmos carecem de alguns acessórios, tais como o invólucro para albergar a placa de circuito impresso, a fonte de alimentação, os relés para os circuitos de potência, etc. Portanto, aos preços supracitados deve ser adicionado o custo destes acessórios. Os modelos propostos pela Hamtronics são o R122, R123 e o R317, conforme ilustra a Tabela 2.

Estes modelos funcionam de acordo com os princípios básicos dos sistemas PCL de tipo K. Porém não estão conformes à norma técnica L-854 da FAA.

Nos três modelos, o utilizador pode configurar a frequência de serviço por meio dos micro-interruptores disponíveis no circuito. Porém, para afastamentos superiores a 2 MHz relativamente à frequência pré-configurada, é necessário um reajuste das bobinas.

As três saídas de controlo são constituídas por transístores em colector aberto, que podem conduzir à massa até 50 mA sob 15 V_{DC}. Isto permite o accionamento dos relés para o controlo das luzes.

¹⁴ Apesar da FAA e da FCC serem organizações governamentais norte-americanas, na Aviação, outros países do mundo (incluindo da Europa) aplicam normas destes organismos, perante a eventual inexistência de regulamentação homóloga local.



Preço	299,00 USD	399,00 USD	399,00 USD
Frequências	118 – 137 MHz	118 – 137 MHz	225 – 400 MHz
Canais	760 (25 kHz)	760 (25 kHz)	7000 (25 kHz)

Tabela 2 – Sistemas PCL propostos pela Hamtronics, Inc. [20][21][22]

2.5.2 PJ Aviation cc.

Com direito a um invólucro resistente aos raios UV e um índice de protecção IP54, a PJ Aviation cc propõe o seu *Runway Lighting Controller*, modelo RLC-05, por cerca de 500,00 €.

Este sistema PCL deixa a recepção dos sinais VHF a cargo de um receptor de Banda Aérea, COTS (*Commercial off-the-shelf*); neste caso, um receptor de marca Maycom e modelo AR-108. Este receptor foi (já não se fabrica) o receptor de Banda Aérea mais barato do mercado; tendo sido muito popular entre os *plane-spotters* e outros aficionados da Banda Aérea, devido às suas características (receptor digital) e ao seu preço reduzido (entre 49 e 65 Euros, em lojas da especialidade). Este receptor permite a recepção de sinais AM e FM entre os 108 MHz e os 180 MHz (a Banda Aérea termina nos 137 MHz) com espaçamento de canais de: 5 kHz; 10 kHz; 12.5 kHz; 15 kHz; 25 kHz e 1MHz [23].



Este sistema funciona, de série, em acordo com os sistemas PCL de tipo K. No entanto,

este fabricante de África de Sul oferece a possibilidade de personalizar as sequências de comandos (cliques) de controlo das saídas.

Adicionalmente, este sistema permite a interligação com um sistema de voz sintetizada para reportar as condições meteorológicas. Esta funcionalidade adicional, carece de um transmissor e de uma estação meteorológica automática.

2.5.3 Mentor Radio, LLC.

Esta empresa norte-americana disponibiliza por preços entre os 700 e os 900 Dollars americanos, sob a denominação de Radio Controlled Unit, modelo M2115RCU, um sistema PCL para utilização em exterior e certificável pela FAA ao abrigo das Especificações L-854.

Este sistema opera na faixa 118-137 MHz com canais espaçados de 8,33 kHz ou 25 kHz, conforme seja instalado na Europa ou não, respectivamente. A frequência de operação deste sistema é programada com recurso a uma aplicação que corre em ambiente Windows.



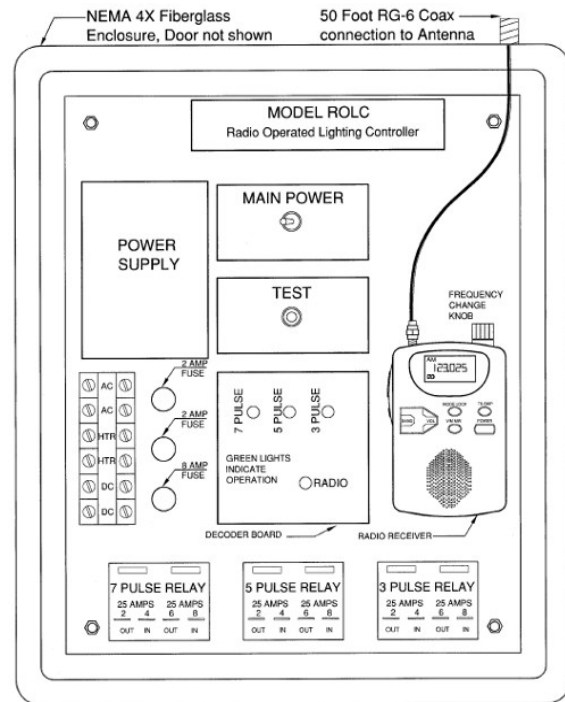
Este sistema PCI permite o controlo de uma, duas ou três saídas, configuráveis por meio de micro-interruptores. Estes servem também ajustar o tempo de permanência das saídas em estado ligado; até ao máximo de uma hora. O M2115RCU está equipado com uma bateria interna para manter o estado lógico das saídas (relés) em caso de falha de energia eléctrica (na alimentação do próprio sistema).

2.5.4 Heliport Systems, Inc.

Por 2.450 USD, a Heliport Systems, Inc. fornece o seu *Radio Operated Lighting Controller* (ROLC). Este sistema é semelhante ao PCL da PJ Aviation, por também recorrer a um receptor COTS para tratar da recepção dos sinais VHF.

Trata-se de um sistema PCL que pode ser instalado no exterior por estar alojado numa caixa de tipo NEMA 4X¹⁵ e que respeita as Especificações L-854 da FAA. Além disso, permite o ajuste do temporizador entre 15 e 60 minutos, vem equipado com três relés bipolares de 25 A e a frequência de operação pode ser ajustada pelo utilizador (não necessita de voltar à fábrica).

Este sistema permite a activação selectiva de dois grupos de luzes em que um deles pode ser posteriormente desligado pelo piloto quando no solo, sem ter de esperar pelo fim da temporização. Por exemplo, um PAPI ou as luzes de placa podem ser desligados na fase final da aproximação a um heliporto, uma vez que estas luzes podem causar encandeamento ao piloto, à medida que o helicóptero se aproxima do solo. Os relé podem também ser usados para outras finalidades tais como o controlo do portão eléctrico de um hangar.



Este sistema permite a activação selectiva de dois grupos de luzes em que um deles pode ser posteriormente desligado pelo piloto quando no solo, sem ter de esperar pelo fim da temporização. Por exemplo, um PAPI ou as luzes de placa podem ser desligados na fase final da aproximação a um heliporto, uma vez que estas luzes podem causar encandeamento ao piloto, à medida que o helicóptero se aproxima do solo. Os relé podem também ser usados para outras finalidades tais como o controlo do portão eléctrico de um hangar.

2.5.5 REMF Avionics S.A.

A REMF Avionics disponibiliza no mercado o SLT300, descrito como sendo um Receptor de Telecomando. Por um preço que varia entre 2500 e 2700 €, este dispositivo que existe em vários formatos, está equipado de um emissor/receptor COTS de 760 canais (25 kHz); também desenvolvido por esta empresa francesa. A temporização das luzes é ajustável de 15 a 99 minutos.



Por estar dotado de um emissor, este pode enviar um *Bip* à aeronave para informar o piloto

¹⁵ NEMA 4X é um tipo de invólucros cujas características equivalem à classificação europeia IP56 [24].

da boa recepção do clique previamente enviado por este. Além disto, o emissor pode ser usado como um emissor VHF redundante ou ainda servir para emitir anúncios ATIS¹⁶. Este sistema está também equipado de bateria interna de emergência com oito horas de autonomia, possui funções de teste e pode permite a instalação de opções adicionais, tais como envio de um código DTMF ou de um *Bip*, instantes antes do término da temporização.

2.5.6 ADB Airfield Solutions

O sistema proposto pela ADB Airfield Solutions está certificado pela FAA em cumprimento das Especificações L-854 e está conforme às normas da ICAO¹⁷, FCC¹⁸ e T/C¹⁹.

Este dispositivo, além de todas as funções comuns aos equipamentos “L-854”, pode ser configurado para funcionar como um ARCAL de tipo J ou K, possui um altifalante interno e pode ser configurado remotamente mediante o *Remote Maintenance Module* (RMM), opcional. A temporização pode ser ajustada para 1, 15, 30, 45 e 60 minutos. Uma função configurável permite que o temporizador seja reiniciado (antes do fim da temporização), sem que haja alteração do estado lógicos das diversas saídas de controlo (relés). Este sistema está protegido contra múltiplas activações, durante o dia, quando o CTA está no controlo normal das luzes.



Este equipamento tem um custo que varia entre os 3700 e os 4000 Euros.

16 Os anúncios ATIS são mensagens de voz sintetizada que informam os pilotos acerca de assuntos pertinentes respeitantes o aeródromo (*e.g.*, meteorologia, pista em uso, frequência de determinados serviços, outras informações relevantes)

17 ICAO: *Aerodrome Design Manual*, Part 5 para. 3.4.6

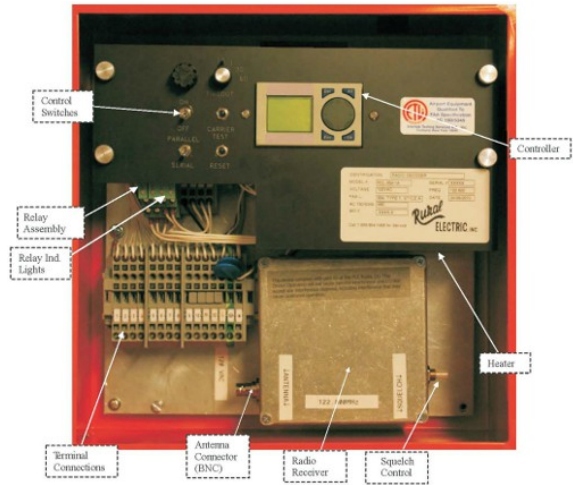
18 FCC: 47 CFR, Part 15:2007 (Class A)

19 T/C: Transport Canada TP 312 – *Aerodromes Standards and Recommended Practices*

2.5.7 Rural Electric, Inc.

Outro sistema certificado pela FAA é o modelo RDL-854 *Radio Receiver/Decoder*, fabricado pela Rural Electric e que de entre os modelos encontrados no mercado, é o que tem maior representação comercial em termos de fornecedores.

O temporizador deste sistema é programável para durar 1, 15, 30 ou 60 minutos. Porém a frequência de operação é configurada de fábrica, o que obriga o utilizador a retornar o equipamento à fábrica se necessitar alterar a frequência de operação (*e.g.*, devido ao aparecimento de interferência crónica).



Tal como o modelo anterior, este equipamento está protegido por um invólucro de classe NEMA 4, que lhe permite ser instalado no exterior.

Dependendo dos fornecedores consultados, o preço deste equipamento variava entre os 1790 e os 2814 Dólares americanos.

2.5.8 Comparativo dos modelos disponíveis no mercado

Além dos modelos apresentados até aqui, a tabela 3 resume e compara os modelos encontrados no mercado, até Abril de 2015.

MARCA	MODELO	TIPO	PREÇO (€)	FREQ. (MHz)	CANAIS (kHz)	SAÍDAS	FAA L-854?	BAT.	TEMPO	OPÇÕES
REMF AVIONICS	SLT300x	K	2500 2700	118-137	8,33 / 25	2	DGA STNA ²⁰	SIM	PROG.	Bip DTMF
MENTOR RADIO	M2115RCU	K	625 800	PROG.	8,33 / 25	3	SIM	SIM	SEL.	-
ADB	RCE-2211	J, K	3700	118-136	8,33 / 25	3	SIM	-	15 min	RMM
RURAL ELECTRIC	RDL854	K	1600 2510	FIXA	-	4	SIM	-	SEL.	HCB
HELIPORT SYSTEMS	ROLC	K	2200	118-137 225-450	8,33 / 25	3	SIM	-	SEL.	-
WINDTEK	PCL	-	650	108-140	25	1	-	-	15 min	-
PJ AVIATION	RLC-05	K	490	118-137	25	3	-	-	15 min	ATIS
GENERAL COMM.	394516		4400				-			-
FEC	HP0656	K	3520	118-136 SMS	25	3	-	-	PROG.	METEO + 2 saídas
POINT LIGHTING	PRC-65001	-	4131	118-136	25	1	-	-	15 min	SOP
POINT LIGHTING	PRC-65003	K	5148	118-136	25	3	-	-	15 min	-
HAMTRONICS	R122	K	Obsoleto	FIXA	-	3	-	-	15 min	-
HAMTRONICS	R123	K	355	118-137	25	3	-	-	15 min	-
HAMTRONICS	R317	K	355	225-400	25	3	-	-	15 min	-
FLIGHT LIGHT	HL-HSC	K		118-137	25	1	-	-	1-35 min	-
REGINALD BENNETT	M15RCU	K		118-136	25	3-5	SIM		15 min	-

Tabela 3 – Comparativo de sistemas de controlo remoto de luzes de aeródromo

²⁰ DGA – *Direction Générale de l'Armement* (Organismo do ministério da defesa francês)

STNA – *Service Technique de la Navigation Aérienne* (Organismo da DGAC – *Direction Générale de l'Aviation Civile*, em França)

3. ESPECIFICAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

3.1 INTRODUÇÃO

A função primária de um Sistema de Controlo Remoto de Luzes de Aeródromo (SCRLA) é permitir a utilização máxima do sistema de luzes de um aeródromo quando este não tem ninguém para as ligar/desligar.

O sistema desenvolvido e apresentado neste relatório é, segundo as Especificações L-854 da FAA [Anexo D], de tipo I; *i.e.*, um sistema de comunicação simplex Ar-Solo, constituído por um receptor VHF de AM e por um descodificador tipo A, conforme descritos no capítulo anterior (*cf.* capítulo 2.2).

Além das funções básicas especificadas no documento L-854, este sistema, controlado digitalmente, oferece ao utilizador uma interface Pessoa-Máquina que permite a configuração e/ou o ajuste de diversos parâmetros de funcionamento.

Equipado com uma célula foto-eléctrica, o sistema pode ignorar eventuais activações das luzes, durante o dia. Esta funcionalidade adicional pode ser inibida através do menu de configurações da interface Pessoa-Máquina.

As Especificações L-854 referem apenas três saídas comandáveis pelo rádio da aeronave; uma saída para cada nível de intensidade de luz. O sistema desenvolvido possui uma quarta saída que é activada sempre que pelo menos uma das outras três seja activada. Esta quarta saída destina-se a sistemas auxiliares tais como luzes cuja intensidade não necessite de ser

variável (*e.g.*, PAPI, VASI, WDI, etc.) ou algum sistema externo que não estando directamente relacionado com a aterragem de uma aeronave, necessita do conhecimento da activação das luzes para efeitos terceiros.

O sistema possui ainda um porto de comunicações que permite a interligação com diversos dispositivos periféricos, opcionais, tais como:

- 1) Um modem GSM para o envio de mensagens de texto (SMS) informando o destinatário (*e.g.*, Director do aeródromo) de que o sistema foi activado. Este modem pode ainda usado para activar as saídas do próprio sistema mediante a recepção de uma mensagem de texto pré-definida; em vez de ser usado um rádio VHF.
- 2) Um conversor Série-USB ou Série-Ethernet para ligar o sistema a algum computador externo para efeitos de *Logging* ou de programação antecipada da activação das luzes.
- 3) Um transmissor VHF para enviar à aeronave um tom acústico, em jeito de resposta (*feed-back*) ao comando recebido. Este transmissor pode ainda ser utilizado, em conjunto com uma estação meteorológica automática, para a transmissão de informações locais de meteorologia e/ou de mensagens informativas tipo ATIS.

O diagrama de blocos da Figura 3 ilustra a composição do sistema desenvolvido.

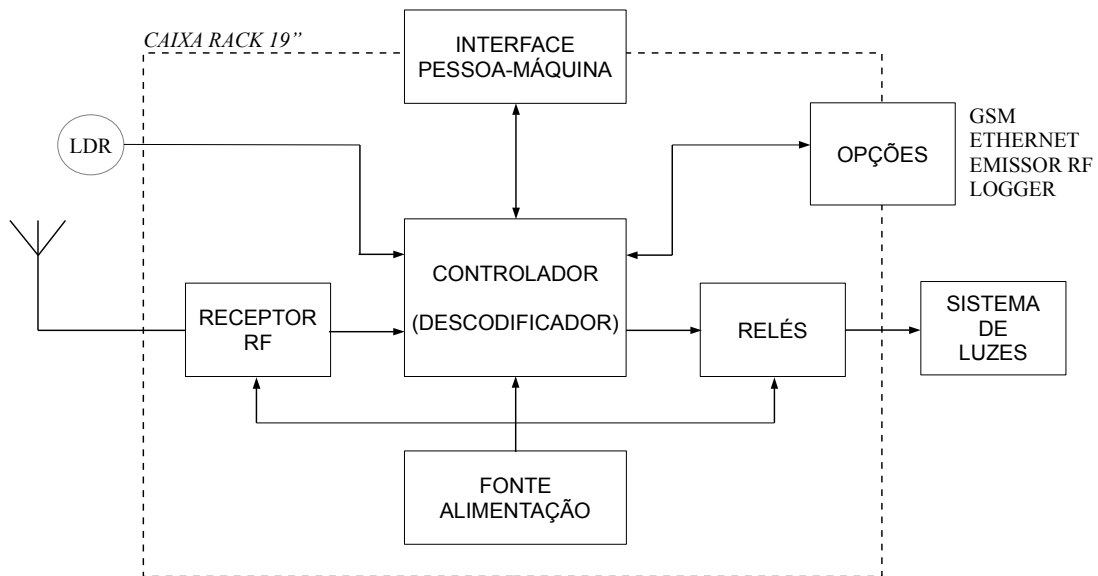


Figura 3 – Diagrama de blocos do SCRLA

3.2 O RECEPTOR DE RÁDIO

O receptor de radio é de tipo super-heteródino de dupla conversão, cobre a parte de comunicações de sinais e voz (118 MHz – 137 MHz) da Banda Aérea civil, e permite a descodificação de sinais modulados em amplitude (AM).

Este receptor apresenta na sua saída, um sinal digital cujos níveis lógicos correspondem à detecção ou não de uma portadora AM na frequência em uso no sistema; *i.e.*, sintonizada no receptor.

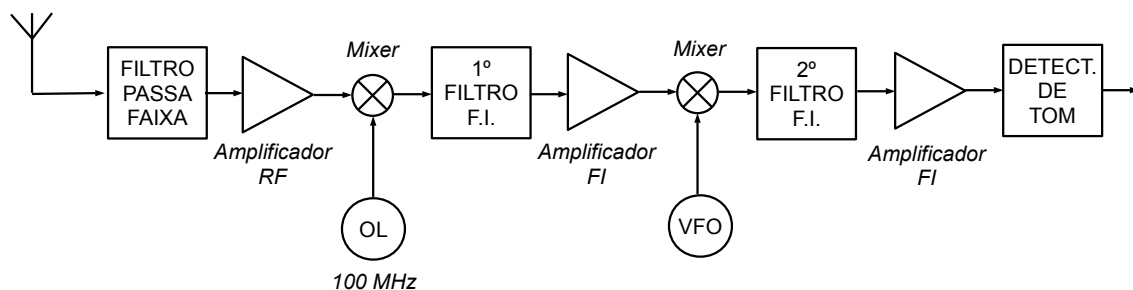


Figura 4 – Diagrama de blocos do módulo receptor

3.2.1 Filtro Passa-Faixa de entrada

Conforme ilustra a Figura 4, o sinal emitido pela aeronave é induzido na antena e aplicado à entrada de um amplificador de radio-frequência (RF) de faixa larga para VHF, após ter sido filtrado por um filtro passa-faixa com frequência central e largura de faixa apropriados ao espectro da Banda Aérea. Neste caso a frequência central (f_c , na Figura 6) é de 127,5 MHz e a largura de faixa do filtro é de cerca de 25 MHz (nos -3 dB).

O filtro Passa-Faixa é do tipo Chebyshev de 5ª ordem, com a topologia em Π conforme ilustra a Figura 5 e cuja resposta em frequência é ilustrada pela Figura 6.

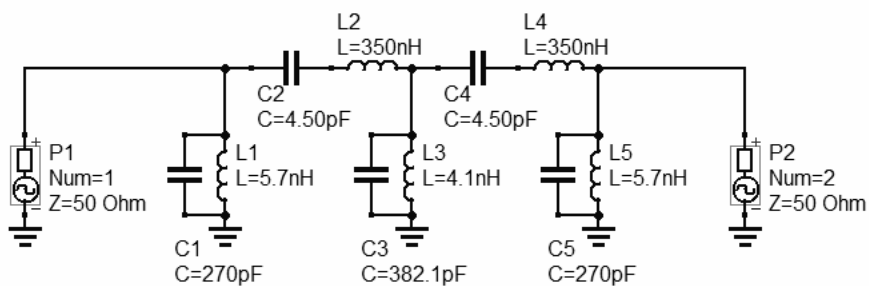


Figura 5 – Filtro Passa-Faixa do módulo receptor

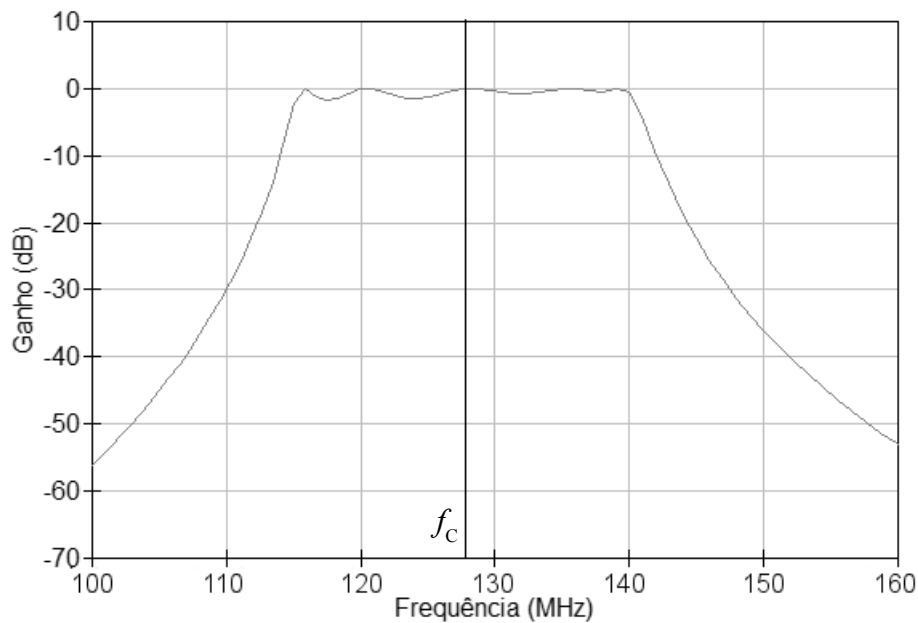


Figura 6 – Resposta em frequência do filtro Passa-Faixa

3.2.2 Amplificador de RF

O amplificador de RF está baseado no circuito integrado MICRF300 (fabricado pela Micrel, Inc.) que é um amplificador de baixo ruído (LNA – *Low Noise Amplifier*) com um factor de ruído melhor que 1,2 dB para um ganho aproximado de 18 dB [27]. Este circuito integrado requer apenas componentes externos para a adaptação de impedâncias, sendo que a sua aplicação na cadeia da Figura 4 é praticamente directa.

3.2.3 Primeiro Andar Conversor

O sinal de saída do Amplificador RF, f_{RF} é multiplicado (no *Mixer*) com um sinal sinusoidal f_{OL} , de 100 MHz produzido pelo Oscilador Local (OL). Na saída do *Mixer*, f_{FI} , obtêm-se dois sinais correspondentes à soma e à diferença dos sinais de entrada do *Mixer*, de acordo com a expressão:

$$f_{FI} = \begin{cases} f_{RF} + f_{OL} \\ f_{RF} - f_{OL} \end{cases} \quad [\text{Hz}] \quad (1)$$

Como à entrada f_{RF} do *Mixer* é aplicada a faixa da Banda Aérea, uma “cópia” da Banda Aérea passa a estar disponível entre os 18 MHz e os 37 MHz, e outra entre os 228 MHz e os 237 MHz, na saída do *Mixer*, conforme ilustra a Figura 7.

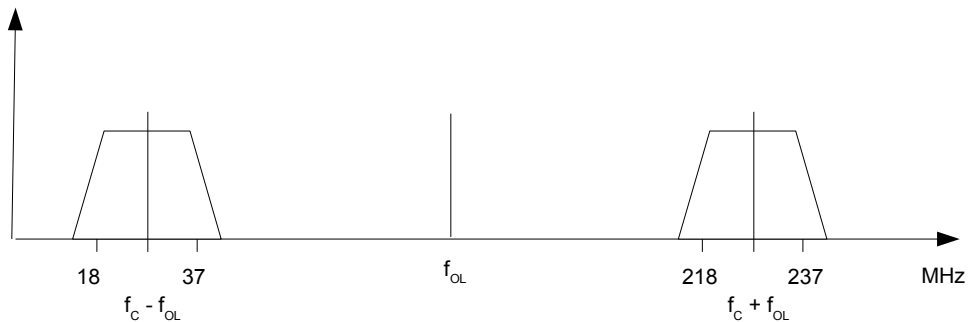


Figura 7 – “imagens” da Banda Aérea, depois desta ser multiplicada por f_{OL} , no *Mixer*

O *Mixer* empregue é fabricado pela NXP Semiconductors N.V., sob a referência SA602A. Trata-se de um misturador monolítico com amplificador e oscilador internos, de baixa potência, apropriado para aplicações em VHF; nomeadamente na produção de Frequências Intermédias a partir de sinais tão fracos quanto -119 dBm [28].

Este componente, tal como o amplificador RF, requer poucos componentes externos na sua aplicação no circuito do receptor. Estes componentes são todos passivos e destinam-se apenas à adaptação da entrada e da saída sob o ponto de vista do balanceamento das cargas.

Para eliminar a “cópia espectral” superior (*i.e.*, entre os 218 e os 237 MHz), recorre-se a um filtro de Frequência Intermédia (FI). Este filtro é nesta realidade, um filtro passa-faixa com frequência de corte inferior de cerca de 15 MHz e frequência de corte superior de cerca de 39 MHz. A Figura 8 ilustra o circuito utilizado (Chebyshev de 6ª ordem) e a Figura 9 ilustra a resposta em frequência do mesmo. O 1º Filtro FI em conjunto com o *Mixer* e o Oscilador Local formam o primeiro andar conversor (tipo *down-converter*) do receptor super-heteródino.

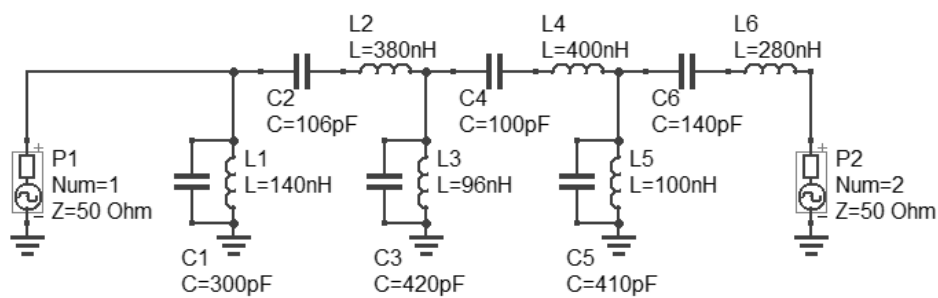


Figura 8 – 1º Filtro FI

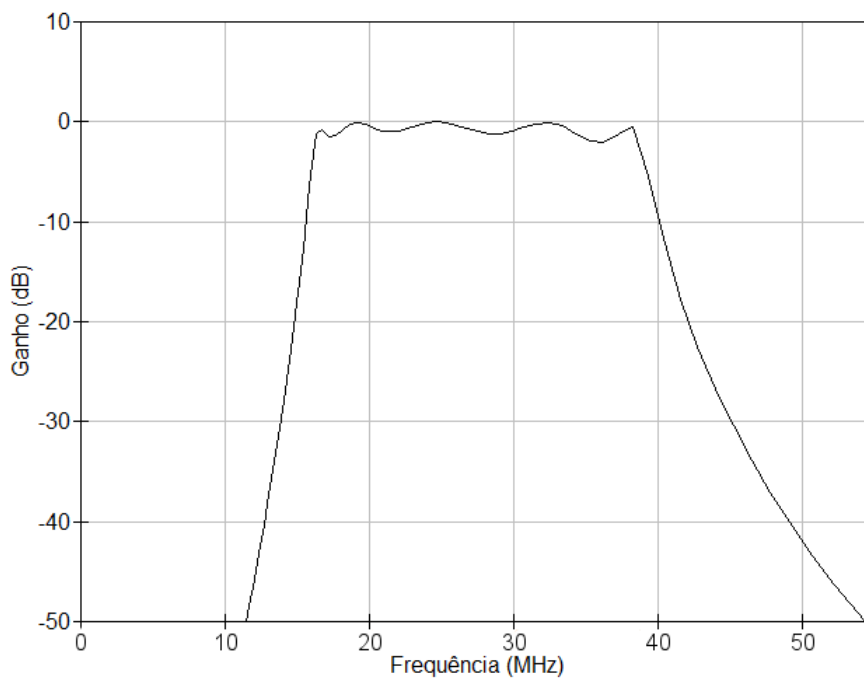


Figura 9 – Resposta em frequência do 1º Filtro FI

Para compensar a atenuação (apesar de ser inferior a 3 dB na faixa de interesse) que o 1º Filtro FI provoca nos sinais, estes são amplificados pelo Amplificador FI antes se serem aplicados à entrada do segundo andar conversor.

Este Amplificador FI é baseado no transistor NPN, modelo BFG135, cujo produto Ganho *versus* Largura de Faixa é tipicamente de 7 GHz, permitindo ganhos elevados na faixa de frequências à saída do 1º Filtro FI [29]. Apesar deste componente não ser dos mais baratos, comparativamente a um 2N3904 por exemplo, a disponibilidade do mesmo aliado às respectivas características, tiveram o peso decisivo no momento da escolha para o desenvolvimento do protótipo. A Figura 10 ilustra o circuito implementado no simulador Qucs e a Figura 11 apresenta a respectiva resposta em frequência.

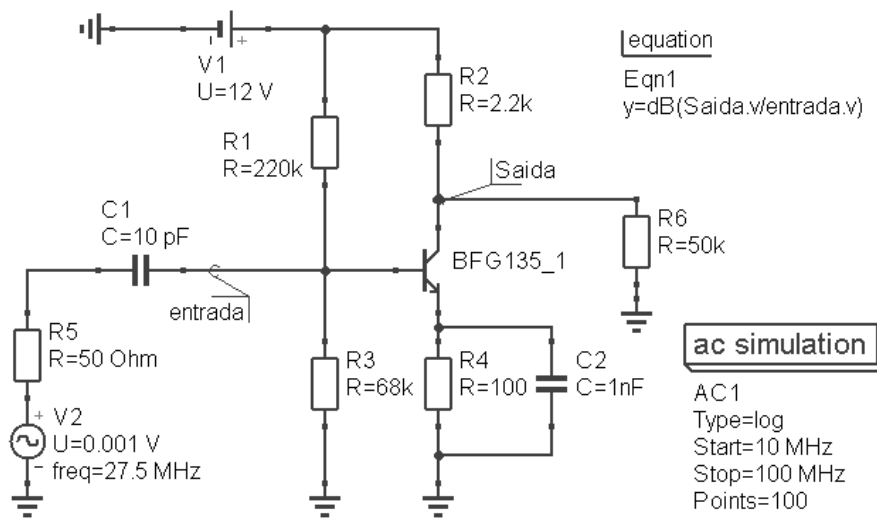


Figura 10 - Amplificador de FI

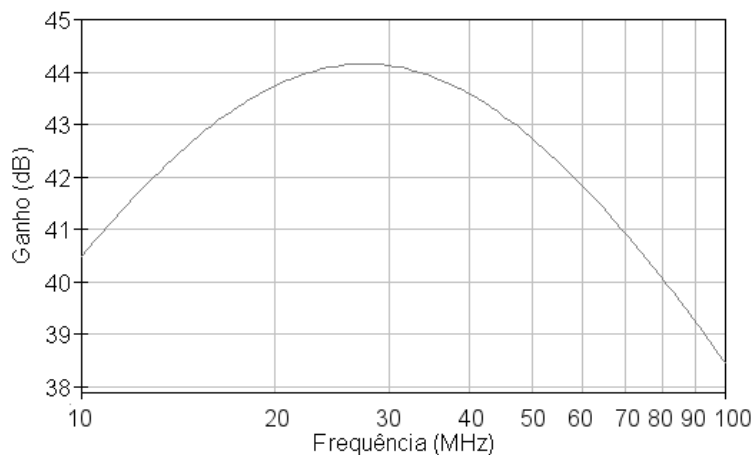


Figura 11 - Resposta em frequência do Amplificador de FI

3.2.4 Segundo Andar Conversor

O segundo andar conversor é semelhante ao primeiro, na composição e no funcionamento; a principal diferença está no facto do respectivo oscilador ser de frequência ajustável. Os osciladores deste tipo são normalmente referidos pelo acrónimo VFO (*Variable Frequency Oscillator*). O VFO é o componente responsável pela sintonização do receptor. Neste trabalho, o VFO é do tipo DDS (*Direct Digital Synthesizer*) e é controlado pelo microcontrolador do sistema, no qual também se encontra o bloco Descodificador, referido no diagrama da Figura 1.

O DDS utilizado é o modelo AD9850, produzido pela Analog Devices, Inc., que excitado por um oscilador de 125 MHz, permite gerar os sinais necessários ao receptor deste sistema, com uma resolução inferior ao Hertz [30]. Este circuito integrado é configurado pelo microcontrolador através de um barramento de comunicação série, assíncrona. Esta configuração é realizada através do envio de uma palavra apropriada de 40 bits que contém a informação acerca do modo de operação do DDS (8 bits), e o valor da frequência a gerar (32 bits). A Figura 12 ilustra o diagrama de blocos do DDS (excerto da *datasheet* do componente [30]).

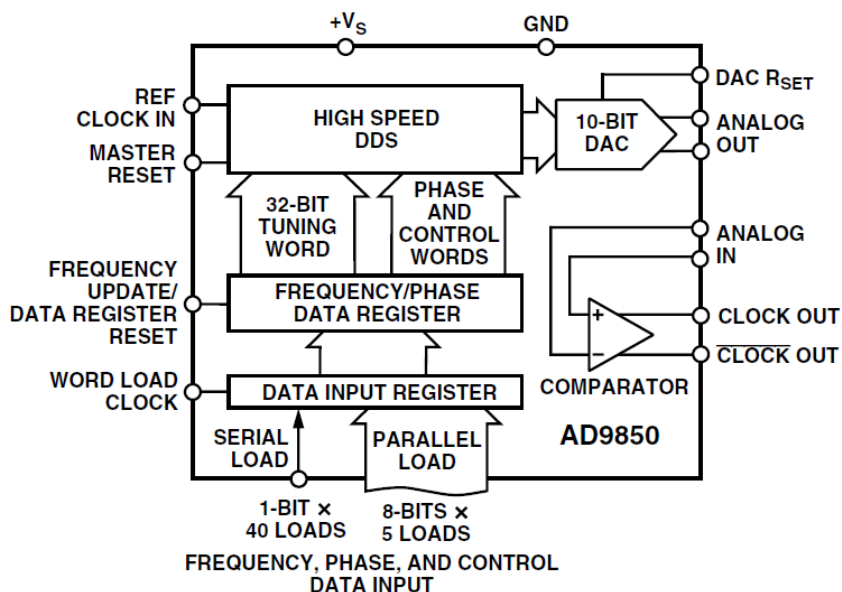


Figura 12 - Diagrama de blocos de DDS, modelo AD9850.

Pelo facto do VFO deste andar conversor ser de frequência variável, o deslocamento espectral imposto pelo respectivo *Mixer*, ao sinal de entrada também é variável. À saída do *Mixer* deste conversor está ligado o 2º Filtro FI que possui uma largura de faixa muito mais

estreita do que a do 1º Filtro FI; cerca de 5 kHz, e a sua frequência central é de cerca de 100 kHz. Por este filtro apenas passam os sinais relativos à emissão feita pelo rádio da aeronave, quando o VFO está devidamente ajustado. Tal como no primeiro andar conversor, o filtro é do tipo Chebyshev passivo, L-C, configurado em Π de 5ª ordem. As figuras 13 e 14 ilustram respectivamente, o esquema e a resposta em frequência deste filtro.

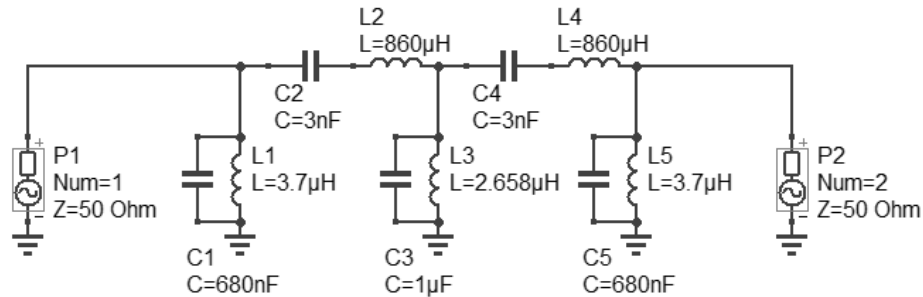


Figura 13 – 2º Filtro FI

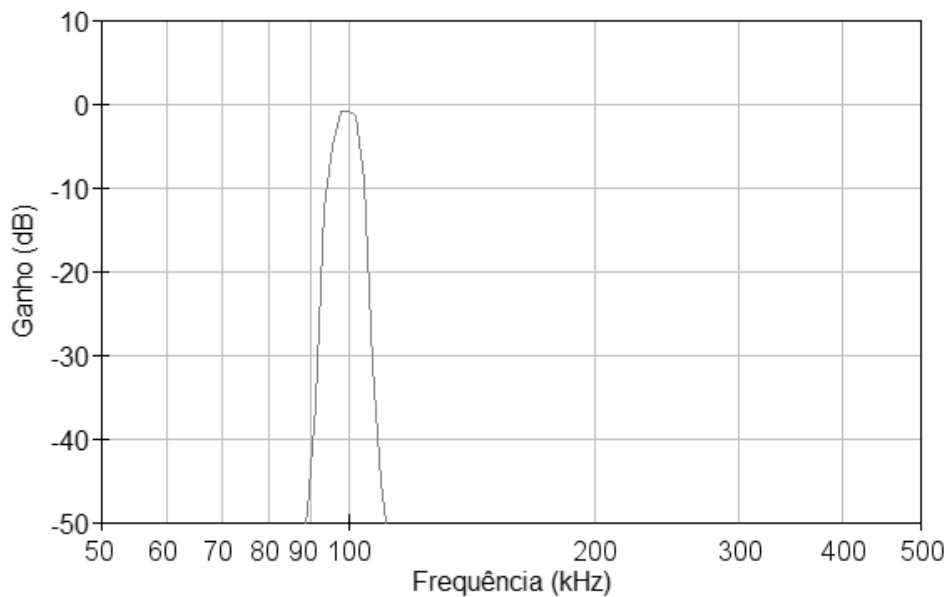


Figura 14 – Resposta em frequência do 2º Filtro FI

O ajuste do VFO é feito de forma que o sinal desejado seja deslocado no espectro radio-eléctrico até ficar dentro dos limites do 2º Filtro FI.

Por exemplo, para a escuta de transmissões na frequência 123,450 MHz, o segundo andar conversor receberá da saída do 1º Amplificador FI um sinal em 23,450 MHz. Para que este sinal seja deslocado para os 100 kHz, no segundo andar conversor, o VFO terá de ser

ajustado para injectar no *Mixer*, um sinal com frequência de 23,350 MHz:

$$f_{VFO} = 23,450 - 0,10 = 23,350 \text{ MHz} \quad (2)$$

A Figura 15 ilustra o ajuste do VFO, de acordo com a expressão 2, para colocar dentro da faixa de passagem do segundo Filtro FI, a imagem do sinal de 23,450 MHz aplicado numa das entradas do *Mixer*.

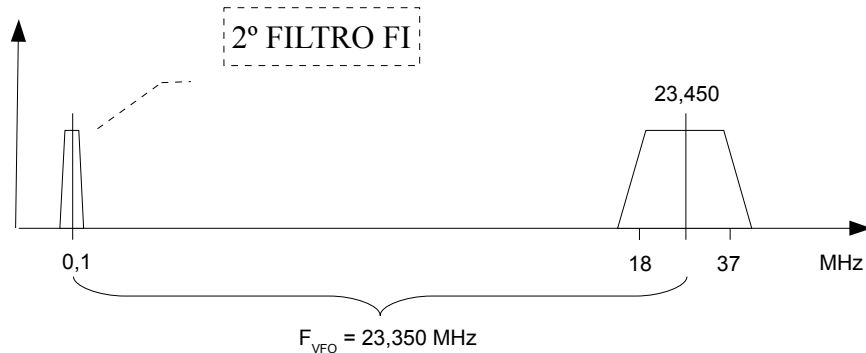


Figura 15 – Ajuste do VFO

Uma vez este sinal filtrado pelo 2º Filtro FI, o mesmo é amplificado tal como no primeiro andar conversor e pelas mesmas razões, e injectado no Detector de Tom, último bloco do receptor de rádio deste sistema. Porém, face à faixa de frequências disponível na saída do 2º Filtro FI, o amplificador implementado recorre a um transistor mais vulgar e menos oneroso; nomeadamente o 2N3904 [31]. A Figura 16 ilustra o segundo Amplificador FI.

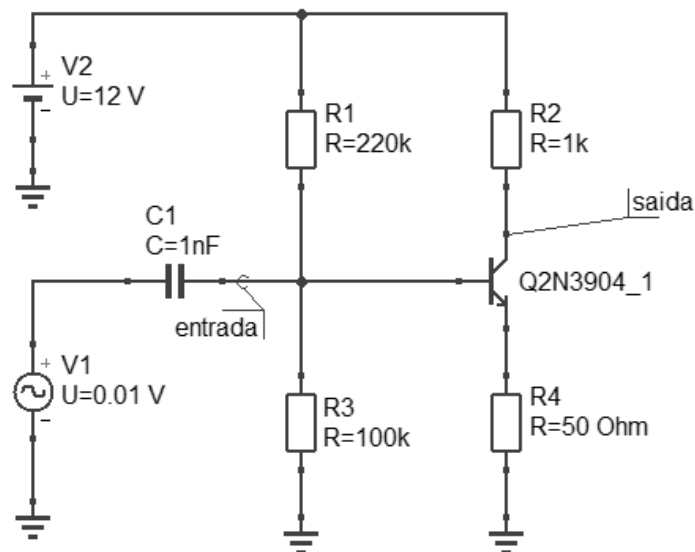


Figura 16 – 2º Amplificador FI

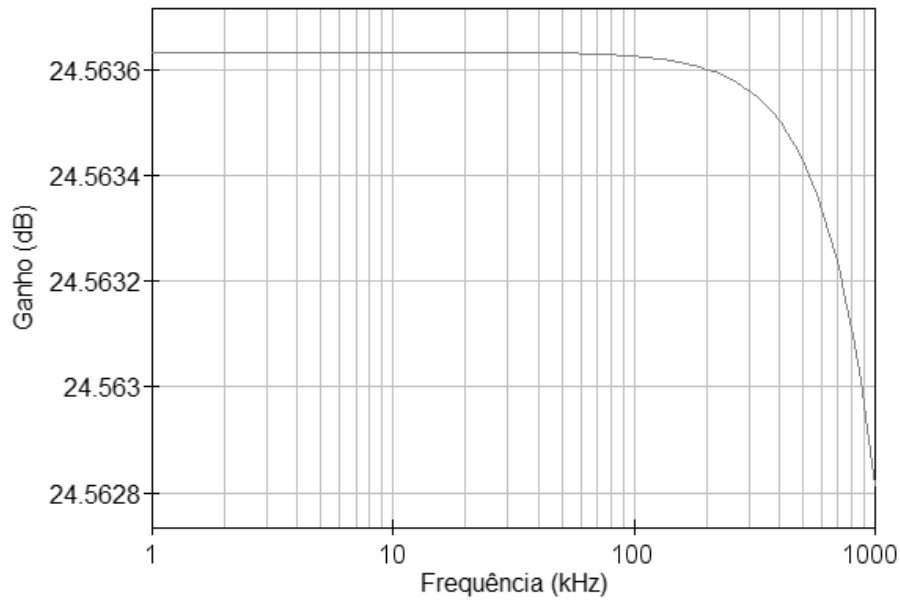


Figura 17 – Resposta em frequência do 2º Amplificador FI

3.2.5 Detector de Tom

O detector de tom é baseado no circuito integrado linear LM567, produzido por diversos fabricantes de circuitos integrados (*e.g.* Texas Instruments). Este circuito integrado com saída transistorizada em colector aberto, satura o respectivo transístor à massa do circuito, quando o sinal de entrada “encaixa” dentro de uma certa faixa de frequências. Esta faixa de frequências é definida por meio de componentes externos que permitem, além da largura da faixa, definir também a frequência central e um eventual atraso na saída [32].

O LM567 pode ser ajustado para funcionar com frequências (f_0) entre os 0,1 Hz e os 500 kHz e a respectiva largura de faixa de detecção (LB) é ajustada de forma independente e pode ir até 14% da frequência de trabalho (f_0), conforme as expressões (3) e (4) e de acordo com os componentes ilustrados na Figura 18.

$$f_0 \approx \frac{1,1}{R1 \cdot C5} \quad [\text{Hz}] \quad \begin{array}{l} R1 \text{ em Ohm} \\ C5 \text{ em Farad} \end{array} \quad (3)$$

$$LB = 1070 \times \sqrt{\frac{V_{ENTRADA}}{f_0 \cdot C2}} \quad [\% \text{ de } f_0] \quad \begin{array}{l} V_{ENTRADA} \text{ em Volt} \\ C2 \text{ em } \mu\text{F} \end{array} \quad (4)$$

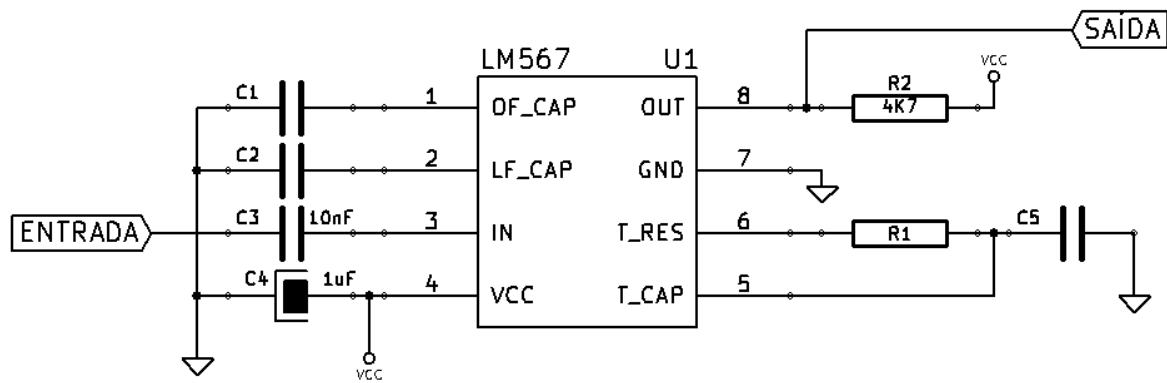


Figura 18 – Esquema de princípio do Detector de Tom

A Figura 19 ilustra o funcionamento do Detector de Tom, em que a saída altera o seu nível lógico quando a frequência do sinal aplicado à entrada fica compreendido na faixa de detecção *LB*.

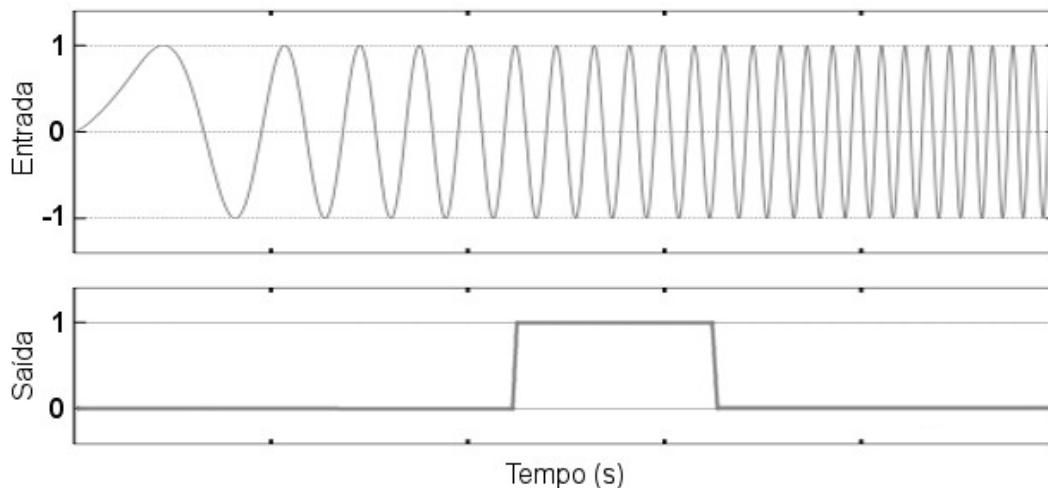


Figura 19 – Funcionamento do Detector de Tom

A alta fiabilidade da detecção é assegurada pela alta rejeição de ruído e dos sinais fora da faixa de detecção. Estas características associadas a um porto digital com capacidade de absorver correntes até 100 mA tornaram este circuito integrado popular em aplicações como detectores de toque, intercomunicações sem fio, controlos remotos ou comunicações por correntes portadoras (PLC – *Power Line Communications*), osciladores de precisão e monitorização e controlo de frequências.

3.3 A RECEPÇÃO ALTERNATIVA DE RÁDIO

Durante os ensaios ao módulo controlador, no período em que o módulo interno de recepção de rádio ainda não estava operacional, foi usado um receptor COTS, de marca ICOM e modelo IC-R5 [25][26]. Isto é, foi utilizado um método semelhante aos sistemas dos modelos referenciados nos sub-capítulos 2.5.2, 2.5.4 e 2.5.5 deste relatório (O ESTADO DA ARTE).

Para se poder utilizar um receptor de rádio COTS neste sistema, duas abordagens pareceram possíveis e ambas foram implementadas para uma avaliação de viabilidade:

- 1) Derivar do rádio a linha de RSSI para se obter informação de que está a ser recebido um sinal na frequência sintonizada.
- 2) Avaliar o sinal de saída do rádio (áudio) para detectar a recepção de um sinal na frequência sintonizada.

A primeira proposta implica a abertura do rádio COTS (Figura 20) e, com ou sem o esquema deste, localizar a linha de RSSI e estabelecer uma ligação desta para o exterior do rádio; *i.e.*, para um circuito de condicionamento de sinal que adaptará o sinal RSSI à entrada do módulo Detector. Trata-se de uma operação delicada, uma vez que os circuitos dos rádios modernos revelam uma grande integração e miniaturização dos respectivos sistemas. Como tal, esta abordagem foi implementada para fins experimentais, mas rapidamente descartada, face à relativa facilidade de implementação da proposta 2).



Figura 20 - Rádio ICOM IC-R5 utilizado

A segunda proposta consiste em ligar a saída de áudio do rádio ao módulo detector, por meio de um circuito de condicionamento de sinal apropriado. Uma vez que praticamente todos os rádios possuem uma saída de áudio destinada ao uso eventual de uns auscultadores, não é necessária uma intervenção no interior do aparelho. Estas saídas de áudio costumam estar disponíveis sob forma de uma tomada de tipo Jack de 3,5 mm; o IC-R5 não é exceção. Neste rádio, a saída apresenta um sinal de áudio mono-fónico.

Por observação (*i.e.*, medição) do sinal de áudio, nas situações de não recepção e de recepção de um sinal RF na frequência sintonizada, constata-se que é inviável a detecção de um eventual comando emitido por um piloto. Ao contrário do que se possa pensar, quando um piloto envia um comando para um sistema PCL, o sinal emitido não contém informação (voz moduladora na transmissão); é apenas emitida a portadora do rádio emissor. No receptor, se este tiver o respectivo *Squelch* ajustado para não escutar o ruído de radio-frequência, a saída de áudio permanecerá silenciosa; ou seja, não haverá sinal de áudio na saída do receptor de rádio.

Por outro lado, se no receptor, o *Squelch* estiver aberto, a saída de áudio deste apresenta normalmente um sinal eléctrico típico de ruído branco, na ausência de recepção de sinal RF. Este ruído desaparece logo que seja recebido um sinal RF na frequência sintonizada. Este ruído desaparece face ao sinal RF desmodulado pelo rádio, que por ser silencioso (ausência de informação na emissão), anula o ruído prévio. A Figura 21 ilustra o sinal na saída de áudio do receptor de rádio (curva de cima), nas situações de não-recepção e de recepção de portadora RF (curva de baixo).

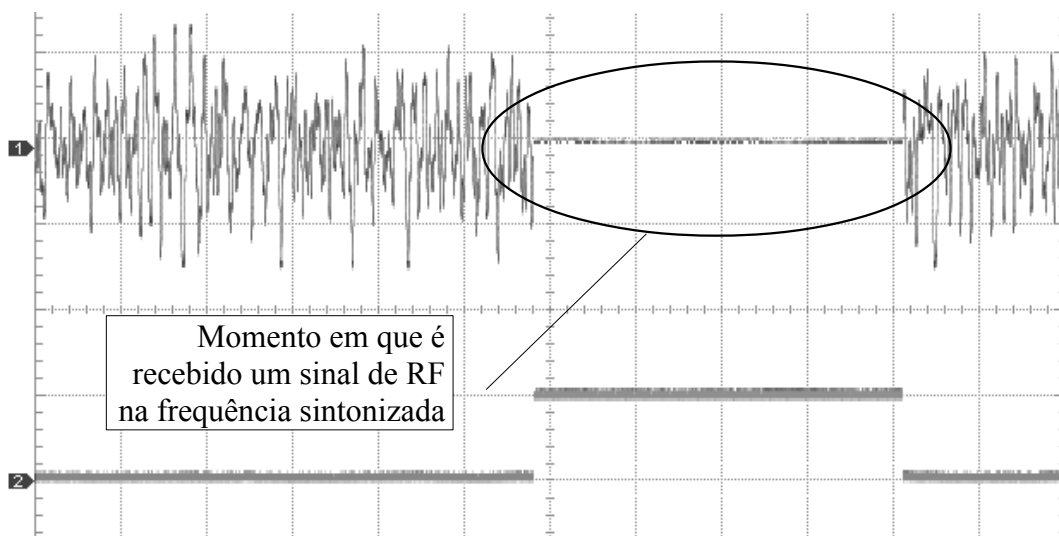


Figura 21 - Sinal na saída de áudio do receptor sem e com sinal RF detectado

O circuito de condicionamento de sinal ilustrado na Figura 22, amplifica o ruído branco proveniente da saída de áudio do receptor e rectifica o mesmo por intermédio de um rectificador de precisão. Estas duas operações são realizadas pelos dois amplificadores operacionais contidos no circuito integrado TL082 [33].

O sinal rectificado e posteriormente filtrado por um condensador, passa a ser uma tensão positiva, superior a zero Volt enquanto houver ruído RF a ser desmodulador pelo rádio. Quando este receber uma portadora de alguma aeronave, a tensão no condensador de filtragem cai para valores próximos de zero. Esta tensão é então aplicada à entrada de um circuito comparador (LM311 [34]) para ser comparada com uma tensão de referência previamente ajustada "em fábrica". O sinal à saída do comparador é binário e submetido a uma filtragem de tipo passa-baixo, para eliminar eventuais transitórios indesejados. A saída deste filtro, após uma adaptação dos níveis de tensão pode ser aplicado à entrada digital do microcontrolador que serve o módulo Detector.

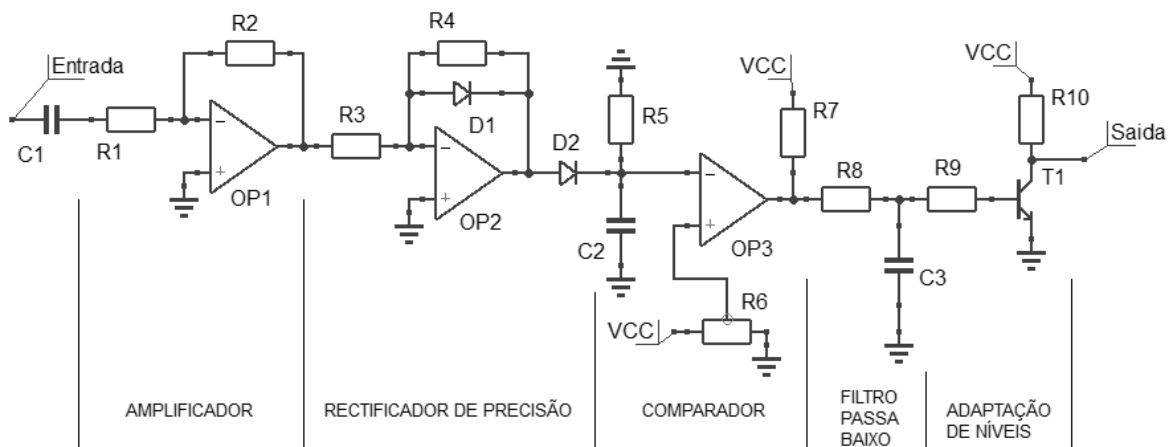


Figura 22 – Circuito de condicionamento de sinal

A placa de circuito impresso do módulo Controlador contempla este circuito de condicionamento de sinal. Desta forma, o sistema PCL desenvolvido e apresentado neste trabalho oferece a possibilidade de escolher a origem da recepção dos sinais de rádio de entre duas possibilidades: módulo receptor desenvolvido ou receptor de rádio COTS. A selecção de um destes sistemas de recepção faz-se por meio de um *Jumper* que se encontra no PCB do módulo Controlador.

3.4 O DESCODIFICADOR

O decodificador implementado neste trabalho, é um componente lógico (*software*) do sistema que é executado mediante um estímulo externo aplicado a uma entrada do microcontrolador. Este estímulo provém da saída do módulo Receptor; nomeadamente, do bloco Detector de Tom (Figura 4).

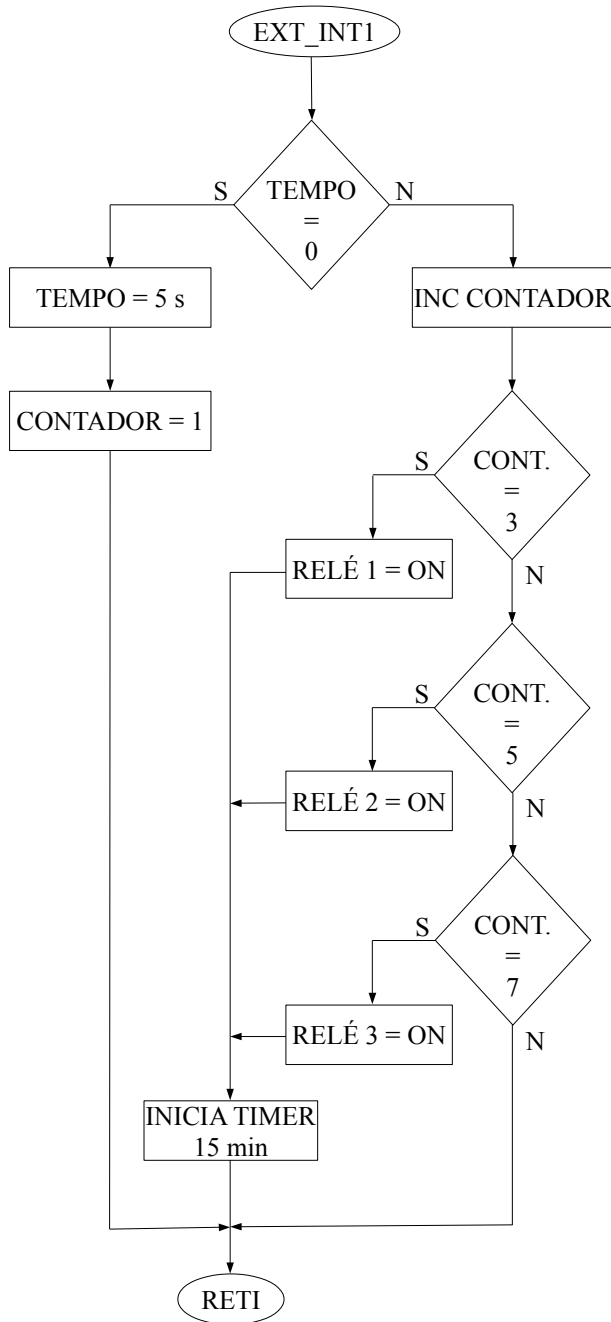
Sempre que um impulso seja recebido no porto INT1 do microcontrolador, este interrompe a sua rotina geral e começa executar o código relativo a este estímulo: `EXT_INT1`, na Figura 23. A Figura 23 ilustra o comportamento do módulo Descodificador sob forma de um fluxograma, acompanhado no lado direito pelo respectivo código-fonte em linguagem Assembly AVR.

Este módulo lógico começa por verificar se já foram recebidos impulsos nos últimos 5 segundos, por consulta de um contador de segundos (`TEMPO`) cujo conteúdo será diferente de zero se já tiver sido recebido algum impulso. No caso deste contador estar a zero, o impulso recebido é o primeiro; como tal inicia-se a contagem decrescente dos 5 segundos, bem como a contagem dos impulsos recebidos. A actualização (decremento) do contador `TEMPO` é realizada durante a execução da rotina geral do microcontrolador. Porém, esta rotina de interrupção é executada a cada impulso recebido.

No caso de já terem sido recebidos impulsos durante o período de 5 segundos que ainda esteja a decorrer, o contador de impulsos `CONTADOR` é incrementado de uma unidade.

Quando (se, nos 5 segundos) o conteúdo do registo `CONTADOR` atingir o valor 3, 5 ou 7, o relé correspondente é activado e o temporizador de luzes acesas (`TIMER`) é iniciado. A desactivação dos relés é realizada na rotina geral, quando esta verifica o estado dos relés e o conteúdo do registo `TIMER`.

Este decodificador foi implementado de acordo com as Especificações L-854 para o Tipo A.



```

EXT_INT1:
cli
in    status_backup, SREG
//verifica se o tempo_5s está a zero
lds  temp_ISR2, timer_5s
cpi  temp_ISR2, 0x00
brne novo_impulso
ldi  temp_ISR2, 0x05
sts  timer_5s, temp_ISR2
ldi  temp_ISR2, 0x01
sts  contador_impulsos_radio, temp_ISR2
rjmp fim_EXT_IN1
novo_impulso:
lds  temp_ISR2, contador_impulsos_radio
inc  temp_ISR2
sts  contador_impulsos_radio, temp_ISR2
cpi  temp_ISR2, 0x07
brsh set_luz_100 //se >=7 brilho=ALTO
cpi  temp_ISR2, 0x05
breq set_luz_66 //se =5 brilho=MÉDIO
cpi  temp_ISR2, 0x03
breq set_luz_33 //se =3 brilho=BAIXO
rjmp fim_EXT_IN1
set_luz_33:
sbi  PORTB, 3
ldi  temp_ISR2, 0x01
rjmp start_timer_luzes
set_luz_66:
sbi  PORTB, 4
ldi  temp_ISR2, 0x02
rjmp start_timer_luzes
set_luz_100:
sbi  PORTB, 5
ldi  temp_ISR2, 0x03
start_timer_luzes:
sts  brilho_das_luzes, temp_ISR2
mov  temp_ISR2, R0
mov  temp_ISR3, R1
lds  temp_ISR4, tempo_luzes_ON
ldi  temp_ISR5, 0x3C
mul  temp_ISR4, temp_ISR5
sts  conta_segundos_luzes_ON_H, R1
sts  conta_segundos_luzes_ON_L, R0
mov  R0, temp_ISR2
mov  R1, temp_ISR3
ldi  temp_ISR2, 0x01
sts  estado_sistema, temp_ISR2
sts  atualiza_reg_ocorrencias, temp_ISR2
fim_EXT_IN1:
out  SREG, status_backup
sei
reti
  
```

Figura 23 – Fluxograma e código-fonte do módulo Descodificador

3.5 O CONTROLADOR

O sistema apresentado neste relatório foi desenvolvido em torno de um microcontrolador de 8 bits, da família AVR ATmega, produzido pela empresa Atmel. Inicialmente, na implementação do sistema foi usado o modelo ATmega 88. No entanto, com as funcionalidades que foram adicionalmente implementadas no sistema, principalmente no que respeita à interface Pessoa-Máquina, o ATmega 88 foi substituído pelo modelo ATmega 328; semelhante em tudo mas com 32 kB de memória física em vez de 8 kB [33].

O microcontrolador é a peça central do sistema e como tal é responsável pelas seguintes funções:

- Sintonização do receptor de rádio (no caso deste não ser COTS)
- Conversão em comandos, dos sinais provenientes do módulo receptor (descodificador)
- Verificação do estado Dia-Noite
- Actuação dos relés de saída
- Controlo da interface pessoa-máquina
- Registo de ocorrências (activações remotas)
- Comunicação com módulos opcionais (GSM, *Logger*, Emissor VHF, etc)

Para efeitos de contagem do tempo, este módulo Controlador está equipado com um *Real Time Clock* (RTC) que além de relógio e calendário, fornece um sinal de 1 Hz que é aproveitado pelo microcontrolador para dar início à rotina geral que se repete a cada segundo [34]. A Figura 24 ilustra a rotina geral ou ciclo de tarefas.

A programação do microcontrolador é toda feita em linguagem Assembly para AVR. O tipo de tarefas a executar bem como os respectivos tempos de execução e as respectivas periodicidades, aliados ao facto do sistema basear-se numa política *event-driven*, determinaram a escolha de uma programação sequencial, em vez de recorrer a algum sistema operativo.

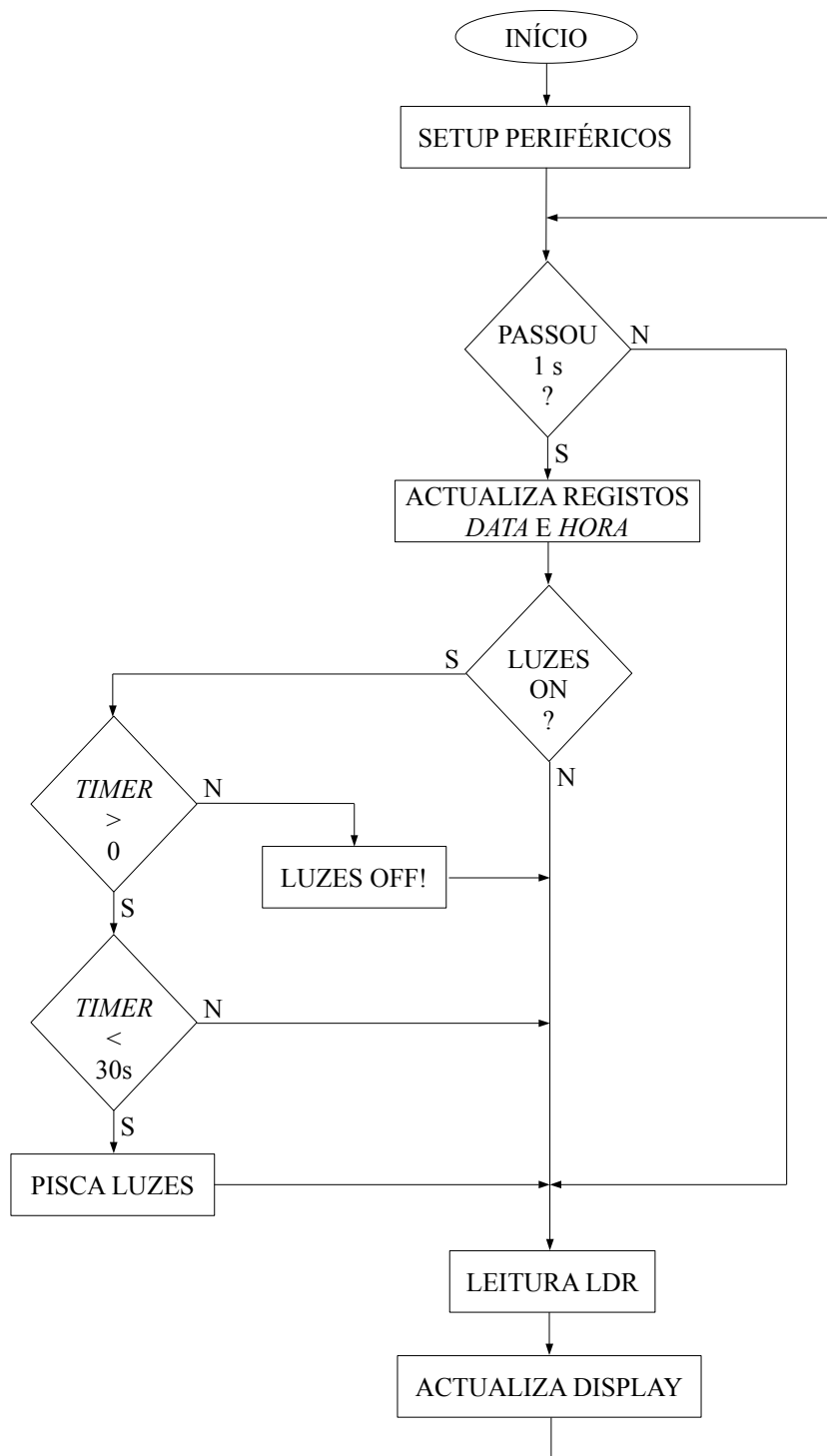


Figura 24 – Ciclo de tarefas do microcontrolador

3.6 A INTERFACE PESSOA-MÁQUINA

A interface Pessoa-Máquina é composta por um ecrã LCD de 2 linhas com 16 caracteres cada e por três teclas que permitem navegar pelas diversas páginas do sistema e configurar as diversas opções do mesmo.

Na interface Pessoa-Máquina, a entidade responsável pelo aeródromo pode:

- Acertar a data e a hora
- Ajustar o nível de luz que define a transição de dia/noite e noite/dia
- Seleccionar a frequência do receptor de rádio
- Forçar o acendimento das luzes nos diversos níveis de intensidade (para efeitos de teste)
- Consultar o registo de ocorrências e apagar este
- Configurar o porto de comunicação com periféricos opcionais²¹

A Figura 25 ilustra algumas das páginas existentes na Interface Pessoa-Máquina.

A navegação entre os diversos capítulos, no lado esquerdo da Figura 20, faz-se por meio das teclas com “setas” (▲ ou ▼). Para aceder às páginas do lado direito; isto é, entrar no capítulo, prime-se a tecla “ENTER” (representado por ↵). Dentro de cada capítulo e consoante este, as teclas podem servir para navegar pelas diversas páginas ou adquirem uma nova função; *e.g.*, incrementar/decrementar, SIM/NÃO.

²¹ A comunicação com periféricos implica que ao programa do microcontrolador sejam adicionadas as funções inerentes ao protocolo de comunicação com o periférico e à utilização do mesmo.

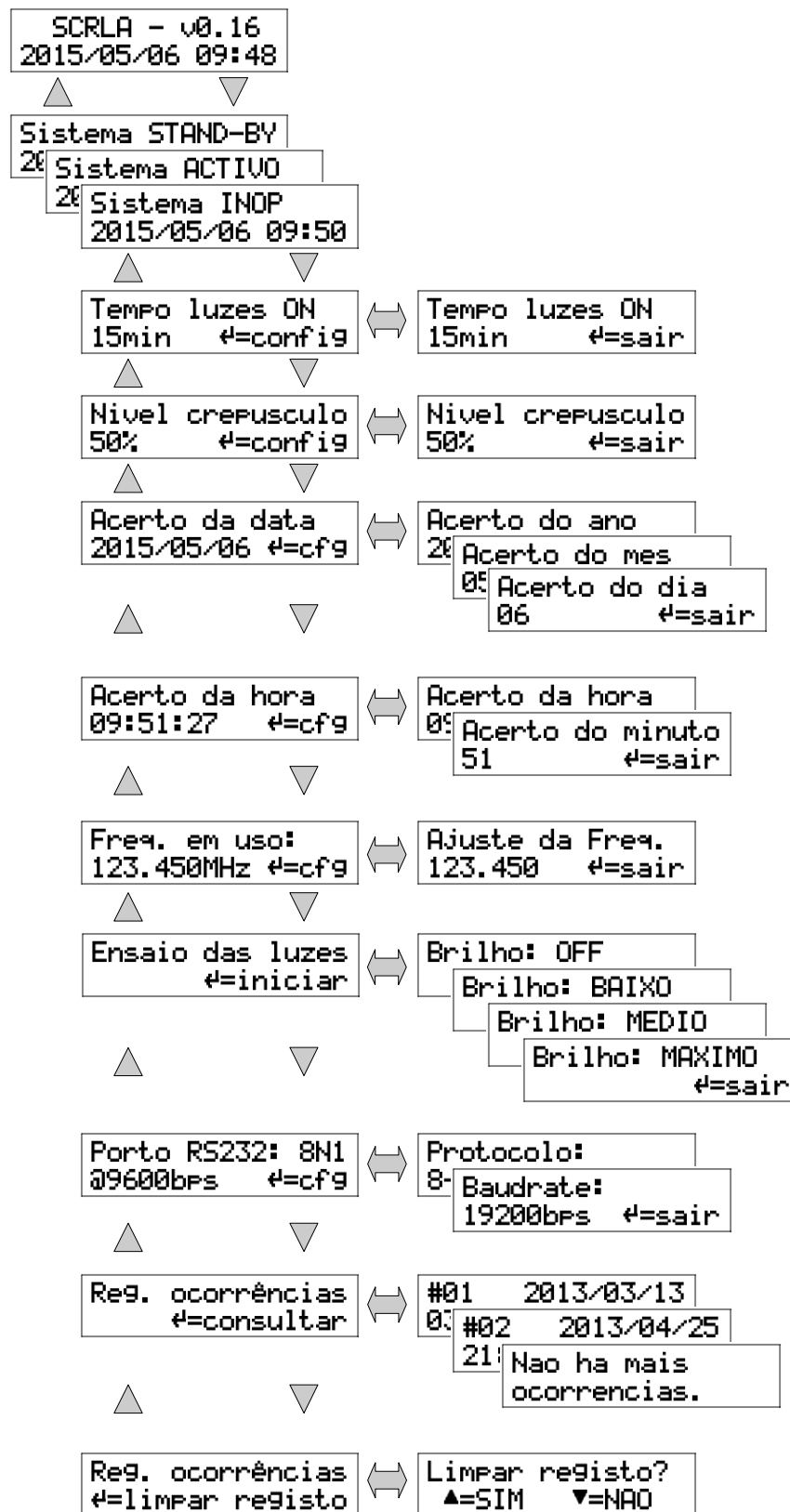


Figura 25 - Páginas da interface Pessoa-Máquina

3.7 As SAÍDAS DO SISTEMA (RELÉS)

As saídas destinadas ao controlo das luzes são implementadas com recurso a relés electro-magnéticos monopolares com duas saídas (SPDT – *Single Pole Double Throw*). Cada relé permite comutar correntes de até 10 A sob 250 V.

Este tipo de relés, cujos contactos estão acessíveis através dos conectores disponíveis no painel traseiro do sistema, permite a interligação com praticamente todos os sistemas localizados, de controlo de luzes de aeródromo. Por exemplo, no caso mais corrente, se se tratar de uma consola de controlo por comutadores mecânicos, os comutadores dos relés deverão ser ligados em paralelo com os comutadores da consola. Desta forma, é possível tanto o controlo manual na consola quanto o controlo remoto através do sistema apresentado neste documento.



Figura 26 – Relés, no PCB do Controlador

No exemplo apresentado, as correntes envolvidas são baixas por se tratar de circuitos de comando. Porém, no caso de se desejar controlar directamente a alimentação das luzes e as características dos relés não satisfazerem os mínimos, é possível utilizar estes para comandar contactores apropriados a potências virtualmente ilimitadas.

Note-se no entanto que não faz parte do âmbito deste trabalho a alimentação das luzes do aeródromo. Este trabalho visa apenas a possibilidade de controlar de maneira alternativa o acendimento das referidas luzes.

A Figura 27 apresenta, a título de exemplo, a fotografia da consola de controlo das luzes do Aeródromo Municipal Gonçalves Lobato²², perto de Viseu.

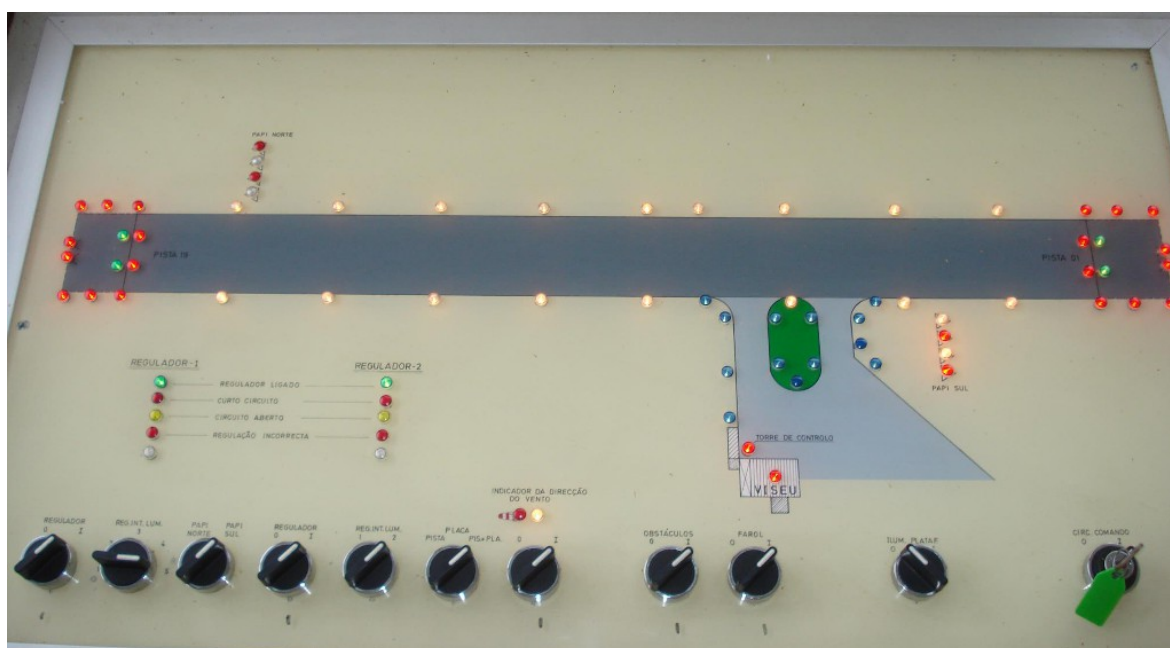


Figura 27 – Consola de controlo das luzes do aeródromo de Viseu.

3.8 A FONTE DE ALIMENTAÇÃO

O sistema é primariamente alimentado pela energia da rede eléctrica (230 V – 50 Hz). A fonte de alimentação desenvolvida é do tipo regulada, recorrendo a reguladores monolíticos; um regulador para cada tensão fornecida pela fonte. A opção pelo tipo de fonte ser regulada em detrimento das fontes comutadas, baseia-se no facto destas últimas emitirem frequências espúrias que podem prejudicar a performance da parte RF do sistema.

A tensão da rede eléctrica é abaixada por meio de um transformador com dois secundários independentes, por forma a permitir a obtenção de tensões simétricas (*i.e.*, positivas e negativas relativamente à referência).

²² Em 1934, o Sargento Gonçalves Lobato acompanhou o Major Humberto da Cruz na maior viagem aérea realizada até então, numa aeronave com a Cruz de Cristo (*i.e.*, com registo português), percorrendo um total de 42.670 km em 268 horas e meia de voo e 50 aterragens, numa viagem de ida e volta entre Amadora e Timor, passando por Macau, Goa e Diu.

À excepção do transformador, interruptor e protecção contra sobre-intensidades, toda a fonte foi implementada numa placa de circuito impresso dedicada. Esta placa, tal como as outras que compõem o sistema, é de formato Eurocard e compreende os diversos reguladores monolíticos de tensão (das famílias 78XX e 79XX) para as diversas tensões oferecidas pela fonte. Esta fornece as seguintes tensões: +3,3 V; +5 V; +12 V e -12 V; cada uma até uma corrente máxima de 1,5 A.

Cada tomada de tensão está acessível por meio de ligadores tipo Molex KK, em quantidade mais que suficiente para alimentar os diversos módulos de base do sistema; *i.e.*, além dos necessários existem também algumas tomadas de reserva para eventuais *upgrades* ao sistema (*e.g.*, módulo GSM, etc).

A Figura 28 mostra uma fotografia da placa de circuito impresso da fonte de alimentação, não aparecendo na imagem o transformador de tensão nem a protecção contra sobre-intensidades. Este PCB, tal como os restantes deste sistema possui indicadores tipo LED, dispostos estrategicamente para serem visíveis no painel frontal do Sistema. Algum cuidado foi também dado ao posicionamento e orientação dos dissipadores de calor dos reguladores monolíticos, por forma a maximizar o respectivo desempenho natural.



Figura 28 – PCB da fonte de alimentação

4. DESENHOS

4.1 Os PAINÉIS DO SISTEMA

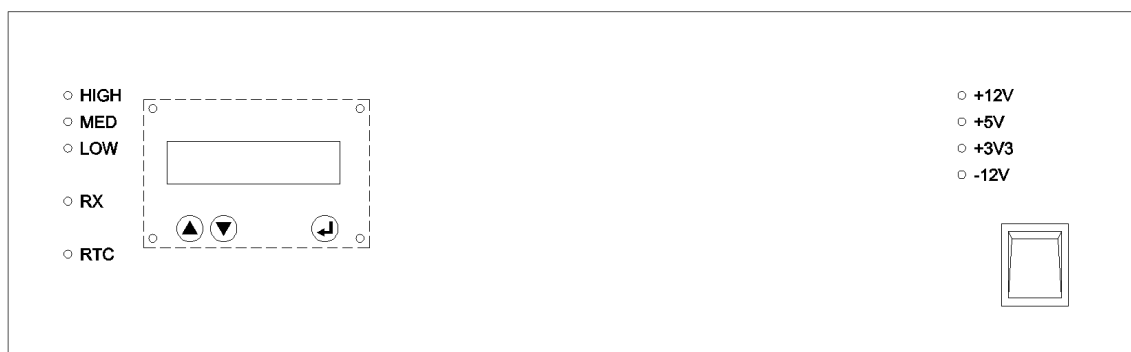


Figura 29 - Painel frontal do Sistema (*Escala: 1:2,85*)

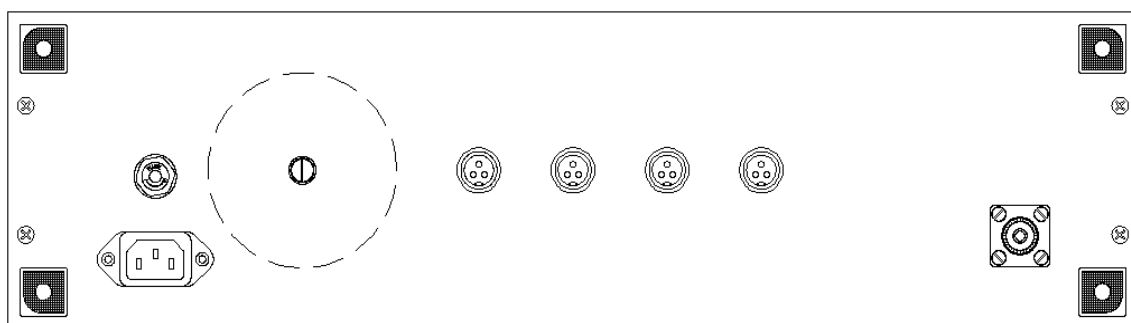


Figura 30 - Painel traseiro do Sistema (*Escala: 1:2,85*)

4.2 O RECEPTOR DE RÁDIO

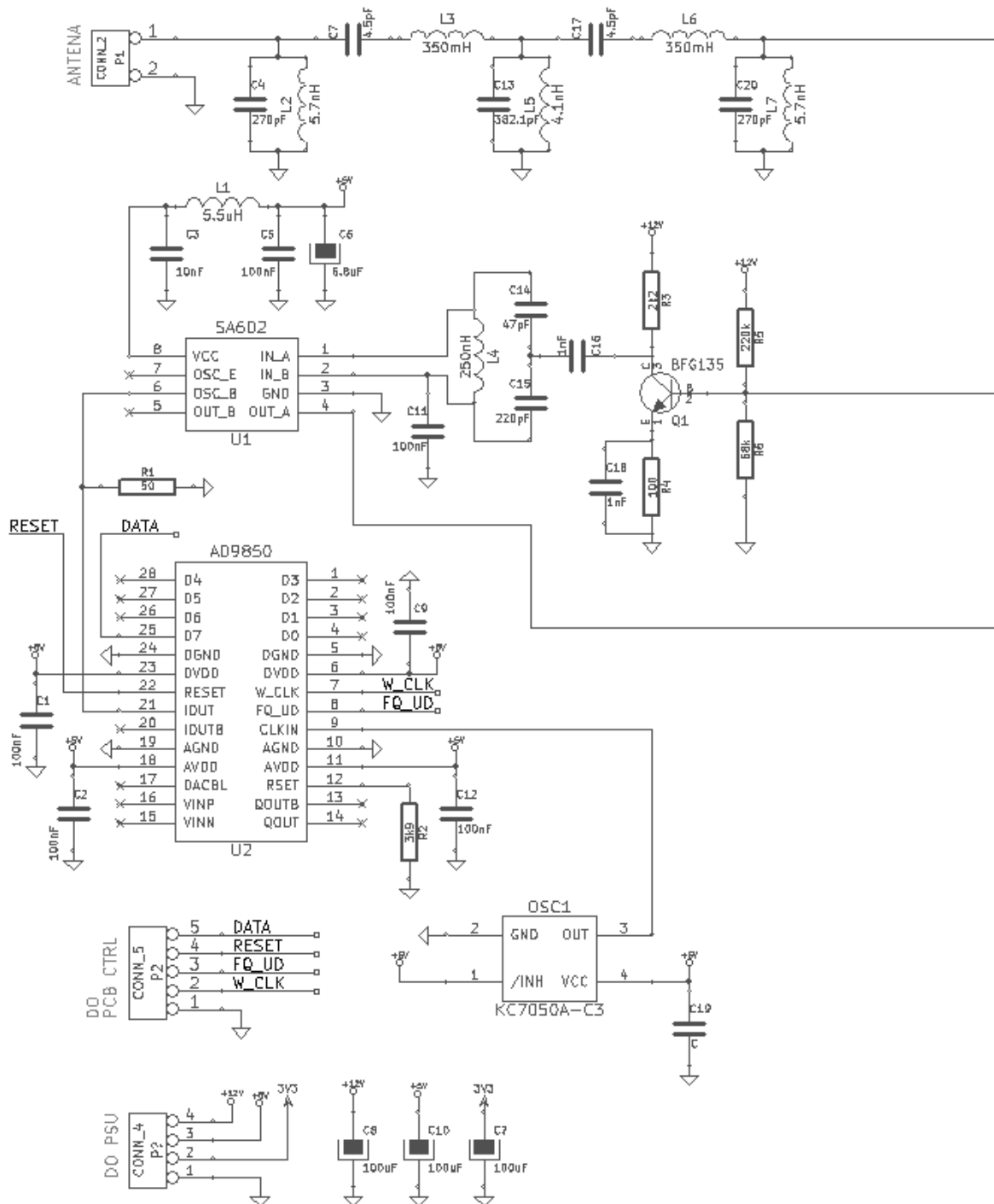
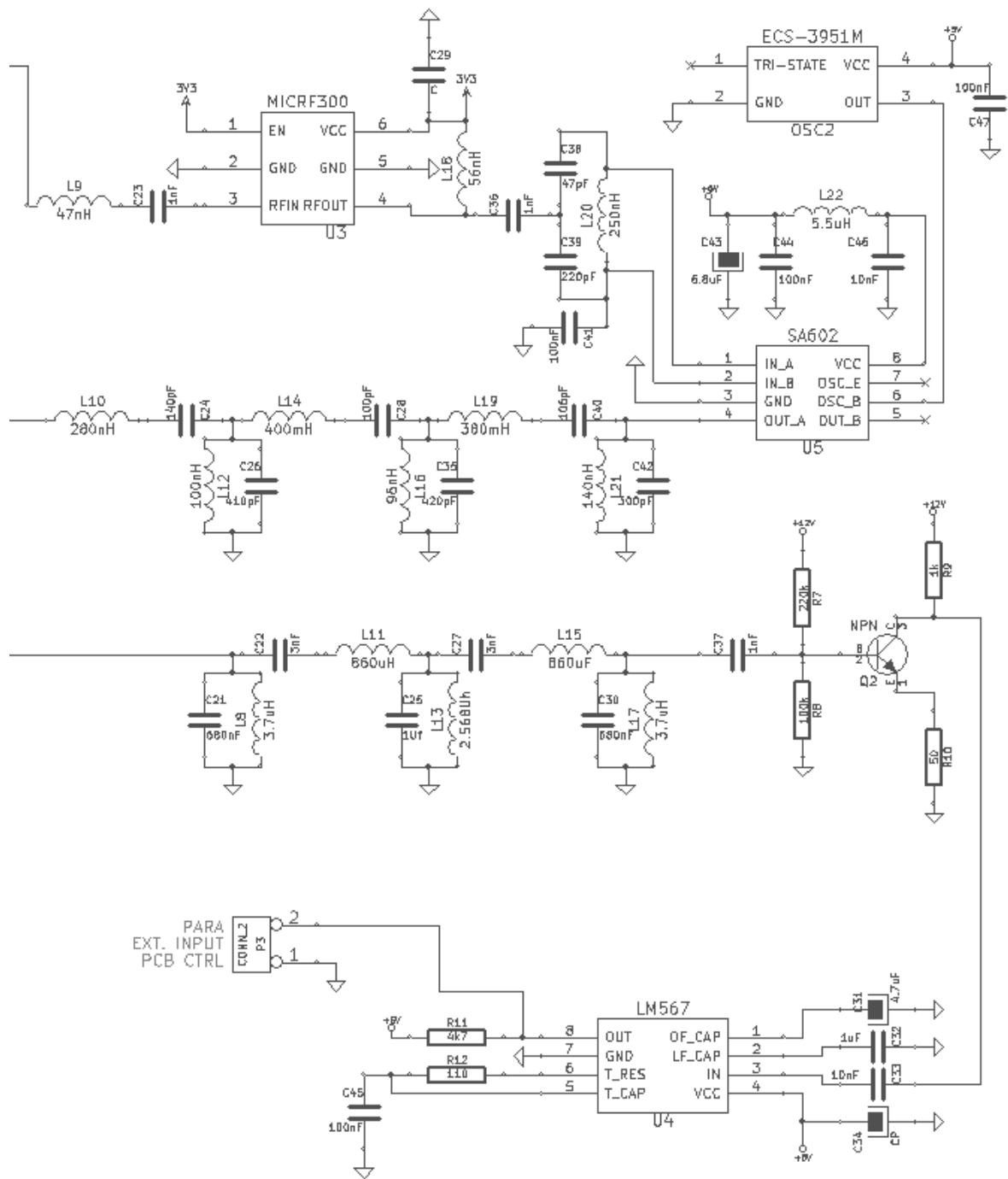


Figura 31 - Esquema do Receptor de Rádio



4.3 A FONTE DE ALIMENTAÇÃO

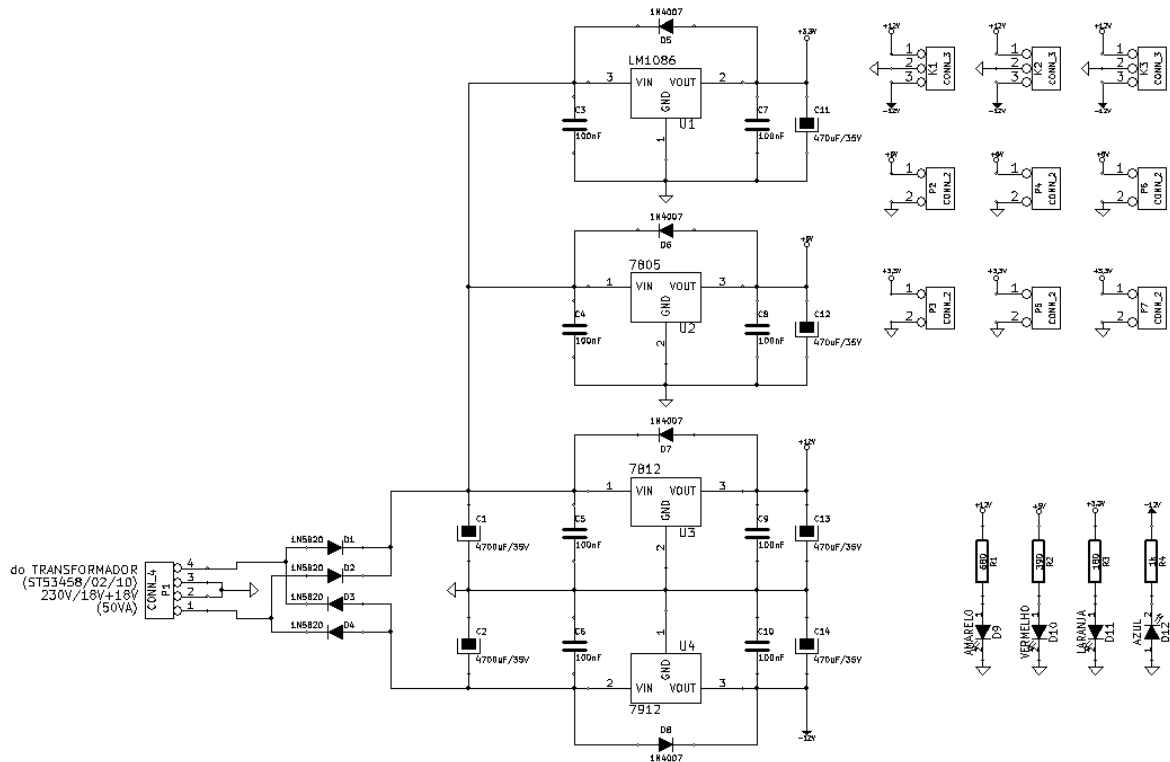


Figura 32 - Esquema da Fonte de Alimentação

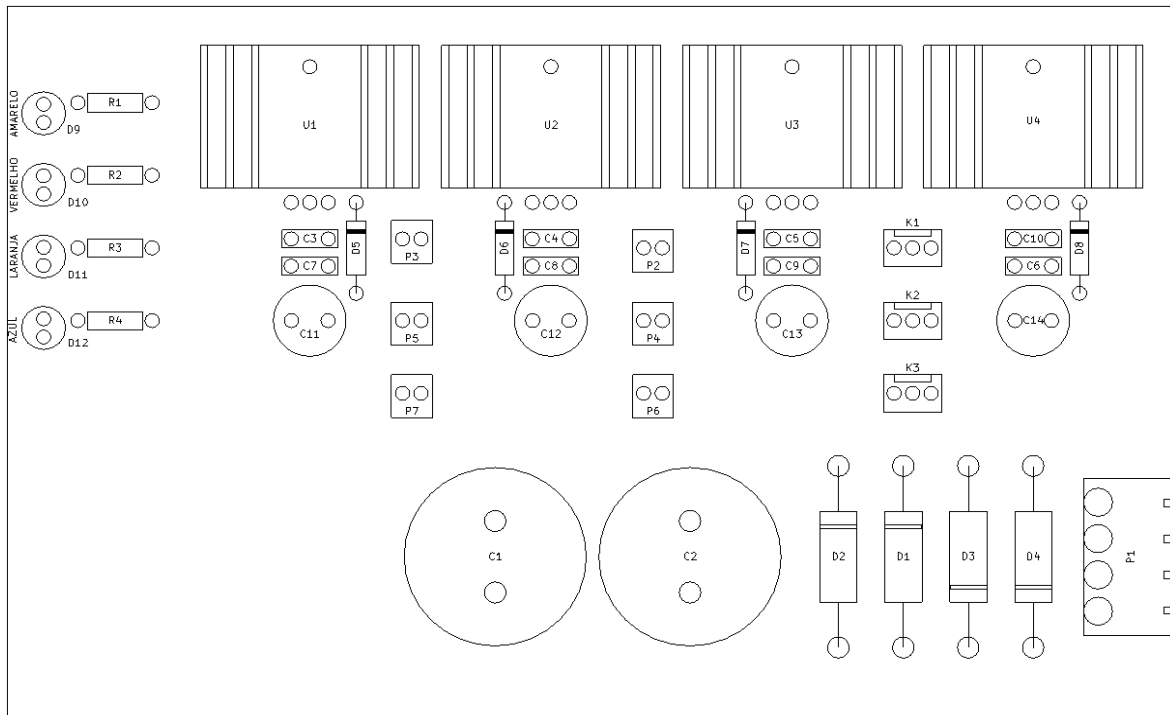


Figura 33 - Layout do PCB da Fonte de Alimentação

4.4 A INTERFACE PESSOA-MÁQUINA

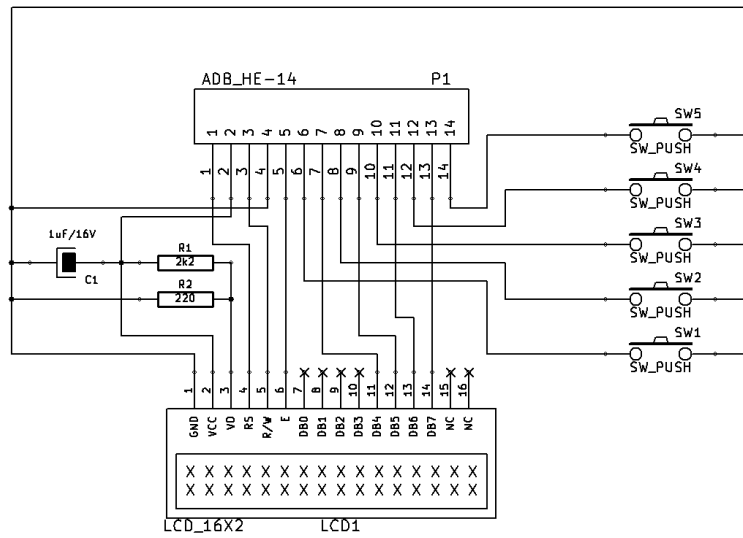


Figura 34 - Esquema da Interface Pessoa-Máquina

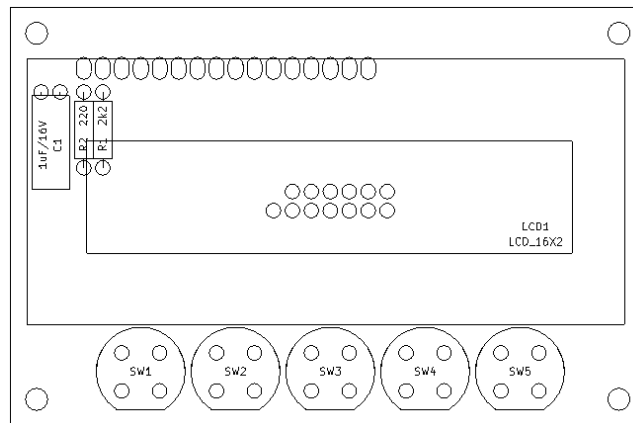


Figura 35 - Layout do PCB da Interface Pessoa-Máquina

4.5 O MÓDULO CONTROLADOR

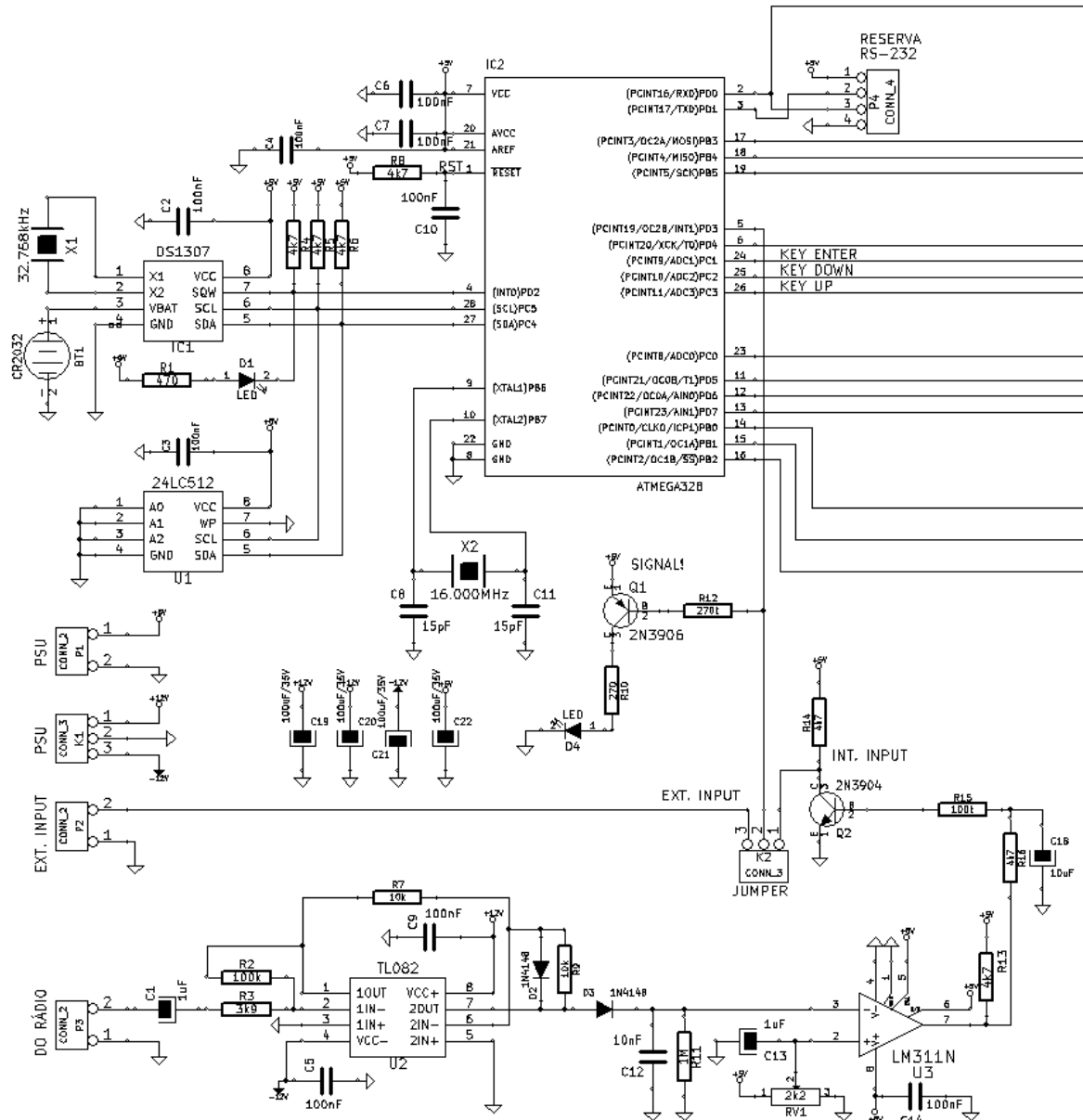
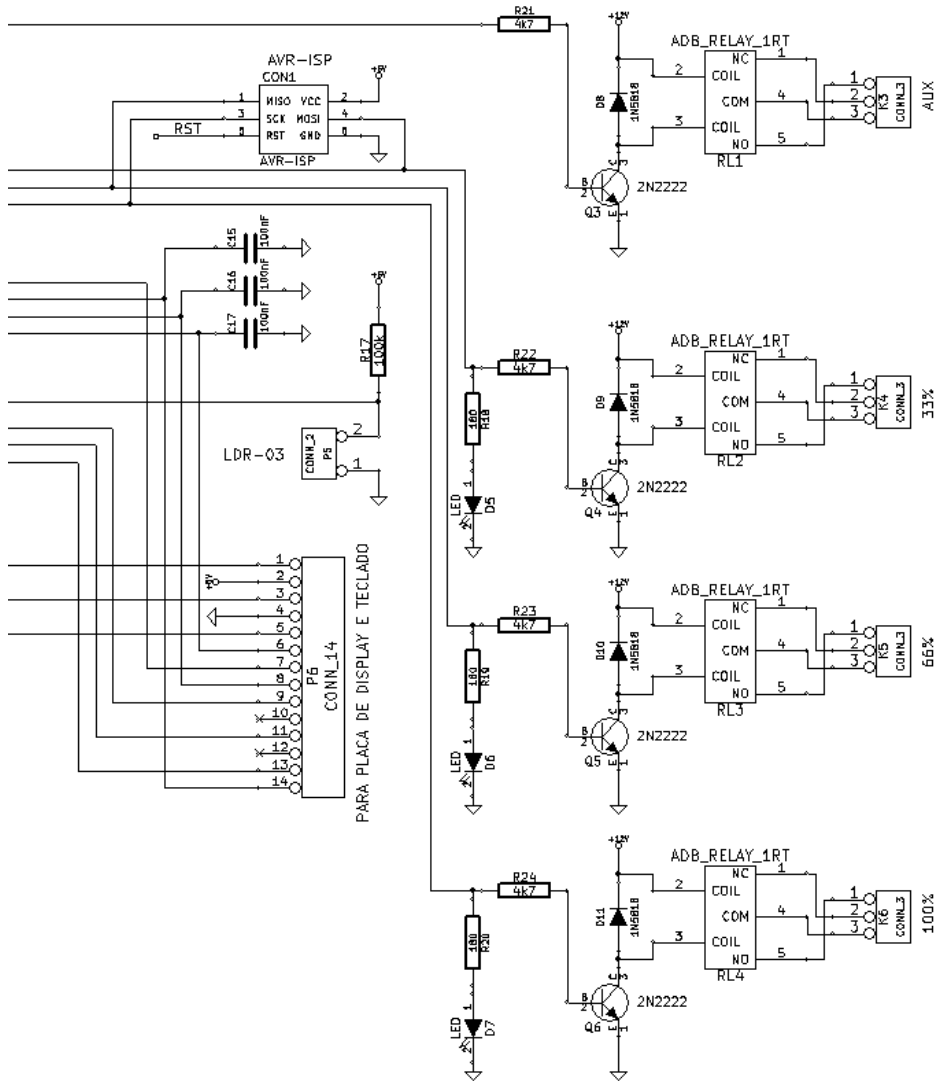


Figura 36 - Esquema do Controlador



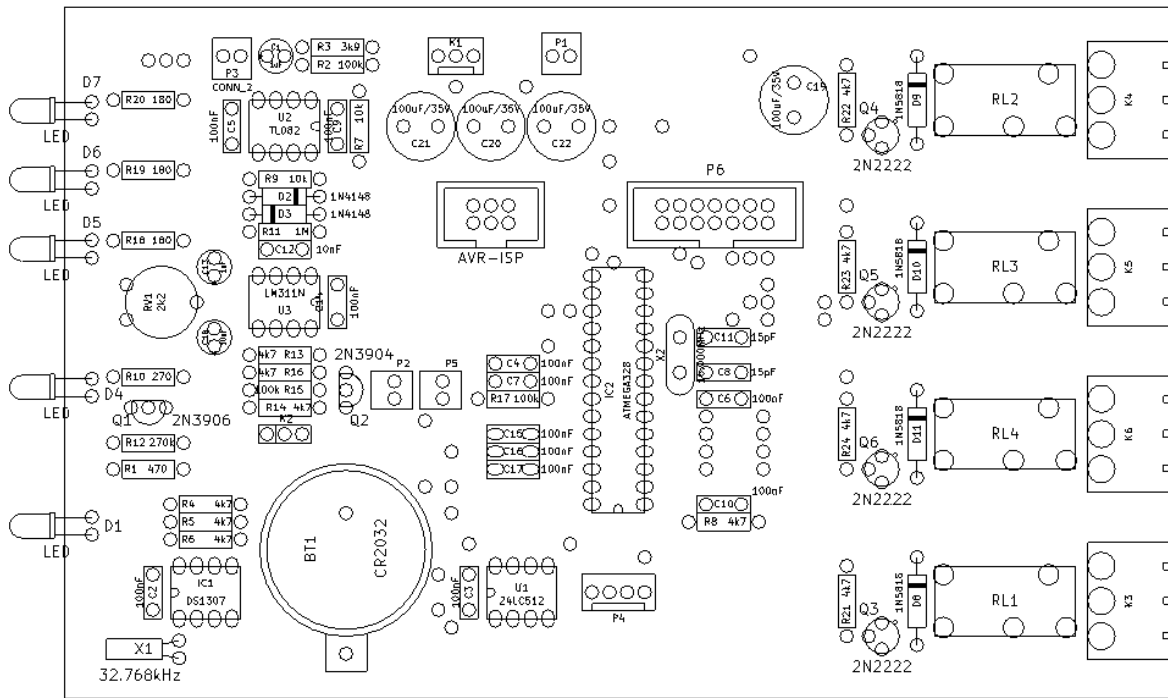


Figura 37 – *Layout* do PCB do Módulo Controlador

5. TECNOLOGIAS E FERRAMENTAS DE DESENVOLVIMENTO

5.1 INTRODUÇÃO

No desenvolvimento deste projecto e na elaboração deste relatório, deu-se preferência a ferramentas informáticas gratuitas ou de baixo custo, com fiabilidade comprovada e tempo de aprendizagem ou adaptação reduzido.

5.2 O LADO FÍSICO

A implementação prática dos circuitos foi iniciada em placas de ensaio tipo *breadboard*. Com excepção da fonte de alimentação, todo o sistema foi inicialmente implementado em placas de ensaio.

Os eventuais problemas de mau contacto, cada vez mais frequentes, chegando ao ponto de tornar o sistema instável, motivaram a construção de uma primeira versão de circuito impresso (PCB) para o módulo Controlador. Por esta versão ter sido executada numa fase adiantada do desenvolvimento e porque a fase restante de desenvolvimento insidia sobretudo na parte lógica do sistema (*firmware*), esta versão acabou por ser a primeira e a última.

No desenho dos diversos circuitos impressos foram tidos em consideração os requisitos técnicos à construção de um circuito impresso robusto e fiável, nomeadamente:

- Posicionamento e orientação dos diversos componentes, considerando a acessibilidade ao/do exterior (fichas, LEDs);
- Necessidades de dissipação natural de calor de alguns componentes;
- Largura das pistas condutoras, relativamente às correntes previstas;
- Planos de massa e isolamentos.

Por se reutilizar uma “velha” caixa de *Rack* de 19 polegadas (3U) equipada com calhas de suporte para PCB, para albergar o sistema, os PCBs (descodificador e fonte de alimentação) foram construídos com o formato Eurocard (160x100 mm²).

5.3 O LADO LÓGICO

No desenvolvimento do sistema foram usadas as seguintes aplicações informáticas:

- Qucs 0.0.17 – *Quite Universal Circuit Simulator*, para o projecto dos filtros analógicos e circuitos amplificadores.
- ATMEL AVR Studio 6.1.2730 SP2 – Para o desenvolvimento do firmware e programação dos microcontroladores ATmega88 e ATmega328.
- KiCad Build (2013-07-07 BZR 4022)-stable – Para o desenho dos esquemas e dos circuitos impressos.
- ProgeCad 2010 v.10.0.14.9 – Para os desenhos dos painéis frontal e traseiro da caixa do sistema.
- Apache OpenOffice 4.1.1 – Para a elaboração deste relatório
- GIMP 2.8.6 – *GNU Image Manipulation Program*, para o tratamento das imagens publicadas neste relatório.
- MMANA-GAL basic v.3.0.0.31, para o desenvolvimento da antena usada nos ensaios do sistema.
- PA7N VNA, para o controlo e estudo de antenas recorrendo ao dispositivo MiniVNA.

5.4 O LADO EXPERIMENTAL

Ignorando os aparelhos de medição utilizados (*e.g.*, osciloscópio, analisador de espectro, multímetro, etc) no desenvolvimento das diferentes partes deste trabalho, os ensaios às funcionalidades do sistema para o *debug* do firmware, foram realizados com recurso a emissores e receptores de rádio COTS.

Durante praticamente todo o desenvolvimento do sistema, o emissor usado para emular o rádio da aeronave, foi um emissor/receptor portátil VHF, de marca Yaesu e modelo FT-60E que opera na faixa radioamadora dos 2 metros (VHF, 144MHz a 146 MHz)²³, entre outras. Na fase final de testes, foi usado um emissor portátil de Banda Aérea (VHF), de marca ICOM e modelo IC-A6E.

5.4.1 O Atenuador

Para evitar qualquer interferência com o espectro da Banda Aérea, o emissor de Banda Aérea foi ligado à entrada de antena do receptor, por meio de um atenuador propositadamente desenvolvido.

Assumindo, com base no manual do emissor IC-A6E [35], que este emite com uma potência de 5,0 W (PEP), numa antena com 50 Ω de impedância; pela expressão (5) estima-se que a tensão máxima na saída do emissor é de cerca de 15,8 V.

$$V_{EMISSOR} = \sqrt{P_{EMISSOR} \times Z_{ANTENA}} \quad (5)$$

Considerando o receptor a receber um sinal em condições óptimas (*i.e.*, “fundo de escala” na escala *Santiago*), o nível do sinal recebido correspondente ao S9 é de -73 dBm. Perante impedâncias de 50 Ω , a -73 dBm corresponde uma tensão máxima de cerca de 70,79 μ V, de acordo com a expressão (6).

$$V_{MÁX} = 10^{\frac{P_{dBm} - 10}{20}} \quad (6)$$

²³ O autor deste trabalho é radioamador de Categoria 1, licenciado pela ANACOM, com o indicativo nacional de operador CT7AFR.

A diferença entre as amplitudes máximas dos sinais de saída do emissor e de entrada do receptor, impõe uma atenuação de cerca de 107 dB, de acordo com a expressão (7).

$$ATT = 20 \times \log\left(\frac{V_{SAÍDA}}{V_{ENTRADA}}\right) \quad (7)$$

O cálculo teórico de dimensionamento das resistências de um atenuador simples em Π , não balanceado com 110 dB de atenuação e impedâncias de entrada e saída de 50Ω , resulta numa resistência central com um valor próximo de $8 \text{ M}\Omega$. Realizaram-se então dois atenuadores: um de 60 dB e outro de 50 dB que, associados em série, constituem um atenuador equivalente de cerca de 110 dB. A Figura 31 ilustra o esquema dos atenuadores utilizados.

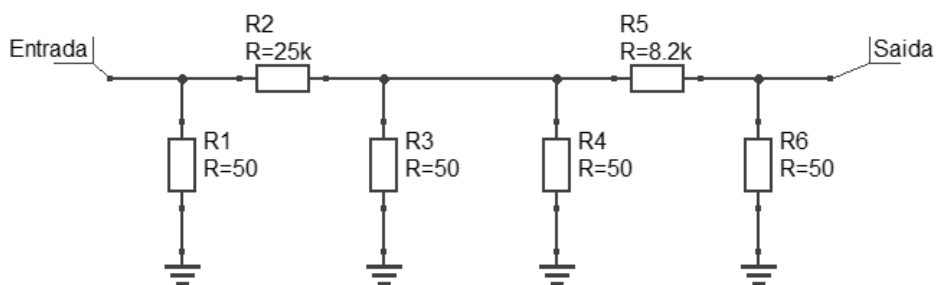


Figura 38 – Atenuador não balanceado de 110 dB

5.4.2 O Aeródromo de demonstração

Para efeitos de demonstração “*indoor*” do funcionamento do sistema, foi construída uma maquete representando um aeródromo, equipada com luzes de pista e de caminhos de circulação, PAPI e REIL, de acordo com as normas legais [11].

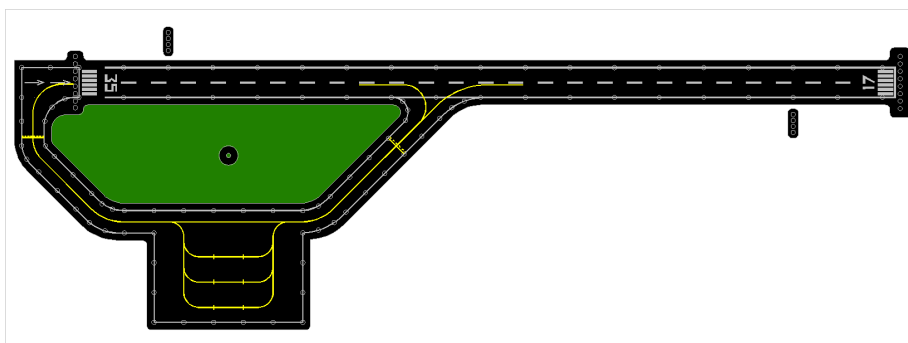


Figura 39 - Desenho do aeródromo de demonstração

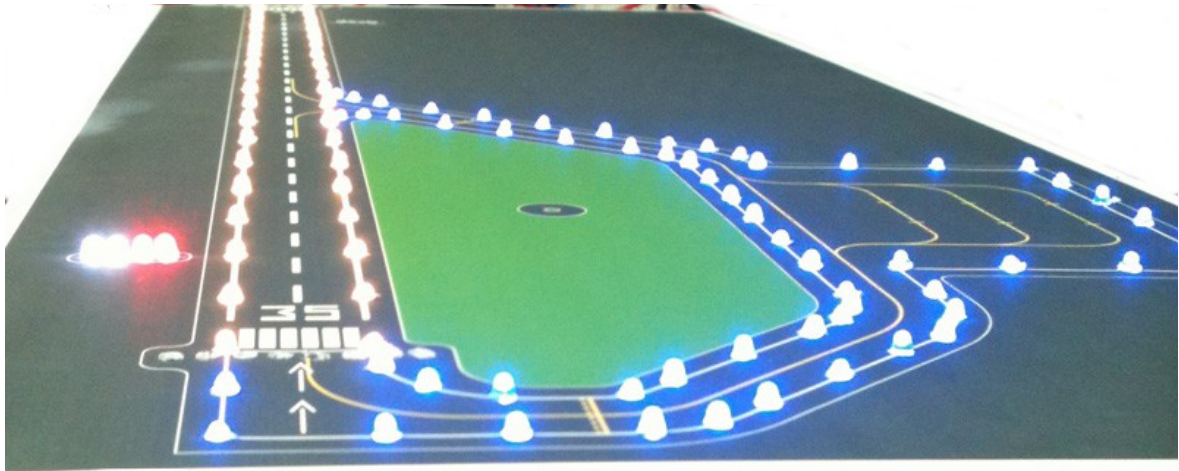


Figura 40 – Maquete de aeródromo para demonstração *indoor*

5.4.3 A Antena

Apesar de não fazer parte do âmbito deste trabalho o desenvolvimento de uma antena para a Banda Aérea, e destas estarem disponíveis no mercado a preços não-proibitivos, a falta e necessidade de uma antena motivou ao rápido desenvolvimento de um protótipo.

O modelo mais simples e eficaz para os fins desejados é a antena omnidireccional de um quarto de comprimento de onda, com plano de massa, realizada com fio de cobre tipo V com $1,5 \text{ mm}^2$ de secção, cujos elementos foram devidamente ligados (soldadura e aperto mecânico) a uma ficha fêmea de tipo SO-239.

A antena foi projectada com recurso ao *software* MMANA-GAL (Figura 24) para ressonar na frequência central da parte de voz da Banda Aérea (*i.e.*, 127,5 MHz) e possuir uma impedância característica (e normalizada) de 50Ω . O protótipo foi afinado e validado com recurso a um analisador de antenas baseado em PC, o *MiniVNA*, produzido pela *mRS mini Radio Solutions*.

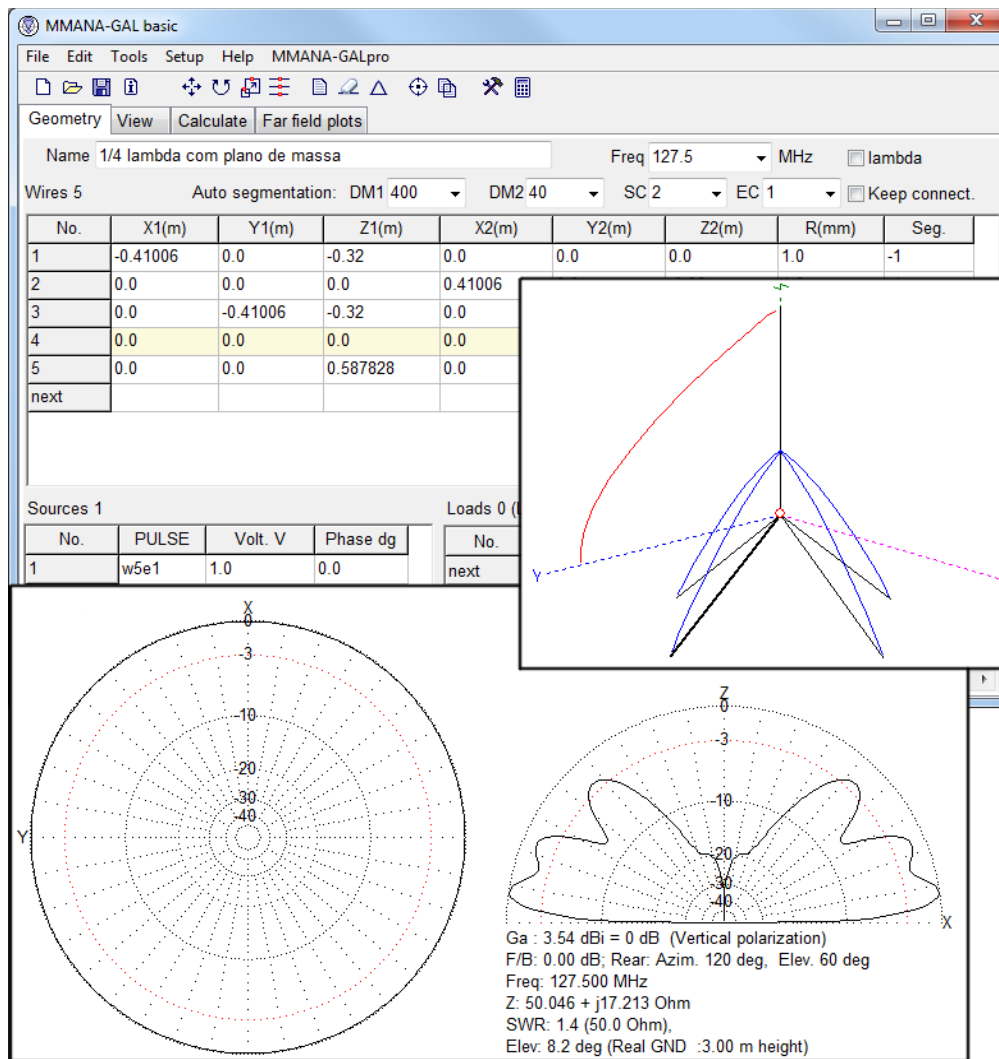


Figura 41 – Desenvolvimento da antena $\lambda/4$ com plano de massa para a Banda Aérea

A Figura 25 mostra algumas características da antena fabricada; nomeadamente, as curvas de SWR (curva de cima) e de Impedância (curva de baixo) relativamente à faixa de frequências de ensaio (118 MHz a 137 MHz). Note-se nesta figura que o valor de SWR mínimo coincide com o centro da faixa de operação da Banda Aérea; *i.e.*, 127,5 MHz. Como a antena não é usada para emissão, não se coloca o problema do SWR superior da 3:1, na parte inferior a 119,482 MHz, referenciado pelo marcador 'm1' na mesma figura.

A curva de SWR desta antena pode ser melhorada (*i.e.*, aumentar a largura da faixa de frequências com SWR inferior a 3:1), substituindo os elementos da antena por outros de secção maior; a secção dos elementos influencia a largura de faixa da antena.

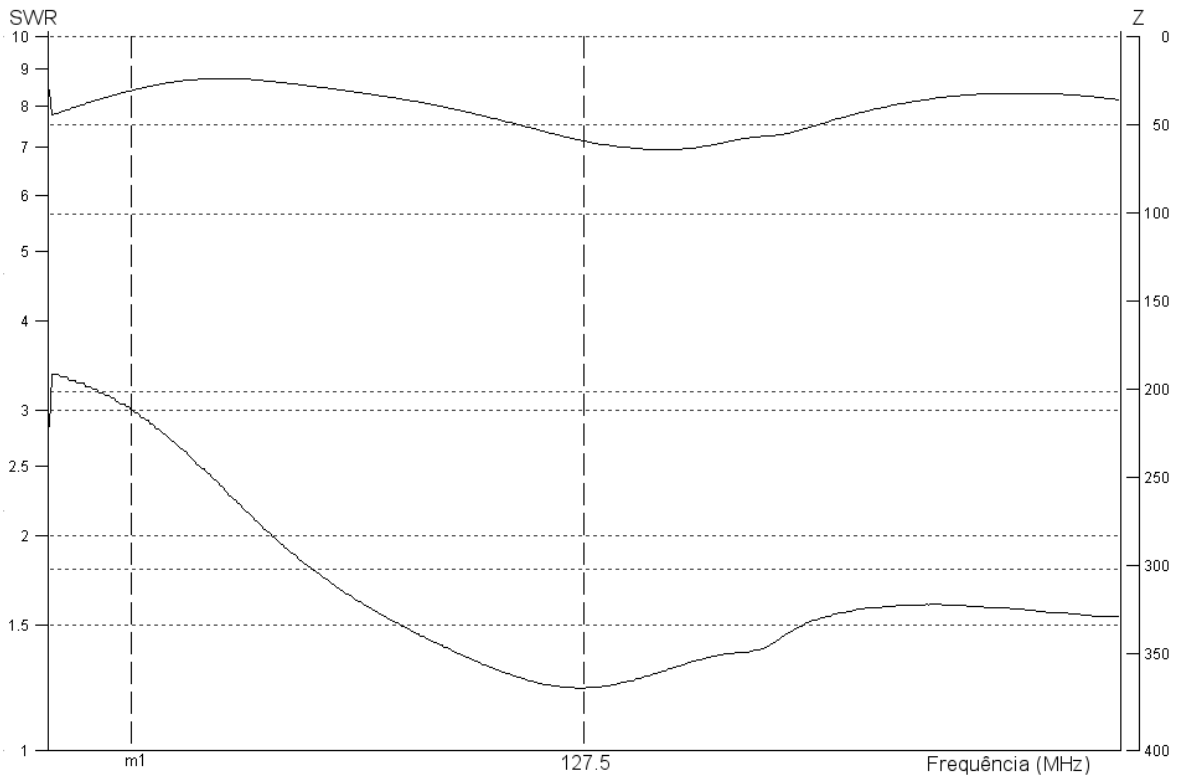


Figura 42 – Análise da antena construída, com recurso ao *MiniVNA*

Para ligar a antena ao sistema foi usado um cabo de tipo RG-213 (50Ω), equipado com fichas macho de tipo PL-239.

6. CONCLUSÃO E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

6.1 CONCLUSÃO

O protótipo do Sistema de Controlo Remoto de Luzes de Aeródromo foi desenvolvido com sucesso, respeitando os requisitos das Especificações Técnicas L-854 para um sistema de Tipo I com descodificador de Tipo A.

A arquitectura concebida oferece funções adicionais, cujo funcionamento é opcional; por exemplo a vigilância de estado dia/noite, a quarta saída por relé, ou o ajuste do tempo em que as luzes permanecem acesas.

O porto de comunicações deixado em reserva (*i.e.*, livre), permite a ligação do sistema a diversos tipos de periféricos, potenciando funcionalidades adicionais tais como a monitorização ou a activação remotas do sistema. Aliado a um transmissor de VHF operando na mesma frequência, a comunicação entre a aeronave e o sistema passa a ser bilateral em *half-duplex*, permitindo serviços AFIS a pedido do piloto.

No desenvolvimento deste trabalho, surgiram diversas dificuldades. A falta de equipamento de medição, apropriado ao estudo dos sinais RF no desenvolvimento dos diversos andares do módulo receptor. Ainda assim, o sistema mantém-se fiel às Especificações L-854.

6.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

A continuação deste trabalho subdivide-se em três vertentes:

- a) Optimizar o que está feito, nomeadamente o código-fonte do módulo controlador, implementando funções de *Security*. Melhorar a interface Pessoa-Máquina, eventualmente com um *display* maior.
- b) Implementar os requisitos para a Certificação do equipamento ao abrigo das Especificações L-854.
- c) Desenvolver os periféricos opcionais aplicáveis ao sistema-base apresentado neste relatório; não descartando a possibilidade de trocar o microcontrolador por outro da mesma família mas com maior número de Entradas e Saídas lógicas.

A vertente c) inclui os itens abaixo, não ficando limitada aos mesmos:

- Módulo de comunicação GSM para activação e/ou monitorização do sistema por SMS;
- Módulo transmissor VHF para emissão de *bip* para a aeronave, mediante recepção de comandos válidos de activação;
- Sistema AFIS;
- Fonte de alimentação ininterrupta.

Referências Documentais

- [1] David Mondey, *et al.* - *Encyclopédie de l'Aviation* - Celiv, 1886. ISBN: 2-7318-0030-5.
- [2] Vicomte de Faria - *Reproduction fac-similé d'un dessin à la plume de sa description et de la pétition adressée au Jean V. (de Portugal) en langue latine et en écriture contemporaine (1709) retrouvés récemment dans les archives du Vatican du célèbre aéronef de Bartholomeu Lourenco de Gusmão "l'homme volant" portugais, né au Brésil (1685-1724) précurseur des navigateurs aériens et premier inventeur des aérostats.* - 8 Agosto 1917, Lausanne Imprimeries Réunies S.A. - <http://purl.pt/706>
- [3] Marie-Hélène Reynaud – *Les Frères Montgolfier et leurs étonnantes machines – De plein vent*, 1982, pp 70-72.
- [4] José Aguiar – *100 Anos de Voo à Vela em Portugal* – Revista do Ar, n.º618, Aero Club de Portugal, 2009, pp 21-32.
- [5] Emmanuel Lomba – *O Voo à Vela, como começou por cá?* - Revista Take-Off n.º139, Ed. Absoluto Fascínio p.16.
- [6] U.S. Department of Transportation – *Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge* - Federal Aviation Administration, 2008, FAA-H-8083-25A.
- [7] Robert Jackson – *Aircraft of World War II, Development, Weaponry, Specifications* – Silverdale Books, 2005, pp 6-13, ISBN: 1-85605-751-8.
- [8] Airbus Flight Operations Support & Line Assistance - *Getting to Grips with Category II and III Operations* – Airbus Industrie, Issue 3 October 2001, STL 472.3494/95.
- [9] International Civil Aviation Organization - *Aerodrome Design Manual - Part 4 Visual Aids* - International Civil Aviation Organization, Fourth Edition 2004, Doc 9157 AN/901, ISBN: 92-9194-209-X.
- [10] U.S. Department of Transportation – *Standards for Airport Sign Systems* - Federal Aviation Administration, 16/08/2010, 150/5340-18F.
- [11] U.S. Department of Transportation – *Design and Installation Details for Airport Visual Aids* - Federal Aviation Administration, 21/07/2014, 150/5340-30H.
- [12] Aeronautical Information Service - *Manual VFR* - NAV Portugal, E.P.E., 2014, disponível online em <http://www.nav.pt/ais/>

- [13] U.S. Department of Transportation – *Specification L-854, Radio Control Equipment* – Federal Aviation Administration, 27/06/2007, 150/5345-49C.
- [14] A.N.A.C. Autoridade Nacional da Aviação Civil – *Regulamento n.º 36/2016* – Diário da República n.º 14, Série II, de 21 de Janeiro de 2013.
- [15] United-Kingdom Civil Aviation Authority Information Notice number: IN-2014-143 - *The Provision of and Access to Pilot Controlled Lighting (PCL) at Licensed Aerodromes* – 28 August 2014.
- [16] Canadian Minister of Transport - *Aeronautical Information Manual AIM 2015-1* - Effective April 2, 2015 to October 15, 2015, Transport Canada, ISSN: 1715-7382.
- [17] Bureau de l'Union Internationale des Télécommunications - *Annexés à la Convention Internationale des Télécommunications (Madrid, 1932)* - Berne, 1938.
- [18] International Civil Aviation Organization - *Aeronautical Telecommunications, Annex 10 to the Convention on International Civil Aviation* - International Civil Aviation Organization, Second Edition, July 2007.
- [19] ICP-ANACOM Autoridade Nacional de Comunicações - *Quadro Nacional de Atribuição de Frequências* - QNAF 2009/2010, Edição 2009/2010.
- [20] Hamtronics, Inc. - *R122 VHF Air Band Receiver: Installation, Operation and Maintenance* - Revised 17/05/2013, Hamtronics, Inc. Rochester NY, USA. Disponível na Internet em: <http://www.hamtronics.com/r122.htm>
- [21] Hamtronics, Inc. - *R123 VHF Runway Light Controller: Installation, Operation & Maintenance* - Revised 25/03/2015, Hamtronics, Inc. Rochester NY, USA. Disponível na Internet em: <http://www.hamtronics.com/r123.htm>
- [22] Hamtronics, Inc. - *R317 UHF Runway Light Controller: Installation, Operation & Maintenance* - Revised 01/04/2015, Hamtronics, Inc. Rochester NY, USA. Disponível na Internet em: <http://www.hamtronics.com/r317.htm>
- [23] Maycom Co., Ltd. - *AR-108 Mini Hand Held Type AIR / VHF Band Receiver; User's Operation Manual* – Maycom Co., Ltd.
- [24] NEMA - *NEMA Enclosure types* – National Electrical Manufacturers Association, Novembro 2005.
- [25] ICOM Inc. - *IC-R5 Communications Receiver Instruction Manual* – A-6198H-1EX-5, Japan, 2007.
- [26] ICOM Inc. - *IC-R5 Communications Receiver Service manual* – S-13905IZ-C-1, Japan, 2002.

- [27] Micrel, Inc. – *MICRF300, 100MHz to 1000MHz, 1.8 to 3.6V, Low-Noise Amplifier with Shutdown* – Datasheet M9999-041712-B, April 2012.
- [28] NXP Semiconductors, N.V. – *SA602A Double-balanced mixer and oscillator* – Product data sheet Rev.3 – 27 May 2014.
- [29] NXP Semiconductors, N.V. – *BFG135 NPN 7GHz wideband transistor* – Product Specification, 1995 Sep 13.
- [30] Analog Devices, Inc. – *AD9850, CMOS, 125 MHz Complete DDS Synthesizer* – Datasheet Rev. H, 2004.
- [31] Fairchild Semiconductor Corp. - *2N3904 NPN General Purpose Amplifier* – Datasheet Rev. B0, 2011.
- [32] Texas Instruments – *LM567x Tone Decoder* – SNOSBQ4E Data-sheet, May 1999, Revised December 2014.
- [33] Texas Instruments – *TL082 Wide Bandwidth Dual JFET Input Operational Amplifier* – SNOSBW5C Data-sheet, April 1998, Revised April 2013.
- [34] Texas Instruments – *LM311-N Voltage Comparator* – SNOSBJ1E Data-sheet, May 1999, Revised March 2013.
- [35] Atmel Corporation – *Atmel 8-bit Microcontroller with 4/8/16/32 kbytes In-System Programmable Flash* - Datasheet, Atmel-6271I-AVR-ATmega-Datasheet_10/2014, 2014.
- [36] Maxim Integrated Products, Inc. – *DS1307 64x8, Serial, I²C Real-Time Clock* – Datasheet Rev. 3/15, Maxim integrated Products, 2015.
- [37] ICOM, Inc. – *IC-A6E VHF Air Band Transceiver Instruction Manual* – A-6988D-1EU-1, Japan, 2012.

Anexo A. Aeródromos de Portugal

Quadro realizado com base na informação disponível em www.nav.pt/ais/, em Abril de 2015.

Localidade / Identificação	PISTA	Tipos de Luzes										H (LT)	TRAF.	ADM.	AFIS
		APCH	PAPI	THR	END	TDZ	RCL	EDGE	TWY	APRON	WDI				
Amendoeira (LPMN)	03/21											HJ (1)	VFR	C.M.	-
Beja (LPBJ)	01L/19R	X	X	X	X			X	X	X	X	0830/1730 (2)	IFR/VFR	FAP ANA	ATS
	01R/19L			X				X							
Braga (LPBR)	07/25		X	25	X			25				SR/SS	VFR	C.M.	CS (HO)
Bragança (LPBG) (3)	02/20			X	X			X				HJ (4)	VFR	C.M.	AFIS (HO)
Cascais (LPCS)	17/35	X	X	X	X			X				0800/SS (4, 5)	IFR/VFR	E.M.	ATS (HO)
Chaves (LPCH)	16/34											HJ	VFR	C.M.	AFIS (HO)
Coimbra (LPCO)	16/34			X	X			X	X	X	X	SR/SS (4,5)	VFR	C.M.	CS (HO)
Corvo (LPCR)	11/29											0900/1200 (2,4)	VFR	SATA	AFIS (HO)
Espinho (LPIN)	17/35											HJ	VFR	CLUBE	-
Evora (LPEV)	01/19	19	X	X	X			X	X	X	X	HJ (4)	IFR/VFR	C.M.	AFIS (HO)
Faro (LPFR)	10/28	X	X	X	X	28	X	X	X	X	X	H24	IFR/VFR	ANA	ATS (H24)
Ferreira do Alentejo (LPFA)	17-35											HJ	VFR	PRIV.	CS (HO)
Figueira de Cavaleiros (LPFC)	17/35											HJ	VFR	PRIV.	-
Flores (LPFL)	18/36		X									HJ (2,4,5)	IFR/VFR	ANA	ATS (HO)
Graciosa (LPGR)	09/27		X	X	X							HJ (2,4,5)	IFR/VFR	SATA	ATS (HO)
Horta (LPHR)	10/28	X	X	X	X			X				HJ (4)	IFR/VFR	ANA	ATS (HO)

Lajes (LPLA)	15/33	X	X	X	X			X			X	HJ (4)	IFR/VFR	FAP	ATS (H24)
Leiria (LPJF)	02/20											HJ (4)	VFR	CLUBE	-
Lisboa (LPPT)	03/21	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	H24	IFR/VFR	ANA	ATS (H24)
	17/35	35	35					X							
Lousã (LPLZ)	17/35											HJ	VFR	C.M.	-
	11/29														
Madeira (LPMA)	05/23	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	H24	IFR/VFR	ANAM	ATS (H24)
Mirandela (LPMI)	17/35											HJ (4)	VFR	C.M.	CS (HO)
Mogadouro (LPMU)	03/21											A PEDIDO	VFR	C.M.	CS (HO)
Pico (LPPI)	09/27	X	X	X	X			X	X	X	X	HJ	IFR/VFR	SATA	AFIS (HO)
Ponta Delgada (LPPD)	12/30	X	X	X	X		X	X	X	X	X	0615/2400	IFR/VFR	ANA	ATS (H24)
Ponte de Sôr (LPSO)	03/21		X	X	X			X			X	HJ (4)	VFR	C.M.	-
Portimão (LPPM)	11/29											HJ (4)	VFR	C.M.	AFIS (HO)
Porto (LPPR)	17/35	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	H24	IFR/VFR	ANA	ATS (H24)
Porto Santo (LPPS)	18/36	X	X	X	X			X	X	X	X	H24	IFR/VFR	ANAM	ATS (H24)
Proença-a-Nova (LPPN)	13/31											HJ	VFR	C.M.	-
São Jorge (LPSJ)	13/31	X	X	X	X			X				HJ (4)	VFR	SATA	AFIS (HO)
Santa Cruz (LPSC)	17/35											HJ	VFR	C.M.	CS (HO)
Santa maria (LPAZ)	18/36	X	X	X	X			X	X	X	X	0645/2130 (4)	IFR/VFR	ANA	ATS (H24)
Santarém (LPSR)	05/23											HJ	VFR	CLUBE	-
Seia (LPSE)	08/26											HJ	VFR	NIL	-
Vila Real (LPVR)	02/20	X	X	X	X							0730/2000 (4)	IFR/VFR	C.M.	AFIS (HO)
Vilar de Luz (LPVL)	16/34											0900/1800 (4)	VFR	C.M.	CS (HO)
Viseu (LPVZ)	18/36		X	X	X			X	X	X		HJ	VFR	C.M.	CS (HO)

Notas:

- (1) Para aeronaves não baseadas no aeródromo, PPR à Administração do aeródromo.
- (2) Dias úteis. Outros períodos, Sab, Dom e Feriados sujeito a PPR pelo piloto à Administração do aeródromo.
- (3) Prior request for lighting
- (4) Extensão operacional ou reabertura sujeito a pedido prévio ao Director do aeródromo.
- (5) 0000/0700, o aeródromo está encerrado excepto para voos humanitários, de Emergência médica e de Busca e Salvamento.
- (6) Fora deste período a pedido, ao responsável do aeródromo, com 2 horas de antecedência.

Acrónimos e abreviações usados neste Anexo:

ADM.	Administração da infra-estrutura
AFIS	<i>Aerodrome Flight Information Service</i>
ANA	Aeroportos de Portugal
ANAM	Aeroportos da Madeira
APCH	<i>Approach</i>
C.M.	Câmara Municipal
E.M.	Empresa Municipal
EDGE	Contornos da pista
FAP	Força Aérea Portuguesa
H24	24 horas
HJ	Horário diurno
HO	Horário de funcionamento
IFR	<i>Instrument Flight Rules</i>
LT	<i>Local Time</i>
O.R.	<i>On Request</i>
PAPI	<i>Precision Approach Path Indicator</i>
RCL	<i>Runway Center Line</i>
SR/SS	<i>Sunrise/sunset</i>
TDZ	<i>Touch Down Zone</i>
THR	<i>Threshold</i>
TRAF.	Tipo de tráfego
TWY	<i>Taxiway</i>
VFR	<i>Visual Flight Rules</i>
WDI	<i>Wind Direction Indicator</i>

Anexo B. Heliportos de Portugal

Quadro realizado com base na informação disponível em www.nav.pt/ais/, em Abril de 2015.

Localidade	Admin.	HO	Tipo de tráfego	PAPI	APCH	FATO	TLOF	BCN	ID	WDI	TWY
Abrantes Hosp. (LPAB)	Hospital	H24	VFR/NVFR		X	X					
Aguiar da Beira	Bombeiros	H24	VFR/NVFR			X	X	X		X	
Albergaria-a-Velha (LPAG)	C.M.	HJ	VFR								
Alfragide (LPAF)	Privado	HJ	VFR			X			X	X	
Algés (LPJB)	Privado	HJ	VFR								
Almada Hosp. (LPGO)	Hospital	HJ	VFR		X	X					
Amadora Hosp. (LPAS)	Hospital	H24	VFR/NVFR			X	X				
Barlavento Algarvio Hosp. (LPBA)	Hospital	H24	VFR/NVFR		X	X	X				
Beja (LPPJ)	C.M.	HJ	VFR								
Braga Hosp. (LPBH)	Hospital	H24	VFR/NVFE			X				X	
Bragança Hosp. (LPTM)	Hospital	H24	VFR	X		X	X			X	
Carnaxide Hosp. (LPFX)	Hospital	H24	VFR/NVFR		X	X	X			X	
Cascais Hosp. (LPHC)	Hospital	HJ	VFR		X	X	X			X	
Coimbra Covões Hosp. (LPCV)	Hospital	HJ	VFR								
Coimbra Univ. Hosp. (LPCI)	Hospital	H24	VFR		X	X					
Covilhã Hosp. (LPCL)	Hospital	H24	VFR		X	X					
Fafe (LPFE)	C.M.	HJ	VFR								
Faro Hosp. (LPFO)	Hospital	H24	VFR/NVFR	X	X	X				X	
Funchal Hosp. (LPCC)	Hospital	HJ	VFR								
Guarda Hosp. (LPGA)	Hospital	HX	VFR		X	X	X				
Guimarães Hosp.	Hospital	HJ	VFR		X	X					
Herdade da Brava (LPHB)	Privado	(1)	VFR	X		X				X	
Lagos	-	HJ	VFR								
Lamego Hosp.	Hospital	HJ	VFR								
Leiria Hosp. (LPLE)	Hospital	H24	VFR/NVFR		X	X	X				
Lisboa S. Maria (LPSM)	Hospital	HJ	VFR								
Lisboa S. F. Xavier Hosp.	Hospital	HJ	VFR								
Loulé (LPLO)	C.M.	H24	VFR		X	X	X				
Macedo de Cavaleiros (LPMC)	C.M.	H24	VFR			X	X			X	
Mafra (LPMP)	C.M.	HJ	VFR								

Massarelos (LPDA)	Privado	HJ	VFR/NVFR		X	X	X			X	
Matosinhos Hosp. (LPPH)	Hospital	HX	VFR/NVFR		X	X	X			X	
Mirandela Hosp. (LPMD)	Hospital	HJ	VFR		X	X					
Monchique	Bombeiros	HJ	VFR								
Morgado de Apra (LPMB)	Privado	HJ	VFR								
Paredes-Baltar (LPPB)	Bombeiros	H24	VFR			X	X				
Penafiel Hosp. (LPPA)	Hospital	H24	VFR		X	X					
Pernes		HJ	VFR								
Pombal		HJ	VFR								
Ponta Delgada Hosp. (LPES)	Hospital	H24	VFR/NVFR			X	X			X	
Porto Moniz (LPMZ)		HJ	VFR								
Salemas (LPSA)	Privado	H24	VFR		X	X	X	X		X	X
Sta Comba Dão (LPCD)	Bombeiros	H24	VFR		X	X		X			X
Sta Maria da Feira Hosp (LPSS)	Hospital	H24	VFR/NVFR		X	X				X	
Santarém Hosp.	Hospital	HJ	VFR								
Sardoal (LPSD)	C.M.	HJ	VFR								
Sines (LPSI)	Privado	H24	VFR/NVFR			X					
Tomar Hosp. (LPTH)	Hospital	HJ	VFR		X	X					
Torres Noves Hosp. (LPNV)	Hospital	H24	VFR		X	X					
Torres Vedras	Bombeiros	HJ	VFR								
Viana do Castelo (LPVC)	Hospital	H24	VFR/NVFR								
Viseu Hosp (LPTT)	Hospital	H24	VFR		X	X	X				

Notas:

(1) Utilização sujeita a pedido prévio ao Director do heliporto

Acrónimos e abreviações usados neste Anexo:

APCH	<i>Approach</i>
BCN	<i>Beacon</i>
FATO	<i>Final Approach and Take-off Area</i>
H24	24 horas
HJ	Horário diurno
ID	Identificação
NVFR	<i>Night Visual Flight Rules</i>
PAPI	<i>Precision Approach Path Indicator</i>
TLOF	<i>Touchdown and Liftoff Area</i>
TWY	<i>Taxiway</i>
VFR	<i>Visual Flight Rules</i>
WDI	<i>Wind Direction Indicator</i>

Anexo C. Fotografias do Sistema



SCRLA visto de frente



SCRLA visto de trás

Anexo D. Specification L-854

Advisory Circular n.º 150/5345-49C - Specification L-854, Radio Control Equipment



U.S. Department
of Transportation

Federal Aviation
Administration

Advisory Circular

Subject: SPECIFICATION L-854,
RADIO CONTROL
EQUIPMENT

Date: 06/27/07

AC No.: 150/5345-49C

Initiated by: AAS-100

Change:

1. **PURPOSE.** This advisory circular (AC) contains the specifications for radio control equipment to be used for controlling airport lighting facilities.
2. **EFFECTIVE DATE.** Effective six months after the issue date of this AC, only equipment certified per the specifications herein will be listed per AC 150/5345-53, *Airport Lighting Equipment Certification Program*.
3. **CANCELLATION.** AC 150/5345-49B, *Specification L-854, Radio Control Equipment*, dated September 15, 2005, is cancelled.
4. **APPLICATION.** The specifications contained in this AC are recommended by the FAA in all applications involving development of this nature. For airport projects receiving Federal funds under the airport grant assistance or the passenger facility charge programs, the use of this specification is mandatory.
5. **PRINCIPAL CHANGES.**
 - a. Allow use of FM (carrier detect via adjustable squelch) Type I receiver for alternative to AM receiver.
6. **METRIC UNITS.** To promote an orderly transition to metric units, the specification includes both English and metric units. The metric conversions may not be exact equivalents, and until there is an official changeover to the metric system, the English dimensions will govern.

DAVID L. BENNETT
Director of Airport Safety and Standards

This page intentionally left blank.

1. SCOPE AND CLASSIFICATION.

1.1 Scope.

This specification covers the equipment requirements for radio control systems to be used for remote control of airport lighting facilities from aircraft, from a ground location, or from both. The basic system elements include radio receivers, radio transmitters, encoders, and decoders.

1.2 Classification.

Three types of L-854 systems are covered by this specification:

Table 1. L-854 Equipment Types

Type I	Air-to-ground - consists of an amplitude modulated (AM) or frequency modulated (FM) carrier detection receiver and a Style A decoder (paragraph 3.4.5.2).
Type II	Ground-to-ground - consists of a frequency modulated (FM) transmitter, an FM receiver, an encoder, and a Style B decoder (paragraph 3.4.5.3).
Type III	Air-to-ground plus ground-to-ground - consists of an FM transmitter, two receivers (AM and FM), an encoder, and Style A and Style B decoders.

2. APPLICABLE DOCUMENTS

2.1 FAA AC.

AC 150/5345-53 *Airport Lighting Equipment Certification Program*

2.2 National Telecommunications and Information Administration (NTIA).

NTIA *Manual of Regulations and Procedures for Federal Radio Frequency Management (Red Book)*

2.3 Federal Communications Commission (FCC).

Code of Federal Regulation Title 47 *Telecommunication, Part 15, Radio Frequency Devices Part 2, Frequency Allocations and Radio Treaty Matters; General Rules and Regulations, Part 90, Private Land Mobile Radio Services*

2.4 Institute of Electrical and Electronics Engineer (IEEE).

IEEE C62.41 *IEEE Recommended Practice for Surge Voltages in Low-Voltage AC Power Circuits*

IEEE C62.45 *IEEE Recommended Practice on Surge Testing for Equipment Connected to Low-Voltage (1000 V and Less) AC Power Circuits*

2.5 International Standardization Organization (ISO).

ISO-10012 *Measurement Management Systems – Requirements for Measurement Processes*

Copies of Federal Aviation Administration (FAA) ACs may be obtained from:

U.S. Department of Transportation
Subsequent Distribution
Office Ardmore East Business Center
3341 Q 75th Ave.
Landover, MD 20785

Tel: (301) 322-4961

FAX: (301) 386-5394

Website: www.faa.gov/airports_airtraffic/airports/resources/advisory_circulars/

Copies of International Electrical and Electronics Engineers (IEEE) documents may be obtained from:

IEEE Customer Service
445 Hoes Lane
PO Box.1331
Piscataway, NJ 08855-1331

FAX: (732) 981-9667
E-mail: onlineproducts@ieee.org
Website: shop.ieee.org/ieeestore

Copies of National Telecommunications and Information Administration (NTIA) documents may be obtained from:

U.S. Government Printing Office
Regional Operation Office
Printing Procurement Department
Room C-842
North Capitol and H Streets, NW
Washington, D.C. 20401

Tel: (202) 512-0412
FAX: (202) 512-0381
Website: bookstore.gpo.gov

The NTIA Red Book may also be downloaded free of charge from the NTIA website at:

Website: www.ntia.doc.gov

Copies of Federal Communications Commission (FCC) documents may be obtained from:

Website: www.access.gpo.gov

or from the Government Printing Office.

Copies of the International Standardization Organization (ISO) document are available online from:

Website: www.iso.org

3. REQUIREMENTS.

3.1 General Requirements.

Each radio control system must be complete per all requirements in this AC and include the basic components listed in paragraph 1.2. Each set of equipment must be tuned and adjusted for operation at the frequency specified by the purchaser.

NOTE: *The FAA Regional Spectrum Management Office must be notified about the operating frequency of a Type II or III system (FM transmitter) before operation.*

3.2 Environmental Conditions.

The equipment must be designed to operate in the following indoor or outdoor environmental conditions as specified by the purchaser:

3.2.1 Indoor Conditions.

- a. Temperature from -4 degrees to 131 degrees Fahrenheit (F) (-20 degrees to +55 degrees Celsius (C)).
- b. Humidity: relative humidity up to 95%.

3.2.2 Outdoor Conditions.

- a. Temperature: -67 degrees to 131 degrees F (-55 degrees to +55 degrees C).
- b. Relative humidity up to 100 percent.
- c. Wind speeds up to 100 miles per hour (mph) (161 kilometers per hour).
- d. Exposure to wind driven rain, snow, or sleet.

3.3 Operating Requirements.

The radio control equipment will be used to operate airport lighting facilities per the following:

3.3.1 Air-to-Ground System.

a. The lighting facility will be operated from aircraft by clicking the microphone button a specified number of times within a 5-second period as follows:

- (1) 3 clicks - lighting system energized on the low brightness step.
- (2) 5 clicks - lighting system energized on the medium brightness step.
- (3) 7 clicks - lighting system energized on the high brightness step.

b. After the system is energized on a brightness step, any other brightness step may be selected by clicking the mike button the specified number of times.

c. The system must turn off automatically 15 minutes after the last brightness step operation.

3.3.2 Ground-to-Ground System.

- a. The ground-to-ground system is intended for operating lighting systems from an airport control tower. The basic system can perform a maximum of 8 separate control functions.
- b. Additional control functions, in multiples of 8, can be obtained by the addition of decoder modules and associated parts.

3.3.3 Air-to-Ground Plus Ground-to-Ground System.

- a. The dual system may be used where there is a part-time airport control tower.
- b. When the control tower is in operation, the lighting facility must be controlled through the ground-to-ground unit with the air-to-ground unit deactivated.
- c. When the control tower is not in operation, the lighting facility must be controlled by the air-to-ground unit.
- d. Transfer of control to and from the air-to-ground unit may be accomplished through the ground-to-ground unit.

3.4 System Design Requirements.

3.4.1 General.

- a. For receivers, the equipment must be type accepted per Federal Communications Commission (FCC) 47 CFR Part 15. In addition, the equipment must comply with 47 CFR § 15.107 and § 15.109.
- b. For a Type II and Type III FM transmitter, the equipment must be accepted and meet all requirements in 47 CFR Part 90, Private Land Mobile Radio Services, and the requirements in 47 CFR Part 2, Frequency Allocations and Radio Treaty Matters, General Rules and Regulations.
- c. Spurious emissions for Type II and III FM transmitting equipment must be per 47 CFR § 2.1051 and § 2.1053.

3.4.2 Power Input.

The equipment must be designed to operate from 120 VAC, $\pm 15\%$, 60 Hertz (Hz). Power for the encoder and decoders may be obtained from an associated transmitter or receiver.

3.4.2.1 Lightning Surge Arrestors.

- a. Arresters of the proper rating to protect the equipment from lightning induced voltage and current surges must be installed at both the AC power input and antenna terminals.
- b. The lightning arresters must be rated for pulses per IEEE C62.41-1991, Section 9, Table 4, Location Category C1.
- c. The ground-side of the arresters must be connected to the cabinet grounding lug or other electrically equivalent ground location. If a bonding jumper wire is used, it must not be smaller than 14 American Wire Gauge (AWG).

3.4.2.2 Transient Voltage and Current Protection.

Transient protection that does not degrade signal quality must also be provided for all external signal, data, and control lines that enter the equipment enclosure per IEEE C62.41-1991, Table 4, Location Category C1.

NOTE: See IEEE C62.41- 1991, IEEE Recommended Practice on Surge Voltages in Low-Voltage AC Power Circuits, Section 9, Definition of Standard Surge Testing Waveforms, for detailed explanations of surge/transient waveforms.

3.4.3 Receiver.

The receiver must conform to the following:

- a. L-854 Type I receiver: must be a superheterodyne type.

- (1) Frequency: the receiver must operate at a single frequency within a band of frequencies from 118 to 136 Megahertz (MHz) and process amplitude modulated (AM) signals.

- (2) Alternatively, the receiver may use frequency modulation (FM) with a discriminator and variable squelch to detect the presence of the radio frequency (RF) carrier within the 118 to 136 MHz VHF band.

NOTE: The receiver operating frequency must be specified by the customer before delivery. The receiver is typically set to 122.80 MHz. Alternatively, the receiver operating frequency may be programmable for 25 kHz channel spacing within the 118 to 136 MHz VHF band.

- (2) Frequency tolerance: must be ± 0.003 percent (30 parts per million (ppm)) of the carrier center frequency.

- (3) Receiver sensitivity. must be 5 microvolts (μV) or less for a 10 decibel (dB) signal plus noise to noise ratio ((S+N)/N). The manufacturer must provide a sensitivity adjustment.

- (4) Receiver selectivity: must be a bandwidth of not less than ± 9.0 kilohertz (kHz) from the assigned carrier frequency at 6 decibels below carrier (dBc) and not more than ± 40 kHz at 60 dBc.

- (5) Fidelity: the receiver output must be uniform within ± 2.0 dB from 300 - 2450 Hz (not applicable to the alternate FM receiver).

- (6) Nominal antenna impedance: nominal 50 ohms unbalanced.

- (7) Audio or carrier detection output:

- (a) For an AM receiver, 0 decibels referenced to 1.0 milliwatt (0 dBm) or more into a 600 ohm load with signal input of 5 microvolts modulated 30 percent at 1000 Hz. Pulses resulting from bursts of radio frequency energy (clicks of a microphone) must drive a Type A decoder when the receiver input signal is 5 μV or more.

- (b) For an FM receiver, pulses arising from the presence of the VHF carrier frequency (clicks of a transmitter microphone) must drive a Type A decoder (see paragraph 3.4.5) when the receiver input signal is 5 μV or less. The presence of the carrier may be indicated by a visual or an audible indication.

b. L-854 Type II Receiver: must be a superheterodyne type.

(1) Frequency: the receiver must operate at a single frequency in either of two bands: 150 - 174 MHz and 450 - 512 MHz and process frequency modulated (FM) signals.

(2) Frequency tolerance: must be ± 0.003 percent (30 parts per million (ppm)).

NOTE: Receiver frequency tolerance is the maximum permissible departure of the center frequency of the intermediate frequency passband from the desired center frequency.

(3) Sensitivity: 5 microvolts or less for 20 dB of quieting. The manufacturer must provide a sensitivity adjustment.

(4) Receiver selectivity: must be not less than ± 9.0 kilohertz (kHz) from the assigned carrier frequency at 6 dBc) and not more than ± 40 kHz at 60 dBc. Spurious signals must not be less than 50 dB below the desired signal.

(5) Fidelity: The receiver output must be uniform within ± 2.0 dB from 300 - 2450 Hz.

(6) Nominal antenna impedance: Nominal 50 ohms unbalanced.

(7) Audio output: 0 decibels (dB) referenced to 1.0 milliwatt (0 dBm) or more into a 600 ohm load with signal input of 5 microvolts. See paragraph 3.4.5.3 Style B Decoder input for additional information.

c. L-854 Type III Receiver: A type III receiver uses both Type 1 and Type II equipment. See paragraphs 3.4.3a and b above for receiver requirements. See paragraph 1.2 for equipment description.

3.4.4 Transmitter.

Type II and III equipment uses an FM pulsed RF burst for a ground-to-ground link and must conform to the following requirements:

a. Type: the transmitter must be fixed frequency operation with a frequency modulated (FM) carrier.

b. Frequency: the transmitter must operate within a 150-174 MHz or 450-512 MHz band with a frequency tolerance of 0.00025 percent (2.5 ppm). The purchaser must specify the operating frequency.

NOTE: The transmitter frequency bands stated are for guidance only and may not be inclusive of frequencies authorized by the FAA for use at all airports. See the NTIA Red Book, Section 4, for additional guidance concerning the allocation of U.S. Government frequencies with fixed stations. In addition, consult 47 CFR Part 2, Frequency Allocations and Radio Treaty Matters; General Rules and Regulations, for additional guidance about frequency usage. Advise the FAA Regional Spectrum Management Office before equipment installation about the intended transmitter operating frequency. This note must be included in the equipment instruction book, paragraph 3.5c.

c. RF Power Output: must be not less than 1 watt (30 dBm) but not more than 3 watts (34.78 dBm).

- d. Modulation: FM with a frequency deviation of ± 2.5 kHz with a signal input of -10 dBm within the frequency band of 300 to 2450 Hz.
- e. Spectrum: the transmitter output spectrum must be per the limits described in 47 CFR part 90, Subpart I, General Technical Standards.
- f. Output Impedance: the transmitter output impedance must be a nominal 50 ohms unbalanced.
- g. Input Impedance: the transmitter input impedance must be 600 ohms.
- h. Transmitting antenna: No other antenna type other than that originally furnished with the equipment must be used.

NOTE: *The transmitting antenna must be included in the equipment instruction book per paragraph 3.5.*

3.4.5 Decoders.

3.4.5.1 General.

- a. The Style A decoder must decode a series of electrical pulses, (example: clicking a transmitter microphone), to control the desired function.
- b. Style B decoders must detect a series of 3 tone burst characters per control function or address.
- c. The decoders must not respond to signal element durations of less than 50 milliseconds or require signal elements of more than 100 milliseconds.

3.4.5.1.1 Output Relays.

- a. Output relays must be a plug-in type having single pole single throw (SPST) normally open (NO) contacts rated at 3 amps (resistive load), 120 volts AC.
- b. The output relays must have a mechanical life of 100,000 cycles or more.

3.4.5.1.2 Output Terminals.

The decoder output signal terminals must be a screw-type barrier terminal strip rated not less than 250 volts AC.

3.4.5.1.3 Input Terminals.

- a. When the decoder or decoders are installed in an enclosure with a receiver, the input terminals are not required.
- b. When the decoder or decoders are installed in a separate enclosure, use a screw-type barrier terminal strip of proper voltage rating and size.

3.4.5.2 Style A Decoder.

- a. The Style A decoder must energize 1, 2, or 3 relays upon the receipt of a series (7 pulses maximum) of electrical pulses (microphone clicks) within a 5.0 second period, hold the relays energized for 15.0 minutes, and de-energize the relays after 15.0 minutes.

- (1) A 5.0 second gate period must be started by the first pulse received.
- (2) At the third pulse, the first relay must be energized.
- (3) At the fifth pulse, the second relay must be energized.
- (4) At the seventh pulse, the third relay must be energized.

b. If 2 or 3 relays are energized and a new series of pulses are received, at the third pulse, all relays except the first, must be de-energized and the timer reset for a full 15 minutes.

- (1) At the fifth pulse, the second relay must be energized.
- (2) At the seventh pulse, the third relay must be energized.

c. The decoder must be designed so that a simple connection change disables the circuit that de-energizes the relays when additional pulses are received.

d. The decoder must have terminals for connecting a switch or relay to disable the decoder.

3.4.5.3 Style B Decoder.

- a. The Style B decoder must recognize 8 discrete addresses.
- b. Each address must cause a relay to close, a relay to open, or a relay to close and another relay to open.
- c. The relay operating scheme must be specified by the purchaser.

3.4.5.3.1 Address.

- a. A decoder address must be a series of 3 characters that are received within 3.0 seconds.
- b. The address may be any combination of 1, 2, or 3 individual characters such as 1-1-1, 1-4-1, 4-4-1, 1-2-4, etc., and must be specified by the purchaser.

3.4.5.3.2 Characters.

Each character must be a burst of the paired tones per Table 2:

Table 2. Frequencies

Character	Frequencies	Character	Frequencies
1	697 Hz and 1209 Hz	7	852 Hz and 1209 Hz
2	697 Hz and 1339 Hz	8	852 Hz and 1339 Hz
3	697 Hz and 1477 Hz	9	852 Hz and 1477 Hz
4	770 Hz and 1209 Hz	0	941 Hz and 1209 Hz
5	770 Hz and 1339 Hz	*	941 Hz and 1339 Hz
6	770 Hz and 1477 Hz	#	941 Hz and 1477 Hz

3.4.5.3.3 Security Tone.

The decoder must recognize tone burst characters only if a security tone of 1633 Hz is also present.

3.4.5.3.4 Sensitivity.

The Style B decoder must operate with input signal amplitudes of -10 dBm or more.

3.4.6 Encoder.

3.4.6.1 General.

- a. The encoder must have a capacity of not less than 16 unique addresses.
- b. Each address must be represented by a single pole switch. Closing a switch must cause the encoder to generate the address that is represented by the switch.
- c. An address switch remaining closed or opened and re-closed must have no further effect until a canceling address is generated.

3.4.6.2 Output.

- a. The encoder output must be a security tone of 1633 Hz and the selected address.
- b. Each character of the address must be generated for no less than 100 milliseconds and the address transmitted within 1.50 seconds.
- c. The address must be per paragraph 3.4.5.3.1.

3.4.6.3 Control Panel

- a. The control panel for the basic encoder must be no larger than 4 inches × 8 inches (10 centimeters × 20 centimeters).
- b. The control panel must use a single pole normally open momentary switch for each address bit.
- c. The address switches must have a minimum rated life of 50,000 cycles.
- d. Each switch must be marked in indelible characters of not less than 3/16-inch (4.76 millimeters) and not more than 1/4-inch (6.35 millimeters) in height formed by engraving, etching, or stamping.
- e. The control panel must also use indicator lights (color scheme to be selected by purchaser) to indicate the status of each address bit.
- f. The control panel must be designed to be removed from the encoder and installed up to 25 feet (7.5 m) away.

3.4.6.4 Output Terminals.

- a. When installed in an enclosure with a radio transmitter, the terminals must be as required in paragraph 3.4.5.1.2.

b. When installed in a separate enclosure, output terminals must be a screw type barrier terminal strip of the proper voltage rating and size.

3.4.7 Mean Time Between Failure (MTBF).

- a. The L-854 receiver, encoder, and decoders must be designed for 10,000 hours MTBF.
- b. The transmitter must be designed for a minimum of 2,000 hours MTBF.
- c. The manufacturer must show his method of determining MTBF.

3.4.8 Materials and Workmanship.

Materials used and workmanship must be of the highest commercial quality and practices for equipment of this type.

3.4.9 Nameplate.

Each unit of the L-854 system must have a permanently attached nameplate with the following information:

- a. Identification - Radio Control Equipment Type FAA L-854.
- b. Unit (Receiver/Decoder, Transmitter/Encoder, etc.).
- c. Input voltage.
- d. Frequency range(s).
- e. Manufacturer's name or trademark.

3.5 Instruction Book.

An instruction book with following information must be furnished with each L-854 system:

- a. Schematic and wiring diagrams showing all components cross-indexed to the parts list.
- b. Parts list with the rating and characteristics of each part and with manufacturer's part number.
- c. Installation instructions.
- d. Maintenance instructions.
- e. Troubleshooting charts.
- f. Theory of operation.

4. EQUIPMENT QUALIFICATION REQUIREMENTS.

4.1 Qualification Procedures.

Procedures for obtaining equipment certification are in AC 150/5345-53, *Airport Lighting Equipment Certification Program*.

4.2 Qualification Tests.

4.2.1 Environmental Tests.

4.2.1.1 High Temperature (Outdoor Enclosure).

- a. Install the equipment in an outdoor enclosure.
- b. Subject the equipment under test (EUT) with AC power ON to high temperature of 131 degrees F (55 degrees C) for not less than 8 hours.
- c. After 8 hours have elapsed and not more than 10 minutes after the chamber becomes accessible, turn the EUT AC power on and perform testing per paragraph 4.2.2.
- d. The failure of any tests will be cause for rejection of the equipment.

4.2.1.2 Low Temperature (Outdoor Enclosure).

- a. Install the equipment in an outdoor enclosure.
- b. Subject the EUT to -67 degrees F (-55 degrees C) for not less than 4 hours with the AC power ON.
- c. After 4 hours have elapsed and not more than 10 minutes after the test chamber is accessible, perform testing per paragraph 4.2.2.
- d. The failure of any tests will be cause for rejection of the equipment.

4.2.1.3 Low Temperature (Indoor Enclosure).

- a. Install the equipment in an indoor enclosure.
- b. Subject the EUT to a temperature of -4 degrees F (-20 degrees C) for no less than 4 hours with the AC power ON.
- c. After 4 hours have elapsed and not more than ten minutes after the test chamber is accessible, perform testing per paragraph 4.2.2.
- d. The failure of any tests will be cause for rejection of the equipment.

4.2.1.4 Humidity.

- a. Place the EUT in a humidity test chamber.

- b. Subject the EUT to 86 degrees F (30 degrees C) and a relative humidity of 95 percent for no less than 8 hours with the AC power ON.
- c. After 8 hours have elapsed and not more than ten minutes after the test chamber is accessible, perform testing per paragraph 4.2.2.
- d. The failure of any tests will be cause for rejection of the equipment.

4.2.1.5 Lightning Surge Testing.

NOTE: *The equipment might be damaged by the following test; perform them only after all other testing is complete.*

- a. Subject the AC power input of the equipment to 2 pulses (one pulse per 15 seconds) of the combination (1.2 microsecond/50 microsecond and 8 microsecond/20 microsecond) test pulse per paragraph 3.4.2.1.
 - (1) See IEEE C62.41-1991 Section 9.3 for test condition and test generator information.
 - (2) See IEEE C62.41-1991 Section 9.4 for a detailed combination and ring wave generation and parameters discussion.
 - (3) See also IEEE C62.45, *IEEE Recommended Practice on Surge Testing for Equipment Connected to Low-Voltage (1000 V and Less) AC Power Circuits* for guidance about equipment test methods.
- b. Perform an operational test of the equipment per paragraph 4.2.2i.
- c. Any equipment failures will be cause for rejection.

4.2.1.6 Conducted and Radiated Emissions For Type I L-854.

- a. Test the equipment for radiated and conducted emissions per paragraph 3.4.1a.
- b. If the equipment is not per the limits in paragraph 3.4.1a, the manufacturer must be advised that there is a potential for harmful interference with the operation of FAA or other airport equipment.

4.2.1.7 Antenna Radiation for Receivers.

See 47 CFR § 15.111 for information about how to conduct radiation measurements for an unintentional radiator antenna. Sections 15.33(b)(3) and 15.33(c) must also be applied. If the equipment is not per the limits in this paragraph, the manufacturer must be advised that there is a potential for harmful interference with the operation of FAA or other airport equipment.

4.2.1.8 Spurious Emission Limits For Type II and III L-854 Transmitter.

- a. Test for spurious emission limits per paragraph 3.4.1c.
- b. If the equipment is not per the limits in paragraph 3.4.1c, the manufacturer must be advised that there is a potential for harmful interference with the operation of FAA or other airport equipment.

4.2.2 Electrical Tests.

Perform the following performance tests to determine equipment compliance with the requirements of this AC.

- a. Frequency tolerance:
 - (1) For Type I and III AM/FM receivers, per paragraph 3.4.3a(1) and a(2).
 - (2) For Type II and III FM receivers, per paragraph 3.4.3b(2).
 - (3) For Type II transmitter, per paragraph 3.4.4b.
- b. Transmitter spectrum:
 - (1) For Type II and III transmitters, per paragraph 3.4.4e.
- c. Receiver sensitivity:
 - (1) For Type I and III AM/FM receivers, per paragraph 3.4.3a(3).
 - (2) For Type II and III FM receivers, paragraph 3.4.3b(3).
- d. Receiver selectivity:
 - (1) For Type I and III AM/FM receivers, per paragraph 3.4.3a(4).
 - (2) For Type II and III FM receivers, paragraph 3.4.3b(4).
- e. AC input power: applies to all types, per paragraph 3.4.2.
- f. Output RF power: for Type II and III FM transmitters, per paragraph 3.4.4c.
- g. Decoder response time:
 - (1) For Type I and III AM/FM receivers, per paragraph 3.4.5.1c.
 - (2) For Type II and III FM receivers, per paragraph 3.4.5.1c.
- h. Receiver fidelity:
 - (1) For Type I and III AM receivers, per paragraph 3.4.3a(5).

NOTE: Not applicable to FM Type I receiver.

- (2) For Type II and III FM receivers, per paragraph 3.4.3b(5).
- i. Equipment operation:
 - (1) For Type I and III AM/FM equipment, per paragraph 3.4.5.2.
 - (2) For Type II and III FM equipment, paragraph 3.4.5.3.

4.2.2.1 Test Data.

Test reports from paragraph 4.2.2 must be included in a test report that must include, but is not limited to the following:

- a. The results of equipment performance tests. The performance standard must be listed along with the measured value.
- b. Test equipment used (must be calibrated by a certified laboratory).
- c. Block diagrams of test setups.
- d. Measurements, calculations, and test procedures.

5. PRODUCTION.

5.1 Production Testing

- a. The equipment must be visually inspected for workmanship, fabrication, finish, painting, and adequacy of selected parts.
- b. All production units must be energized (AC power ON) for a minimum of two hours prior to testing.
- c. The electrical tests of paragraph 4.2.2 must be conducted on all units.
- d. Units failing any part of the production test must be repaired and undergo a complete retest.

5.2 Production Test Equipment.

All measuring and test equipment used in the production of discharge lighting equipment classified under paragraph 1.2 must have its accuracy and precision maintained by a calibration program with traceability to ISO-10012 *Measurement Management Systems – Requirements for Measurement Processes* or current industry accreditation criteria.

5.3 Production Test Records.

The manufacturer must maintain records showing actual test results of all tests required by paragraph 5.1 for a period of three years. These records must be traceable to the units tested by serial number.

This page intentionally left blank.