



UNIVERSIDADE DO MINHO
Departamento de Electrónica Industrial

Estação Multisensorial para Estufas Agrícolas

Raul Manuel Pereira Morais dos Santos

Braga, 1998



UNIVERSIDADE DO MINHO

Escola de Engenharia

Departamento de Electrónica Industrial

Estação Multisensorial para Estufas Agrícolas

Raul Manuel Pereira Morais dos Santos

Braga, 1998



UNIVERSIDADE DO MINHO

Escola de Engenharia

Departamento de Electrónica Industrial

Estação Multisensorial para Estufas Agrícolas

Raul Manuel Pereira Morais dos Santos

Dissertação submetida para satisfação parcial
dos requisitos do grau de Mestre em
Electrónica Industrial

Dissertação realizada sob a supervisão do
Doutor Carlos Alberto Caridade Monteiro e Couto
Professor Catedrático do Departamento de Electrónica Industrial
da Universidade do Minho

Braga, 1998

À Adelaide
Aos meus pais

Sumário

Os mais recentes desenvolvimentos nas ferramentas de *hardware* e *software*, particularmente nas tecnologias dos microprocessadores e microcontroladores, têm levado a um controlo e gestão cada vez mais complexo em aplicações agrícolas. Para melhorar a qualidade e a produtividade das plantações em estufa é necessário monitorar e controlar várias grandezas físicas que interagem entre si. De igual modo, para que se possa ter competitividade no mercado, os custos de produção devem ser mantidos o mais baixo possível. Estas tarefas só podem ser atingidas mediante a utilização de sistemas de gestão e de controlo com o respectivo *software* dedicado. Este trabalho descreve a implementação de um sistema de aquisição de dados, denominado de Estaca Multisensorial, com o objectivo de ser aplicado a processos agrícolas.

A estaca multisensorial é uma estação de aquisição de dados de baixo custo e alimentada por painel solar e bateria. Suporta até 16 canais analógicos em modo simples ou diferencial, em operação unipolar ou bipolar com uma resolução de 16-*bit*, e um contador para medida de sinais em frequência. As amostras efectuadas são enviadas para uma estação de controlo e de armazenamento através de uma ligação por rádio-frequência de baixa potência.

Esta estação está instalada no complexo de estufas da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro desde Fevereiro de 1997, para fazer aquisição de dados climáticos tais como as temperaturas do ar interior e humidade relativa, e também da radiação solar. Desde então, esses dados têm vindo a ser utilizados com o objectivo de concluir acerca do desempenho da estaca. Nesta fase, a estação de armazenamento é baseada num computador pessoal para armazenamento de dados e para ensaiar as comunicações.

Palavras chave

Sistemas de aquisição de dados, Estufas, Microcontroladores, Sensores , Comunicação de dados.

Abstract

Recent developments in hardware and software tools, particularly on the microprocessors and microcontrollers technologies, are leading to more complex control and management potentialities for agricultural applications. To improve quality and productivity of greenhouse crops it is necessary to measure and control several interacting physical variables. Also, to achieve competitiveness in the market, the production costs must be kept as low as possible. These tasks can only be accomplished using controller and management systems with adequate built in software. This work describes the implementation of a data acquisition system, denoted SPWAS (Solar Powered Wireless Acquisition Station) with the aim of being applied to agricultural processes.

The SPWAS station is a low-cost, solar powered and battery backed-up station. It supports 16 analogue channels in single or differential mode, unipolar or bipolar operation with 12-bit resolution, and a counter input for frequency measurements. The acquired data is sent to a collecting and control station through a low-power RF link using Bim418F transceivers from Radiometrix, Ltd.

This station was installed in a greenhouse complex of Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro since February, 1997, to acquire climate data such as the inside air temperatures and relative humidities, as well the solar radiation. Since then, experimental data are being collected with the aim to conclude about SPWAS performance. At this phase, the collecting station is based on a personal computer for storing data and to test communications.

Keywords

Data acquisition systems, Greenhouses, Microcontrollers, Sensors, Data communications

Agradecimentos

Gostaria aqui de expressar os meus sinceros agradecimentos ao Professor Doutor Carlos Alberto Caridade Monteiro e Couto na qualidade de orientador deste trabalho, pela sua permanente disponibilidade em proporcionar as melhores condições para a evolução deste trabalho, pelas revisões e sugestões efectuadas e pelas ideias inovadoras que transmitiu.

Ao colega José Boaventura Cunha pela sua permanente disponibilidade, paciência, esclarecimentos e amizade que em muito contribuíram para este trabalho.

À colega Berta Baptista pelo seu apoio e esclarecimentos prestados, assim como pela revisão ortográfica deste documento.

Aos colegas Paulo Salgado, António Valente, Carlos Serôdio, Prof. Manuel Cordeiro, Prof. José Bulas Cruz, Margarida, António Cunha e assim como todos os outros colegas da Secção de Engenharias pelo apoio constante, camaradagem e amizade demonstradas desde sempre.

Ao colega Manuel Marques na qualidade de chefe das Oficinas de Engenharias pelo apoio prestado na elaboração de circuitos impressos utilizados neste trabalho bem como pelo fornecimento dos diversos componentes electrónicos.

Finalmente gostaria de agradecer à Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, na pessoa do Magnífico Reitor Prof. Torres Pereira, pelas facilidades concedidas para a execução deste trabalho.

Índice

Sumário.....	iii
<i>Abstract</i>	iv
Agradecimentos	v
Índice	vi
Lista de Figuras.....	x
Lista de Tabelas.....	xii
Lista de Quadros	xii
 Capítulo 1 - Introdução	 1
1.1 – Objectivos.....	2
1.2 – Estrutura da dissertação	3
 Capítulo 2 - Gestão computadorizada de estufas agrícolas	 5
2.1 – Estufas agrícolas.....	6
2.2 – Factores climáticos relevantes	8
2.2.1 – Temperatura	9
2.2.2 – Humidade relativa	10
2.2.3 – Radiação solar	10
2.2.4 – Dióxido de carbono.....	11
2.2.5 – Velocidade do vento	12
2.3 – Outros factores.....	13
 Capítulo 3 - Sensores	 14
3.1 – Sensores de temperatura.....	14
3.1.1 – Termopares.....	15
3.1.2 – Sensores de temperatura resistivos	19
3.1.2.1 – Detectores resistivos de temperatura	19
3.1.2.2 – Termistores	23
3.1.2.3 – Resistência de silício.....	26
3.1.3 – Sensores semicondutores	28
3.2 – Sensores de radiação solar	32
3.2.1 – Fotorresistências	35
3.2.2 – Fotodíodo	36

3.2.3 – Sensores especiais	37
3.3 – Sensores de humidade.....	39
3.3.1 – Sensores de humidade relativa	40
3.3.1.1 – Sensor capacitivo	40
3.3.1.2 – Psicrómetro.....	41
3.3.2 – Sensores de humidade do solo	42
3.3.2.1 – Tensiómetro.....	42
3.3.2.1 – Bloco de gesso	43
3.4 – Outros sensores	44
3.5 – Caracterização dos sensores adoptados	46
3.5.1 – Os sensores de temperatura LM35 e LM60.....	46
3.5.2 – O sensor de radiação solar TSL230	49
3.5.3 – O sensor de humidade relativa <i>HybridCap</i>	51
Capítulo 4 - Arquitectura sensorial e de controlo.....	53
4.1 – Requisitos do processo agrícola	53
4.2 – Comunicação de dados.....	56
4.3 – Topologia da rede proposta.....	57
4.4 – A unidade de aquisição de dados	60
Capítulo 5 - A Estaca Multisensorial	61
5.1 – Unidade central de processamento.....	63
5.2 – Alimentação e gestão de energia	66
5.2.1 – Controlo de carga da bateria.....	67
5.2.2 – Alimentação do sistema.....	70
5.2.3 – Tensões auxiliares	73
5.3 – Módulo de comunicações	74
5.3.1 – Fiabilidade dos dados	75
5.3.2 – Redução de consumo	75
5.3.3 – Transmissão e recepção de dados	77
5.3.4 - Antenas	79
5.4 – Interface analógica e sensorial	81
5.5 – Consumo e autonomia.....	84
5.6 – Especificações	88

Capítulo 6 - Evolução para a instrumentação inteligente	89
6.1 – Técnicas de condensadores comutados	93
6.2 – Condicionamento programável	95
6.3 – Validação experimental	102
 Capítulo 7 – A rede de comunicações	 108
7.1 – Requisitos básicos	109
7.1.1 – Topologia e configuração de linha	110
7.1.2 – Tipo de informação trocada	110
7.1.3 – Reconhecimento e controlo de erro	111
7.1.4 – Sincronismo	112
7.1.5 – Comprimento das mensagens trocadas	113
7.1.6 – Número máximo de sistemas	113
7.2 – O protocolo de comunicações	116
7.2.1 – Modo de funcionamento normal	116
7.2.2 – Situações de erro	118
7.2.3 – Estrutura do bloco de informação	118
7.2.3.1 – O campo de ‘ <i>Preâmbulo</i> ’	121
7.2.3.2 – O campo de ‘ <i>Endereçamento</i> ’	122
7.2.3.3 – O campo de ‘ <i>Controlo</i> ’	124
7.2.3.4 – O campo de ‘ <i>Informação</i> ’	125
7.2.3.5 – O campo de ‘ <i>Controlo de Erro</i> ’	129
7.3 – Expansão futura da rede	129
 Capítulo 8 - Resultados obtidos	 131
8.1 – Autonomia e consumo da estaca multisensorial	131
8.2 – Alcance das comunicações	133
8.3 – Desempenho das comunicações	135
8.4 – Monitorização de grandezas ambientais	136
 Capítulo 9 - Conclusões e perspectiva de evolução futura	 140
9.1 – Conclusões do trabalho efectuado	140
9.2 – Perspectiva de evolução futura	141
9.3 – Considerações finais	142

Bibliografia.....	144
-------------------	-----

Glossário de termos.....	147
--------------------------	-----

Anexo A – Características dos sensores utilizados

Anexo B – Esquemáticos e circuitos impressos

Anexo C – Lista de material da estaca versão MK6B

Anexo D – Software da estaca e da estação base

Lista de Figuras

Figura 2.1	– Estufa do tipo túnel com cobertura de polietileno	7
Figura 2.2	– Fotografia de uma estufa do complexo de estufas da U.T.A.D.	7
Figura 2.3	– Um tipo de janela zenital bastante utilizado em estufas	7
Figura 3.1	– Tensão de <i>Seeback</i> , e_{AB}	15
Figura 3.2	– Efeito de <i>Seeback</i>	16
Figura 3.3	– Cancelamento do erro devido à ligação com um voltímetro.	16
Figura 3.4	– Característica tensão-temperatura de alguns termopares.	17
Figura 3.5	– Relação R_T/R_{REF} versus temperatura para RTD's de diferentes materiais.....	21
Figura 3.6	– Dependência com a temperatura de termistores NTC e PTC.....	24
Figura 3.7	– Relação resistência-temperatura de um sensor KTY-81.	27
Figura 3.8	– Exemplo de correcção do erro de não-linearidade de um sensor KTY-81.....	28
Figura 3.9	– Circuito simplificado de um sensor temperatura linear.	30
Figura 3.10	– Distribuição energética do espectro solar.	33
Figura 3.11	– LDR típica e sua característica resistência vs iluminação.....	35
Figura 3.12	– Característica corrente vs irradiação típica de um fotodíodo.	36
Figura 3.13	– Característica tensão vs irradiação típica de um fotodíodo.	37
Figura 3.14	– Resposta relativa de alguns semicondutores.....	37
Figura 3.15	– Espectro de radiação PAR.....	38
Figura 3.16	– Fotografia de um sensor PAR.....	38
Figura 3.17	– Fotografia de um solarímetro.	39
Figura 3.18	– Construção de um sensor capacitivo.....	40
Figura 3.19	– Fotografia de um psicrómetro.....	41
Figura 3.20	– Ilustração de um tensiómetro.....	43
Figura 3.21	– Ilustração da aplicação de blocos de gesso.....	44
Figura 3.22	– Fotografia de um anemómetro.	44
Figura 3.23	– Fotografia de um ' <i>Rain Gauge</i> '.	45
Figura 3.24	– Encapsulamentos TO-92 e TO-46 do LM35 (vista inferior).....	47
Figura 3.25	– Diagrama de ligação do LM35.....	47
Figura 3.26	– Diagrama de ligação do LM60B.....	48
Figura 3.27	– Circuito impresso sugerido para o LM60B.....	48
Figura 3.28	– Diagrama de blocos funcional do TSL230.	49
Figura 3.29	– Encapsulamento DIP8 transparente do TSL230.....	50
Figura 3.30	– Curvas características do TSL230.....	51
Figura 3.31	– Fotografia do sensor <i>HybridCap</i>	52
Figura 4.1	– Arquitectura distribuída de um sistema de aquisição de dados e controlo.....	55
Figura 4.2	– Diagrama de implantação da rede global.....	58
Figura 4.3	– Planta do <i>campus</i> da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.....	59
Figura 5.1	– Fotografia da estaca multisensorial.....	61
Figura 5.2	– Diagrama funcional da estaca multisensorial.	62

Figura 5.3	– Esquemático da unidade central de processamento.....	64
Figura 5.4	– Diagrama funcional do módulo de gestão de energia.....	67
Figura 5.5	– Circuito de carga da bateria.....	68
Figura 5.6	– Circuito comutado de carga da bateria.....	69
Figura 5.7	– Circuito da alimentação da estaca.....	71
Figura 5.8	– Forma de onda do sinal de RESET.....	71
Figura 5.9	– ‘Ripple’ na tensão de saída antes (a) e após filtragem LC (b).	72
Figura 5.10	– Módulo de controlo de alimentação.....	73
Figura 5.11	– Esquemático do módulo de tensões auxiliares.....	74
Figura 5.12	– Fotografia do <i>transceiver</i> Bim418F.....	74
Figura 5.13	– Esquemático do módulo de comunicações.....	76
Figura 5.14	– Formas de onda da alimentação do <i>transceiver</i> Bim.	77
Figura 5.15	– Formas de onda nos pinos \overline{CD} (A) e saída DETECT (B).	78
Figura 5.16	– Formas de onda na saída DETECT (C) e da porta de MB_2 (A,B).....	78
Figura 5.17	– Detecção de uma portadora através da saída \overline{CD}	79
Figura 5.18	– Sinais de pedido de dados (A) no emissor e alimentação do <i>transceiver</i> receptor (B).	79
Figura 5.19	– Antenas possíveis de utilizar no <i>transceiver</i>	81
Figura 5.20	– Aspecto parcial do circuito impresso mostrando o plano de massa da antena	81
Figura 5.21	– Esquemático da interface analógica-digital.....	82
Figura 5.22	– Barramento de interligação dos sensores.....	84
Figura 5.23	– Consumo durante o período de actividade da estaca.....	86
Figura 5.24	– Consumo durante o período de inactividade da estaca.	86
Figura 6.1	– Diagrama funcional de um sensor inteligente.....	90
Figura 6.2	– Diagrama funcional do módulo de condicionamento programável.....	92
Figura 6.3	– Circuito SC básico (a) e circuito equivalente (b).....	93
Figura 6.4	– Integrador com perdas clássico (a) e equivalente SC (b).	94
Figura 6.5	– Configuração base do módulo de condicionamento programável.....	96
Figura 6.6	– Circuito de controlo das frequências do módulo.	98
Figura 6.7	– Aplicação de uma entrada diferencial.....	99
Figura 6.8	– Secção responsável pelo tratamento de sinais bipolares	100
Figura 6.9	– Esquema completo do módulo de condicionamento programável.....	101
Figura 6.10	– Fotografia do módulo implementado.....	101
Figura 6.11	– Esquemático do amplificador com ganho controlado digitalmente.	102
Figura 6.12	– Esquemático do protótipo final do módulo de condicionamento programável.....	105
Figura 6.13	– Sinal bipolar aplicado à entrada (A) e o obtido à saída do módulo (B).....	107
Figura 7.1	– Cenário de aplicação da rede multisensorial.	109
Figura 7.2	– Sequência temporal de um ciclo normal de transferência de dados.	114
Figura 7.3	– Sequência temporal para uma configuração normal das estacas (a), e nos casos de ocorrência de erro (b).	117
Figura 7.4	– Formato do bloco de informação.....	119
Figura 7.5	– Formato do bloco utilizado em comandos individuais.....	120

Figura 7.6	– Formato do bloco utilizado em comandos globais (a) e mensagens de erro (b).	120
Figura 7.7	– Formato do bloco utilizado na resposta a comandos.	121
Figura 7.8	– Os sub-campos do campo ‘Endereçamento’.	122
Figura 7.9	– Exemplo do endereçamento utilizado.	123
Figura 7.10	– Formato do bloco de dados usado para configurar uma estaca.	126
Figura 7.11	– Formato do bloco correspondente a um comando de configuração.	127
Figura 7.12	– Exemplo de um pedido de dados da Estação Base 1 da Área 2 para a Estaca 5.	128
Figura 7.13	– Exemplo de um bloco de dados da Estaca 5 para a Estação Base 1 da Área 2.	129
Figura 8.1	– Variação da tensão da bateria para um intervalo de amostragem de 60s	132
Figura 8.2	– Variação da tensão da bateria para um intervalo de amostragem de 120s	132
Figura 8.3	– Fotografia da estaca instalada na estufa	136
Figura 8.4	– Grandezas ambientais na estufa	137
Figura 8.5	– Variação da tensão na bateria e painel solar com regulador de carga linear	137
Figura 8.6	– Variação da tensão na bateria e painel solar com regulador de carga comutado	138
Figura 8.7	– Grandezas ambientais na estufa	138
Figura 8.8	– Grandezas ambientais na estufa obtidas com o <i>logger Delta-T</i>	139

Lista de Tabelas

Tabela 2.1	– Variáveis de estado mais relevantes de vários sistemas de produção	9
Tabela 2.2	– Importância dos factores climáticos relevantes numa estufa agrícola	13
Tabela 3.1	– Comparação de alguns termopares padrão	17
Tabela 3.2	– Coeficientes polinomiais de alguns termopares	18
Tabela 3.3	– Vantagens e desvantagens dos termopares	19
Tabela 3.4	– Coeficientes de temperatura de alguns metais	20
Tabela 3.5	– Vantagens e desvantagens das RTD's	22
Tabela 3.6	– Vantagens e desvantagens dos termistores	26
Tabela 3.7	– Características mais relevantes do sensor KTY81	26
Tabela 3.8	– Correspondência resistência-temperatura de um sensor KTY-81	27
Tabela 3.9	– Vantagens e desvantagens dos sensores monolíticos	31
Tabela 3.10	– Subdivisão do espectro da radiação óptica de acordo com o <i>standard</i> DIN5031	32
Tabela 3.11	– Resumo das principais grandezas energéticas e fotométricas	34
Tabela 3.12	– Descrição dos pinos do TSL230	50
Tabela 3.13	– Combinação das entradas S_0 , S_1 , S_2 e S_3 do TSL230	50
Tabela 4.1	– Comparação entre os vários métodos de telecomunicações	56
Tabela 5.1	– Descrição das funções atribuídas aos pinos entrada/saída	65
Tabela 5.2	– Cálculo da corrente média durante um período de 20s	85
Tabela 5.3	– Especificações do protótipo MK6B	88
Tabela 7.1	– Resumo dos tempos envolvidos numa transferência de dados	115
Tabela 7.2	– Resumo do tempo máximo necessário para transmitir cada bloco	122
Tabela 7.3	– Codificação dos sub-campos ‘Remetente e Destinatário’	123

Tabela 7.4 – Codificação do campo ‘Controlo’.....	124
Tabela 7.5 – Códigos de erro utilizados.....	125
Tabela 7.6 – Possibilidades de configuração.....	126
Tabela 7.7 – Codificação do campo de ‘Informação’ num comando de configuração.....	127

Lista de Quadros

Quadro 6.1 – Resultados do ensaio realizado com entrada em modo simples e ganho unitário.....	103
Quadro 6.2 – Resultados do ensaio realizado com entrada em modo simples e ganho 8	103
Quadro 6.3 – Resultados do ensaio realizado com entrada em modo simples e ganho 32	104
Quadro 6.4 – Resultados do ensaio realizado com ganho unitário e entrada diferencial	105
Quadro 6.5 – Resultados do ensaio realizado com entrada em modo simples, ganho 2 e deslocamento DC.....	106
Quadro 8.1 – Resultados do ensaio realizado para determinar o alcance máximo da estaca.....	134
Quadro 8.2 – Tempos médios das comunicações	135

Capítulo 1

Introdução

Ao longo dos últimos anos tem-se vindo a observar um crescimento de explorações agrícolas que utilizam estufas. São também cada vez mais os factores que favorecem directa ou indirectamente esse crescimento. Destacam-se entre eles a intensificação da produção, o aumento da qualidade dos produtos, a redução de custos, a melhoria dos processos produtivos, a atenuação dos efeitos provocados por condições meteorológicas adversas, a diminuição da superfície arável *versus* o aumento da população mundial, entre outros.

Consequentemente deu-se um incremento da investigação dos processos biológicos que ocorrem durante o desenvolvimento de diversas plantas ornamentais e hortícolas de grande valor comercial como por exemplo as rosas e o feijão verde. Tal investigação tornou possível conhecer cada vez mais detalhadamente quais as condições ambientais mais favoráveis ao desenvolvimento de determinada espécie. É de notar que a regulação dos factores ambientais que promovem o desenvolvimento biológico não devem ser considerados isoladamente mas sim como um conjunto onde existe uma complexa interacção entre todos.

Com a entrada em vigor da política agrícola comum, torna-se fundamental que qualquer exploração agrícola produza em maior quantidade, assegurando boa qualidade dos produtos postos no mercado, assim como manter reduzidos os custos de produção. Só é possível atingir tais objectivos através da utilização de sistemas de controlo digital modernos à semelhança do que se vem fazendo nos processos fabris, onde muitas vezes são utilizados computadores na implementação de algoritmos de controlo que exigem grande poder de cálculo. Neste domínio cabe aos algoritmos de controlo minimizar e/ou maximizar determinadas funções de custo estabelecidas com base nas condições ambientais requeridas, custos de produção, entre outros. Além deste fim, a utilização do computador apresenta grandes vantagens no que se refere à supervisão e à gestão do processo produtivo.

Embora Portugal tenha já algumas estufas instaladas, poucas são aquelas que possuem sistemas de controlo eficientes. Isto deve-se na grande maioria dos casos à especificidade

complexidade e custo do equipamento disponível. Por forma a fomentar a automação de estufas agrícolas é necessário vencer a resistência natural à introdução de novas tecnologias por parte dos produtores. Para isso, os sistemas de automação devem operar de um modo eficaz para uma grande variedade de produtos e serem de fácil utilização.

Com este trabalho pretende-se dar um contributo no sentido da automatização dos processos agrícolas, recorrendo a microcontroladores e afins, por forma a tornar possível a execução de um grande número de tarefas repetitivas normalmente necessárias a uma boa gestão de todo o processo produtivo. Dentro dessas destacam-se a monitorização dos factores ambientais assim como o estabelecimento das actuações necessárias que permitam controlar, dentro de uma determinada gama, esses mesmos factores.

1.1 - Objectivos

Este trabalho tem como objectivo principal a concepção e implementação de uma estação de aquisição de dados para ambientes agrícolas, nomeadamente estufas, conjugando características de custos reduzidos, desempenho adequado, portabilidade e funcionamento autónomo sem fios. O desenvolvimento desta estação insere-se nos objectivos dos projectos "*Gestão computadorizada de estufas*", projecto PBICT/C/CEG/2435/95 e "*Desenvolvimento de soluções de instrumentação, controlo e gestão para produção agrícola e piscícola com recurso às energias renováveis*", projecto PAMAF 8118, financiados pela JNICT e Ministério da Agricultura respectivamente, onde irá ser utilizada na componente de aquisição de dados.

Para tal, julgou-se conveniente começar por fazer a análise dos requisitos que se prendem com a monitorização de grandezas ambientais em estufas agrícolas, bem como compreender a interacção entre os diversos parâmetros envolvidos no processo produtivo agrícola.

O passo seguinte consistiu no estudo de vários tipos de sensores existentes para a monitorização das grandezas ambientais em causa e na escolha, com base em critérios objectivos, dos mais adequados a serem incorporados na estação a desenvolver.

Tendo em consideração aspectos relativos à gestão de energia e à comunicação sem fios, concebeu-se uma estação de aquisição de dados com as características mais adequadas a uma aplicação para explorações agrícolas comerciais: fiabilidade, baixo custo, portabilidade,

baixo consumo, robustez, flexibilidade e fácil actualização, implementadas numa estrutura do tipo estaca alimentada por um painel solar.

Devido à necessidade de processar grandes quantidades de informação, o sistema desenvolvido foi dotado de facilidades que lhe permitem a sua ligação em rede.

A estação de recolha de dados proposta, dadas as suas possibilidades em termos de entradas, permite ainda alcançar os seguintes objectivos:

- Realização do estudo da distribuição espacial relativa aos factores climáticos importantes, nomeadamente traçar perfis tridimensionais de várias grandezas físicas;
- Enquanto trabalho de investigação, fornecer informação relevante a outros investigadores, relativa ao comportamento das variáveis envolvidas na estufa, bem como as suas conclusões.

1.2 - Estrutura da dissertação

Esta dissertação é composta por 9 capítulos, sendo o primeiro a introdução.

O prévio conhecimento dos requisitos necessários à automação de um processo produtivo agrícola, nomeadamente daqueles que se referem à sua gestão, são essenciais para uma correcta especificação da estação de aquisição de dados. Deste modo, no segundo capítulo faz-se uma abordagem à gestão computadorizada de estufas agrícolas e analisam-se as vantagens da utilização de sistemas electrónicos no que diz respeito à rentabilização dos processos agrícolas. É também feito um estudo das grandezas ambientais relevantes ao desenvolvimento das culturas.

No terceiro capítulo são analisados diversos tipos de sensores possíveis que permitam monitorar os factores ambientais relevantes, com o objectivo de se fazer uma escolha criteriosa dos mais adequados a serem incluídos no sistema descrito nesta dissertação.

Tendo em vista a utilização de sistemas electrónicos de aquisição de dados assim como a sua utilização para gerar acções correctivas dos parâmetros ambientais no interior de uma estufa agrícola, faz-se no quarto capítulo uma análise da arquitectura sensorial e de possíveis topologias a serem utilizadas por forma a garantir o fluxo eficaz da informação recolhida de

todo o processo agrícola. Apresentam-se também os requisitos essenciais a que a estação multisensorial deve obedecer.

No quinto capítulo é apresentada a estação multisensorial e é descrito o *hardware*, focando os aspectos relativos à comunicação com o exterior e à gestão de energia.

No capítulo seguinte é abordada a questão da instrumentação inteligente. Tendo em conta a evolução dos sistemas sensoriais para sistemas inteligentes, apresenta-se neste capítulo um módulo de condicionamento programável que visa permitir a manipulação de sinais de entrada de características distintas e torná-los adequados a um conversor analógico-digital de aproximações sucessivas. A integração destes dois módulos num único dispositivo permite lidar com sinais provenientes de vários tipos de sensores, como sejam sinais unipolares e/ou bipolares, em modo simples ou diferencial e converter esses sinais numa forma digital. Tal conjunto, juntamente com o *software* adequado, poderá então ser entendido como um módulo inteligente de aquisição. Faz-se ainda a validação experimental deste módulo.

Tendo em vista a ligação em rede das estações multisensoriais, apresenta-se no capítulo sétimo o protocolo de comunicações especialmente desenvolvido para a transferência de dados entre todas as estacas e a estação central que é responsável pela gestão da rede e pelo pedido e recepção de dados.

No oitavo capítulo apresentam-se alguns dos resultados obtidos em ensaios efectuados com a estaca no Laboratório de Instrumentação e Controlo e no Complexo de Estufas Agrícolas da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Finalmente, no último capítulo, apresentam-se as conclusões relativas aos objectivos inicialmente traçados e perspectivam-se as possibilidades de evolução futura deste trabalho.

É também apresentada a bibliografia que serviu de base de consulta para a elaboração deste trabalho.

Os instrumentos postos à disposição para os ensaios e medidas foram: 2 multimetros *Keithley* modelo 2000 (6½ dígitos), 1 osciloscópio *Tektronix* modelo *TDS340* (100MHz, 500MS/s), 1 gerador de impulsos e funções *IWATSU* modelo *SG-4511*, 2 fontes de alimentação *Coutant* série *TL4000D* e 1 ponte de medida RLC *Fluke* modelo *PM6304*.

Capítulo 2

Gestão Computorizada de Estufas Agrícolas

O aspecto mais importante da utilização de estufas na agricultura prende-se com razões de carácter económico-financeiro. Além de permitirem elevar a produção por metro quadrado, possibilitam o cultivo de espécies agrícolas fora da sua época normal. Este último aspecto constitui um factor económico decisivo dado que estes produtos agrícolas têm um valor comercial elevado rentabilizando o investimento inicial. Isto pressupõe que o ambiente na estufa deverá ser regulado por forma a que se proporcionem às plantas as condições mais favoráveis para o incremento da qualidade e quantidade da produção.

Para que o controlo do clima no interior da estufa seja eficaz do ponto de vista fisiológico é necessário haver um conjunto de elementos que caracterizem as condições ideais para o desenvolvimento de uma determinada espécie agrícola. No entanto, o controlo eficaz não é neste contexto sinónimo de controlo rentável. Isto deve-se na maior parte dos casos a que, quando se pretende levar um parâmetro ao valor mais apropriado para uma determinada espécie agrícola, ser necessário dispendir energia sem que se observe um aumento do rendimento biológico que compense os custos desta operação. Há ainda a considerar que é extremamente difícil definirem-se quais os valores ideais para os diferentes parâmetros climáticos.

Embora seja praticamente impossível definir quais as condições ideais para uma espécie agrícola ao longo do seu ciclo de vida (plantação até à recolha do fruto) sabe-se que os factores climáticos devem situar-se dentro de certos limites.

Com a utilização de equipamentos diversos tais como sensores, actuadores, microcontroladores, etc, podem controlar-se os factores climáticos mencionados de acordo com as restrições referidas. A fiabilidade deste tipo de equipamento é sobretudo determinada pelo grau de coordenação e eficiência da relação sensores-*software*-actuadores, pelo que esta relação juntamente com a gestão da energia fornecida à estufa pelos actuadores condiciona a rentabilidade da exploração.

2.1 – Estufas agrícolas

Os processos fisiológicos das plantas são influenciados por condições microclimáticas tais como a temperatura, humidade, velocidade e concentração de dióxido de carbono do ar e intensidade da luz. No interior de uma estufa, as plantas estão sujeitas a uma temperatura superior, maior humidade, concentrações de CO₂ variáveis e menor luminosidade relativamente às condições no exterior. Uma das grandes vantagens inerentes à utilização de estufas é a de permitirem manter níveis elevados de concentração de dióxido de carbono próximo das plantas favorecendo o seu crescimento. A título exemplificativo, o aumento de 350 ppm deste gás face à concentração no ar livre promove um aumento do crescimento das plantas da ordem dos 20% a 30%^[21].

Em termos construtivos e de cobertura, a função mais importante de uma estufa agrícola é a protecção das plantações contra condições climatéricas adversas (baixas temperaturas, precipitação e vento) e doenças. A construção pode também favorecer meios de suporte para a plantação e equipamento^[21].

Em países como o nosso, com níveis de luz natural razoáveis, a cobertura deve ser pensada em termos de transmissividade face à luz natural, rigidez e custo. Ao mesmo tempo, as estufas devem ser dimensionadas para resistir a cargas elevadas causadas por neve, vento, chuva, etc.

Na região de Trás-os-Montes e Alto Douro, grande parte das estufas instaladas são cobertas com filme plástico (normalmente polietileno, PE de 200µm de espessura) embora existam outras, em menor número, com cobertura em vidro. A vantagem da utilização de coberturas plásticas maleáveis reside no seu baixo custo e facilidade de instalação face às coberturas em vidro, embora estas últimas devam ser utilizadas quando se pretende aproveitar ao máximo a radiação solar devido à alta transmissividade do vidro, como nos locais com baixos níveis de radiação.

As estufas que irão ser referidas no decorrer deste trabalho, representam a maioria das estufas instaladas na região, e são caracterizadas pela sua estrutura em túnel e cobertura de polietileno. As figuras 2.1 e 2.2 ilustram o tipo de estufa referida.

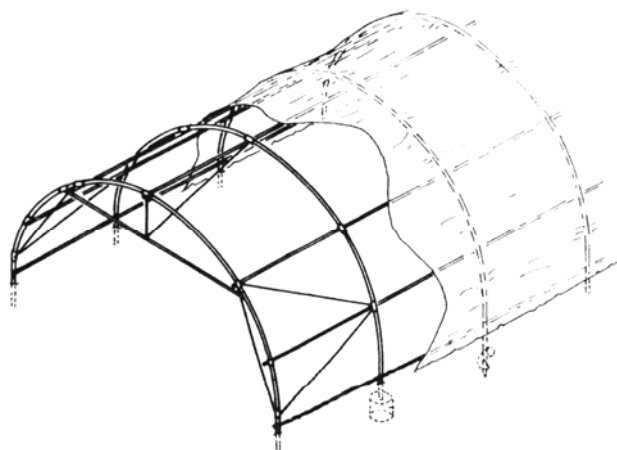


Figura 2.1 – Estufa do tipo túnel com cobertura de polietileno.



Figura 2.2 – Fotografia de uma estufa do complexo de estufas da U.T.A.D.

A ventilação deste tipo de estufa pode ser feita por duas formas: ventilação natural e ventilação forçada. A ventilação natural é realizada através de janelas, colocadas normalmente de lado e abertas manualmente ou com recurso a motores. A figura 2.3 ilustra um tipo de janela bastante utilizado. A ventilação forçada é levada a cabo por um ventilador colocado num dos topos do túnel e condutas de entrada de ar colocadas no topo oposto.

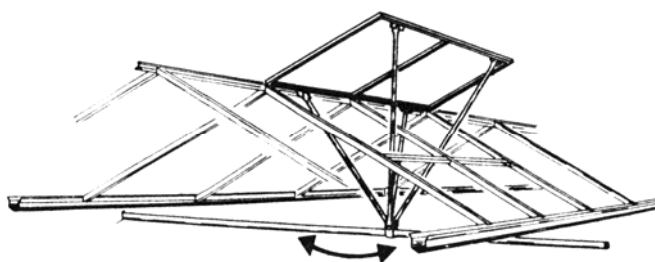


Figura 2.3 – Um tipo de janela zenital bastante utilizado em estufas.

Este tipo de estruturas tanto pode ser utilizado nos métodos convencionais em que se utilizam solos, como em métodos de cultura hidropónica. Na hidroponia, as plantas desenvolvem-se em calhas constituídas por material inerte que serve de suporte às raízes das plantas. As plantas são continuamente alimentadas em circuito fechado por uma solução irrigante com os nutrientes necessários ao seu desenvolvimento. As calhas são normalmente de lã de rocha ou fibra de vidro. Devido a questões ambientais, foi recentemente introduzido a fibra de coco (material biodegradável) para este efeito.

A solução irrigante é proveniente de um tanque contendo água no qual são misturados os diversos nutrientes tais como o potássio, bem como reguladores de pH. Esta solução circula por tubos sendo fornecida à planta através de microirrigadores colocados junto à raiz. A calha tem uma pequena inclinação que permite que a solução escoe para uma outra calha colectora sendo depois bombeada para o tanque.

Este método de cultura tem como principais vantagens o facto de não necessitar de se proceder à desinfecção prévia do solo com as inerentes vantagens económicas que daí advêm. No entanto, devido à baixa capacidade de retenção do substrato, este método não permite falhas no circuito de alimentação. De facto, a falha do sistema de fornecimento de água e nutrientes, mesmo que por pequenos períodos de tempo, conduz à desidratação das plantas.

No que se refere à estrutura, os dois tipos de estufas são idênticas. A sua diferença reside no meio de suporte das plantas, sendo nas estufas convencionais o solo e nas hidropónicas o substrato normalmente assente em cimento ou cascalho.

2.2 - Factores climáticos relevantes

Os processos biológicos envolvidos na produção agrícola são por natureza extremamente complexos. De facto, a sua complexidade é tal que descrever ou predizer o seu comportamento em termos matemáticos e físicos pode nem sempre ser possível^[18]. Por forma a que tais sistemas possam ser descritos é necessário alguma simplificação em termos do conjunto de variáveis que se sabe terem os efeitos mais importantes na produção. No caso concreto de uma estufa, a qualidade e a quantidade da produção dependem principalmente da radiação solar, humidade, temperatura e composição do ar, qualidade e quantidade de água

no solo e dos programas de nutrição^[18]. É de salientar que os níveis óptimos para estes factores variam consoante o estágio de desenvolvimento das plantas.

Por razões de ordem económica, o conjunto de variáveis controladas é geralmente restringido a um conjunto menor, tais como temperatura, humidade e concentração de dióxido de carbono. Deste modo, o estado do sistema num determinado instante é definido pela magnitude do conjunto das variáveis medidas mais importantes.

A tabela seguinte mostra algumas das variáveis que muitas vezes são usadas para definir o estado de diferentes produções agrícolas do ponto de vista de controlo^[18].

Tabela 2.1 – Variáveis de estado mais relevantes de vários sistemas de produção.

<i>Tipo de produção</i>	<i>Variáveis de estado</i>
Estufa agrícola	Temperatura, humidade relativa, intensidade luminosa e CO ₂
Campo aberto com irrigação	Teor de humidade do solo, salinidade e pH da água de irrigação
Secadores	Taxa de alimentação do grão, temperatura e teor de humidade do grão.

Seguidamente descreve-se a importância e os efeitos dos factores climáticos mais relevantes.

2.2.1 - Temperatura

Das variáveis climáticas relevantes é a mais importante, afectando todas as funções metabólicas das plantas. Geralmente a temperatura óptima para a cultura em estufa situa-se entre os 15°C e os 30°C dependendo da variedade agrícola cultivada. Temperaturas elevadas provocam danos permanentes nas plantas, queimando-as. Valores muito baixos de temperatura, abaixo dos 5°C, conduzem a deformações estruturais e a queimaduras pelo frio quando as temperaturas são negativas. As temperaturas baixas do Inverno podem ser ultrapassadas com o aquecimento da estufa e nas zonas em que as temperaturas sejam frequentemente muito baixas, a possibilidade da utilização de estufas estará bastante limitada. Isto deve-se aos elevados custos de aquecimento, que fazem com que a exploração possa deixar de ser rentável.

As temperaturas muito elevadas podem ser combatidas mediante o recurso à ventilação natural ou forçada, a sistemas de arrefecimento e a redes de sombreamento, pelo que na maior parte das regiões a produção continua a ser possível no Verão.

2.2.2 - Humidade relativa

A humidade relativa (RH) é a medida do teor de humidade do ar. Em geral, para o crescimento das plantas a humidade relativa óptima situa-se entre os 70% e os 85%. O excesso favorece o aparecimento de doenças por fungos e limita os mecanismos de regulação de temperatura da planta por transpiração. Por outro lado, uma baixa humidade do ar interior provoca uma diminuição na taxa de crescimento da planta. Quando esta se verifica no ar exterior à estufa não apresenta um efeito tão acentuado como no caso anterior. A razão disto deve-se a que as plantas geram um aumento do conteúdo de água no ar devido à evaporação. Contudo, este efeito regulador da humidade quando as plantas são jovens é pouco notório tornando as condições de humidade exterior baixa mais desvantajosa. Para além do referido, é de salientar que a humidade do ar desempenha um papel importante no controlo da temperatura. O aumento da humidade provoca o arrefecimento do ar, desde que este não esteja saturado, quer seja por acção artificial (ventilador e painel humidificado) ou natural (resultante da evapotranspiração das plantas).

2.2.3 - Radiação solar

A radiação refere-se à emissão contínua de energia por parte de todos os corpos a uma dada temperatura. Sendo a radiação emitida de origem electromagnética, o comprimento de onda λ (m) e a frequência f (s^{-1} ou Hz) estão relacionadas por:

$$\lambda \times f = \text{constante}$$

onde a constante é a velocidade da luz ($2.9979 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$).

A energia radiada por um corpo depende da natureza da superfície deste e da sua temperatura. Uma outra propriedade da radiação diz que, a qualquer temperatura da superfície, a energia irradiada consiste em ondas de diferentes comprimentos com uma distribuição de acordo com a lei de *Plank*. À temperatura ambiente ($\approx 300\text{K}$) praticamente toda a energia irradiada é emitida na banda dos infravermelhos entre os $2.5\mu\text{m}$ e os $25\mu\text{m}$ com o máximo nos $10\mu\text{m}$. À superfície do sol (6000K), a energia é irradiada nos comprimentos de onda entre os

300nm e os 2500nm com um máximo nos 500nm, sendo que a região da luz visível se encontra em torno deste máximo.

A radiação solar total (radiação global) recebida à superfície do planeta pode ser dividida em radiação directa (originada pelo sol na sua posição solar) e difusa (dispersada pela atmosfera e pelas nuvens). A maior parte do fluxo energético solar recebido (99%) ao nível do planeta está compreendido na região dos comprimentos de onda entre os 300 e os 2500nm. Para as plantas, a região de interesse situa-se na região visível entre os 400 e os 700nm, chamada de radiação activa fotossintética ('PAR-*Photosynthetic Active Radiation*'). Cerca de metade da energia solar total é irradiada nesta região de comprimentos de onda. Apenas uma pequena parte de energia PAR é absorvida pelas plantas e directamente convertida no processo fotossintético, sendo a restante convertida em calor.

A radiação luminosa é essencial para o crescimento das plantas visto que afecta directamente a fotossíntese. O crescimento da maior parte das culturas em estufa estagna quando os níveis de radiação global diária se tornam inferiores a cerca de $1,4\text{MJ/m}^2$. Nas zonas em que o nível da radiação é menor que este valor durante um período prolongado (no Inverno), a instalação de estufas pode não ser viável do ponto de vista económico. Além da diferença relacionada com as distintas latitudes onde estão localizadas as estufas, existem também variações locais. As regiões costeiras têm frequentemente um nível de radiação diferente das regiões interiores, especialmente durante a Primavera e Outono. Na escolha do local onde se irá instalar a estufa deve-se ter em consideração que as árvores ou outros obstáculos próximos à estufa podem gerar efeito de sombra indesejável.

A radiação solar incidente, sempre que excessiva, pode ser atenuada mediante o recurso a écrans de sombreamento. Além do mais, este tipo de écran pode proporcionar uma redução das perdas de calor desnecessárias durante o período de Inverno, especialmente à noite. Nos locais ou períodos do ano em que a radiação seja insuficiente pode recorrer-se à iluminação artificial através de lâmpadas de características espectrais específicas.

2.2.4 - Dióxido de Carbono

O dióxido de carbono (CO_2) presente no ar, juntamente com a água, luz e calor, é assimilado pelas plantas por forma a sintetizarem matéria orgânica. A concentração deste gás no ar livre é de aproximadamente 330 partes por milhão (ppm). Numa estufa a concentração de CO_2

apresenta uma variação diária. Durante a noite pode atingir valores até 500 ppm e durante o dia, devido à fotossíntese e da baixa renovação do ar, pode baixar até as 200 ppm, levando a uma redução considerável na formação de matéria vegetal.

O aumento de CO₂, juntamente com condições favoráveis de temperatura e luminosidade, leva a um maior desenvolvimento das plantas. Para se conseguir este objectivo pode fazer-se com frequência a injeção de CO₂, até níveis de 2000 ppm, por processos artificiais. Pelo processo artificial é injectado CO₂ resultado da combustão ou puro, disponível em botijas.

2.2.5 - Velocidade do vento

O movimento do ar, até um certo grau, é benéfico para a cultura produzida em estufas, quer devido à necessidade de ventilação, quer para promover a polinização. Os ventos fortes podem danificar a estrutura das estufas. As que possuem cobertura em plástico são mais susceptíveis de serem danificadas pela acção do vento que as de cobertura de vidro, mas também as mais económicas de substituir.

A tabela 2.2 resume o que foi dito sobre a importância dos diferentes factores climáticos.

Tabela 2.2 – Importância dos factores climáticos relevantes numa estufa agrícola.

<i>Variável</i>	<i>Importância</i>	<i>Limite inferior</i>	<i>Limite superior</i>
Temperatura interior	Afecta todas as funções metabólicas das plantas	Deformações e queimaduras causadas pelo frio	Danificação por acção do calor
Temperatura exterior	Afecta a temperatura interior através de ventilação e condução térmica		
Humidade relativa interior	Afecta a taxa de transpiração e os mecanismos de controlo térmico das plantas	Doenças e Desidratação	Doenças por fungos
Humidade relativa exterior	Afecta a humidade relativa interior através de ventilação		
Radiação solar	Afecta a taxa fotossintética, responsável pela maior carga térmica durante os períodos mais quentes.	Fraco desenvolvimento	Danificação (queimaduras)
Dióxido de carbono	Afecta a formação de matéria vegetal.	Fraca produção devido à diminuição da síntese dos hidratos de carbono.	Limitado pelo custo
Velocidade do ar	Mantém uma diferença de potencial hídrico entre o ar e as folhas das plantas, favorecendo a evapotranspiração e mantém o ar mais homogéneo.	0.2 m/s	Pode ocorrer desidratação para velocidades superiores a 4 m/s

2.3 - Outros factores

Consoante os objectivos específicos de cada caso poderá ser ainda necessário monitorar outros factores, como sejam: a direcção do vento, precipitação, radiação na gama dos infravermelhos, estado e ângulo de abertura de janelas. Além destes, no caso das estufas hidropónicas, há ainda a necessidade de se monitorar os níveis de nutrientes, o pH e a temperatura da solução irrigante.

O conhecimento da direcção do vento e da precipitação permitem que o sistema de controlo exerça as acções adequadas sobre as aberturas da estufa. Como exemplo, pode-se referir que para velocidades de vento consideráveis se devem fechar ou reduzir ao mínimo a abertura das janelas que estejam expostas à sua acção directa, minimizando-se a carga e por conseguinte a probabilidade de danificar a estrutura. A justificação do interesse em medir os outros factores referidos nesta secção encontra-se referido em secções anteriores.

Capítulo 3

Sensores

Qualquer sistema de aquisição de dados e controlo necessita que a informação do mundo físico seja traduzida numa grandeza eléctrica, função realizada pelos sensores e transdutores.

Após a análise dos factores climáticos relevantes para este tipo de processo, efectuada na secção 2.2, é feita neste capítulo uma abordagem dos sensores que geralmente se utilizam para monitorar as respectivas grandezas ambientais. Deste modo, começa-se pela abordagem dos sensores de temperatura mais usuais, como sejam os termopares, os sensores resistivos e os sensores semicondutores. De seguida, abordam-se os métodos e respectivos sensores de radiação luminosa assim como das técnicas disponíveis para medir a humidade relativa. Na secção 3.4 são referidos outros tipos de sensores que poderão ser utilizados neste sistema, embora devido ao seu custo e especificidade tenham uma aplicação mais restrita. Tendo em vista a aplicação em causa, nomeadamente no que diz respeito ao consumo, desempenho e custo dos sensores, é feita no final de cada secção uma comparação dos sensores abordados e apontam-se aqueles que, em princípio, serão os mais adequados para serem instalados na 'estaca multisensorial'. Finalmente na secção 3.5 faz-se uma descrição detalhada daqueles que foram utilizados na solução final.

3.1 - Sensores de Temperatura

A maioria dos sistemas biológicos, físicos, electrónicos, químicos ou mecânicos são em maior ou menor grau afectados pela temperatura. Isto justifica a razão pela qual grande parte dos sistemas de instrumentação e controlo possui circuitos de medida para esta variável, seja com o intuito de a controlar ou de compensar variações no desempenho do sistema.

Nos processos fisiológicos, como os do presente trabalho, a temperatura ambiente constitui um dos parâmetros mais importantes a ser monitorizado e controlado. Este é o mais limitante para o desenvolvimento das plantas visto que afecta todas as suas funções metabólicas.

As técnicas mais comuns de medida da temperatura consistem na utilização de resistências dependentes da temperatura, vulgo RTD's, termopares, termistores e sensores monolíticos. A escolha correcta para uma determinada aplicação depende de muitos factores tais como a gama de temperatura a medir, linearidade, precisão, custo, características e facilidade de projecto de todo o circuito suporte.

Nas secções seguintes fazem-se referência aos sensores de temperatura mais comuns.

3.1.1 - Termopares

Um termopar consiste na junção de dois fios de metais diferentes. Quando a junção é aquecida, gera-se aos terminais dos fios uma pequena tensão termo-iónica que é directamente proporcional à temperatura. Este efeito denomina-se de efeito *Seebeck* e a tensão gerada é a tensão de *Seebeck*, (e_{AB}), figura 3.1. A força electro-motriz é produzida por contacto de dois metais diferentes e é função da temperatura da junção.

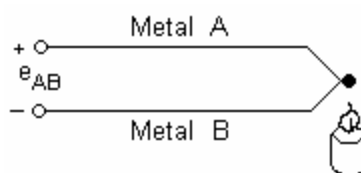


Figura 3.1 - Tensão de *Seebeck*, e_{AB} .

Se este circuito é completado unindo as restantes pontas numa junção colocada a uma temperatura diferente, circulará uma corrente, tal como ilustrado na figura 3.2. A intensidade da corrente é uma função da diferença de temperatura das duas junções e do tipo de metais utilizados nos condutores.

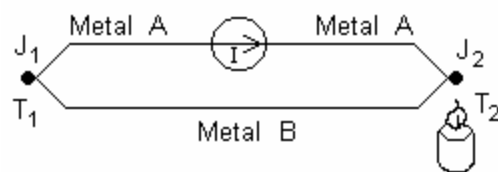


Figura 3.2 - Efeito de Seebeck.

Geralmente, a temperatura de uma das junções é fixa e conhecida servindo de referência ($T_1 = T_{REF}$). A temperatura da outra junção, T_2 , é a temperatura que se pretende medir. Se a junção J_1 está a uma temperatura conhecida, geralmente a temperatura de fusão do gelo, a corrente térmica pode ser calibrada em termos da temperatura da junção quente T_2 . Como a medição da temperatura é feita ao nível da junção, as dimensões do termopar podem ser bastante reduzidas o que permite a leitura de temperaturas pontuais e a obtenção de respostas rápidas devido à sua reduzida massa térmica.

Pelo simples facto de que 2 fios de metais dissimilares quando unidos criam um novo circuito termoelétrico, o processo de medição não é directo. A ligação de um voltímetro ao termopar origina 2 novas junções. Um dos métodos usados para cancelar o erro devido a termopares indesejáveis consiste em utilizar um bloco isotérmico por forma a que as f.e.m. criadas nos contactos se cancelem mutuamente, conforme ilustrado na figura 3.3. Neste caso, a tensão lida pelo voltímetro será $V \cong \alpha(T_2 - T_{REF})$, onde V é a tensão termoelétrica e α o coeficiente de Seebeck do termopar considerado em $V/^\circ C$.

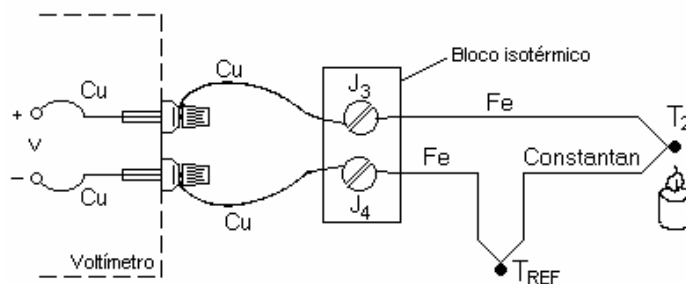


Figura 3.3 - Cancelamento do erro devido à ligação com um voltímetro.

A junção que se encontra à temperatura de referência, gera uma tensão que pode ser simulada electronicamente usando um circuito denominado de referência electrónica do ponto de gelo.

A tabela 3.1 mostra as características de alguns termopares padrão. Pode ser visto que a variação média da tensão com a temperatura varia geralmente entre 7 e 68 $\mu V/^\circ C$.

Tabela 3.1 - Comparação de alguns termopares padrão.

Tipo	Material	Gama de temperatura	Tensão de saída
B	Platina+6%Ródio / Platina+30%Ródio	0°C a 1820°C	0 a 13.82 mV
E	Cromo-Níquel / Constantan	-270°C a 1000°C	-9.835 a 76.373 mV
J	Ferro / Constantan	-210°C a 1200°C	-8.095 a 69.553 mV
K	Cromo-Níquel / Alumínio-Níquel	-270°C a 1372°C	-6.458 a 54.886 mV
R	Platina / Platina + 13 % Ródio	-50°C a 1768°C	-0.226 a 21.101mV
S	Platina / Platina + 10% Ródio	-50°C a 1768°C	-0.236 a 18.693 mV
T	Cobre / Constantan	-270°C a 400°C	-6.258 a 20.872 mV

Um dos grandes inconvenientes do termopar deve-se ao facto de exigir que a temperatura da junção de referência seja perfeitamente conhecida. Toda a incerteza sobre T_{REF} causa uma incerteza da mesma ordem sobre a temperatura desconhecida T_X .

Por outro lado, o facto do termopar funcionar como gerador de f.e.m., e logo não necessitar de ser percorrido por uma corrente de alimentação, evita a ocorrência de erros provocados por auto-aquecimento. Além do mais, a relação temperatura-tensão de um termopar é não-linear. As tensões de saída para os termopares mais comuns, traçadas em função da temperatura, encontram-se na figura 3.4.

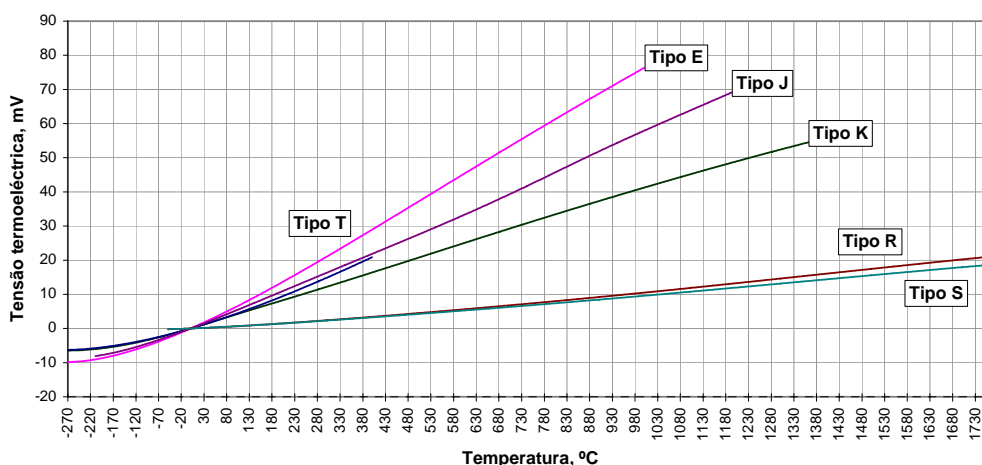


Figura 3.4 – Característica tensão-temperatura de alguns termopares.

A relação entre a temperatura e a tensão gerada por um termopar pode ser aproximada por uma expressão polinomial do tipo :

$$T = \sum_{i=0}^{i=n} a_i \cdot E^i$$

onde $T[^\circ\text{C}]$ é a temperatura, $E[\text{V}]$ a força electromotriz gerada pelo termopar, a_i os coeficientes polinomiais únicos para cada termopar e n a máxima ordem do polinómio para determinado erro. A tabela 3.2. mostra os coeficientes dos polinómios representativos de alguns termopares. Observe-se que para um termopar do tipo E, para um erro máximo de 0.5°C , o polinómio é de grau 9.

Tabela 3.2 - Coeficientes polinomiais de alguns termopares.

<i>Termopar</i>	<i>Tipo E</i>	<i>Tipo J</i>	<i>Tipo K</i>	<i>Tipo R</i>	<i>Tipo S</i>	<i>Tipo T</i>
Gama	-100°C a 1000°C	0°C a 760°C	0°C a 1370°C	0°C a 1000°C	0°C a 1750°C	-160°C a 400°C
Erro	$\pm 0.5^\circ\text{C}$	$\pm 0.1^\circ\text{C}$	$\pm 0.7^\circ\text{C}$	$\pm 0.5^\circ\text{C}$	$\pm 1^\circ\text{C}$	$\pm 0.5^\circ\text{C}$
Ordem	9	5	8	8	9	7
a0	0.104967248	-0.048868252	0.226584602	0.263632917	0.927763167	0.100860910
a1	17189.45282	19873.14503	24152.10900	179075.491	169526.5150	25727.94369
a2	-282639.0850	-218614.5353	67233.4248	-48840341.37	-31568363.94	-767345.8295
a3	12695339.5	11569199.78	2210340.682	1.90002E+10	8990730663	78025595.81
a4	-448703084.6	-264917531.4	-860963914.9	-4.82704E+12	-1.63565E+12	-9247486589
a5	1.10866E+10	2018441314	4.83506E+10	7.62091E+14	1.88027E+14	6.97688E+11
a6	-1.76807E+11		-1.18452E+12	-7.20026E+16	-1.37241E+16	-2.66192E+13
a7	1.71842E+12		1.38690E+13	3.71496E+18	6.17501E+17	3.94078E+14
a8	-9.19278E+12		-6.33708E+13	-8.03104E+19	-1.56105E+19	
a9	2.06132E+13				1.69535E+20	

Existem no mercado circuitos electrónicos dedicados que fazem a compensação electrónica da junção fria, fornecendo um nível de referência artificial e compensado para variações da temperatura ambiente na junção de referência. Além disso, estes contêm um circuito de linearização e um amplificador do tipo “*chopper-stabilized*” para efectuar o escalonamento da tensão de saída. Porém, esta instrumentação dedicada apresenta um custo acrescido.

Na tabela 3.3 apresenta-se uma quadro comparativo das vantagens e desvantagens dos termopares.

Tabela 3.3 – Vantagens e desvantagens dos termopares.

Termopares	
Vantagens	Desvantagens ou limitações
• Baixo custo	• Precisão, geralmente $\pm 4^{\circ}\text{C}$
• Robustez	• Baixa estabilidade (cerca de 0.6°C por ano)
• Vasta gama de temperaturas	• Não linear
• Construção simples	• Requer referência externa
• Não requer excitação	• Saída da ordem do mV
• Grande variedade de modelos	• Circuito de condicionamento complexo
• Resposta rápida	

3.1.2 - Sensores de temperatura resistivos

A resistência eléctrica de vários materiais altera-se de um modo reproduzível com a temperatura. Estes materiais dividem-se em duas categorias : Materiais condutores (metais) e materiais semicondutores. Os materiais condutores são chamados de detectores de temperatura resistivos (*'RTD-Resistance Temperature Detector'*), enquanto que os materiais semicondutores introduzidos posteriormente são denominados de termistores.

3.1.2.1 – Detectores resistivos de temperatura

Os sensores resistivos apoiam-se na relação característica da resistência de condutores metálicos com a temperatura. Existem metais que correctamente seleccionados e preparados apresentam uma variação da sua resistência com a temperatura de um modo bem definido, apresentando normalmente um coeficiente positivo de resistência.

A relação entre temperatura e resistência dos condutores metálicos pode ser calculada pela expressão:

$$R_T = R_{REF} \cdot (1 + \alpha \Delta T)$$

onde $R_{REF}[\Omega]$ é a resistência à temperatura de referência (normalmente, 0°C), $R_T[\Omega]$ é a resistência à temperatura T , $\alpha[\%/^{\circ}\text{C}]$ é o coeficiente de temperatura e $\Delta T[^{\circ}\text{C}]$ é diferença entre a temperatura de medida e a de referência.

Apenas alguns metais têm uma relação característica apropriada para o fabrico de sensores resistivos. O metal deve possuir uma característica extremamente estável para que a sua resistência à temperatura de referência não varie após sucessivas operações de aquecimento e arrefecimento. Além do mais, a sua resistência específica deve permitir o fabrico de elementos sensores de tamanho prático. Os metais ou ligas metálicas mais utilizados na construção de RTD's estão referidos na tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Coeficientes de temperatura de alguns metais.

Material	Gama de Temperatura (°C)	Coeficiente de temperatura (@ 25°C)
Platina	-200 ... +850	0.39 %/°C
Níquel	-80 ... +320	0.67 %/°C
Cobre	-200 ... +260	0.38 %/°C
Níquel / Ferro	-200 ... +260	0.46 %/°C

De todos os metais utilizados correntemente no fabrico de elementos termoresistivos, a platina é aquele que mais se destaca. Tem características óptimas dentro de uma larga gama de temperatura. Com um coeficiente de temperatura de $0.00385 \Omega/\Omega/^{\circ}\text{C}$ e disponível na forma pura, consegue-se uma excelente reprodutibilidade da característica resistência-temperatura. Com estas características, o fio de platina é geralmente conhecido como um *standard* de precisão e repetibilidade de um sensor de temperatura, sendo normalmente utilizado como elemento de calibração. A sua não linearidade é de cerca de vários graus nos extremos, mas é altamente previsível e de elevada repetibilidade. A correcção desta não linearidade pode ser feita por um circuito de linearização ou mediante a utilização de uma tabela que contenha os factores de correcção a aplicar.

As RTD de platina (PRTD) são disponibilizadas em gamas desde as dezenas de ohm até kilohm com um coeficiente de temperatura de cerca de $0.4\%/^{\circ}\text{C}$, à temperatura de 25°C . Como as RTD's são constituídas por um fio metálico, tendem a ser fisicamente grandes. No entanto, podem ser encontradas na versão de filme metálico, com dimensões próximas às das resistências de $\frac{1}{4}\text{W}$ ou, nas versões de um filme fino de platina depositado num substrato de cerâmica, que confere à PRTD um tamanho reduzido, robustez e um custo moderado. Na figura seguinte está representada a relação entre a resistência à temperatura T (R_T) e a resistência de referência R_{REF} versus temperatura para RTD's de Platina, Cobre, Níquel e Ferro.

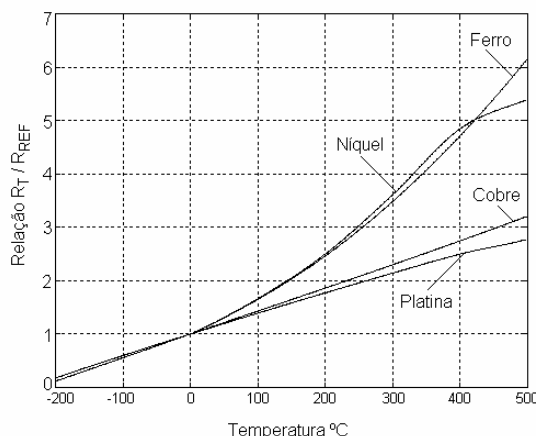


Figura 3.5 - Relação R_T/R_{REF} versus temperatura para RTD's de diferentes materiais.

A relação resistência versus temperatura para uma PRTD é determinada pela equação de *Callendar-Van Dusen* (acima dos 0°C) ^[33]:

$$T = \frac{100 \cdot (R_T - R_{REF})}{R_{100} - R_{REF}} + \delta \cdot \left(\frac{T}{100} - 1 \right) \cdot \frac{T}{100}$$

onde $T[^\circ\text{C}]$ é a temperatura, $R_T[\Omega]$ é a resistência à temperatura T , $R_{REF}[\Omega]$ é a resistência à temperatura de referência (normalmente 0°C), $R_{100}[\Omega]$ é a resistência à temperatura de 100°C e δ é a constante de *Callendar*.

O valor da resistência da PRTD para qualquer valor de temperatura, pode ser determinado pela expressão ^[33]:

$$R_T = R_{REF} + \alpha \cdot R_{REF} \left[T - \delta(0.01T - 1)(0.01T) - \beta(0.01T - 1)(0.01T)^3 \right]$$

onde $T[^\circ\text{C}]$ é a temperatura, $R_T[\Omega]$ é a resistência à temperatura T , $R_{REF}[\Omega]$ é a resistência à temperatura de referência (normalmente 0°C), $\alpha[\Omega/\Omega/^\circ\text{C}]$ é o coeficiente de temperatura a 0°C (tipicamente +0.00392), δ é a constante de *Callendar* (1.49), $\beta=0$ para temperaturas positivas e $\beta=0.11$ para temperaturas negativas.

Como a resistência típica de uma PRTD é de 100 Ω , deve-se ter especial atenção à resistência introduzida pelos cabos de ligação. O método de medida mais utilizado é o da medida resistiva a 4 fios. Neste método, dois fios fornecem uma corrente constante e precisa à RTD e os outros dois medem a tensão aos seus terminais.

Deste modo, evitam-se os problemas de não-linearidade na medida de resistência pela ponte de *Wheatstone*. Como o circuito de medida apresenta normalmente uma impedância

de entrada elevada, os fios de medida são percorridos por uma corrente muito pequena, pelo que a resistência dos fios pode ser desprezada.

Há ainda a ter em conta o efeito de auto-aquecimento que ocorre nestes dispositivos. A energia requerida para alimentar o dispositivo aumenta a sua temperatura afectando a precisão da medida. Circuitos que fornecem uma corrente constante de alguns mA podem provocar erros de auto-aquecimento da ordem de vários graus. A operação da RTD a baixas correntes, com o intuito de minimizar esse erro, origina sinais de baixa amplitude, o que constitui uma desvantagem no caso da operação em sistemas ruidosos exigindo a utilização de circuitos de condicionamento com melhores características.

Actualmente, recorre-se a módulos transmissores electrónicos que permitem a ligação de vários tipos de sensores. Nestes, os sinais são geralmente transmitidos em corrente, tipicamente de 4 a 20mA para limites de escala. Assim, uma vantagem evidente é a imunidade ao ruído, importante em ambientes sujeitos a grande interferências eléctricas. Este tipo de transmissores pode ainda possuir funções de auto-diagnóstico, recalibração, comunicação bidireccional, entre outras.

Finalmente, na tabela 3.5 referem-se as vantagens e desvantagens das RTD's.

Tabela 3.5 – Vantagens e desvantagens das RTD's.

Detectores resistivos de temperatura (RTD)	
Vantagens	Desvantagens ou limitações
• Precisão ($\pm 0.5^{\circ}\text{C}$)	• Custo
• Repetibilidade ($\pm 0.05^{\circ}\text{C}$)	• Robustez limitada
• Estabilidade a longo prazo (0.1%/5 anos)	• Baixa variação da resistência com a temperatura
• Elevada reprodutibilidade	• Fonte de corrente necessária.
• Compensação não necessária	• Erros de auto-aquecimento
• Tamanho reduzido	• Compensação dos fios de ligação
• Elevada estabilidade	

3.1.2.2 - Termistores

Um outro tipo de sensor resistivo é o termistor. A característica principal deste tipo de resistência térmica é a de possuir uma sensibilidade bastante superior, na ordem das 10 vezes, à das resistências metálicas. Por outro lado, o seu coeficiente de temperatura é geralmente negativo e fortemente dependente da temperatura.

A maior parte dos termistores têm uma elevada resistividade e um elevado coeficiente de temperatura negativo (NTC), ou seja, a resistência de um termistor NTC diminui com o aumento da temperatura. O coeficiente de temperatura pode chegar aos 10% por cada grau centígrado, permitindo que o termistor detecte mudanças de temperatura que não podem ser observadas por RTD's ou termopares.

Existem também termistores com um coeficiente de temperatura positivo (PTC), vulgarmente designados por termistores de comutação devido à sua característica resistência *versus* temperatura única. Nestes, à medida que a temperatura aumenta, a resistência mantém-se essencialmente constante até à temperatura de comutação ou ponto de *Curie*, onde a resistência sofre um aumento considerável por cada incremento adicional de temperatura. A temperatura de comutação pode estar entre -20°C a +125°C. Devido a esta característica, os termistores PTC são frequentemente utilizados como termostatos para regulação da temperatura assim como em dispositivos de segurança térmicos.

A figura seguinte compara a dependência da temperatura de um termistor NTC típico, um termistor PTC e uma RTD de platina numa gama de +30 a +170°C. A resistência de platina apresenta um coeficiente de temperatura positivo de cerca 0.34%/°C. O termistor NTC apresenta um coeficiente de temperatura negativo com uma variação de resistência de cerca de 4.5%/°C @ 30°C e cerca de 1.6%/°C @ 155°C. O termistor PTC apresenta menos de 0.5%/°C até ao ponto de Curie, onde a inclinação aumenta rapidamente para 67%/°C @ ≈96°C e diminui até que aos 135°C tem um coeficiente de temperatura aproximadamente igual ao termistor NTC.

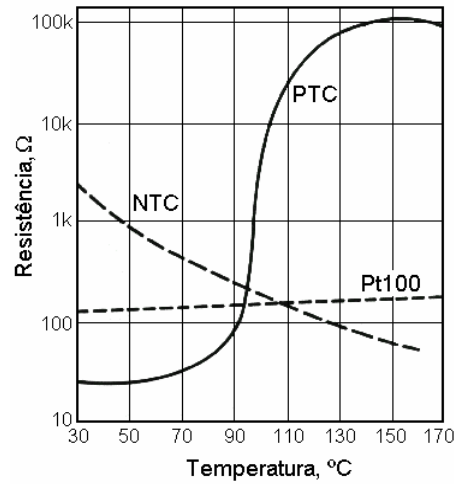


Figura 3.6 - Dependência com a temperatura de termistores NTC e PTC.

Tal como no caso da RTD, também no termistor é necessário proceder a uma linearização da sua característica. A relação básica resistência *versus* temperatura destes dispositivos é expressa por ^[37]:

$$R_T = R_{REF} \cdot \exp \left[\beta \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{REF}} \right) \right]$$

onde $T_{REF}[K]$ é a temperatura de referência, $R_{REF}[\Omega]$ é a resistência à temperatura de referência T_{REF} , $R_T[\Omega]$ é resistência à temperatura T , β é uma constante que depende do processo de fabrico (especificado pelo fabricante) e que varia muito pouco com a temperatura.

O coeficiente de temperatura para um termistor NTC (sensibilidade) é dado por:

$$\alpha(\%/^{\circ}C) = \frac{1}{R_T} \cdot \frac{\partial R_T}{\partial T} = -100 \cdot \frac{\beta}{T^2}$$

A relação entre a resistência do termistor e a temperatura é dada pela equação de *Steinhart-Hart* ^[37]:

$$\frac{1}{T} = a + b(\ln R) + c(\ln R)^3$$

onde $T[K]$ é a temperatura absoluta, **a**, **b** e **c** são coeficientes resultantes de medições e $R[\Omega]$ é a resistência do termistor à temperatura T .

Para determinar os coeficientes **a**, **b** e **c**, é necessário medir a resistência do termistor a três temperaturas T_1 , T_2 e T_3 . Estas temperaturas devem estar igualmente espaçadas com um

intervalo superior a 10°C. Com os valores das temperaturas e respectivas resistências resolve-se o sistema de equações:

$$\begin{cases} 1/T_1 = a + b(\ln R_1) + c(\ln R_1)^3 \\ 1/T_2 = a + b(\ln R_2) + c(\ln R_2)^3 \\ 1/T_3 = a + b(\ln R_3) + c(\ln R_3)^3 \end{cases}$$

determinando-se os coeficientes **a**, **b** e **c** para qualquer gama de temperatura. Como exemplo, apresentam-se os coeficientes calculados para 3 termistores da YSI com medições efectuadas a 0°C, 50°C e 100°C.

Termistor YSI	Resistência (@ 25°C)	a	b	c
44001A	100Ω	0.0017709	0.0003406	1.479E-07
44006A	10kΩ	0.0010295	0.0002391	1.568E-07
44015A	1MΩ	0.0008142	0.0001670	8.819E-08

Sabendo os coeficientes **a**, **b** e **c** para um determinado termistor, a equação de *Steinhart-Hart* também pode ser utilizada para determinar qual a resistência do termistor a uma dada temperatura. A equação a utilizar é a seguinte ^[37]:

$$R = \exp\left[(\beta - (\alpha/2))^{1/3} - (\beta + (\alpha/2))^{1/3}\right]$$

onde :

$$\alpha = \frac{a - (1/T)}{c} \quad \text{e} \quad \beta = \sqrt{\left(\frac{b}{3c}\right)^3 + \frac{\alpha^2}{4}}$$

Estas expressões permitem elaborar uma tabela, por exemplo de -10 a +60°C, com intervalos de 2°C para uma possível linearização. A alternativa à utilização de termistores na monitorização da temperatura é a utilização de dispositivos linearizados que consistem num *array* de 2 termistores com algumas resistências fixas (por exemplo, a série *Thermilinear* da YSI ^[37]). Este tipo de componente, embora tenha um custo mais elevado, apresenta uma elevada precisão (±0.15°C) e uma não-linearidade de ±0.065°C na gama de -5 a +45°C.

A tabela 3.6 refere as vantagens e desvantagens dos termistores.

Tabela 3.6 – Vantagens e desvantagens dos termistores.

Termistores	
Vantagens	Desvantagens ou limitações
• Elevada sensibilidade	• Altamente não-linear
• Rápido – baixa constante de tempo	• Gama de temperatura limitada (-30°C a +160°C)
• Ligação por dois fios	• Alguma fragilidade
• Grande variedade de modelos	• Fonte de corrente necessária.
	• Erros de auto-aquecimento
	• Requer calibração

3.1.2.3 – Resistência de silício

Este tipo de sensor resistivo distingue-se dos termistores nos seguintes aspectos: O coeficiente de temperatura é positivo, na ordem dos 0.8%/°C a 25°C e a menor variação de resistência com a temperatura permite linearizar a sua característica usando apenas uma resistência fixa colocada em série ou em paralelo com o circuito de medida.

Este sensor é fabricado em tecnologia planar em que se faz a difusão de impurezas, normalmente do tipo *n*, no silício, obtendo-se tolerâncias de cerca de 1% do valor nominal da resistência. A variação térmica da resistência não depende apenas da temperatura mas também da dopagem do semiconductor. A gama de medida está limitada à gama útil dos semicondutores em geral, ou seja dos -55°C aos 150°C. Este sensor é fabricado pela *Philips* (série KTY) e na tabela seguinte apresentam-se as suas características mais relevantes.

Tabela 3.7 – Características mais relevantes do sensor KTY81.

Sensor	KTY81-110
Gama de medida	-55°C a +150°C
Resistência nominal a 25°C, $I_C=1\text{mA}$	$1000\Omega \pm 1\%$
Coeficiente de temperatura	+0.79 %/K
Encapsulamento	SOD-70

Pelo facto deste sensor ter bastante aceitação devido ao seu baixo custo, justifica-se apresentar alguns outros aspectos. Na tabela seguinte, apresentam-se os valores da resistência para os correspondentes valores de temperatura.

Tabela 3.8 - Correspondência resistência-temperatura de um sensor KTY-81.

T(°C)	-55	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	25	30	40
R(Ω)	490	515	567	624	684	747	815	886	961	1000	1040	1122
T(°C)	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
R(Ω)	1122	1209	1299	1392	1490	1591	1696	1805	1915	2023	2124	2211

A característica resistência *versus* temperatura deste sensor, representada na figura 3.7 pode ser linearizada de 2 modos ^[35]. Se o circuito é alimentado com uma fonte de corrente constante, uma resistência de linearização pode ser ligada em paralelo com o sensor. Se o circuito é alimentado a tensão constante, então a resistência de linearização deve ser ligada em série com o sensor. Deste modo obtém-se um sinal em tensão já linearizado, evitando a utilização de outros tipos de montagem para medir a sua resistência.

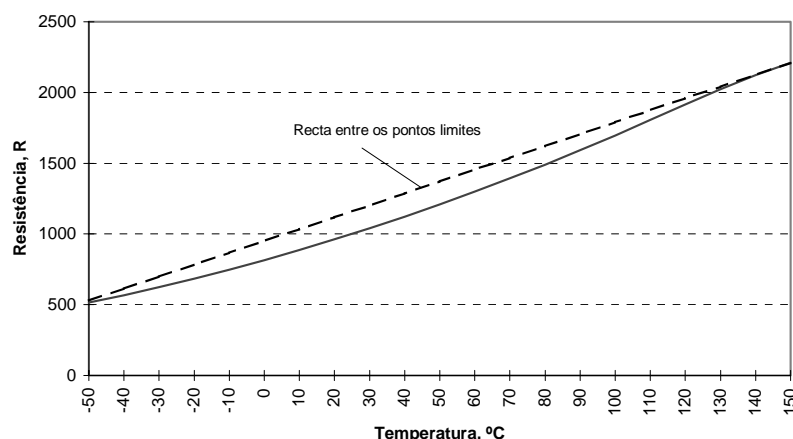


Figura 3.7 - Relação resistência-temperatura de um sensor KTY-81.

O valor da resistência de linearização, R_L , depende da gama desejada de temperatura onde o sensor vai operar. Este valor pode ser determinado usando a seguinte expressão :

$$R_L = \frac{R_M \cdot (R_1 + R_2) - 2 \cdot R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2 - 2 \cdot R_M}$$

onde $R_1[\Omega]$ é a resistência do sensor à temperatura inferior da gama a linearizar, $R_2[\Omega]$ é resistência do sensor à temperatura superior da gama a linearizar e $R_M[\Omega]$ é a resistência do sensor à temperatura média da gama a linearizar. A título exemplificativo, para as gamas de medida de -20°C a $+60^\circ\text{C}$ e de -50 a $+150^\circ\text{C}$, obtém-se para R_1 , R_2 , R_M e R_L os seguintes valores:

R_1 (@ -20°C)	= 684 Ω	R_1 (@ -50°C)	= 515 Ω
R_2 (@ +60°C)	= 1299 Ω	R_2 (@ +150°C)	= 2211 Ω
R_M (@ +20°C)	= 961 Ω	R_M (@ +50°C)	= 1209 Ω
R_L	= 2108 Ω	R_L	= 3306 Ω

Conforme se pode verificar no gráfico da figura seguinte, o erro máximo de não-linearidade é somente de 0.22°C numa gama de -20°C a +60°C e de 4.45°C em toda a gama.

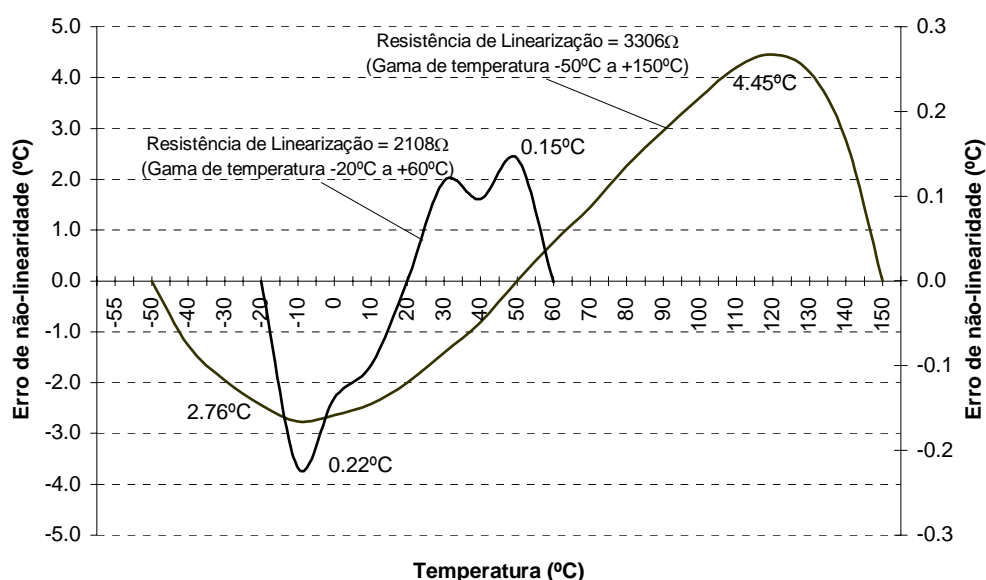


Figura 3.8 – Exemplo de correcção do erro de não-linearidade de um sensor KTY-81.

Resta apenas referir que todos os valores indicados anteriormente para a resistência são especificados para uma corrente de alimentação de 1mA, pelo que variações neste valor traduzem-se em imprecisões na medida ^[38].

3.1.3 - Sensores semicondutores

A característica tensão-corrente de um díodo ou transístor bipolar exibe uma forte dependência térmica. Se a junção é percorrida por uma corrente constante a tensão resultante torna-se a medida da temperatura da junção. A característica mais importante é o seu elevado grau de linearidade. Isto permite que o conhecimento de dois pontos de medida sejam suficientes para determinar a sua sensibilidade. Para díodos de silício, a tensão aos terminais cai aproximadamente 2.2mV por cada grau centígrado de aumento de

temperatura. A sensibilidade exacta depende de certos parâmetros tais como o tamanho da junção, o nível de dopagem e a densidade de corrente, variando entre dispositivos.

A corrente directa numa junção *p-n* é dada pela seguinte equação :

$$I_D = I_S \left[e^{\left(\frac{qV_D}{2kT} \right)} - 1 \right]$$

onde, I_D [mA] é a corrente directa no diodo, V_D [V] a queda de tensão directa no diodo, I_S [mA] a corrente de saturação (também função da temperatura), k é a constante de *Boltzmann* e q a carga do electrão. Resolvendo a equação anterior em ordem à tensão directa do diodo, V_D , obtém-se :

$$V_D = \frac{E_g}{q} - \frac{4.6 \cdot kT}{q} (\ln M - \ln I)$$

onde M é uma constante independente da temperatura e E_g é a energia do silício a 0K. Desta última equação, observa-se que quando a junção é atravessada por uma corrente I constante, a tensão é linearmente dependente da temperatura, sendo a sensibilidade dada por:

$$\frac{4.6 \cdot k}{q} (\ln M - \ln I) \quad [\text{mV}/^\circ\text{C}]$$

Tipicamente, para uma junção de silício atravessada por correntes de $10\mu\text{A}$ e 1mA , a sensibilidade é respectivamente de cerca $-2.3\text{mV}/^\circ\text{C}$ e $-2.0\text{mV}/^\circ\text{C}$.

Comparativamente, um diodo é mais sensível e mais linear na sua gama útil de medida ($-40..150^\circ\text{C}$) do que os termopares e as RTD's, mas apresentam uma menor repetibilidade. A precisão obtida com o diodo é da ordem de $\pm 1^\circ\text{C}$.

Sensores de temperatura semicondutores de precisão e de baixo custo podem ser fabricados, com base nas propriedades fundamentais dos transístores, para produzir uma tensão proporcional à temperatura absoluta. A relação entre a tensão base-emissor (V_{BE}) e a corrente de colector de um transístor bipolar é a propriedade usada para produzir um sensor de temperatura linear. A figura 3.9 mostra um circuito simplificado onde T_3 e T_4 formam um espelho de corrente. Estes dois transístores forçam duas correntes idênticas, $I_{C1}=I_{C2}=I$, nos transístores T_1 e T_2 . As correntes de colector são determinadas pela resistência R .

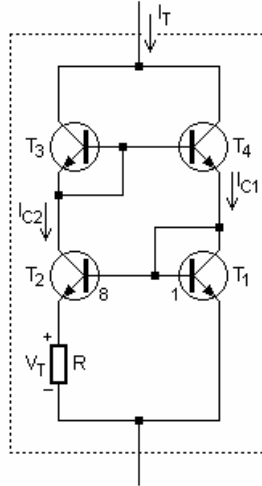


Figura 3.9 – Circuito simplificado de um sensor de temperatura linear.

Num circuito monolítico, T_2 é normalmente feito de vários transístores idênticos ligados em paralelo, por exemplo 8. Assim, a densidade de corrente de T_1 é oito vezes maior do que cada um dos transístores T_2 . A diferença entre as tensões base-emissor de T_1 e T_2 é:

$$\Delta V_{BE} = V_{BE1} - V_{BE2} = \frac{kT}{q} \cdot \ln\left(\frac{K}{I_{CE0}}\right) - \frac{kT}{q} \cdot \ln\left(\frac{I}{I_{CE0}}\right) = \frac{kT}{q} \cdot \ln(r)$$

onde r é a razão das densidades de corrente (8 neste exemplo), k é a constante de Boltzmann, q é a carga de um electrão e $T[K]$ é a temperatura absoluta. As correntes I_{CE0} são as mesmas para ambos os transístores. Como resultado, a corrente que atravessa R produz uma tensão $V_T = 179 \mu V \cdot T$ que é independente das correntes. Assim, a corrente total que atravessa o sensor é:

$$I_T = 2 \cdot \frac{V_T}{R} = \left(2 \cdot \frac{k}{q \cdot R} \cdot \ln(r)\right) \cdot T$$

que para $r = 8$ e $R = 358 \Omega$ produz uma função de transferência linear de $I_T/T = 1 \mu A/K$.

O valor entre parêntesis é constante para um determinado sensor e pode ser ajustado durante o processo de fabrico, reduzindo o seu custo, para uma determinada sensibilidade. A corrente I_T pode ser facilmente convertida em tensão através de uma resistência em série com o sensor.

O esquema simplificado da figura 3.9 funciona de acordo com as expressões anteriormente referidas supondo os transístores ideais ($\beta=\infty$). Os sensores monolíticos comerciais contêm componentes adicionais por forma a ultrapassar as limitações dos transístores reais. Diversos fabricantes produzem sensores de temperatura baseados neste princípio. Exemplos são o LM35 da *National Semiconductor* (saída em tensão, 10mV/°C) e o AD590 da *Analog Devices* (saída em corrente, 1μA/K). As vantagens destes sensores residem no seu baixo custo devido à calibração que é feita durante o processo de fabrico, linearidade, precisão, encapsulamento conveniente (TO-92, TO-46, etc) e na sua saída ser em tensão ou corrente.

A tabela 3.9 resume as vantagens e desvantagens deste tipo de sensores.

Tabela 3.9 – Vantagens e desvantagens dos sensores monolíticos.

Sensores monolíticos	
Vantagens	Desvantagens ou limitações
<ul style="list-style-type: none"> • Linearidade 	<ul style="list-style-type: none"> • Gama de temperatura limitada (-55°C a +150°C)
<ul style="list-style-type: none"> • Custo reduzido 	<ul style="list-style-type: none"> • Requer excitação.
<ul style="list-style-type: none"> • Elevada sensibilidade 	<ul style="list-style-type: none"> • Erro de auto-aquecimento
<ul style="list-style-type: none"> • Grande variedade de modelos 	<ul style="list-style-type: none"> • Configurações limitadas

Observando as tabelas 3.3, 3.5, 3.6 e 3.9, e tendo em conta a gama de temperaturas a medir (-10°C a +60°C), consumo, custo, manutenção, durabilidade e fiabilidade, entre os vários sensores apresentados, a escolha daquele que parece ser o mais adequado a esta aplicação recai sobre os sensores monolíticos, particularmente os sensores LM35 e LM60 da *National Semiconductor*.

3.2 - Sensores de Radiação Solar

A monitorização dos valores de radiação solar a que as plantas estão sujeitas é fundamental dado que esta variável influencia directamente o seu desenvolvimento. De facto, os níveis de radiação baixos traduzem-se num fraco desenvolvimento das plantas e o seu excesso leva a queimaduras ^[11].

De acordo com o *standard* DIN5031, parte 7, a radiação óptica é entendida como parte do espectro electromagnético na gama de comprimentos de onda entre os 100nm e 1mm. Esta banda de radiação óptica é dividida ainda em três sub-bandas: Ultravioletas (UV), radiação visível (Luz) e os infravermelhos (IR). As bandas de UV e IR encontram-se divididas em três subgrupos A,B e C e a gama visível nas suas cores relevantes, tal como ilustrado na tabela 3.10. A expressão ‘Luz’ apenas se refere à radiação óptica perceptível pelo olho humano ^[19].

Tabela 3.10 - Subdivisão do espectro da radiação óptica de acordo com o *standard* DIN5031, parte 7.

Gama dos comprimentos de onda	Designação
100nm - 280nm	UV-C
280nm - 315nm	UV-B
315nm - 380nm	UV-A
380nm - 440nm	Luz - Violeta
440nm - 495nm	Luz - Azul
495nm - 558nm	Luz - Verde
558nm - 640nm	Luz - Amarelo
640nm - 750nm	Luz - Vermelho
750nm - 1,4μm	IR-A
1,4μm - 3μm	IR-B
3μm - 1mm	IR-C

Para as plantas a radiação que normalmente interessa medir é aquela que contribui directamente para a fotossíntese, radiação que se situa na faixa dos 400 aos 700nm. Dependendo do tipo de aplicação pode ser necessário medir-se a radiação na faixa dos ultravioletas e dos infravermelhos, dado que a primeira danifica as plantas e a segunda fornece uma medida das perdas por irradiação. A monitorização da radiação solar é também importante quando a estufa está dotada de écrans de sombreamento e de janelas. A actuação do écran é importante numa região bastante ensolarada pois permite reduzir

substancialmente a radiação incidente evitando uma exposição prolongada e exagerada das plantas à radiação solar. Nos períodos em que a temperatura é baixa, como por exemplo durante a noite, o écran pode ser activado com o intuito de diminuir as perdas de calor.

No que diz respeito às fontes de radiação, o sol é a fonte de radiação natural principal. Tem aproximadamente a distribuição espectral de um corpo negro com uma temperatura de 6000K. À medida que esta radiação penetra na atmosfera, sofre atenuações em determinadas bandas relativas à absorção por parte da água (H_2O) e dióxido de carbono (CO_2). A figura 3.10 ilustra a distribuição energética do espectro solar $S(\lambda)$ [34].

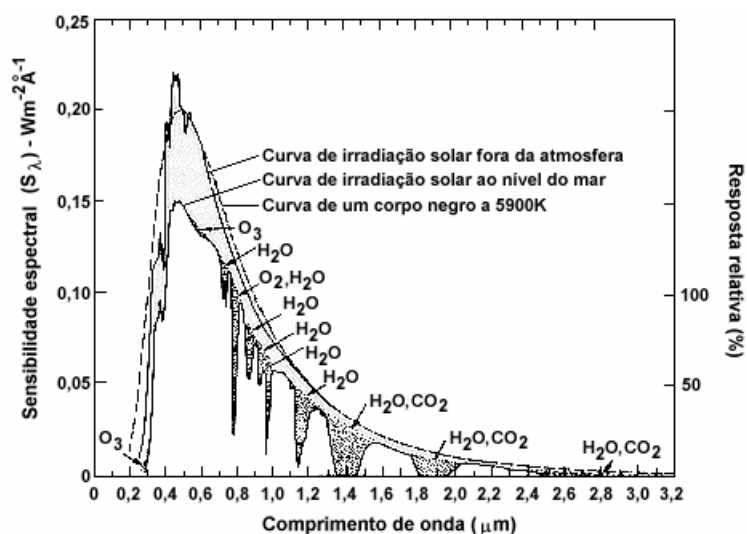


Figura 3.10 - Distribuição energética do espectro solar.

Uma das características mais importantes que se deve ter em conta na escolha de sensores de radiação solar é a sua sensibilidade espectral ou resposta relativa. A sensibilidade está dividida em dois tipos. A sensibilidade espectral, $S(\lambda)$, é a sensibilidade do transdutor face ao comprimento de onda supondo o raio incidente monocromático. A sensibilidade total, S_t , é a sensibilidade do transdutor que recebe um sinal óptico que não é monocromático. Depende da sensibilidade espectral do transdutor às diversas radiações constituintes do raio e da distribuição espectral da energia incidente.

As grandezas referentes à radiação dividem-se em grandezas fotométricas, relativas à radiação visível (afectadas do índice v), e grandezas energéticas, relativas ao conteúdo energético da radiação. De seguida apresenta-se uma breve descrição de cada uma assim como as suas unidades [19].

A **potência radiada (Φ)** e **fluxo luminoso (Φ_v)** descrevem a potência total radiada para o espaço por uma fonte luminosa. Estes valores relacionam-se com a fonte e as suas unidades são o **Watt (W)** para a potência radiada e **lumen (lm)** para o fluxo luminoso.

A **energia** e **energia luminosa** é produto do fluxo luminoso pelo tempo **t**. As unidades são o **Joule (J)** para a energia e o **lm·segundo** para a energia luminosa.

Intensidade energética (I) e **intensidade luminosa (I_v)** medem a potência radiada numa determinada direcção sobre um ângulo sólido unitário (em steradiano, sr) e também se relacionam com a fonte luminosa. As unidades são o **W/sr** para a intensidade energética e o **lm/sr = candela (cd)** para a intensidade luminosa.

A **radiância (L)** e a **luminância (L_v)** são medidas da superfície da fonte de luz. Tal como a intensidade energética e luminosa, estes valores são características da fonte de luz e também relacionadas com a área unitária da fonte. As unidades são o **W/m²·sr** para a radiância e **cd/m²** para a luminância.

A **irradiação (E)** e **iluminação (E_v)** são medidas relativas ao detector e as unidades são o **W/m²** para a irradiação e **lm/m² = lux** para a iluminação.

Na tabela 3.11 apresenta-se um resumo das grandezas referidas.

Tabela 3.11 - Resumo das principais grandezas energéticas e fotométricas.

Grandezas Energéticas	Símbolo	Unidade	Grandezas fotométricas	Símbolo	Unidade
Potência radiada	Φ	W	Fluxo luminoso	Φ_v	lm
Energia	Q	J	Energia luminosa	Q_v	lm·s
Intensidade	I	W / sr	Intensidade luminosa	I_v	lm / sr = cd
Radiância	L	W / m ² ·sr	Luminância	L_v	cd / m ²
Irradiação	E	W / m ²	Iluminação	E_v	lm / m ² = lux

Os sensores usados para monitorar a intensidade luminosa, como é o caso da radiação solar são denominados de sensores fotoelétricos. Existem basicamente dois tipos de detectores; os fotocondutores resistivos e os fotocondutores semicondutores, pelo que nas secções seguintes será apresentada uma breve descrição de cada um.

3.2.1 – Fotoresistências

As fotoresistências ou células fotocondutivas, vulgarmente conhecidas por LDR (*'Light Dependent Resistor'*) são dispositivos resistivos caracterizados por uma variação da sua resistência quando sujeitas à influência de um fluxo incidente. O mecanismo de funcionamento apoia-se na fotocondução, resultante de um efeito fotoelétrico interno: libertação de cargas eléctricas no material fotocondutor sob a influência da radiação incidente com o correspondente aumento da sua condutividade. Os materiais utilizados para a construção de LDR's são variados, dependendo da resposta espectral desejada para o dispositivo. O material mais comum é o sulfeto de cádmio (CdS) que exibe uma forte resposta foto-condutiva e cuja sensibilidade espectral está limitada entre os 300nm e os 880nm com um máximo nos 550nm, sendo portanto similar à sensibilidade do olho humano. A relação entre a resistência do dispositivo e a iluminação é dada por:

$$R_{LDR} = a \cdot E^{-\gamma}$$

onde R_{LDR} é a resistência do dispositivo [Ω], E é a irradiação [lux], a e γ são constantes que dependem do material utilizado, temperatura e do espectro da radiação incidente. Normalmente γ está compreendido entre 0.7 e 0.9. Na figura seguinte ilustra-se uma LDR típica assim como a sua característica típica.

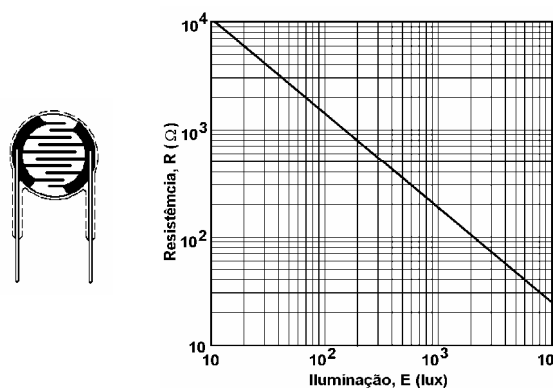


Figura 3.11 – LDR típica e sua característica resistência vs iluminação.

Conforme se pode observar, a relação da resistência com a radiação incidente é uma relação exponencial. Além do mais, apresentam tempos de resposta elevados, são bastante sensíveis à temperatura, as suas características são alteradas ao longo do tempo e apresentam uma grande variação da sua resistência.

3.2.2 - Fotodíodo

Embora os fotodíodos possam ser classificados como fotocondutores, têm funcionamento e desempenho bastante diferentes. Basicamente, o fotodíodo pode ser operado em dois modos: o modo fotocondutivo e o modo fotovoltaico. Quando a junção $p-n$ de um fotodíodo é polarizada inversamente, o fotodíodo opera no modo fotocondutivo, comportando-se como uma fonte de corrente controlada pelo fluxo incidente na junção, apresentando uma relação bastante linear entre o fluxo incidente e a fotocorrente gerada. Em situação de ausência de luminosidade, existe uma corrente de fugas que é independente da tensão inversa aplicada e que é principalmente devida à geração térmica de portadores de carga. A característica fotocorrente *versus* irradiação típica de um fotodíodo está representada na figura seguinte.

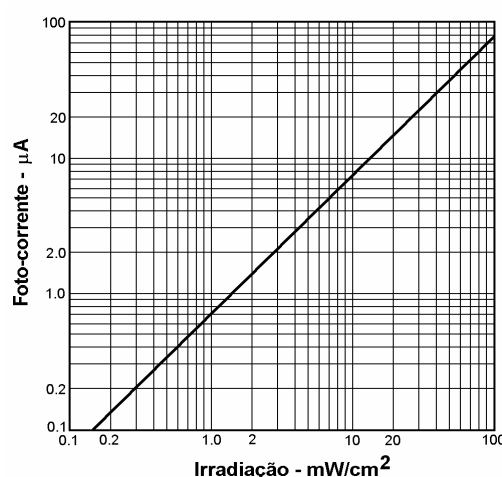


Figura 3.12 – Característica corrente vs irradiação típica de um fotodíodo.

Quando não existe qualquer polarização externa, o fotodíodo opera no modo fotovoltaico apresentando aos seus terminais uma tensão proporcional ao fluxo incidente na sua junção. Este efeito é usado em células solares para produzir conversores luz-tensão para alimentações a energia solar. A característica tensão *versus* irradiação típica de um fotodíodo está ilustrada na figura seguinte.

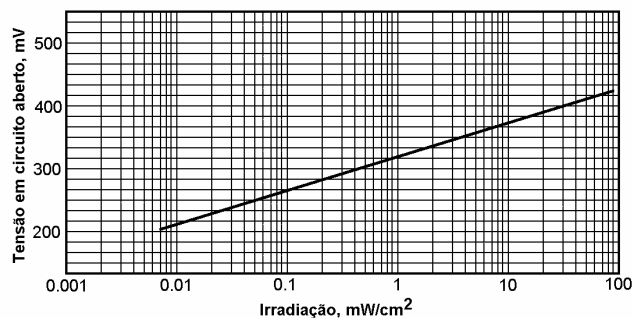


Figura 3.13 – Característica tensão vs irradiação típica de um fotodiodo.

Os fotodiodos possuem pequenas dimensões, são robustos e apresentam uma resposta linear face ao fluxo incidente sendo o seu custo bastante reduzido. A sensibilidade espectral de um fotodiodo depende do material semiconductor utilizado no seu fabrico. A figura seguinte compara a resposta relativa de três semicondutores com a sensibilidade do olho humano. Actualmente, a maior parte dos sensores de radiação são baseados em fotodiodos fabricados com materiais que oferecem a resposta relativa desejada face aos comprimentos de onda de interesse. São também muitas vezes aplicados filtros sobre a junção por forma a que incidam nesta apenas a radiação duma determinada gama de comprimentos de onda.

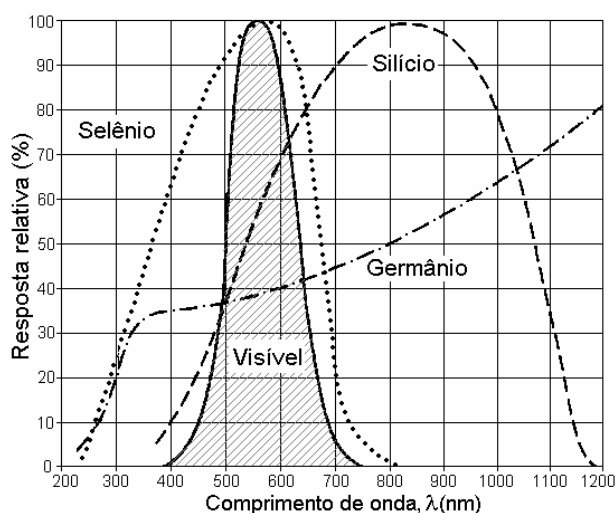


Figura 3.14 – Resposta relativa de alguns semicondutores.

3.2.3 – Sensores especiais

Existem muitos outros sensores que permitem inferir sobre determinados aspectos da radiação solar como por exemplo o sensor de radiação PAR e a termopilha. Normalmente

estes sensores, dada a sua especificidade e custo, têm a sua aplicação restrita a estudos de investigação.

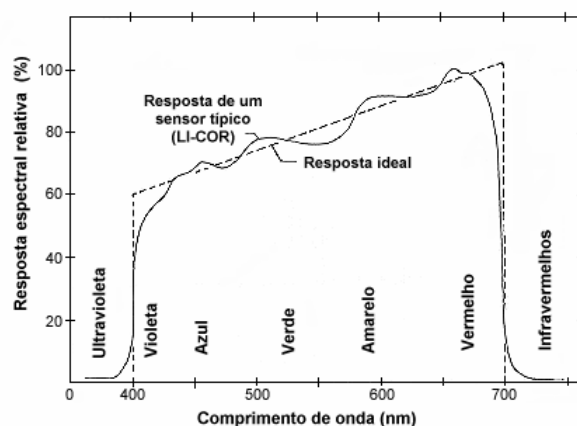


Figura 3.15 - Espectro de radiação PAR ^[34].

O sensor PAR fornece uma saída que é função da radiação compreendida entre os 400 e os 700nm. A luz nesta gama de comprimentos de onda é usada pelas plantas para a fotossíntese. Radiação abaixo dos 400nm não é normalmente usada na fotossíntese e acima dos 700nm não tem energia suficiente para o processo. A saída deste tipo de sensor é normalmente calibrada em $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{seg}$. Este tipo de sensor apresenta uma resposta plana na gama de comprimentos de onda desde os 400 aos 700nm, figura 3.15. O seu princípio de funcionamento baseia-se num fotodíodo ao qual é aplicado um filtro adequado. As suas principais aplicações são basicamente estudos que envolvam a comparação da eficiência fotossintética face a fontes de luz com diferentes comprimentos de onda e o projecto de iluminação de estufas e câmaras ambientais.

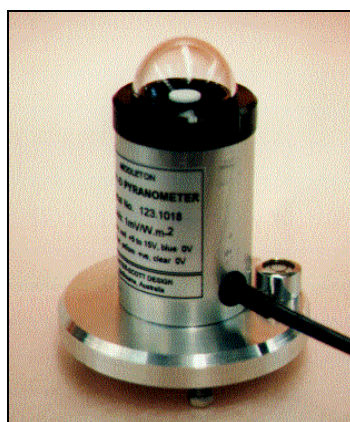


Figura 3.16 - Fotografia de um sensor PAR.

Um dos sensores que se baseia na termopilha é por exemplo o solarímetro que permite medir a radiação solar directa e difusa na faixa de comprimentos de onda de 0,3 a 3 μm . O seu princípio de funcionamento é baseado na tensão proveniente de uma série de termopares colocados em série que por sua vez estão localizados em superfícies de cobre pintadas alternadamente de branco e preto. Quando o sensor é exposto à radiação solar gera-se uma diferença de temperaturas entre as faixas brancas e pretas que é proporcional à intensidade desta. Por sua vez os termopares que integram este sensor traduzem esta diferença de temperatura numa tensão. A título exemplificativo, o sensor "*Star Pyranometer*" da *NovaLynx*^[30] apresenta as seguintes características principais: sensibilidade de $15\mu\text{V/W/m}^2$, elemento sensor de doze superfícies brancas e pretas dispostas alternada e radialmente contendo cada uma 6 termopares de *chromel-constantan* e linearidade de $\pm 1\%$ entre 80 e 1340 W/m^2 .



Figura 3.17 - Fotografia de um solarímetro.

3.3 – Sensores de humidade

A humidade, ou mais concretamente, a humidade relativa do ar é um dos factores climáticos relevantes que deverá ser monitorado e controlado dado que afecta a taxa de transpiração das plantas e os seus mecanismos de controlo térmico. Humidades relativas baixas provocam a desidratação das plantas e as elevadas promovem o aparecimento de doenças por fungos ou mesmo apodrecimento.

Nas secções seguintes referem-se alguns dos métodos empregues para monitorar este parâmetro assim como para a humidade do solo.

3.3.1 - Sensores de humidade relativa

A humidade relativa percentual (%RH) é o método mais utilizado para expressar o conteúdo de vapor de água do ar. É definido como sendo a razão entre a pressão atmosférica ambiente, e_a , e a pressão do ar saturado existente sobre uma superfície plana de água à mesma temperatura, e_s , multiplicada por 100:

$$\%RH = \frac{e_a}{e_s} \times 100$$

Os sensores de humidade relativa mais utilizados em aplicações agrícolas são o capacitivo e o psícrmetro de termómetro seco e molhado. De seguida faz-se uma breve referência a cada um.

3.3.1.1 – Sensor capacitivo

Este tipo de sensores consiste em condensadores formados por um filme polimerizado higroscópico com eléctrodos metalizados depositados nas suas faces. Existe ainda um polímetro envolvente cuja finalidade é a de dotar o sensor de protecção mecânica. Em funcionamento normal, o vapor de água presente no dieléctrico estará em equilíbrio com o do ar que o cerca e portanto, a impedância eléctrica do condensador constituirá uma indicação da humidade do ar.

Os sensores do tipo capacitivo, como por exemplo os sensores **RHS** e **MiniCap2** da *Panametrics Inc*, apresentam uma variação quase linear da sua capacidade numa gama de 5 a 95% RH, mantendo-se operacionais mesmo em condições de condensação. A figura 3.18 representa a construção deste tipo de sensor.

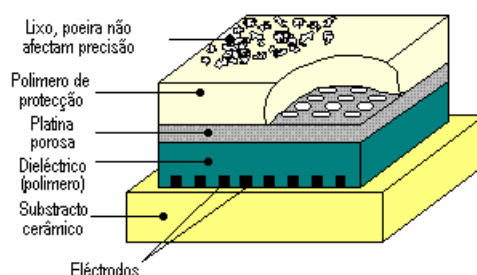


Figura 3.18 - Construção de um sensor capacitivo.

O sensor RHS apresenta uma capacidade nominal de 500pF a 75% RH, um desvio a 0% RH de 370pF e uma sensibilidade de aproximadamente 1.7pF/%RH.

A capacidade deste tipo de sensor pode ser convertida num sinal eléctrico mediante a utilização com princípios de funcionamento diversos. Pode, por exemplo, utilizar-se conversores capacidade-tensão recorrendo-se a técnicas de condensadores comutados que poderão ainda incluir a subtracção da capacidade de desvio.

Recentemente foi disponibilizado comercialmente o sensor **HybridCap** da *Panametrics Inc.* que combina o sensor MiniCap2 com um circuito híbrido baseado num temporizador disponível num encapsulamento TO-18. Este sensor fornece um sinal em frequência que é integrado por um filtro RC incorporado, originando uma saída em tensão que varia linearmente com a humidade relativa.

3.3.1.2 – Psicrómetro

O psicrómetro, vulgarmente conhecido pelo método do termómetro seco e molhado, exige a leitura de dois sensores de temperatura proximamente localizados por onde se faz circular o ar a cerca de 4m/s, figura 3.19. Um dos sensores é utilizado para a medida da temperatura do ar (designado por termómetro seco) estando o outro embebido em algodão humedecido (designado por termómetro molhado).

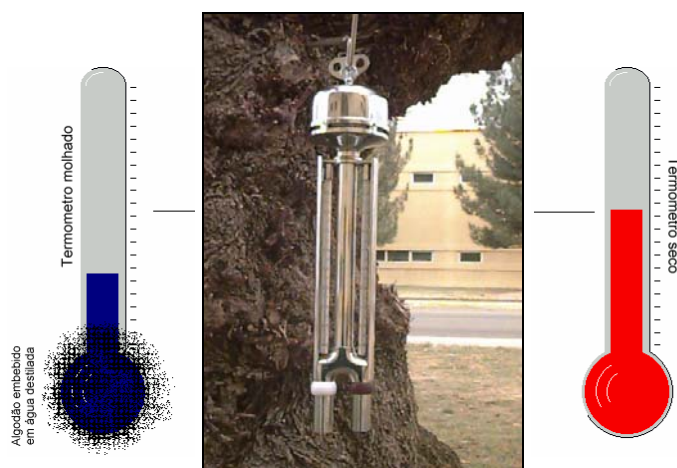


Figura 3.19 - Fotografia de um psicrómetro.

O valor da humidade do ar pode ser obtido da diferença entre estas duas temperaturas, recorrendo-se a tabelas existentes para o efeito. Este método é bastante preciso mas

apresenta como desvantagens a necessidade de ter de se verificar, periodicamente, o conteúdo do reservatório de água que mantém o algodão humedecido. Por outro lado, este método exige que o ar seja forçado a passar nos dois termómetros com uma velocidade de pelo menos 4m/s.

3.3.2 - Sensores de humidade do solo

A humidade do solo, ou seja o conteúdo de água no solo, é um parâmetro que fornece indicações sobre a quantidade de água disponível para que a planta seja capaz de regular a sua temperatura. Geralmente, as plantações estão sujeitas a um programa preestabelecido de rega, pelo que em muitos casos a sua monitorização não é realizada.

Os métodos de medida são influenciados por inúmeros factores, nomeadamente, textura, porosidade, consistência, permeabilidade e condutividade iónica alterada pela presença de fertilizantes, pelo que é necessário efectuar-se a calibração dos sensores para o solo em questão.

Os sensores que mais se utilizam para a medida deste parâmetro em aplicações agrícolas são o tensiómetro e o bloco de gesso. Nas secções seguintes faz-se uma abordagem sumária destes sensores.

3.3.2.1 – Tensiómetro

É constituído essencialmente por um tubo de vidro, um bolbo de cerâmica porosa e uma tampa na qual existe um sensor de pressão. O tubo é cheio de água até um determinado nível e o conjunto é enterrado no solo onde se pretende efectuar a medida. A figura 3.20 ilustra um tensiómetro.

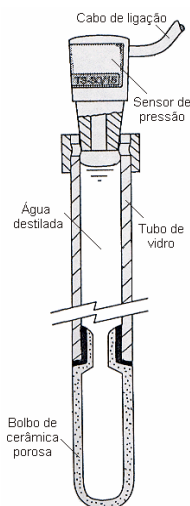


Figura 3.20 - Ilustração de um tensiómetro.

O método de medida baseia-se num estado de equilíbrio entre o conteúdo de água do solo e a pressão existente no interior do tubo. Colocando o bolbo de cerâmica cheio de água em contacto com solo não saturado, há passagem de água do bolbo para o solo, diminuindo assim a pressão na extremidade superior do tubo. Quando o solo tem um teor de humidade elevado, a altura do nível de água no interior do tubo sobe, aumentando a pressão no interior deste. Um sensor de pressão na tampa do tubo serve para medir as diferenças de pressão dando informações relativas ao poder de sucção do solo. Esta medida só poderá ser traduzida em termos de conteúdo de água do solo se forem exactamente conhecidas as características do solo em questão.

3.3.2.2 – Bloco de gesso

Este método consiste em dois eléctrodos de metal que são embebidos num pequeno bloco de gesso, sendo o conjunto colocado no solo à profundidade desejada, figura 3.21. As ligações dos eléctrodos são trazidas até à superfície onde são conectadas a circuitos de condicionamento de sinal. A resistência eléctrica deste corpo poroso, colocado no solo e em equilíbrio com a humidade pode ser calibrado em relação ao teor de água do solo, uma vez que a sua resistência é afectada pelo conteúdo de água.

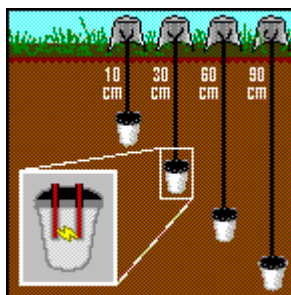


Figura 3.21 – Ilustração da aplicação de blocos de gesso.

A grande desvantagem deste método é a influência da concentração de sais minerais (por exemplo, fertilizantes) no solo. Os blocos de gesso tendem também a dissolver-se ao longo do tempo, pelo que existe a necessidade da sua renovação periódica. Convém no entanto notar que existem blocos de gesso com uma duração útil de três anos. Uma outra desvantagem prende-se com o facto de ser necessário efectuar a sua calibração para o tipo de solo em que vai ser inserido.

3.4 – Outros sensores

Para além dos sensores referidos poderão ser utilizados outros dependendo das necessidades específicas de cada cultura ou da aplicação particular. A título exemplificativo, podem ser utilizados sensores de velocidade do vento, medidores de precipitação, sensores de pH (nas culturas hidropónicas),etc.

Para a monitorização da velocidade do vento o sensor mais utilizado é o anemómetro. Este tipo de sensor consiste num eixo vertical no qual é montado um sistema de três pás que rodam em função da velocidade do vento (figura 3.22).



Figura 3.22 – Fotografia de um anemómetro.

As características típicas para este tipo de sensor são (AN2 da *Delta-T Devices*): gama de medida de 0.15 m/s a 75m/s, saída em frequência com um factor de escala de 10Hz por m/s $\pm 2\%$, não linearidade de 0.7%, precisão de 1% na gama de 10 a 55m/s e consumo de 400 μ A.

Outro tipo de sensor é o medidor de precipitação, vulgarmente designado por '*Rain Gauge*'. Este dispositivo funciona recolhendo a precipitação num funil, denominado de colector. A água é então encaminhada para um dispositivo mecânico do tipo báscula. Esta báscula funciona como um baloiço com um recipiente em cada extremidade. O recipiente que está mais alto encontra-se posicionado imediatamente abaixo da extremidade do funil, recolhendo a água. Quando se encontra cheio, normalmente 0.2mm de água, o peso da água faz com que a báscula inverta a sua posição, esvaziando o recipiente e pondo o outro recipiente por baixo do funil. Durante este processo, um íman acciona um sensor do tipo '*reed*' e assinala que foi acumulada 0.2mm de água. A saída é então um trem de impulsos e a sua contagem permite determinar a quantidade de precipitação em mm/minuto ou mm/hora. No tipo de aplicação em causa, este tipo de medida não é muitas vezes utilizado. Ao invés, é utilizada uma grelha realizada num circuito impresso que permite determinar, por condutividade, a ocorrência de precipitação. Colocando o circuito impresso ligeiramente inclinado, a água escorre e, enquanto chover, a resistência entre contactos é relativamente baixa. Deixando de chover e após o tempo de secagem, a resistência entre contactos aumenta significativamente. A figura 3.23 ilustra um '*Rain Gauge*' utilizado no complexo de estufas da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.



Figura 3.23 – Fotografia de um '*Rain Gauge*'.

3.5 – Caracterização dos sensores adoptados

Dos vários sensores apresentados anteriormente, foram escolhidos os sensores julgados mais apropriados para a monitorização das grandezas ambientais mais relevantes a serem instalados em estufas agrícolas, como seja a temperatura, solo e ar, humidade relativa e radiação solar. Tendo em conta critérios de escolha como custo, consumo, simplicidade, tipo de saída e fiabilidade, os sensores escolhidos foram os seguintes: LM35 e LM60B (*National Semiconductor*) para a temperatura, TSL230 (*Texas Instruments*) para a radiação solar e o *HybridCap* (*Panametrics*) para a humidade relativa. Estes sensores são descritos a seguir e as respectivas características eléctricas encontram-se no anexo A.

3.5.1 – Os sensores de temperatura LM35 e LM60

O sensor LM35 é um sensor de temperatura integrado de precisão, cuja tensão de saída é proporcional à temperatura na escala Celsius. Este sensor não requer nenhuma calibração ou ajuste externo para fornecer precisões típicas de $\pm 0.25^{\circ}\text{C}$ à temperatura ambiente e $\pm 0.75^{\circ}\text{C}$ em toda a gama de medida (-55°C a $+150^{\circ}\text{C}$). O seu baixo custo é assegurado por calibração ao nível do silício. As suas principais características são:

- Parâmetro de saída : Tensão;
- Calibrado directamente em $^{\circ}\text{C}$;
- Linear, com factor de escala de $+10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$;
- Precisão garantida de 0.5°C (a $+25^{\circ}\text{C}$);
- Gama de -55°C a $+150^{\circ}\text{C}$;
- Baixo custo;
- Tensão de alimentação de 4 a 30V;
- Consumo inferior a $60\mu\text{A}$;
- Baixo coeficiente de auto-aquecimento, 0.08°C ;
- Não-linearidade típica de $\pm 1/4^{\circ}\text{C}$;
- Baixa impedância de saída, 0.1Ω para uma carga de 1mA ;
- Tempo de estabilização após alimentação de $20\mu\text{s}$;
- Encapsulamento TO-92, TO-46, SO-8 e TO-202.

Os encapsulamentos mais usuais para este sensor estão representados na figura 3.24.

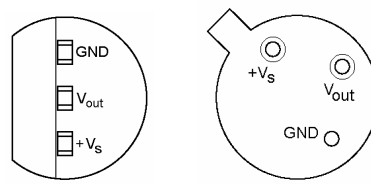


Figura 3.24 – Encapsulamentos TO-92 e TO-46 do LM35 (vista inferior).

Na figura 3.25 apresenta-se o esquema normal de ligação do LM35.

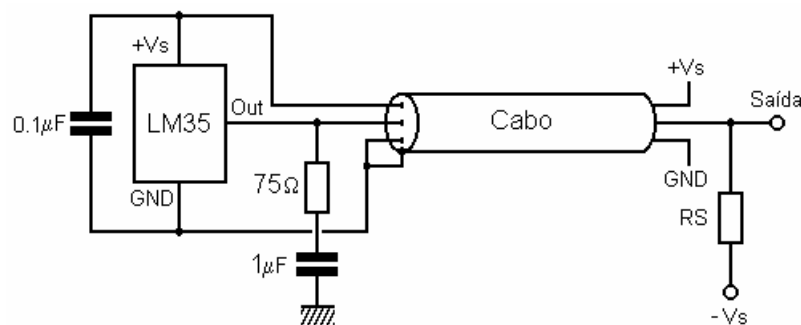


Figura 3.25 – Diagrama de ligação do LM35.

Neste diagrama, R_S permite a leitura de temperaturas negativas e o seu valor é indicado pelo fabricante como sendo o valor da alimentação a dividir por $50\mu A$. Para uma alimentação de 5V, o seu valor é de $100k\Omega$. A tensão de saída é dada por $(+10mV/^{\circ}C) \times T^{\circ}C$. Como o sinal de saída é em tensão, o filtro RC série composto pela resistência de 75Ω e pelo condensador de $1\mu F$, minimiza eventuais interferências que possam ocorrer.

O sensor LM60B é um sensor de temperatura integrado, cuja tensão de saída é linearmente proporcional à temperatura na escala Celsius numa gama de $-40^{\circ}C$ a $+125^{\circ}C$. O seu factor de escala é de $+6.25mV/^{\circ}C$ com um deslocamento DC de $+424mV$ permitindo leituras de temperaturas negativas sem recorrer a uma alimentação negativa. A saída do LM60B varia entre $+174mV$ e $+1205mV$ para uma gama de -40 a $+125^{\circ}C$. O LM60 é calibrado de fabrica para fornecer precisões típicas de $\pm 2^{\circ}C$ à temperatura ambiente e $\pm 3^{\circ}C$ na gama de medida de $(-25^{\circ}C$ a $+125^{\circ}C)$. As características mais relevantes deste sensor são as seguintes:

- Parâmetro de saída : Tensão;
- Calibrado directamente em $^{\circ}C$;
- Linear, com factor de escala de $+6.25mV/^{\circ}C$ com deslocamento de $+424mV$;
- Precisão garantida de $\pm 2^{\circ}C$ (a $+25^{\circ}C$) e de $\pm 3^{\circ}C$ na gama de $-25^{\circ}C$ a $+125^{\circ}C$;
- Baixo custo;
- Tensão de alimentação de $+2.7$ a $10V$;
- Consumo inferior a $110\mu A$;

- Baixo coeficiente de auto-aquecimento, 0.1°C ;
- Não-linearidade máxima de $\pm 0.8^{\circ}\text{C}$;
- Impedância de saída de 800Ω ;
- Tempo de estabilização após alimentação de $5\mu\text{s}$.
- Encapsulamento SOT-23.

Na figura 3.26 apresenta-se o esquema normal de ligação do LM60B.

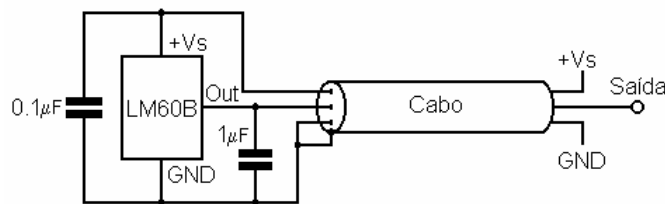


Figura 3.26 – Diagrama de ligação do LM60B.

A tensão de saída do LM60B é dado por $(+6.25\text{mV}/^{\circ}\text{C} \times T^{\circ}\text{C}) + 424\text{mV}$. O condensador de $1\mu\text{F}$ juntamente com a impedância de saída do sensor, cerca de 800Ω , constitui um filtro RC minimizando interferências num ambiente ruidoso. No sensor LM60B, o caminho dominante da temperatura é através dos terminais de ligação. Por forma a assegurar um bom contacto térmico, a face de contacto está directamente ao terminal de massa. Assim, este sensor deve ser colocado num circuito impresso cujas pistas de ligação aos seus terminais facilitem o caminho térmico. Este procedimento minimiza erros na ordem dos 0.1°C entre a temperatura que o sensor mede e a temperatura ambiente. O circuito impresso sugerido na montagem está ilustrado na figura seguinte ^[24].

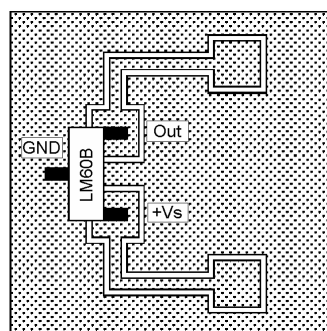


Figura 3.27 – Circuito impresso sugerido para o LM60B.

3.5.2 – O sensor de radiação solar TSL230

O **TSL230** é um conversor luz-frequência que combina uma matriz de fotodíodos programável e um conversor corrente-frequência (usando técnicas de medição de carga por condensadores comutados) num único circuito integrado CMOS. É actualmente o único dispositivo do seu género que oferece conversão directa de alta resolução de radiação visível e pequena parte de infravermelhos para um formato digital.

A saída pode ser um trem de impulsos ou uma onda quadrada (ciclo de trabalho de 50%) com uma frequência directamente proporcional à intensidade de radiação incidente na área efectiva da matriz de fotodíodos. A sensibilidade pode ser seleccionada em três gamas (x1, x10 e x100) alterando a área efectiva dos fotodíodos. A saída em frequência pode também ser escalonada em uma de 4 possibilidades. Todas as entradas e saídas são TTL compatíveis e dispõe ainda de uma entrada de habilitação que coloca a saída em alta impedância. O diagrama de blocos funcional está ilustrado na figura seguinte.

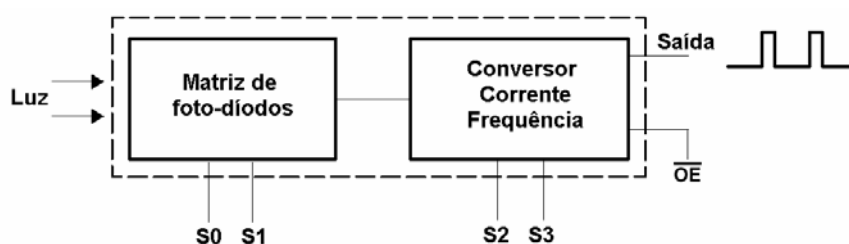


Figura 3.28 – Diagrama de blocos funcional do TSL230.

As suas principais características são:

- Alta resolução na conversão de intensidade luminosa para frequência;
- Sensibilidade e frequência de saída programável em tempo real;
- Comunicação directa com um microcontrolador;
- Alimentação unipolar desde 2.7 V, com modo de baixo consumo;
- Tolerância absoluta na frequência de saída de $\pm 5\%$;
- Erro de não linearidade típico de 0.2 % @ 100 kHz;
- Coeficiente de temperatura estável de 100 ppm/°C;
- Baixo consumo (2mA em operação, 10µA em modo *PowerDown*);
- Baixo custo;
- Frequência de saída máxima de 1.1 MHz;
- Encapsulamento DIP8 transparente;

O encapsulamento deste sensor está ilustrado na figura 3.29 e a função dos seus pinos é descrita na tabela 3.12.

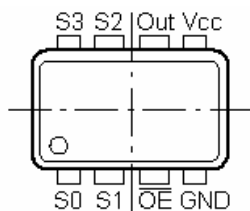


Figura 3.29 – Encapsulamento DIP8 transparente do TSL230.

Tabela 3.12 – Descrição dos pinos do TSL230.

<i>Nome</i>	<i>Pino</i>	<i>I/O</i>	<i>Descrição</i>
GND	4		Massa
OE	3	I	Habilitação da saída f_{out} (activo baixo)
OUT	6	O	Saída de frequência f_{out} escalonada
S_0, S_1	1,2	I	Entradas de selecção de sensibilidade
S_2, S_3	7,8	I	Entradas de escalonamento de f_{out}
V_{DD}	5		Tensão de alimentação

A sensibilidade do **TSL230** é programada através dos níveis lógicos dos pinos de entrada **S₀** e **S₁**. O escalonamento da frequência de saída é feito através dos níveis lógicos das entradas **S₂** e **S₃**. As opções disponíveis são: trem de impulsos constante e sem divisão, ou onda quadrada com divisão de frequência estabelecida por **S₂** e **S₃**. A combinação dos níveis lógicos nestas entradas bem como o seu efeito sobre o sinal de saída é apresentada na tabela seguinte.

Tabela 3.13 – Combinação das entradas **S₀**, **S₁**, **S₂** e **S₃** do TSL230.

S_1	S_0	<i>Sensibilidade</i>	S_3	S_2	<i>Escalonamento de f_{out} (dividir por)</i>
L	L	<i>Power Down</i>	L	L	1 (Trem de impulsos)
L	H	1 x	L	H	2
H	L	10 x	H	L	10
H	H	100 x	H	H	100

As curvas características deste sensor estão ilustradas na figura 3.30.

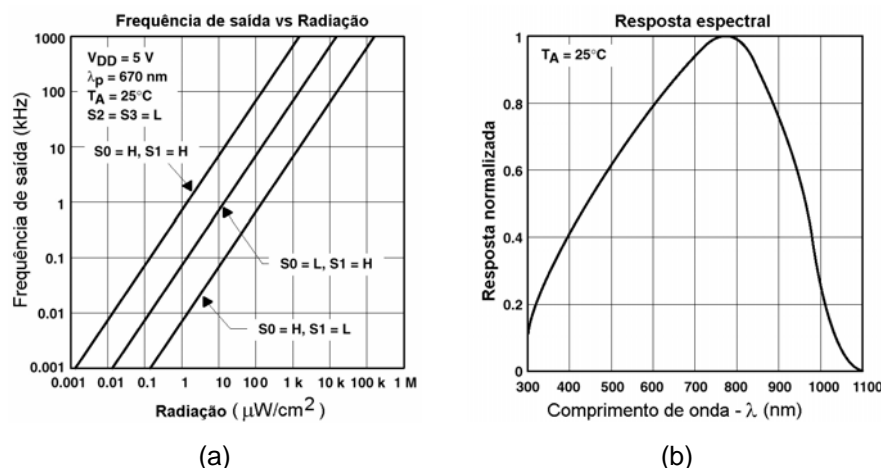


Figura 3.30 – Curvas características do TSL230.

A medida da radiação solar pode ser realizada de duas formas: Medida de frequência ou medida do período. A técnica de medida de frequência consiste em contar o número de impulsos por unidade de tempo e é utilizada para monitorar níveis de luminosidade constantes ou que variam lentamente no tempo. A resolução da medida, assim como a precisão do resultado, está principalmente limitada pela largura do contador e pelo tempo despendido para a leitura. Esta técnica tem ainda a vantagem de minimizar variações de alta frequência ('jitter') resultante de ruído presente no sinal luminoso. A técnica de medida de período é usada para medir níveis luminosos de variação rápida ou efectuar medidas rápidas níveis constantes.

Um outro aspecto importante é o ângulo de incidência da radiação solar no sensor. O sensor deve ser montado na horizontal e deverá ter uma lente de correcção do coseno do ângulo de incidência.

3.5.3 – O sensor de humidade relativa *HybridCap*

O sensor HybridCap da *Panametrics* combina um sensor MiniCap2 com um circuito híbrido baseado num temporizador 555 num único encapsulamento TO-8, figura 3.31. O sensor MiniCap2 é um sensor capacitivo de filme fino polimerizado. O hybridCap é um dispositivo robusto que não é afectado pela condensação e pela maior parte de vapores reagentes. O fabricante anuncia que tem uma excelente estabilidade a longo prazo e que tem uma resposta linear na gama de 0 a 100%/RH com uma precisão de 2%. O circuito fornece uma saída DC directamente proporcional a 1.2mV/%RH.

Este circuito híbrido fornece uma tensão de saída directamente proporcional à humidade relativa, com um factor de escala de aproximadamente $1.75\text{mV}/\%RH$, resultando numa excursão de 175mV para toda a gama. Além disso, o sinal contém uma componente DC de 1870mV .

Características principais:

- Saída linear (factor de escala de $+1.75\text{mV}/\%RH$);
- Linearidade típica de $\pm 1\%RH$;
- Gama de temperatura de operação : -20°C a $+60^{\circ}\text{C}$;
- Tensão de alimentação de 5 a 24V ;
- Componente DC de 1870mV .

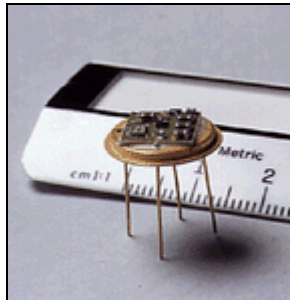


Figura 3.31 – Fotografia do sensor *HybridCap*.

Capítulo 4

Arquitectura sensorial e de controlo

Como já foi referido o controlo ambiental de estufas requer a monitoração e o controlo de diversas grandezas físicas. Em alguns casos esta tarefa pode exigir a utilização de centenas de sensores e dezenas de actuadores. Assim, é necessário utilizarem-se sistemas de aquisição de dados e controlo capazes de lidar, de um modo eficaz, com uma grande quantidade de informação por forma a gerar as acções de controlo adequadas. É de referir que o objectivo deste trabalho consiste no desenvolvimento e implementação de uma estação de recolha de dados de baixo custo e da respectiva interface de comunicações com uma estação central. Contudo, dadas as características do tipo de aplicações a que se destina, este trabalho irá ser integrado numa rede global de aquisição e controlo, que constitui um dos objectivos do projecto "*Gestão Computorizada de Estufas*" financiado pela JNICT, sendo neste capítulo apresentada uma possível solução.

Na secção 4.1 são então abordadas as necessidades do processo agrícola em termos de facilidade de operação, capacidade de processar grandes quantidades de informação e custo do sistema. Na secção seguinte apresenta-se uma possível topologia para a rede global tendo em conta os requisitos mencionados bem como o da futura implementação no complexo de estufas da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Na secção 4.3 focam-se alguns aspectos relativos ao meio físico que podem ser utilizados para a comunicação de dados entre as entidades pertencentes à rede global. Finalmente, na secção 4.4 referem-se os requisitos a que a unidade de aquisição de dados deve obedecer.

4.1 – Requisitos do processo agrícola

Na gestão computorizada de processos agrícolas dois dos requisitos essenciais são sem dúvida a facilidade de operação e o baixo custo da solução a implementar. De facto, os sistemas de automação existentes para este tipo de aplicação apresentam normalmente um custo elevado e a sua facilidade de operação é normalmente condicionada pelo reduzido grau de mobilidade do sistema.

Outro aspecto a ter em conta prende-se com o acesso, por parte do operador/utilizador, ao estado do processo. É vantajoso que a leitura das variáveis físicas por parte do utilizador possa ser feita de um local remoto tornando assim desnecessárias as deslocações deste, sempre que não haja necessidade da sua intervenção directa como nos casos de ocorrência de avarias, disparo de disjuntores, etc.

O acesso remoto é feito utilizando um computador central ao qual cabem as funções de supervisão e gestão do sistema por forma a que o utilizador se possa inteirar sobre o comportamento de todos os processos agrícolas geridos. Para que este sistema seja viável do ponto de vista informático é necessário que opere de um modo distribuído e hierárquico, ou seja, deverá delegar responsabilidades em outras entidades dele dependentes. Isto deve-se em parte ao elevado número de tarefas distintas e repetitivas necessárias ao bom desempenho de todo o sistema de aquisição e controlo das grandezas ambientais. A título exemplificativo, pode-se referir que é frequente existirem várias estufas que exigem estratégias de controlo distintas bem como a necessidade de monitorar variáveis distintas.

Pelos motivos apresentados é conveniente que o computador central não tenha função de aquisição de dados sendo esta uma das funções que deve ser delegada. É então necessário existirem estações hierarquicamente abaixo da estação central que coordenem cada um dos processos individuais. Este tipo de estação deverá então gerir a monitorização das grandezas ambientais, fazer o seu armazenamento temporário e executar as estratégias de controlo locais. Por sua vez, esta estação deverá delegar em outras a tarefa de aquisição.

A figura 4.1 ilustra este conceito de distribuição de tarefas.

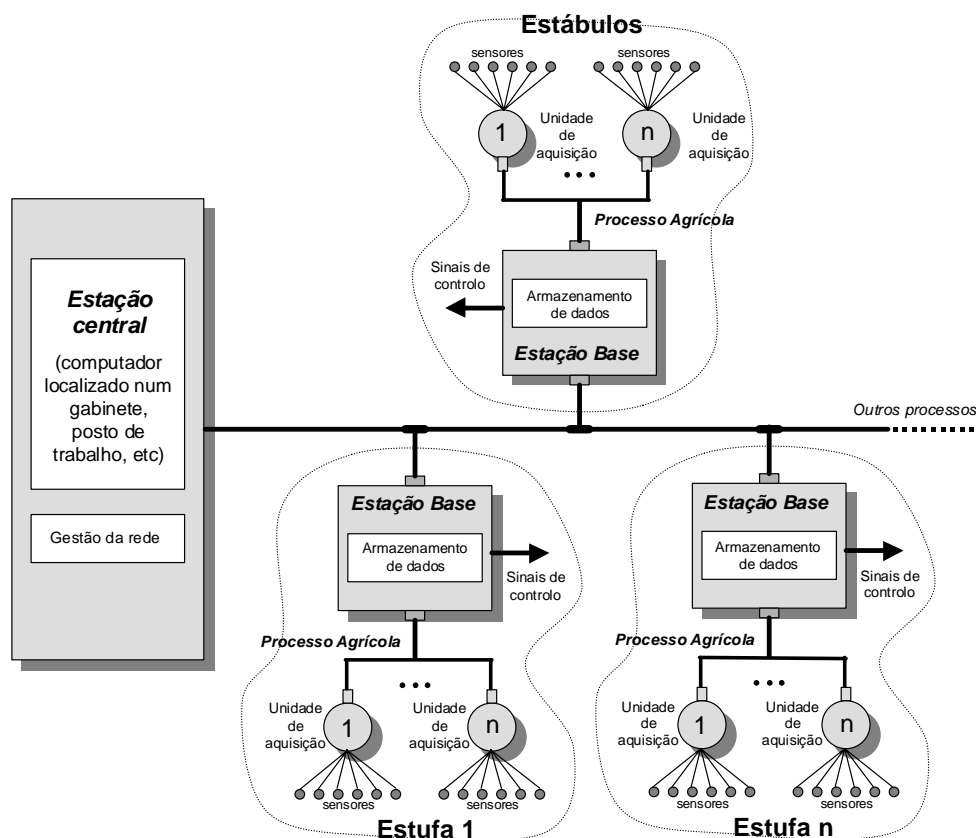


Figura 4.1 - Arquitectura distribuída de um sistema de aquisição de dados e controlo.

Esta estrutura hierárquica permite que cada elemento da rede possa ser dotado da autonomia suficiente para executar as tarefas individuais de cada processo. Assim, as tarefas de armazenamento, actuação e gestão das unidades que realizam a aquisição de dados são atribuídas às estações base, responsáveis pelo controlo de um determinado processo. No caso da ocorrência de qualquer anomalia na estação central, a autonomia de cada estação permite que o processo não seja interrompido.

A estação central é então responsável pelo envio de configurações específicas a cada estação base e pela leitura de todos os dados aí armazenados. Dentro das configurações estão incluídos diversos parâmetros como sejam a taxa de amostragem de cada unidade de aquisição, estratégias de controlo a aplicar bem como os seus parâmetros, entre outros.

Por sua vez a estação base gere um conjunto de unidades de aquisição. Estas unidades funcionam sempre segundo ordens da estação base e apenas respondem a comandos enviados por estas. Existe também a facilidade de leitura de dados das unidades de aquisição a partir da estação central, sendo o pedido encaminhado pela estação base.

4.2 – Comunicação de dados

A comunicação entre estação central e estações base e entre estas e as unidades de aquisição que lhes estão associadas pode ser estabelecida de diversas formas. Para o efeito, a comunicação pode ser baseada em *standards* existentes, como por exemplo o FieldBus, CAN, etc, podendo por sua vez utilizarem-se variados meios físicos para a transmissão como sejam ligações rádio-frequência, cabo, entre outros.

O meio físico a escolher é de primordial importância pois determina o custo total do sistema, a flexibilidade e o seu desempenho. Dos meios físicos mais utilizados para este tipo de topologia destacam-se os cabos, a linha telefónica, transmissão por infravermelhos e por rádio-frequência. Em aplicações agrícolas há ainda a ter em conta os seguintes aspectos: existência ou não de infra-estruturas, distâncias envolvidas e topologia do terreno. A tabela 4.1 refere alguns aspectos comparativos entre os diversos meios de comunicação ^[1].

Tabela 4.1 – Comparação entre os vários métodos de telecomunicações.

<i>Pontos de Interesse</i>	<i>Rádio</i>	<i>Infravermelhos</i>	<i>Linha telefónica</i>	<i>Cabos</i>
Historial	Bem implantado	Recente	Bem implantado	Bem implantado
Custo	Elevado	Baixo	O mais baixo	O mais alto
Fiabilidade do Hardware	Elevado	Não suficiente	Elevado	Baixa
Licença de operação	Necessário	Não necessário	Não necessário	Não necessário
Interferência rádio	Afectado em zonas urbanas	Não afectado	Afectado por ruído/crosstalk	Afectado
Interferências Atmosféricas (chuva, poeira, nevoeiro)	Nenhuma	Altamente Afectado	Nenhuma	Pouco
Alinhamento	Não crítico	Crítico	Nenhum	Nenhum
Distância	Elevada > 5km	Limitado < 1km	Elevado > 50km	Limitado < 1km
Integração com condicionamento de sinal, multiplexagem, μP	Possível	Possível	Não possível	Não possível
Custo de Manutenção	Baixo	Baixo	Alto	Alto
Controlo na mesma ligação	Possível	Possível	Possível	Não possível

4.3 – Topologia da rede proposta

A rede apresentada anteriormente irá ser implementada no *campus* da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro e a sua distribuição física far-se-á de acordo com o esquema das figuras 4.2 e 4.3.

Nesta configuração é utilizada uma estação central, responsável pela gestão de toda a rede, instalada no laboratório de instrumentação e controlo do edifício das engenharias. Quatro estações base, duas instaladas no complexo de estufas, uma nos estábulos e outra no campo aberto de ensaios agrícolas, comunicam por rádio-frequência com a estação anterior. Por sua vez, a cada estação base estará ligada um conjunto de unidades de aquisição de dados. Esta rede irá permitir a leitura e armazenamento de informação relativa a grandezas ambientais, bem como o controlo de algumas delas. A estação base colocada no campo de ensaios agrícolas irá recolher informação relativa às temperaturas do ar e solo, humidade do ar e do solo, velocidade e direcção do vento, precipitação e radiação solar.

A informação recolhida nos estábulos terá a ver com as concentrações de CO₂ e outros gases no ar, temperatura e humidade do ar, fluxo de ar e parâmetros fisiológicos dos animais.

No complexo de estufas irão ser medidas as grandezas ambientais anteriormente referidas. Nesta área uma das unidades de aquisição fornecerá informações relativas ao clima exterior (estação meteorológica).

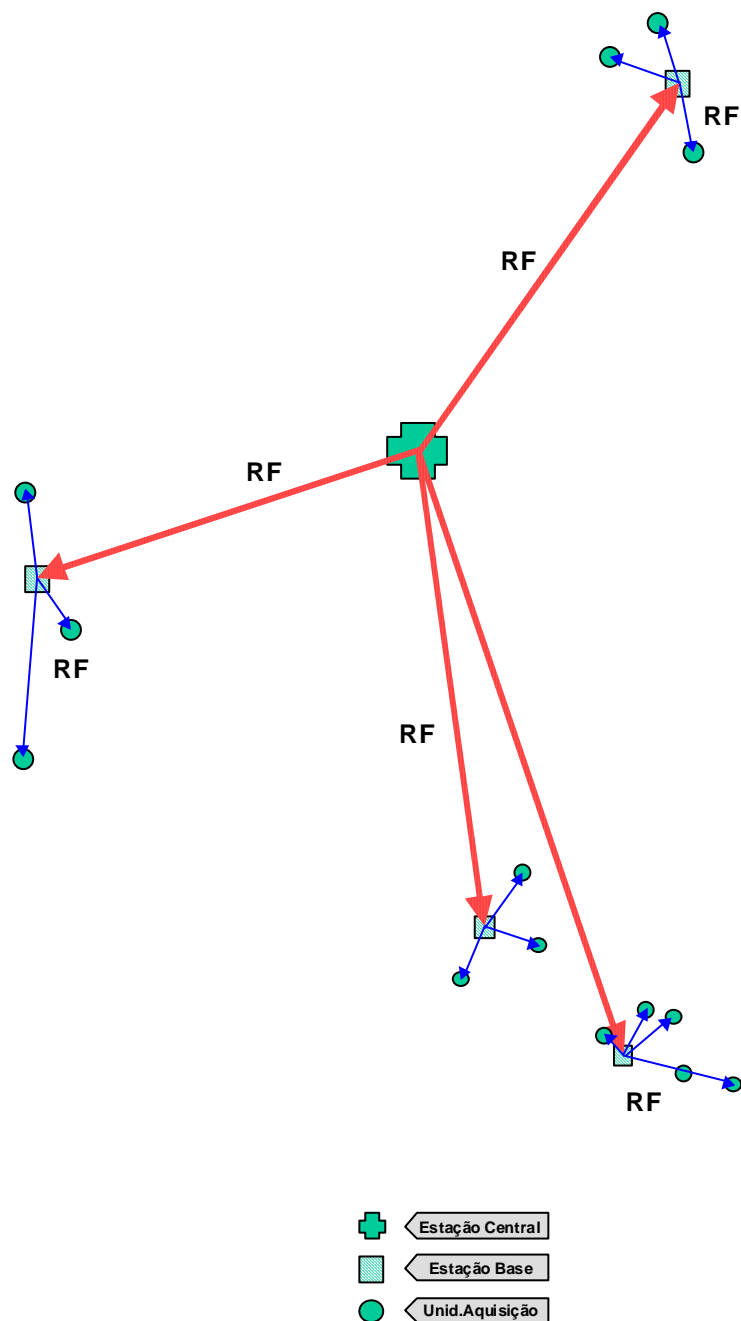


Figura 4.2 – Diagrama de implantação da rede global.

Figura 4.3 – Planta do *campus* da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

4.4 – A unidade de aquisição de dados

Para o projecto da unidade de aquisição referida na secção anterior, há a ter em consideração a especificidade do processo agrícola a que se destina. Assim, consideram-se importantes os seguintes aspectos:

- O sistema deve ser flexível,
- De operação simples,
- Deve ser autónomo,
- Não deve usar fios nas comunicações com o exterior,
- Deve permitir a ligação em rede com outras unidades,
- Deve ser portátil.

Por flexível entende-se que tal sistema deve permitir alguma variedade de configurações no que se refere aos tipos de sensores a utilizar e tipo de alimentação empregue. Ser de operação simples significa neste contexto que o sistema deve ser de fácil ligação, não exigindo do agricultor conhecimentos técnicos para a sua ligação. Uma exemplificação do modo de ligação deve ser suficiente para que o agricultor possa repor o sistema em funcionamento se houver necessidade de retirá-lo para proceder a qualquer trabalho agrícola. Quando se diz que a unidade de aquisição deve ser autónoma, pretende-se que esta seja dotada de alimentação própria, sem recorrer a alimentação pela rede eléctrica.

No que se refere à comunicação entre a unidade de aquisição e o exterior é conveniente que seja feita sem fios, por forma a facilitar os trabalhos agrícolas. Quanto à portabilidade, esta é essencial quando se pretende que o sistema possa ser facilmente mudado de local de operação. Esta tarefa deverá ainda ser facilitada por forma a que qualquer operador a possa realizar.

No capítulo seguinte apresenta-se uma solução que pretende satisfazer os requisitos acima referidos.

Capítulo 5

A Estaca Multisensorial

Neste capítulo descreve-se a unidade de aquisição desenvolvida, onde se pretendeu satisfazer os requisitos referidos na secção 4.4. Esta unidade é designada neste trabalho por estaca multisensorial.

A solução proposta consiste em encapsular num candeeiro solar para iluminação de jardins toda a electrónica necessária para satisfazer os requisitos mencionados. Este conjunto tem como funções a aquisição de dados e a sua transmissão, por rádio-frequência, para um outro tipo de estação que coordena todo o processo. Nas figuras 5.1 e 5.2 apresentam-se a fotografia e o diagrama funcional da estaca multisensorial.



Figura 5.1 – Fotografia da estaca multisensorial.

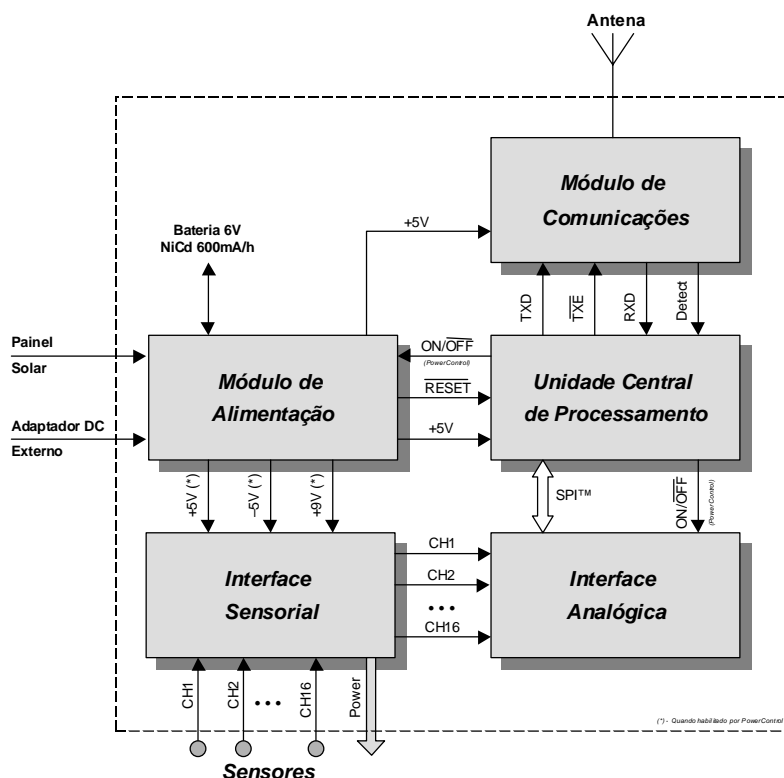


Figura 5.2 – Diagrama funcional da estaca multisensorial.

A estaca é constituída pelos seguintes módulos:

- Unidade central de processamento,
- Módulo de alimentação,
- Módulo de comunicações,
- Interface analógica,
- Interface sensorial.

A unidade central de processamento é responsável pela gestão de todas as funções da estaca e pelo controlo dos restantes módulos. O módulo de alimentação é responsável pelo controlo de carga da bateria através do painel solar imbutido na estaca ou do adaptador DC externo existente para o efeito. O módulo de comunicações realiza a interface entre sinais digitais e sinais rádio. A interface analógica é responsável pela conversão dos sinais analógicos, provenientes dos sensores, em códigos digitais que representam as suas amostras. Finalmente, a interface sensorial consiste num barramento no qual se encontram fichas de encaixe para ligação dos sensores, assim como filtros RC passa-baixo para cada canal analógico.

Estes módulos são apresentados pormenorizadamente nas secções seguintes.

5.1 – Unidade central de processamento

A evolução dos microprocessadores tornou economicamente viável o armazenamento e processamento de informação permitindo a sua aplicação em sistemas de aquisição e controlo cada vez mais compactos, versáteis e fiáveis. Além do mais, juntamente com o microprocessador são incluídos um número cada vez mais maior de periféricos fazendo destas unidades poderosos microcontroladores embebidos.

Existem no mercado vários microcontroladores que em princípio poderão ser utilizados para este tipo de aplicação. Destes, destacam-se os microcontroladores MSC51 da *Intel*, os da série COP da *National Semiconductor*, os 68HC da *Motorola* e os PIC da *Microchip*, todos eles denominados de microcontroladores de 8-bit, devido à largura do seu barramento de dados. Todos estes dispositivos incluem na sua arquitectura vários periféricos de extrema utilidade como por exemplo um porto de comunicações série, funções dedicadas a mostradores de cristais líquidos e teclados.

Para a eleição de um deles teve-se em conta a flexibilidade apresentada por cada um, o seu custo, ferramentas de apoio e periféricos existentes, desempenho, facilidade de utilização e tempo de desenvolvimento do *software* de aplicação.

A escolha recaiu na família PIC (*'Peripheral Interface Controller'*) da *Microchip* por se tratarem de dispositivos de elevado desempenho, baixo custo e tamanho reduzido, oferecendo a melhor relação preço/desempenho do mercado. Além disso, as ferramentas disponíveis são de simples utilização reduzindo substancialmente o tempo de desenvolvimento.

Após o estudo feito das necessidades da estaca multisensorial em termos de entradas e saídas de que o microcontrolador deve dispor, escolheu-se o microcontrolador PIC16C84. As suas principais características, são as seguintes ^[32]:

- CPU de alto desempenho com arquitectura RISC;
- Tecnologia CMOS;
- Velocidade de relógio desde DC até 10MHz;
- Ciclo de instrução desde DC até 250ns;
- Todas as instruções são realizadas num ciclo, excepto as de salto (2 ciclos);
- Memória de programa EEPROM de 1kx14-bit;
- 36 registos de uso geral;
- 15 registos especiais de hardware;

- 64 bytes de memória EEPROM;
- *Stack* de 8 níveis;
- 4 entradas de interrupção;
- 13 pinos I/O com controlo individual de direcção;
- 1 temporizador/contador de 8-bit com prescaler programável de 8-bit;
- 'Watch-dog', 'Power-On Reset' e 'Power-Up Reset';
- Modo de operação de baixo consumo ('*SLEEP Mode*');
- Várias configurações de relógio disponíveis;
- Encapsulamento PDIP18 e SOIC18;
- Custo reduzido da versão OTP ('*One Time Programmable*').

O esquema da figura 5.3 ilustra o módulo central de processamento implementado. Este módulo é constituído pelo microcontrolador PIC16C84 (ICM₁) memória não volátil para armazenamento de dados (ICM₂), circuito de reset e circuito de relógio externo. Aos pinos de entrada/saída foram atribuídas as funções de controlo dos dispositivos periféricos da estaca que se encontram descritas na tabela 5.1.

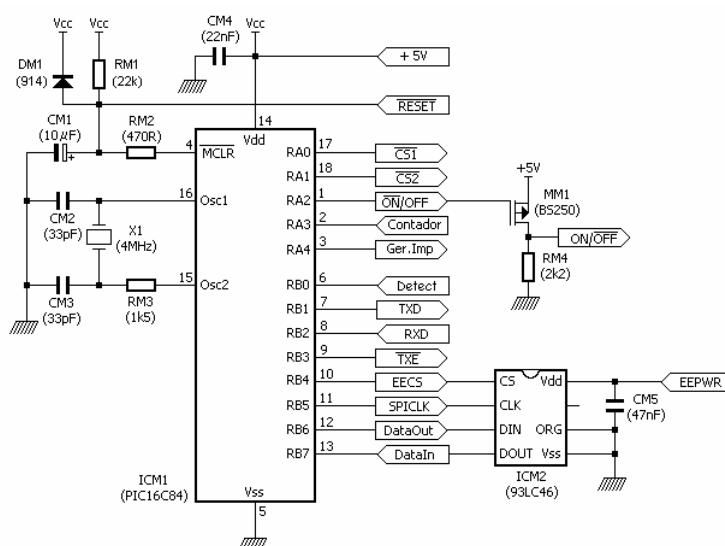


Figura 5.3 – Esquemático da unidade central de processamento.

O PIC16C84 pode ser operado em quatro modos diferentes de oscilador sendo estes seleccionados num registo próprio por ocasião da programação do dispositivo. Os modos disponíveis são os seguintes: LP ('*Low Power*'), XT ('*Standard Crystal*'), HS ('*High Speed Crystal*') e RC ('*Resistor/Capacitor*'). Quando no modo LP (baixo consumo), é usado um cristal com frequência máxima de 200kHz. O modo RC oferece uma solução de baixo custo visto só necessitar de uma resistência e um condensador. Esta solução pode ser usada quando não é necessária grande precisão de frequência de relógio. Os modos XT e HS diferem apenas na velocidade de operação, estando o modo XT limitado a frequências de

4MHz e o HS até 10MHz. O modo escolhido foi o XT por se considerar aquele que representa um bom compromisso entre a velocidade e o consumo. O circuito de relógio do microcontrolador é constituído pelos condensadores CM_2 e CM_3 , pelo cristal X_1 e pela resistência RM_3 .

O díodo DM_1 , as resistências RM_1 , RM_2 e o condensador CM_1 constituem o circuito de *reset* externo ao microcontrolador, garantindo esta situação mesmo nos casos de subida lenta da tensão de alimentação. O díodo DM_1 auxilia a descarga de CM_1 quando o sistema é desligado. RM_2 é um limitador da corrente proveniente de CM_1 . O valor de RM_1 foi escolhido de modo a que a queda aos seus terminais não seja superior a 0.2V (o valor máximo da corrente de fuga do pino \overline{MCLR} é de 5 μ A) tendo sido utilizado 22k Ω .

Tabela 5.1 – Descrição das funções atribuídas aos pinos entrada/saída.

<i>Função</i>	<i>Descrição</i>
$\overline{CS1}$	Habilitação do 1º conversor A/D (canais analógicos 1 a 8).
$\overline{CS2}$	Habilitação do 2º conversor A/D (canais analógicos 9 a 16).
\overline{ON}/OFF	Habilitação dos periféricos externos.
Contador	Entrada externa de sinais em frequência.
Ger.Imp	Saída de impulsos para o contador.
Detect	Interrupção gerada pelo módulo de comunicações.
TXD	Saída de dados série para o módulo de comunicações.
RXD	Entrada de dados série do módulo de comunicações.
\overline{TXE}	Habilitação do módulo de comunicações.
EECS	Habilitação da EEPROM externa.
SPICLK	Saída de relógio para periféricos SPI™.
<i>DataOut</i>	Saída de dados SPI™.
<i>DataIn</i>	Entrada de dados SPI™.

É na memória EEPROM externa, ICM_2 , que se faz o armazenamento dos dados para posterior transmissão. Embora o microcontrolador disponha de uma memória EEPROM interna optou-se por utilizar memória externa por dois motivos principais. O primeiro tem a ver com microcontrolador utilizado: com alterações mínimas, o circuito permite que seja utilizado o PIC16C71 que não dispõe de EEPROM. O segundo motivo prende-se com a capacidade de armazenamento. Embora não esteja previsto neste momento o armazenamento de grandes quantidades de dados, pode no futuro ser necessário

armazenar amostras relativas a vários períodos de amostragem ou outras possibilidades que necessitem de maior espaço de armazenamento.

5.2 – Alimentação e gestão de energia

Um dos requisitos para a alimentação da estaca multisensorial era a utilização das fontes de energia incluídas na estaca de origem (SOLITE™, SW125A). Deste modo, o sistema de alimentação teve de ser baseado nas características do painel solar e da bateria de níquel-cádmio (NiCd) existentes. A bateria é constituída por 5 células de níquel-cádmio (1.2V) com uma capacidade de 600mA/h e o painel solar fornece uma potência máxima de 0.6W.

Apenas dispondo do valor da potência máxima do painel solar (0.6W), realizaram-se alguns ensaios com vista a determinar outras características importantes, tais como a tensão em vazio, corrente de curto-circuito e o par de valores tensão-corrente cujo produto é máximo. Estes valores deveriam ser retirados sob as denominadas condições de teste *standard* (STC) pelas quais o painel deve estar exposto a uma iluminação de 1000W/m^2 (1 *sun*) e a uma temperatura de 25°C. Embora não tenha sido possível efectuar os ensaios sob as referidas condições, determinou-se aproximadamente e por comparação com painéis semelhantes (*Solarex, MSX OEM Mini Laminates*)^[36], que a potência máxima ocorre para uma tensão de 9V com uma corrente de 65.67mA. A tensão em vazio é de cerca 12V, a corrente de curto circuito de 75mA e o encapsulamento é de EVA (acetato de vinil-etileno). As células fotovoltaicas utilizadas na construção do painel solar são de silício monocristalino, o que lhe confere um rendimento típico de 14%. No entanto, este rendimento é afectado, ao longo do tempo, por vários factores tais como: radiação ultravioleta, temperatura, poluentes, ciclos térmicos anuais e diurnos e envelhecimento das células. Além disso, o desempenho do sistema fotovoltaico pode ser condicionado pela acção da chuva, poeira, expansão térmica, condensação, entre outros. O tempo de serviço previsível ('*Service Lifetime Prediction*') para um painel deste tipo é de cerca de 30 anos, e a percentagem de perdas média no rendimento é de cerca de 1%/ano^[7]. Estas perdas incluem todos os factores anteriormente referidos em que grande parte destas se deve à descoloração do encapsulamento de EVA face à radiação UV-B. Ao final de 30 anos, o rendimento esperado é de 9.8%, tendo em conta um rendimento inicial de 14%.

5.2.1 – Controlo de carga da bateria

Dada a fonte de energia utilizada, dotou-se a estação com um controlador de carga da bateria e implementaram-se algumas técnicas para gerir eficientemente a energia acumulada. O circuito de carga da bateria pode, para além de utilizar a tensão proveniente do painel solar, utilizar uma entrada externa DC de 9V. O diagrama de blocos funcional do módulo de alimentação está ilustrado na figura 5.4.

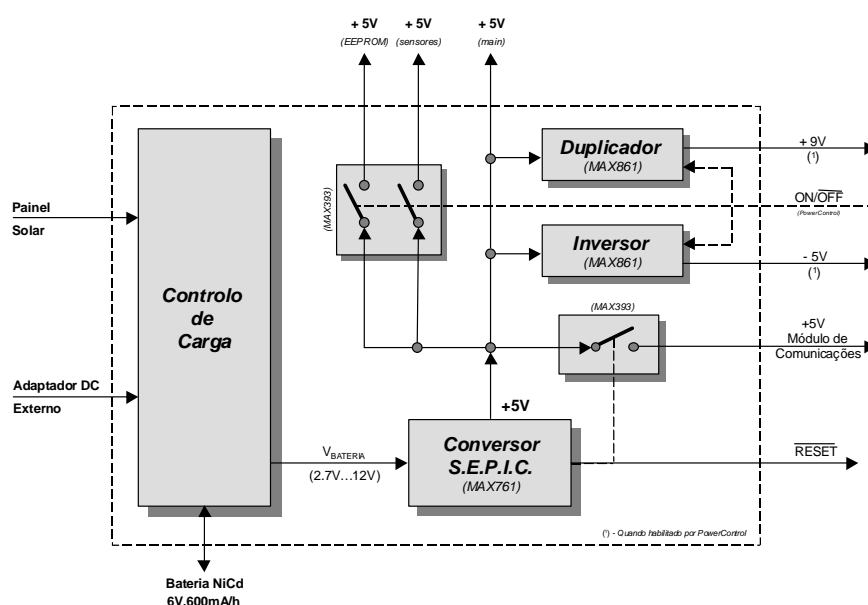


Figura 5.4 – Diagrama funcional do módulo de gestão de energia.

O circuito de carga é baseado numa tensão de carga de 1.4V por célula, de acordo com as recomendações para este tipo de célula. Deste modo, a tensão máxima atingida pela bateria é de 7V (5 células x 1.4V por célula). Este controlador possui um limitador de corrente, ajustado para cerca de um décimo da corrente nominal da bateria (600mA/h), por forma a proteger a bateria quando esta está completamente descarregada.

No circuito da figura 5.5, os componentes que realizam a regulação de tensão são DS_2 , TS_1 , PS_1 e RS_1 . DS_2 é um regulador do tipo 'shunt' e serve de elemento de controlo; TS_1 é o elemento de passagem e PS_1 amostra a tensão de saída fornecendo realimentação a DS_2 . PS_1 é ajustado de modo que a tensão no terminal central seja de 2.5V à tensão desejada para a bateria.

Quando a tensão de realimentação é inferior à tensão interna de referência de 2.5V de DS₂, a sua impedância série (ânodo-cátodo) aumenta, diminuindo a corrente de 'shunt'. Assim, a corrente disponível na base do transistor de passagem aumenta, aumentando a corrente de carga da bateria. Quando a tensão de realimentação é superior a 2.5V, a impedância série de DS₂ diminui, aumentando a sua corrente de 'shunt'. A corrente de TS₁ é então diminuída e consequentemente a corrente de carga da bateria diminui. Como a tensão de realimentação é amostrada à saída, DS₂ compensa qualquer variação na tensão base-emissor de TS₁ ou a queda aos terminais de RS₃ para várias correntes.

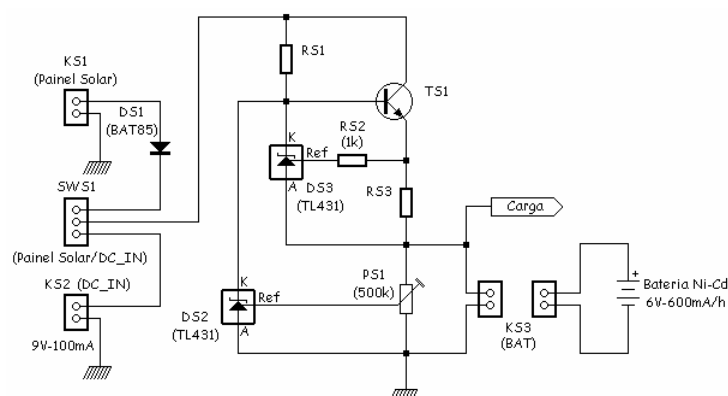


Figura 5.5 – Circuito de carga da bateria.

O limitador de corrente é constituído por DS₃, TS₁ e RS₃. O valor de RS₃ é escolhido por forma que à corrente máxima de carga a sua queda seja de 2.5V (47Ωx53mA). Esta tensão é amostrada pelo regulador DS₃. Quando a corrente de saída é inferior à corrente máxima, a tensão de referência de DS₃ é inferior a 2.5V e por conseguinte a impedância cátodo-ânodo de DS₃ é elevada, não afectando a operação de TS₁. Quando a corrente de saída atinge o máximo, a tensão de referência tem o valor de 2.5V e a impedância de DS₃ diminui, diminuindo a corrente de base de TS₁ limitando a corrente de carga. O díodo de germânio DS₁, protege o painel solar de correntes inversas. O comutador SWS₁ e o conector KS₂ fazem parte da estrutura da estaca e permitem ao utilizador carregar a bateria a partir de um adaptador externo.

O tipo de controlo de carga implementado é um compromisso entre o custo da solução apresentada e o seu desempenho, não tendo a possibilidade de satisfazer as condições ideais de carga deste tipo de bateria. Uma bateria de NiCd deve ser carregada a uma corrente constante, normalmente um décimo da sua capacidade nominal, e quando a sua tensão atinge o valor máximo, o controlador de carga deve passar a fornecer um centésimo da corrente nominal ('Trickle Charge'). A partir do instante em que se atinge a tensão

máxima (ponto onde a bateria está aproximadamente entre 70 e 80% do seu valor de carga final), a temperatura começa a subir e quando esta atinge cerca de 35°C a bateria é considerada completamente carregada. De referir que desde o ponto de tensão máxima até a bateria estar completamente carregada, a tensão aos terminais de cada célula decresce até ao valor de 1.2V. Todos estes factores são explorados pelos diversos controladores existentes (por exemplo o MAX713 da *Maxim*) por forma a carregar correctamente a bateria. De referir ainda, que este tipo de controlador permite efectuar ciclos de descarga antes da carga tendo em vista anular o denominado efeito de memória das células de NiCd. Esta solução apresenta no entanto um custo elevado. A solução mais económica, embora não eficaz, é composta por uma resistência limitadora de corrente e um díodo de bloqueio, que podemos observar em várias ferramentas eléctricas como por exemplo aparafusadoras *Black&Decker*, entre outras.

O circuito apresentado na figura 5.5 é de facto um regulador linear e por esse motivo é caracterizado por um baixo rendimento. Além desta limitação, há ainda a considerar as condições inverniais, o efeito da atenuação provocada pela cobertura da estufa e do rendimento do próprio sistema fotovoltaico. Estes aspectos traduzem-se em condições bastante desfavoráveis para a carga da bateria e que se agravam consideravelmente quando se utiliza um regulador deste tipo. Isto pode ser constatado num ensaio realizado com o circuito anteriormente referido, que é apresentado no capítulo 8.

Por forma a aproveitar ao máximo a energia proveniente do painel solar, implementou-se também um circuito de controlo de carga recorrendo a um conversor DC-DC comutado, estando o circuito ilustrado na figura 5.6.

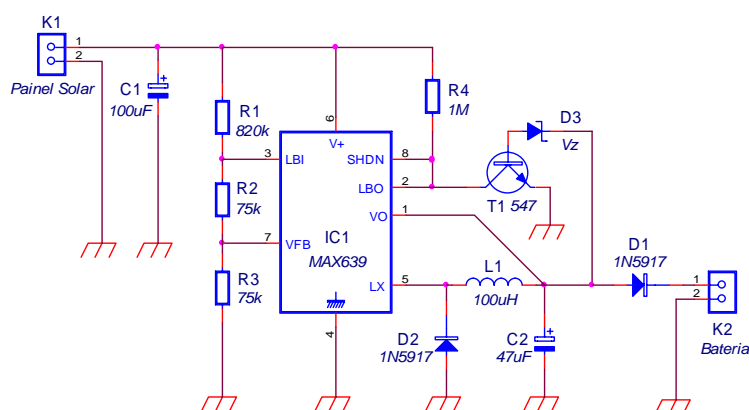


Figura 5.6 – Circuito comutado de carga da bateria.

O circuito integrado IC₁ (MAX639 da *Maxim*) é um conversor *step-down* que nesta aplicação funciona de um modo pouco ortodoxo. O princípio de funcionamento baseia-se na regulação da corrente de carga por forma a que a sua tensão permaneça próxima do valor de máximo rendimento. O circuito integrado regula a tensão de entrada em vez de regular a tensão de saída como é usual. O divisor de tensão R₂–R₃ desactiva o circuito interno de regulação, uma vez que mantém a entrada V_{FB} no nível lógico baixo. O divisor R₁–(R₂+R₃) permite que a entrada LBI ('*Low Battery Input*') detecte diminuições na tensão do painel solar, que têm como consequência uma diminuição do rendimento. Nesta situação, a saída LBO ('*Low Battery Output*') coloca a entrada $\overline{\text{SHDN}}$ no nível baixo, desactivando o integrado. Quando a entrada LBI detectar uma nova subida de tensão, a saída LBO passa para o nível alto permitindo que o integrado funcione normalmente. O transistor T₁ e o zener D₃ permitem desactivar o integrado quando a tensão da bateria atingir o valor determinado por V_Z+V_{BE,T1}.

Este modo de funcionamento por impulsos permite a máxima transferência de potência para a bateria. De referir que o consumo típico do MAX639 é cerca de 10μA podendo-se obter rendimentos da ordem dos 92%. Este circuito foi implementado a partir de 10 de Janeiro e os resultados são apresentados no capítulo 8.

5.2.2 – Alimentação do sistema

Para alimentar toda a estaca a partir da bateria são necessários alguns cuidados, pois a eficiência da conversão da tensão da bateria para valores adequados aos circuitos a jusante condiciona a autonomia do sistema. A regulação linear foi posta de parte pois além de apresentar um rendimento baixo, exige que a tensão da bateria tenha sempre de ser superior à tensão de +5V necessária para alimentar os circuitos digitais, mesmo usando reguladores do tipo '*Very Low-Dropout*'.

Por forma a aumentar a eficiência do circuito de alimentação e o tempo durante o qual a bateria é capaz de manter a tensão necessária ao funcionamento do sistema, torna-se necessário utilizar conversores DC-DC. Isto implica que para gerar uma tensão de +5V a partir de 4 ou 5 células de NiCd, o conversor DC-DC deverá ser capaz de funcionar com tensões inferiores, iguais ou superiores à tensão de saída. O conversor utilizado foi o circuito integrado MAX761/762 da *Maxim* que opera segundo uma topologia *SEPIC* ('*Single Ended Primary Inductance Converter*'). Nesta topologia, a saída está acoplada capacitivamente à

entrada, permitindo que a tensão de entrada possa ser maior, igual ou menor do que a tensão de saída. O circuito utilizado está ilustrado na figura seguinte.

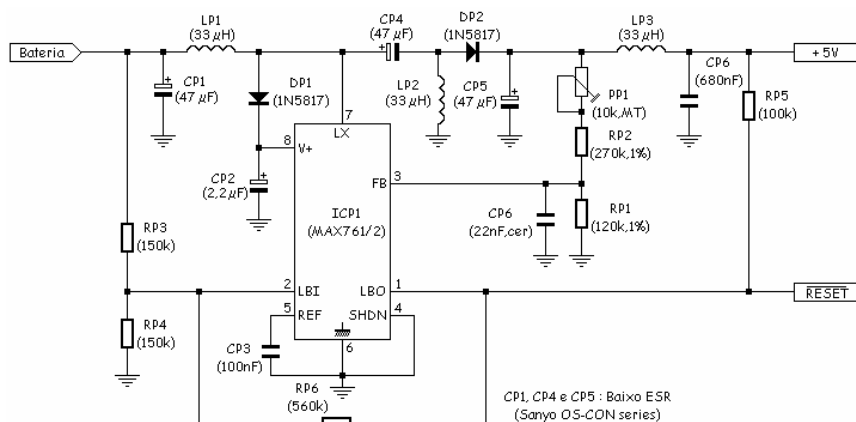


Figura 5.7 – Circuito da alimentação da estaca.

Este circuito gera uma tensão à saída de +5V para tensões de entrada compreendidas entre 3V (ajustado pelo divisor resistivo RP_3, RP_4) e o limite máximo do integrado que é de 12.5V. A saída *LBO* ('Low Battery Output') é levada a zero quando a tensão no pino *LBI* ('Low Battery Input') é inferior à tensão de referência interna de 1.5V gerando uma condição de RESET ao microcontrolador o que neste caso corresponde a uma tensão na bateria de 3V. A resistência RP_6 fornece uma histerese adicional ao sinal de RESET. A figura 5.8 ilustra uma situação de RESET provocada pela queda de tensão na bateria. Conforme se pode observar, quando a tensão da bateria toma valores abaixo dos 2.24V o sinal de RESET é tornado activo. Esta condição é libertada após a bateria apresentar uma tensão superior a 3.44V.

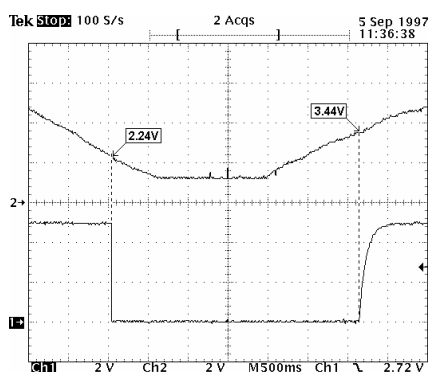


Figura 5.8 – Forma de onda do sinal de RESET.

Um dos inconvenientes da utilização de conversores comutados é o seu inerente '*ripple*' de tensão à saída. Por forma a minimizar esta desvantagem foi colocado um filtro LC à saída

constituído pela bobine LP_3 e condensador CP_6 . Na figura 5.9 apresentam-se as formas de onda do ‘ripple’ antes e após a colocação do filtro LC.

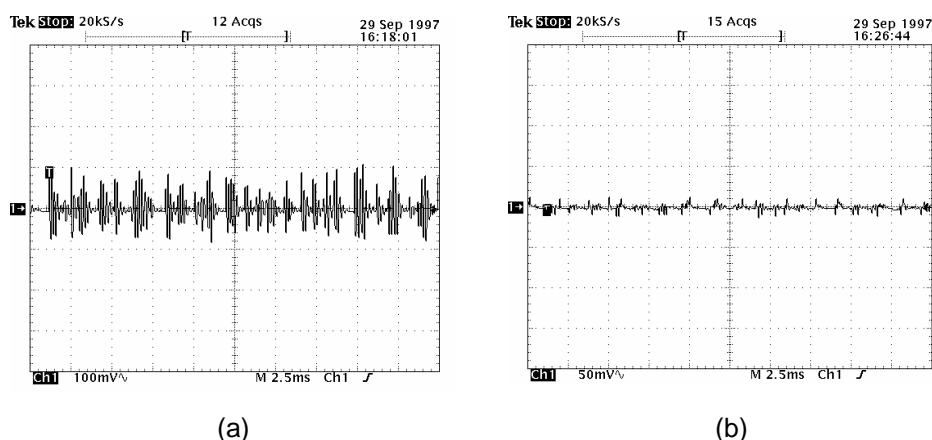


Figura 5.9 – ‘Ripple’ na tensão de saída antes (a) e após filtragem LC (b).

Quando a estaca se encontra no modo de baixo consumo todas as funções desnecessárias estão inibidas. Apenas o microcontrolador e o módulo de comunicações se encontram funcionais. Os restantes dispositivos podem ser postos num modo de baixo consumo através de uma entrada de habilitação ou através do corte da sua alimentação. Esta última função é realizada através do circuito integrado MAX393 da *Maxim*. O MAX393 é um bloco de 4 interruptores de precisão apropriado para operações a +3V, +5V ou $\pm 5V$. É composto por 2 interruptores normalmente abertos (NO) e 2 normalmente fechados (NC). As suas características principais são o seu baixo consumo ($<1\mu W$), resistência no estado de condução típica de 30Ω , capacidade garantida de operação nos limites de alimentação e entrada de comando de alta impedância compatível com lógica TTL/CMOS.

O MAX393 é utilizado para controlar a alimentação da memória não volátil (EEPROM), a alimentação (+5V) dos sensores e a alimentação do módulo de comunicações. As razões para tal devem-se a diversos factores a seguir explicados. Embora a EEPROM tenha uma entrada de habilitação, o seu consumo no estado OFF ronda os $100\mu A$, pelo que se optou por desligar a alimentação nos períodos que não é usada. A alimentação de +5V dos sensores deriva directamente da alimentação principal, pelo que é necessário dotá-la de um interruptor. As restantes tensões disponíveis para os sensores (-5V e +9V) são obtidas por dois circuitos integrados que dispõem de entradas de habilitação. O módulo de comunicações é continuamente alimentado pela alimentação principal do sistema. No entanto, numa situação de bateria fraca, situação esta que provoca uma condição de *reset*,

este módulo deve ser desligado automaticamente até que a tensão da bateria suba para um valor que viabilize a operação do sistema novamente.

O circuito utilizado para realizar as funções referidas está ilustrado na figura 5.10. O MAX393 pode ainda ser substituído directamente pelo MAX314 que oferece uma resistência típica de condução de 10Ω .

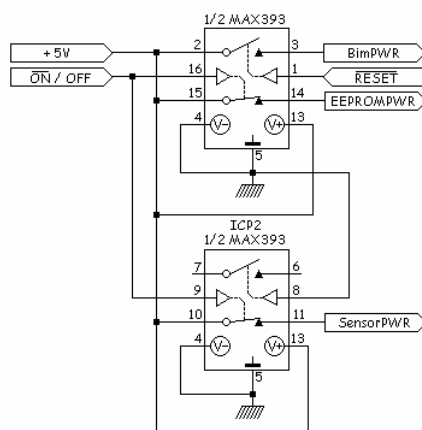


Fig 5.10 – Módulo de controlo de alimentação.

5.2.3 – Tensões auxiliares

Além da tensão principal de +5V, é necessária pelo menos uma tensão auxiliar de -5V para a interface analógica. No entanto, existe também disponível uma tensão auxiliar de +9V para determinados tipos de sensores. A inversão de +5V para -5V assim como a duplicação de tensão estão a cargo de circuitos de bombagem de carga MAX860/861 da *Maxim*. Este tipo de circuito integrado fornece uma corrente de saída de cerca de 50mA com uma eficiência mínima de 87%, podendo ser inteiramente desligada através de uma entrada de habilitação. O seu consumo típico no estado ligado é de $200\mu\text{A}$ e de apenas $1\mu\text{A}$ no estado desligado. A frequência de comutação, seleccionável por pino, é tipicamente de 130kHz para o MAX860 e de 250kHz para o MAX861. O circuito utilizado para gerar as tensões auxiliares de -5V e +9V está ilustrado na figura 5.11.

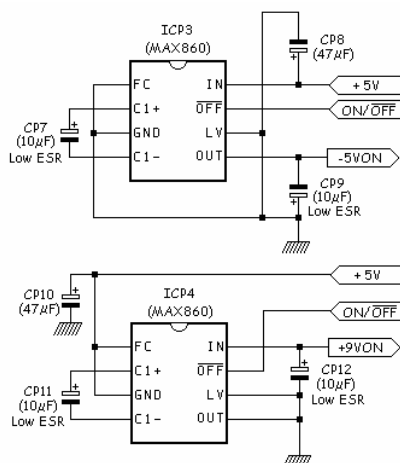
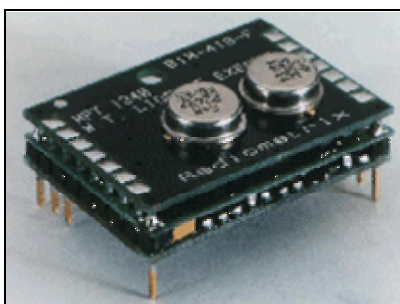


Fig 5.11 – Esquemático do módulo de tensões auxiliares.

No esquema da figura anterior, os condensadores CP₇, CP₉, CP₁₁ e CP₁₂ são usados na bombagem de carga pelo que devem possuir baixo valor de *ESR*. Os condensadores CP₈ e CP₁₀ são usados para filtragem da tensão de entrada. Os dispositivos são colocados em estado de baixo consumo (apenas 1μA) através da entrada $\overline{\text{OFF}}$.

5.3 – Módulo de comunicações

Para a comunicação com o exterior, cada estaca dispõe de um ‘*transceiver*’ de rádio-frequência Bim418F da *Radiometrix Ltd* a operar na banda de UHF (418MHz). Esta unidade permite realizar comunicações bidireccionais de dados em *half-duplex* até uma taxa de transmissão de dados máxima de 40kbit/s numa distância anunciada pelo fabricante de 30m em edifícios e de 120m em linha de vista, sendo por isso adequado para a aplicação em causa.

Figura 5.12 - Fotografia do *transceiver* Bim418F.

As principais características que levaram à sua utilização, são as seguintes :

- Transmissor e receptor num mesmo dispositivo (*'transceiver'*);
- Módulo miniatura para montagem em circuito impresso;
- Alimentação de 4.5 a 5.5V com um consumo máximo de 15mA;
- Transmissão em *half-duplex* até 40Kbit/s;
- Interface directa com lógica CMOS 5V;
- Tempo de resposta após ligação de alimentação inferior a 1ms;
- Potência irradiada efectiva (ERP) típica de -6dbm (0.25mW);
- Controlo de habilitação do transmissor e receptor.

Um par de *transceivers* Bim transmitem dados em série directamente aplicados ao pino de entrada TXD que serão reproduzidos em dados série na saída RXD do receptor. No entanto para que tal comunicação possa ser considerada fiável, deverão ser tomados em conta alguns aspectos importantes que a seguir se evidenciam.

5.3.1 – Fiabilidade dos dados

Numa ligação RF ponto a ponto, os *transceivers* estão normalmente com a parte do receptor habilitada à espera de uma transmissão. Quando um deles pretende transmitir uma sequência binária, o seu pino $\overline{\text{TXSelect}}$ deve ir a zero ficando pronto a enviar dados. O receptor detecta a portadora e indica, através do seu pino $\overline{\text{CD}}$, a sua existência.

No entanto, para que os dados presentes na saída RXD possam ser considerados fiáveis é necessário que o seu controlo automático de frequência e *'data slicer'* estabilizem. O tempo máximo de estabilização é de 3ms. O fabricante aconselha que após habilitação do emissor e antes de ser enviada a sequência binária correspondente à informação a transmitir, seja enviada uma sequência com um padrão do tipo '10101010', com duração mínima de 3ms para que o receptor sincronize correctamente. Com este procedimento, o receptor só apresentará dados válidos à saída decorridos 3ms após a detecção da portadora. O fabricante indica também que o aumento deste tempo de 3ms para 5ms confere à transmissão uma maior imunidade a interferências RF.

5.3.2 – Redução de consumo

Quando alimentado a tensão constante e desde que o receptor ou emissor estejam habilitados, o *transceiver* Bim apresenta um consumo médio típico de 13mA@5V. Em

sistemas alimentados por bateria, como no caso da estaca, este valor de corrente reduz significativamente a sua autonomia. Devido à sua rápida resposta após ligação da alimentação (no máximo 1ms) a redução de consumo por aplicação da alimentação num regime pulsado é bastante eficiente.

O consumo médio pode ser significativamente reduzido mediante a aplicação da alimentação em regime pulsado. O consumo é directamente proporcional ao produto do factor de serviço dos impulsos aplicados (δ). Do exposto, conclui-se que a diminuição de δ permite reduzir o consumo. Sendo δT a duração do impulso aplicado, em que T é o período dos impulsos, este deve ser superior a 1ms conforme referido nas especificações eléctricas do *transceiver*. Para um mesmo factor de serviço, quanto maior for o período, T , menor será o consumo mas maior o seu tempo de latência. A título exemplificativo, ligando a alimentação apenas durante 3ms num período de 300ms, reduz-se o consumo médio de 13mA para um valor inferior a 15 μ A. Este procedimento exige um preâmbulo com duração mínima de 300ms para “acordar” o receptor.

O circuito implementado para realizar esta função baseia-se no temporizador de baixo consumo TLC555, sendo parte integrante do módulo de comunicações ilustrado na figura 5.13.

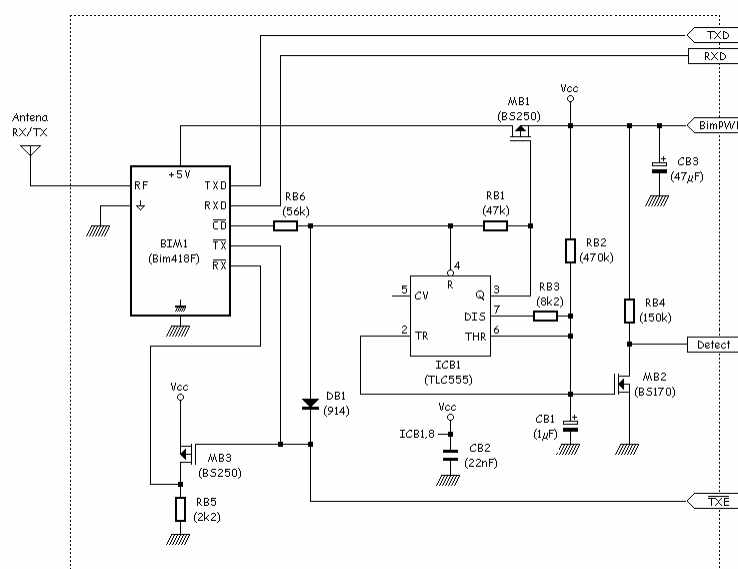


Figura 5.13 - Esquemático do módulo de comunicações.

A interface do módulo de comunicações, constituída pelo *transceiver* e temporizador, com o exterior resume-se às linhas de dados (TXD e RXD), linhas de controlo ($\overline{\text{TXE}}$ e DETECT) e

alimentação (BimPWR). A linha de $\overline{\text{TXE}}$ ('*Transmitter enable*') habilita a transmissão e desabilita a parte de recepção do *transceiver*. Quando se pretende iniciar uma transmissão o módulo central de processamento leva a linha $\overline{\text{TXE}}$ a zero causando uma condição de *reset* no temporizador, através de DB1, forçando a sua saída a zero e comutando a alimentação do regime pulsado para o regime constante.

A forma de onda da tensão de disparo do temporizador é a carga e descarga do condensador CB_1 . A carga é feita através de RB_2 e RB_3 até se atingir o nível de limiar e a descarga por RB_3 até ao ponto de disparo. O tempo de carga é dado por $t_c = \text{CB}_1 \cdot (\text{RB}_2 + \text{RB}_3) \cdot \ln 2$, e o tempo de descarga por $t_d = \text{CB}_1 \cdot \text{RB}_3 \cdot \ln 2$. Com os valores mencionados no esquema, os tempos de carga e descarga, ou seja os tempos de não condução e condução do MOSFET MB_1 , são de 331ms e 5.68ms respectivamente. Na figura 5.14 apresenta-se as tensões de alimentação do *transceiver* onde a diferença dos tempos medidos, 377ms e 6ms, para os valores calculados se devem principalmente à tolerância de CB_1 e à impedância não infinita da porta de MB_2 .

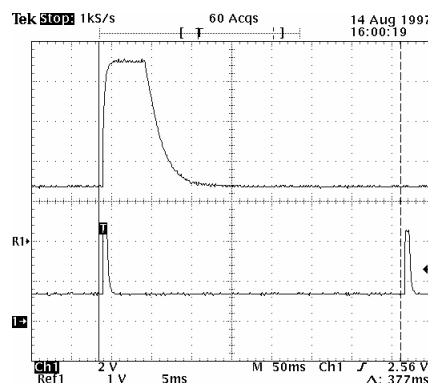


Figura 5.14 – Formas de onda da alimentação do *transceiver* Bim.

5.3.3 – Transmissão e recepção de dados

Quando o receptor está habilitado e a estação base inicia uma transmissão, o pino $\overline{\text{CD}}$ do *transceiver* vai a zero causando o *reset* do temporizador. Nesta situação, CB_1 descarrega até zero provocando o corte de MB_2 gerando no pino DETECT uma transição baixo-alto e por conseguinte uma interrupção ao microcontrolador. O tempo que demora entre a detecção de uma portadora até ocorrer a interrupção é dado pelo tempo de descarga de CB_1 desde o limiar até o valor de V_{GS} de MB_2 que o faz cortar, e é de aproximadamente 7ms

(5.68+1.30ms). A figura 5.15 ilustra as formas de onda na saída \overline{CD} do *transceiver* (A) e na saída DETECT (B) estando representadas na figura 5.16 as formas de onda respeitantes à tensão na porta de MB₂ juntamente com a saída DETECT.

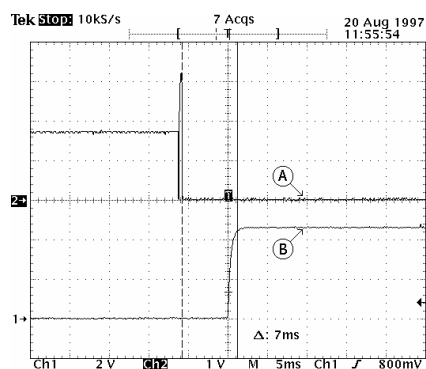


Figura 5.15 – Formas de onda nos pinos \overline{CD} (A) e saída DETECT (B).

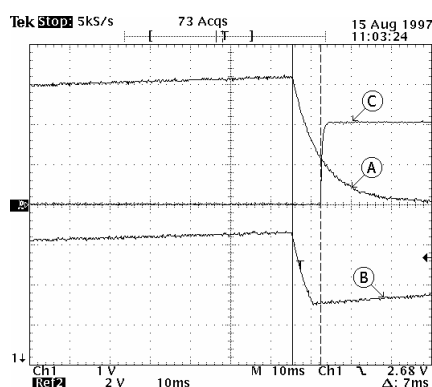


Figura 5.16 – Formas de onda na saída DETECT (C) e da porta de MB₂ (A,B).

Nesta última figura, as formas de onda A e B correspondem à tensão aos terminais de CB₁, ou seja, na porta do MOSFET MB₂, quando é detectada uma portadora (A) e quando esta não é detectada (B). A forma de onda C é a saída DETECT. Na onda B o sinal oscila entre os limites de um terço e dois terços da alimentação do temporizador. Quando o pino \overline{CD} do *transceiver* vai a zero, é gerada uma condição de *reset* após a qual CB₁ descarrega (onda A). Quando o seu valor atinge V_{GS} mínimo ocorre a transição na saída DETECT.

Na figura 5.17 ilustra-se o tempo que decorre desde o início do impulso de alimentação do *transceiver* e a transição no pino \overline{CD} . A forma de onda C representa o impulso de alimentação e a onda A a saída \overline{CD} . Quando existe uma portadora, esta só é detectada após a aplicação do impulso de alimentação levando a saída \overline{CD} a zero (onda B). Conforme

se pode observar o atraso é de cerca de $600\mu\text{s}$ e portanto inferior ao máximo indicado pelo fabricante que é 1ms .

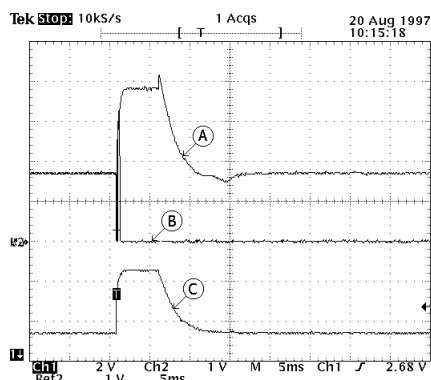


Figura 5.17 – Detecção de uma portadora através da saída \overline{CD} .

Na figura 5.18 está representada a sequência temporal de uma comunicação. A forma de onda *A* representa o sinal de habilitação do emissor da estação base e a *B* representa a alimentação aplicada ao *transceiver* de uma estaca. Após habilitação do emissor é enviado um preâmbulo com a duração de 400ms e só depois são enviados os dados. Conforme se pode observar, o receptor só detecta a portadora no impulso seguinte ao início da transmissão pelo que só depois recebe os dados. Após o tempo de processamento do pedido de dados é enviada uma resposta, neste caso com a duração de 125ms .

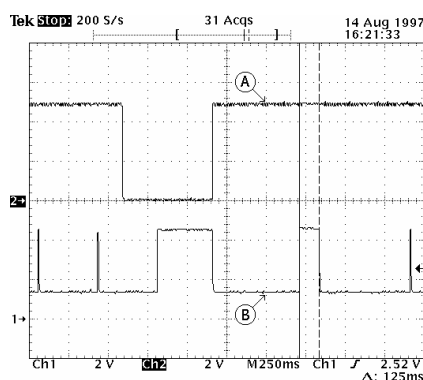


Figura 5.18 – Sinais de pedido de dados (*A*) no emissor e alimentação do *transceiver* receptor (*B*).

5.3.4 – Antenas

A comunicação por rádio-frequência de curto alcance na banda UHF é afectada predominantemente por três efeitos: reflexão, sombra e absorção do sinal. A reflexão dá origem a caminhos múltiplos entre o emissor e o receptor com diferentes comprimentos de

onda. Estes sinais têm fases e potências diferentes originando cancelamento em pontos específicos do espaço, denominados de nulos. Estes nulos são fisicamente pequenos pelo que movendo quer o emissor quer o receptor alguns centímetros é suficiente para levar o sinal para fora do nulo. Esta situação é mais frequente em situações de sinais fracos e quando existem na proximidade objectos metálicos, não acontecendo em situações de linha de vista. A sombra ocorre atrás de objectos metálicos. O sinal recebido é predominantemente resultante de reflexão em outros objectos e a sombra tem as dimensões do objecto que a provoca. A absorção é observada principalmente quando o sinal atravessa paredes e os efeitos são similares aos observados na sombra.

Para a escolha da antena a utilizar devem pois ser tidos em consideração alguns aspectos. Basicamente poderiam ser utilizados três tipos de antena neste *transceiver*: helicoidal, malha e monopolo, ilustradas na figura 5.19. A antena helicoidal, constituída por 26 voltas de fio 0.5mm em torno de um suporte de 3.2mm de diâmetro, é ligada directamente ao pino RF do transceiver e a outra extremidade deixada em aberto. Esta antena é bastante eficiente dada a sua dimensão (20mmx4mmØ). O ajuste pode ser feito comprimindo ou esticando a bobine para otimizar o seu desempenho. A antena em malha é constituída por uma malha em cobre no próprio circuito impresso sendo aquela que apresenta maior imunidade à desintonização. O monopolo é constituído por um fio directamente ligado ao pino RF sendo o seu tamanho óptimo de 16.5cm ($\frac{1}{4}$ comprimento de onda). A outra extremidade ('ponto quente') deve ser mantida o mais distante possível de objectos metálicos para evitar sérias desintonizações. Como o monopolo é sensível à massa, o seu desempenho é melhorado quando se dota o monopolo de um plano de massa. Dos 3 tipos de antenas descritas, é a última que apresenta um maior alcance.

Tendo em conta o alcance, facilidade de construção e desempenho, a escolha recaiu sobre o monopolo, tendo este um diagrama de radiação omni-direccional perfeitamente adequado à aplicação. Aquando do projecto do circuito impresso, ilustrado na figura 5.20, foram tomados cuidados especiais no que se refere à localização da antena, como por exemplo, o afastamento da antena da fonte de alimentação e de sinais de relógio.

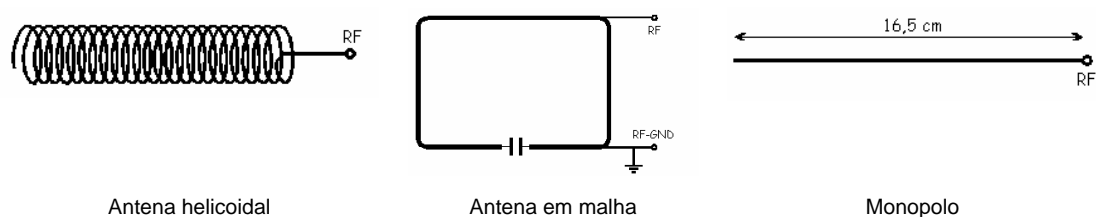


Figura 5.19 - Antenas possíveis de utilizar no *transceiver*.

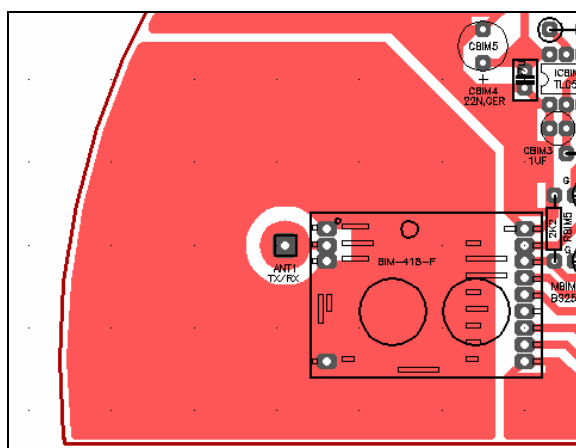


Figura 5.20 - Aspecto parcial do circuito impresso mostrando o plano de massa da antena.

5.4 – Interface analógica e sensorial

A interface analógica é responsável pela conversão digital dos sinais em tensão provenientes dos sensores instalados. É baseada em dois conversores A/D MAX186 da *Maxim* por forma a estarem disponíveis 16 canais analógicos em modo simples. O MAX186 é um sistema de aquisição de dados de 12-bit que combina um *multiplexer* de 8 canais, seguidor/retentor (*'track/hold'*) de elevada largura de banda, barramento série, alta velocidade de conversão e consumo bastante reduzido. Este conversor pode operar com tensões de alimentação +5V ou $\pm 5V$. As entradas analógicas são configuráveis por *software* para uma operação unipolar/bipolar, modo simples ou diferencial.

O barramento série de 4 fios permite ligação directa a dispositivos SPI™, QSPI™ e *Microwire*™ sem necessidade de recorrer a lógica externa. Este conversor pode ainda utilizar um relógio

interno ou externo para executar conversões pelo método de aproximações sucessivas. Dispõe ainda de uma tensão de referência interna de 4,096V.

As suas características eléctricas mais importantes são (MAX186A):

- Baixo consumo : 1.5mA (em operação), 2 μ A (*I_{idle}*)
- Resolução : 12-bit
- Precisão relativa : ± 0.5 LSB (máx)
- Não-linearidade diferencial : ± 1 LSB (máx)
- Erro de desvio : ± 2 LSB (máx)
- Erro de ganho : ± 3 LSB (máx)
- Coeficiente de temperatura do ganho : ± 0.8 ppm/ $^{\circ}$ C (máx)
- Relação sinal-ruído + distorsão (SINAD) : 70 dB (min)
- Distorsão harmónica total (THD) : -80 dB (máx)
- Tempo de conversão : 10 μ s (máx)
- Largura de banda : 800kHz (típico)
- Frequência do relógio interno : 1.7MHz (típico)
- Coeficiente temperatura de V_{REF} : ± 30 ppm/ $^{\circ}$ C

O circuito utilizado está representado na figura 5.21. Os conectores K_{1A} e K_{1B} , correspondendo às entradas analógicas, fazem a interligação entre os conversores A/D e a interface sensorial onde são ligados os sensores.

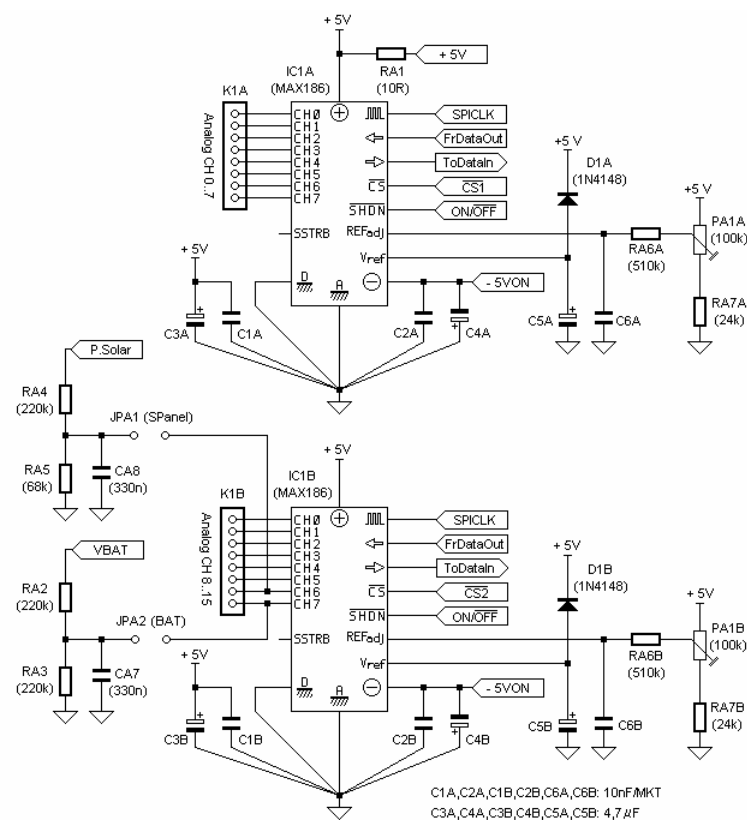


Figura 5.21 – Esquémático da interface analógica-digital.

No esquema da figura 5.21, os condensadores C_1 a C_4 fazem o desacoplamento das tensões de alimentação. No circuito impresso foram tomados alguns cuidados relativamente às ligações à terra. Todas as ligações à massa são feitas num único ponto de massa analógica e separado do ponto de massa digital. Como a alimentação geral do sistema é gerada por um conversor DC-DC, foi incorporada uma resistência de 10Ω (RA_1) em série com a alimentação dos conversores com a função de exercer uma filtragem do tipo passa-baixo.

A tensão de referência interna do MAX186 é gerada a partir de uma referência de 2.46V do tipo '*band-gap*' e por um amplificador de ganho 1.678. A entrada do amplificador está disponível no pino REFADJ e a sua saída (4.096V) está acessível no pino V_{REF} . A tensão de referência pode ainda ser ajustada através de RA_6 , RA_7 e PA_1 numa gama de 1.5%. Os condensadores C_5 e C_6 fazem o desacoplamento das tensões de referência. As tensões aos terminais do painel solar e da bateria podem ser medidas através dos canais analógicos 14 e 15 (CH6 e CH7 de IC_{1B}) respectivamente. Para tal, o utilizador terá de fazer manualmente a ligação nas pontes respectivas ('*jumpers*' JP_{A1} e JP_{A2}).

A ligação entre os sensores e as entradas do conversor A/D é efectuada através de um barramento dotado de fichas de encaixe rápido do tipo RJ45. Este tipo de ligação, uniformizada para todos os tipos de sensores utilizados na estaca, permite que estes sejam ligados sem recorrer a meios mecânicos de aperto, facilitando ao utilizador a tarefa de ligação/remoção dos vários sensores à estaca. Este barramento, ilustrado na figura 5.22, fornece ainda todas as alimentações necessárias aos sensores e disponibiliza um filtro RC passa-baixo para cada canal analógico. Está também dotado de uma ficha para sensores que forneçam saídas em frequência como seja o caso do sensor de radiação solar utilizado.

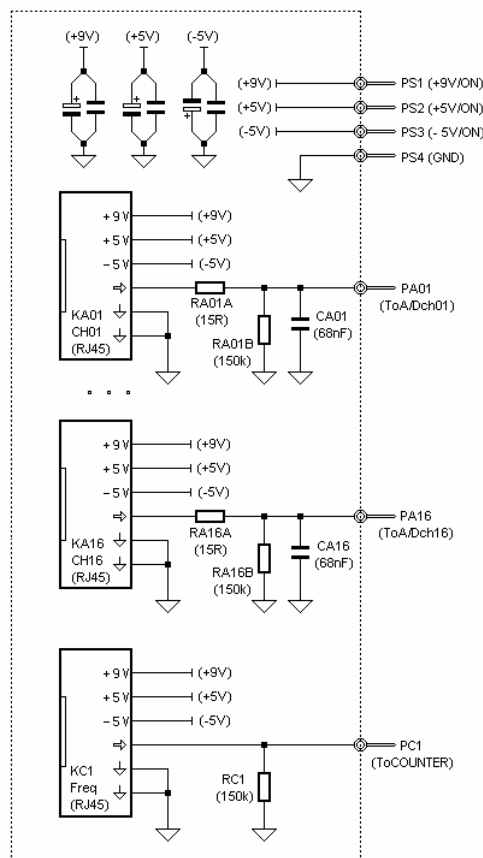


Figura 5.22 – Barramento de interligação dos sensores.

5.5 – Consumo e autonomia

Os sistemas alimentados por painel solar e bateria, como o da estaca multisensorial, devem estar dotados de autonomia energética adequada à aplicação em causa. Assim, e dado que o painel solar e a bateria estão previamente definidos, foi necessário tomar alguns cuidados durante a fase de projecto da estaca no que se refere ao seu consumo energético. Nesta secção faz-se uma análise relativa ao consumo e autonomia da estaca com o objectivo de demonstrar a adequação do circuito de alimentação previamente apresentado.

A autonomia da estaca multisensorial depende fundamentalmente da capacidade da bateria utilizada, do consumo do sistema e da taxa de amostragem a que este opera. Estes factores são preponderantes durante o período em que o painel solar não fornece energia suficiente para alimentar o sistema e carregar a bateria.

Para a determinação do consumo foram aplicadas diferentes tensões para a alimentação da estaca e medidas as respectivas correntes de consumo com um multímetro de precisão (Keithley 2000, 6½ dígitos). Este instrumento dispõe de facilidades de controlo remoto via GPIB e RS232, o que tornou possível realizar medições de corrente com intervalos de tempo muito pequenos.

Foram ainda tidos em consideração os diferentes modos de operação da estaca durante um ciclo normal de funcionamento e determinaram-se os consumos que lhes estão associados. Deste modo, o consumo médio é determinado pela relação entre o tempo dispendido por determinada tarefa e o período (tempo de amostragem) multiplicado pelo consumo da respectiva tarefa. Na tabela seguinte apresentam-se as diferentes tarefas e respectivos consumos tendo em vista a determinação da corrente média pedida à bateria durante um período.

Tabela 5.2 - Cálculo da corrente média durante um período de 20s.

<i>Modo de operação</i>	<i>Corrente</i> <i>(independente do período)</i>	<i>Tempo percentual</i>	<i>Corrente média</i>
Repouso	1.195 mA	17.304s/20s = 86.52% (17.304s todos os 20 segundos)	1.0339 mA
Aquisição e armazenamento de dados	12.225 mA	1.488s/20s = 7.44% (1488ms todos os 20 segundos)	0.9095 mA
Transmissão de dados	13.228 mA	1.208s/20s = 6.04% (1208ms todos os 20 segundos)	0.7989 mA
Corrente média total :			2.7423 mA
Potência média total :			16.45 mW (2.7423mA × 6V)

Condições do ensaio

Aparelho de medida	: Multímetro Keithley 2000 (6½ dígitos, escala 100mA)
Intervalo de amostragem da medida	: 8ms
Taxa de amostragem da estaca : 20s	
Modo de operação	: Pedido de aquisição ('Multicast') + Pedido de dados
Fonte de alimentação	: Coutant TL4000D, ajustada para a tensão nominal da bateria, 6V.
Sensores utilizados	: 2 LM35, 1 HybridCap, 1 TSL230
Tempo de estabilização dos sensores	: 600ms

O conhecimento do valor da corrente média, permite calcular o tempo máximo que o sistema pode funcionar sem que haja necessidade de se carregar a bateria, bem como verificar se o painel solar é ou não adequado. Teoricamente a autonomia da bateria é igual à sua capacidade de armazenamento de carga dividida pela corrente média consumida. Com os dados referidos na tabela anterior, onde o tempo de amostragem utilizado foi de 20 segundos, a bateria de 6V/ 600mAh confere uma autonomia de:

$$(600\text{mAh})/(2.7423\text{mA}) \approx 218 \text{ horas } (\approx 9 \text{ dias})$$

Na prática, o circuito implementado para a carga da bateria, não permite que esta carregue a 100%. Por esta razão, é normal considerar que a autonomia da bateria se reduz em cerca de 30% ^[30], o que para este caso corresponde a uma autonomia de 153 horas, ou seja, aproximadamente 6 dias.

Por norma os painéis fotovoltaicos devem possuir uma potência na ordem de 10 vezes superior à potência média consumida pelo sistema a que se destina ^[30]. Deste modo, verifica-se que a potência do painel solar existente na estaca (0.6W) é francamente superior ao mínimo ($10 \times 16.45\text{mW} = 0.1645\text{W}$).

Os gráficos representados nas figuras 5.23 e 5.24 ilustram a corrente de consumo durante os vários modos de operação da estaca, como sejam os períodos de: repouso, aquisição e armazenamento de dados e transmissão dos dados. Estes gráficos foram obtidos para uma tensão de alimentação de 6V (tensão nominal da bateria).

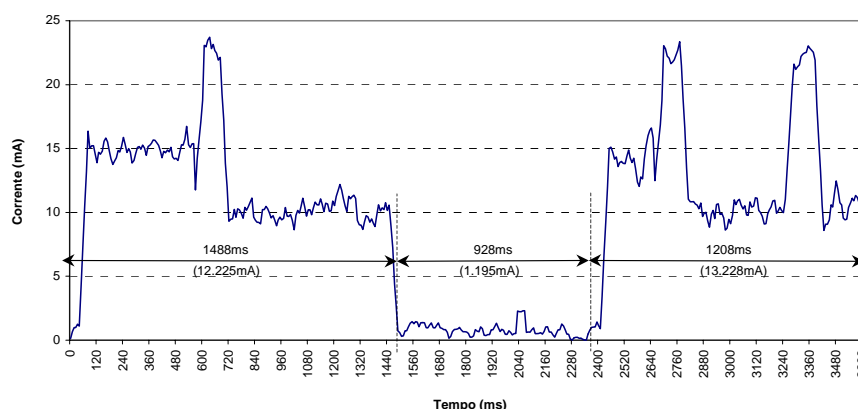


Figura 5.23 - Consumo durante o período de actividade da estaca.

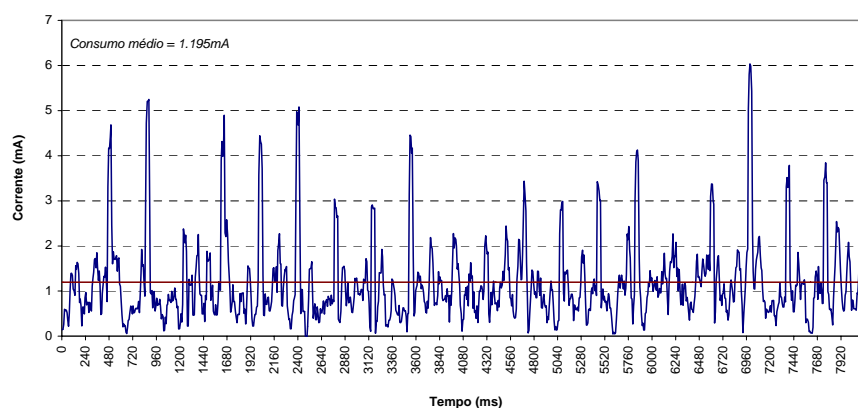


Figura 5.24 - Consumo durante o período de inactividade da estaca.

Tendo em consideração os valores da tabela 5.2, pode-se calcular a autonomia da estaca para outros valores de taxas de amostragem. Por exemplo, para taxas de amostragem de 60 e 120 segundos, a autonomia resulta em $(600\text{mAh}/1.711\text{mA}) \times 70\% \approx 245\text{h}$ (≈ 10 dias) e $(600\text{mAh}/1.453\text{mA}) \times 70\% \approx 289\text{h}$ (≈ 12 dias).

Daqui se conclui que o sistema de alimentação é adequado à aplicação em causa. Na secção 8.1 apresentam-se alguns resultados obtidos de ensaios que visaram determinar a autonomia em condições normais de operação.

5.6 – Especificações

No presente trabalho foram realizados alguns protótipos de ensaio. As especificações da última versão (MK6B) encontram-se enunciadas na tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Especificações do protótipo MK6B.

		Notas
Estrutura	Estaca em ABS com painel solar imbutido	
Microcontrolador	RISC PIC16C84 (<i>Microchip</i> TM)	
Memória de programa	EPROM interna 1024x14bit	
Memória de dados	Memória SRAM (interna do μ C) 128 bytes: EEPROM externa (93LC46, <i>Microchip</i> TM)	
Comunicações	<i>Half-Duplex</i> , 418MHz (<i>Transceiver Bim418F</i> , <i>Radiometrix</i>)	
Alcance	> 150m em linha de vista, > 50m em edifícios	
Alimentação	Painel solar (potência máxima 0.6W) Bateria recarregável NiCd 6V 600mAh Adaptador DC externo 9V 100mA	
Conversão A/D	2 conversores 12bit (MAX186ACPA, <i>Maxim</i>)	
Entradas analógicas	16 canais unipolares/bipolares em modo simples 8 canais unipolares/bipolares em modo diferencial	
Entradas digitais	1 contador (16-bit), tempo de contagem=170ms ($f_{\text{máx}}=385\text{kHz}$)	
Taxa de amostragem	15 segundos (mínimo)	
Consumo médio	2.8 mA ($T_A=20\text{s}$), 1.7 mA ($T_A=60\text{s}$), 1.5 mA ($T_A=120\text{s}$)	
Autonomia	6 dias ($T_A=20\text{s}$), 10 dias ($T_A=60\text{s}$), 12 dias ($T_A=120\text{s}$)	(1)
Duração de carga	10 horas	(2)
Temperatura	-55 a 150°C, $\pm 0.2^\circ\text{C}$ (LM35, <i>National Semiconductor</i>)	(3)
Humidade relativa	0 a 100% RH, $\pm 1\%$ (<i>HybridCap</i> , <i>Panametrics, Inc</i>)	(3)
Radiação solar	0 a 1300W/m ² , $\pm 5\%$ (TSL230, <i>Texas Instruments</i>)	(3)

Notas : (1) - Alimentação apenas com a bateria.
(2) - Com adaptador externo, corrente de carga 1/10 da corrente nominal, bateria completamente descarregada.
(3) - Sensores base.

MAXIM é uma marca registrada da *Maxim Integrated Circuits*.

SPITM e QSPITM são marcas registradas da *Motorola*.

MicrowireTM é uma marca registrada da *National Semiconductor*.

Outras marcas são marcas registradas dos respectivos fabricantes.

Capítulo 6

Evolução para a instrumentação inteligente

O crescente aumento que se tem vindo a verificar nos sistemas de automação aplicados nas mais diversas áreas, tais como as industriais e as agrícolas, tem sido acompanhado por exigências cada vez maiores no que se refere à sua segurança, qualidade de produção, entre outros. Isto tem levado a que este tipo de sistemas seja cada vez mais complexo dado que, para além das funções de controlo clássicas, estes tenham que assegurar funções de supervisão, detecção e correcção de falhas por forma a se obter uma melhor produtividade e gestão do processo ^[3].

Este requisito pressupõe o recurso a arquitecturas distribuídas que presentemente, dado os avanços nas áreas da microelectrónica e das comunicações, tornam a sua implementação viável a praticamente todos os campos de aplicação. Além disto, a redução do custo de muitos dos sensores normalmente empregues nestes sistemas, bem como a necessidade de em muitas aplicações ser necessário medir-se um número elevado de parâmetros, conduzem a uma utilização intensiva de sensores por forma a se obter um controlo preciso do processo produtivo. Deste modo, justifica-se que os sensores constituam uma rede local que terá a cargo algumas das funções do sistema de automação, reduzindo-se assim os custos com o suporte físico de comunicações bem como o tráfego de dados quando comparado com um sistema de arquitectura centralizada ^{[5], [3]}.

É neste campo que os sensores inteligentes poderão ser empregues com as inerentes vantagens no que se refere ao aumento da produtividade, segurança, robustez, etc. Contudo não existe ainda um protocolo *standard* definido sobre o modo como deverá ser feita a sua ligação às outras componentes do sistema de automação.

O CIAME ("*Comité Interprofessionnel pour l'Automatisation et la Mesure*") ^[15], estabelece as funções que deverão ser incorporadas para que um sensor possa ser considerado inteligente, como sendo:

- Função de configuração;
- Função de medida;

- Função de validação;
- Função de comunicação.

A primeira função permite ao utilizador especificar os parâmetros necessários para o correcto funcionamento do sensor aquando da sua inserção no processo. No que se refere à função de medida deverão estar incluídas as tarefas de condicionamento de sinal, conversão analógico-digital, processamento de sinal, correcção, compensação e conversão para unidades de engenharia. A acção de validação é aquela que tem a seu cargo a permanente supervisão do sensor inteligente, permitindo que o utilizador localize as falhas sempre que estas sejam detectadas. Esta poderá executar tarefas como supervisão da tensão de alimentação, detecção da presença do sensor, determinação de erros associados à ADC, etc. Por último a comunicação, que deverá ser bidireccional, permite a troca de dados entre estes e o sistema de automação onde está inserido. Na figura seguinte está ilustrado o diagrama funcional de um sensor inteligente.

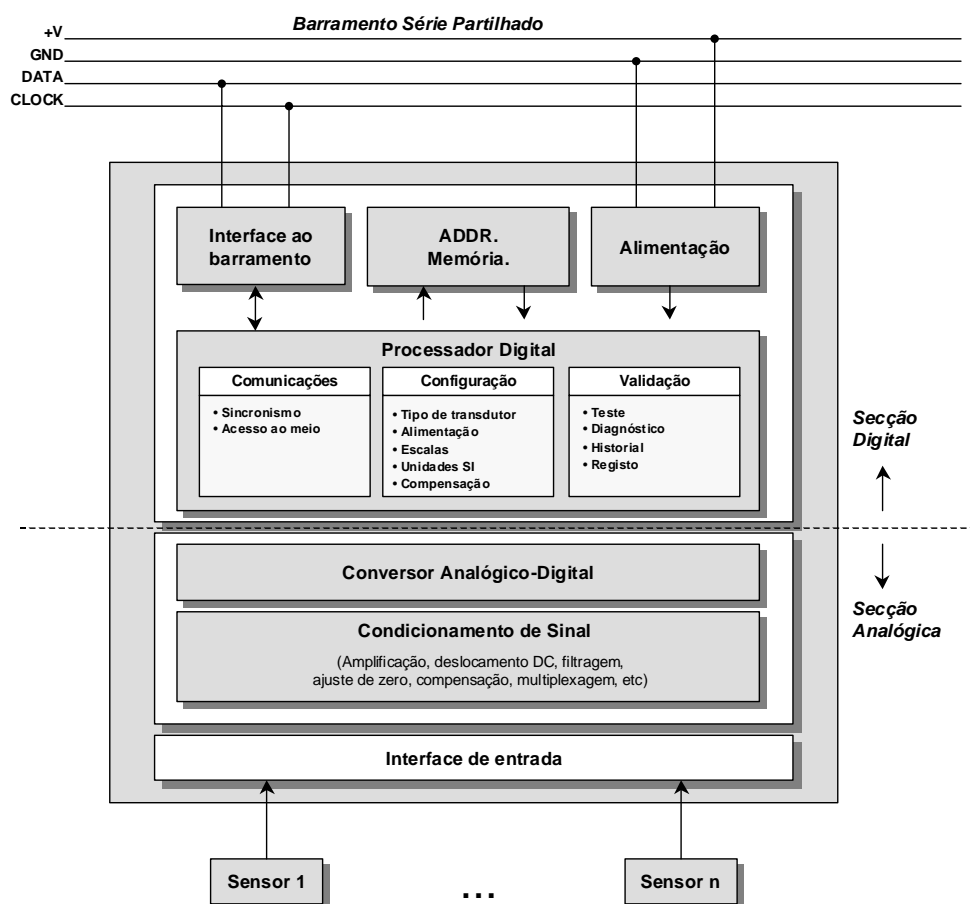


Figura 6.1 - Diagrama funcional de um sensor inteligente.

Neste capítulo apresenta-se um módulo de condicionamento programável com o objectivo de fornecer uma plataforma de processamento de sinal adequada à instrumentação inteligente. O módulo aceita como entrada sinais em tensão unipolares e bipolares, em modo simples ou diferencial e executa com elevada precisão as funções analógicas de amplificação, deslocamento DC e filtragem. Todas estas funções são totalmente programáveis por RS232, podendo no entanto ser utilizado qualquer outro tipo de barramento *standard*.

Sendo apenas uma plataforma base de condicionamento, deixa-se para trabalho futuro o desenvolvimento do *software* específico com vista a dotar o conjunto de funções '*inteligentes*' tais como validação, configuração, calibração, filtragem digital, ajuste automático de zero, entre outras.

A secção digital do módulo foi desenvolvida em torno de um microcontrolador de baixo custo, PIC16C71 da Microchip, que inclui na sua arquitectura interna um conversor A/D de 8-bit por aproximações sucessivas. O módulo está dotado de apenas uma entrada analógica, que pode ser facilmente expandida mediante a utilização de *multiplexer* interno.

Embora tenha sido utilizado um conversor A/D de 8-bit, as funções analógicas implementadas permitem que seja possível obter conversões com uma precisão mais elevada. De facto, a amplificação e o deslocamento DC permitem que a gama do conversor interno possa ser aplicado para diferentes gamas do sinal analógico. A precisão acrescida resulta dos *bit* usados para quantificar o ganho e deslocamento DC a aplicar ao sinal.

A utilização de técnicas de condensadores comutados permite que o estabelecimento do ganho, deslocamento DC e filtragem de sinais analógicos possa ser realizado através de sinais em frequência (sinais digitais). Estes sinais são comandados pelas saídas digitais do microcontrolador permitindo que as funções analógicas possam ser totalmente programáveis. A figura 6.2 ilustra o diagrama de blocos do conjunto proposto.

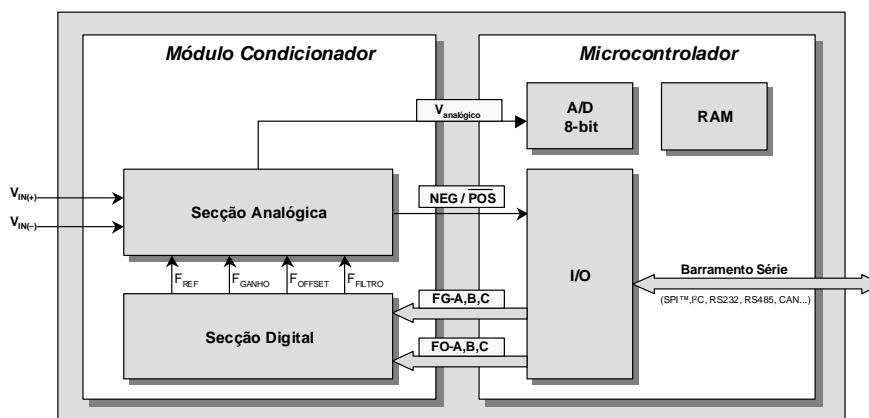


Figura 6.2 - Diagrama funcional do módulo de condicionamento programável.

O microcontrolador é responsável por determinar o ganho e o deslocamento DC a aplicar ao sinal de entrada através das saídas FG-A,B,C e FO-A,B,C, respectivamente. A saída $\overline{SGL/DIF}$ permite seleccionar sinais em modo simples ou diferencial e a entrada $\overline{NEG/POS}$ indica se o sinal é positivo ou negativo. O sinal condicionado ($V_{analógico}$) é então aplicado ao conversor A/D por aproximações sucessivas interno de 8-bit e o resultado armazenado em memória. O conjunto permite ser totalmente controlado por um barramento série como por exemplo os *standard* SPI™, I²C™, RS-232, RS485 e CAN. O microcontrolador pode ainda, além das funções anteriormente referidas, executar filtragem digital, armazenamento de máximos e mínimos, cálculo de médias e armazenamento de tabelas com factores correctivos.

Na secção 6.1 apresenta-se um estudo sumário dos condensadores comutados e na secção 6.2 propõe-se um módulo de condicionamento de sinal programável. Na secção 6.3 apresenta-se a validação experimental da solução implementada.

Convém no entanto referir que esta solução não foi implementada na estaca multisensorial pelo facto de ser ainda uma solução discreta que ocupa um espaço considerável de circuito impresso e apresentar um consumo in comportável para esta aplicação. Só teria viabilidade técnica se o conjunto fosse integrado e disponível num único circuito integrado. Além disso, deixa-se para trabalho futuro o desenvolvimento do *software* que permitiria as funcionalidades anteriormente referidas.

6.1 – Técnicas de condensadores comutados

Actualmente, as técnicas que empregam condensadores comutados são as mais utilizadas sempre que se pretendem combinar funções digitais com funções analógicas, para realizar funções de conversão, filtragem e instrumentação. Estas, baseiam-se em condensadores, amplificadores operacionais e interruptores MOS permitindo um elevado número de funções por unidade de área de silício, sendo esta uma das razões principais da sua crescente implantação.

Nos circuitos clássicos de amplificadores e filtros, as funções de transferência são estabelecidas com base em relações de resistências e condensadores. Num circuito que recorre a condensadores comutados, a sua função de transferência é dependente de uma relação entre condensadores e da frequência a que operam os interruptores MOS. Além da sua inerente facilidade de integração, existe a grande vantagem da possibilidade do seu controlo digital (através da frequência de comutação) recorrendo a microprocessadores.

A técnica dos condensadores comutados, doravante designada por SC (*Switched Capacitor*), consiste em simular uma resistência por operação periódica de um interruptor MOS que controla a carga de um condensador. Na figura 6.3 ilustra-se este conceito.

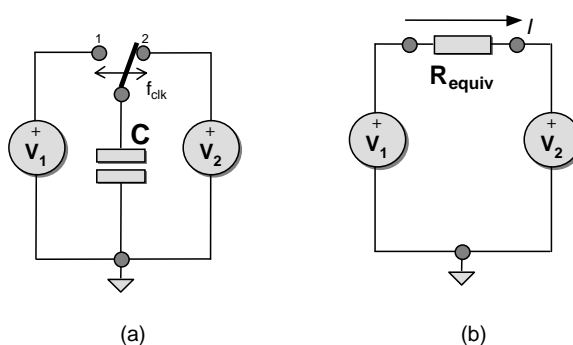


Figura 6.3 – Circuito SC básico(a) e circuito equivalente (b)

Assumindo que a tensão V_1 é superior a V_2 e que o interruptor está na posição 1, o condensador C carrega até ao potencial V_1 , sendo a carga total em C dada por $Q_1 = C \cdot V_1$. Quando o interruptor está na posição 2, o condensador é descarregado até ao potencial V_2 e com uma carga dada por $Q_2 = C \cdot V_2$. O diferencial de carga é então $\Delta Q = C(V_1 - V_2)$. Se o interruptor for operado a uma frequência f_{clk} , a carga transferida por unidade de tempo, ou seja, a corrente, é dada por :

$$I = f_{clk} \cdot \Delta Q = f_{clk} \cdot C \cdot (V_1 - V_2)$$

Reescrevendo a equação em termos de uma tensão e resistência equivalente, obtém-se:

$$I = \frac{V_1 - V_2}{\frac{1}{f_{clk} \cdot C}} = \frac{V_1 - V_2}{R_{eq}}, \text{ com } R_{eq} = \frac{1}{f_{clk} \cdot C}$$

Se o valor da frequência de comutação (f_{clk}) for bastante superior à frequência dos sinais envolvidos, o processo pode então ser aproximado a um processo contínuo, sendo o valor da resistência simulada determinado pelo valor da capacidade e pela frequência de operação do interruptor MOS.

Um dos problemas associados aos circuitos SC são as capacidades parasitas inerentes aos interruptores MOS que influenciam a resposta em frequência do circuito. O efeito destas capacidades pode ser substancialmente reduzido utilizando-se uma configuração de interruptor duplo. Deste modo, garante-se que a transferência de carga é feita apenas pelo condensador associado e não através das capacidades parasitas ^[23].

A figura seguinte ilustra um integrador com perdas RC e o seu equivalente SC. A função de transferência deste integrador é um filtro passa-baixo com ganho. A montagem SC deriva da simulação das resistências do integrador RC através de condensadores comutados.

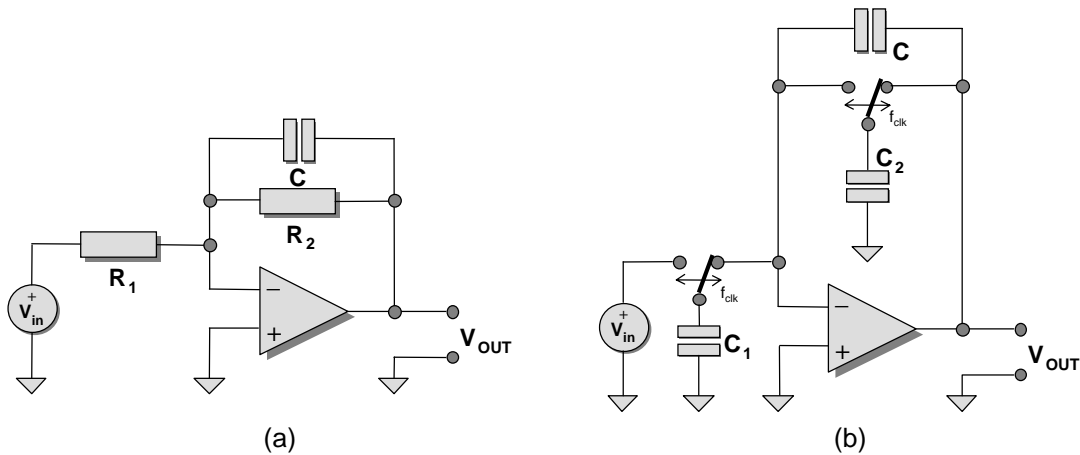


Figura 6.4 – Integrador com perdas clássico (a) e equivalente SC (b).

A função de transferência do integrador SC é dada por:

$$H = -\frac{C_1}{C_2} \cdot \frac{1}{1 + j(f/f_{corte})}, \text{ onde } f_{corte} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{C_2}{C} \cdot f_{clk}$$

onde o ganho DC é determinado pela relação entre as capacidades C_1 e C_2 e a frequência de corte do integrador, pela frequência de operação dos interruptores MOS (f_{clk}) e pela relação entre as capacidades C_2 e C .

Diversos fabricantes (*Linear Technology*, *Maxim*, *National Semiconductor*) dispõem de vários circuitos integrados que exploram as técnicas SC, onde se incluem interruptores comutados a partir de um sinal digital externo e filtros de elevada ordem, cuja frequência de corte pode ser programada por um sinal em frequência.

O circuito integrado utilizado no módulo de condicionamento aqui descrito é o LTC1043 da *Linear Technology*. Este integrado é um duplo bloco de interruptores apropriado para a sua utilização em instrumentação por técnicas SC. Um par de interruptores liga alternadamente uma capacidade externa a uma tensão de entrada e transfere posteriormente essa capacidade carregada para a saída. Os interruptores internos têm uma acção do tipo desligar antes de comutar. A frequência de comutação dos interruptores pode ser fornecida pelo relógio interno, cuja frequência é ajustada por um condensador externo, ou por um sinal digital externo que deverá oscilar entre as tensões de alimentação do integrado.

6.2 – Condicionamento programável

O microcontrolador usado dispõe de um conversor A/D de 8-bit pelo método de aproximações sucessivas e apenas disponibiliza uma tensão de referência (V_{REF}). Além da resolução insuficiente do conversor para a maioria das aplicações, uma outra desvantagem reside no facto de que o sinal a converter tem de estar limitado entre 0V e V_{REF} . Deste modo não é possível converter directamente sinais bipolares e diferenciais.

Por forma a que se possam ultrapassar as limitações referidas, o aumento da precisão da conversão pode ser levada a cabo por um módulo de condicionamento programável que altere de um forma precisa e conhecida o sinal original. Este módulo assenta o seu princípio de funcionamento na amplificação e deslocamento DC do sinal em causa, assim como na inversão de polaridade nos casos de sinais bipolares. As técnicas SC permitem ainda que o módulo tenha a capacidade de lidar com sinais diferenciais.

O princípio de funcionamento do módulo implementado assenta num amplificador operacional numa configuração somadora inversora em que ao sinal de entrada é adicionado um deslocamento DC. A sua implementação, recorrendo a técnicas SC, permite que o ganho e o deslocamento DC do sinal possam ser ajustados digitalmente através de um microcontrolador. O circuito básico encontra-se ilustrado na figura 6.5. Neste circuito são utilizados três LTC1043 onde cada um comuta um condensador a uma determinada frequência, simulando cada um uma resistência.

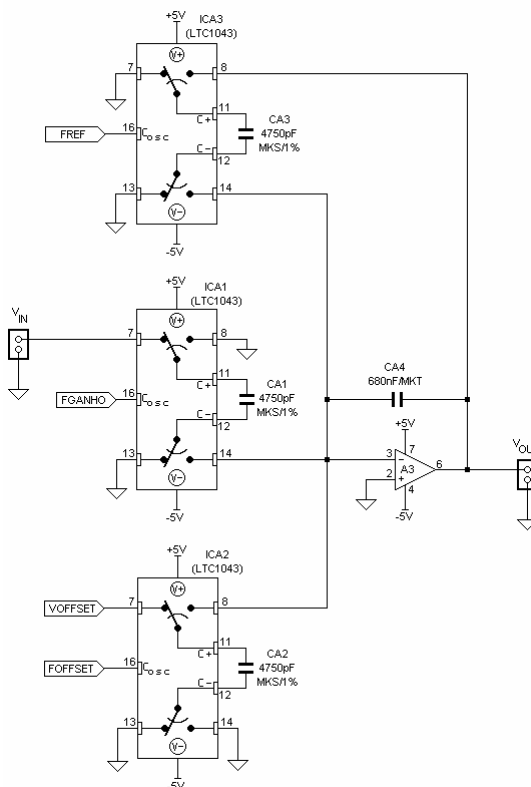


Figura 6.5 - Configuração base do módulo de condicionamento programável.

A corrente média ao longo do tempo entregue ao nó somador do amplificador operacional A3, através de ICA₁, é uma função da tensão que deriva da entrada por CA₁ e pela frequência de comutação de ICA₁ (F_{GANHO}). A esta corrente é ainda somada a corrente média entregue por ICA₂, função da tensão de desvio (V_{OFFSET}) através de CA₂ e da frequência de comutação no pino 16 de ICA₂ (F_{OFFSET}). No ramo de realimentação, ICA₃ funciona de um modo idêntico. Baixas frequências de comutação resultam em valores reduzidos de corrente média transferida, originando uma resistência de entrada elevada. Frequências elevadas de comutação produzem uma baixa resistência de entrada equivalente. O valor da capacidade (CA₄) e da resistência equivalente no ramo de realimentação impõem a filtragem a efectuar e limitam a largura de banda do sinal de entrada.

Tendo em conta a configuração utilizada para os interruptores, a função de transferência do circuito anterior é a seguinte:

$$V_{OUT} = \frac{CA_1}{CA_3} \cdot \frac{F_{ganho}}{F_{referência}} \cdot V_{IN} - \frac{CA_2}{CA_3} \cdot \frac{F_{offset}}{F_{referência}} \cdot V_{Offset}$$

Como a montagem é inversora, o ganho a aplicar ao sinal de entrada é positivo dado que a tensão V_{IN} é invertida pelo bloco constituído por ICA_1 e CA_1 . Para o desvio DC e dado que a tensão de desvio não é invertida por CA_2 e ICA_2 , a parcela relativamente à tensão de desvio é negativa proporcionando uma subtracção de uma componente DC. O sinal algébrico de cada parcela pode no entanto ser modificado por simples troca das ligações aos condensadores de cada bloco de interruptores. A título exemplificativo, para adicionar um nível DC ao sinal de entrada basta trocar as ligações entre os pinos 8 e 14 de ICA_2 .

A estabilidade do ganho do circuito proposto depende da estabilidade ratiométrica entre as frequências de referência, ganho e offset e da estabilidade da relação entre os condensadores. Por este motivo, os condensadores envolvidos devem ser de elevada estabilidade sendo recomendado o uso de condensadores de poliestireno (MKS) que oferecem elevada estabilidade, baixa tolerância e baixa absorção dieléctrica. No que diz respeito às frequências, estas devem ser provenientes de uma fonte comum.

O ganho a aplicar ao sinal de entrada, assim como o nível DC que eventualmente se pode aplicar para fazer subir ou descer o sinal de entrada é então determinado pelo valor das frequências F_{GANHO} e F_{OFFSET} , sendo o valor da frequência de referência ($F_{REFERÊNCIA}$) considerado fixo. Estas frequências, seleccionadas pelo microcontrolador, são geradas por uma fonte comum e adaptadas aos níveis de tensão adequados. O circuito utilizado encontra-se ilustrado na figura 6.6.

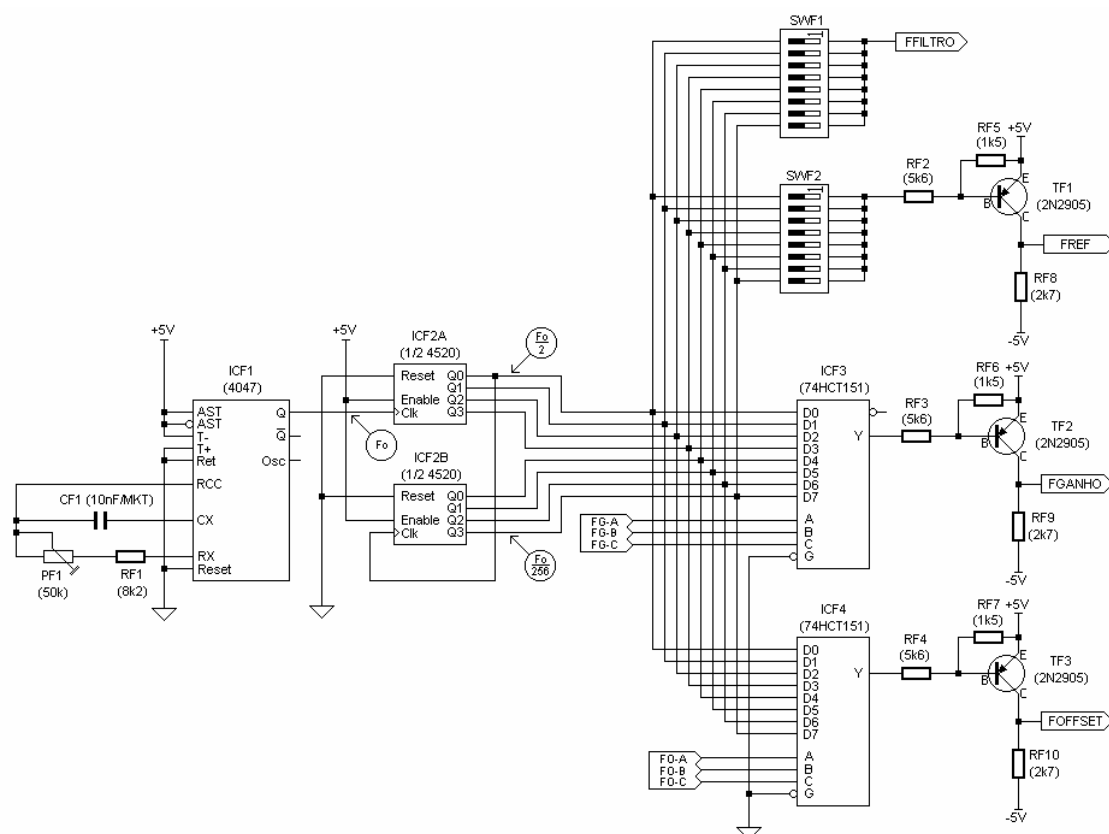


Figura 6.6 - Circuito de controlo das frequências do módulo.

O temporizador CMOS ICF₁ (4047) fornece um sinal com um ciclo de trabalho de 50% e cuja frequência é determinada por CF₁, PF₁ e RF₁. De seguida, este sinal é apresentado a um divisor binário (4520), ficando disponíveis 8 sinais cujas frequências são submúltiplas da frequência gerada por ICF₁. O bloco de interruptores SWF₂ selecciona qual o valor da frequência de referência e os multiplexadores digitais ICF₃ e ICF₄ (74HCT151) seleccionam as frequências que controlam o ganho e o desvio DC, respectivamente. Os sinais em frequência são posteriormente ajustados para comutarem nas linhas de alimentação do circuito dos condensadores comutados (+5V e -5V). A vantagem desta configuração reside na estabilidade ratiométrica das frequências geradas, dado que as variações na frequência da fonte F₀ não influenciam a relação entre elas. A título exemplificativo se a frequência de referência for ajustada para F₀/64, as linhas de selecção F_{G-A}, F_{G-B} e F_{G-C} permitem obter ganhos relativos ao sinal de entrada de 32, 16, 8, 2, 1, ½ e ¼. A frequência que controla o deslocamento DC a aplicar ao sinal de entrada é seleccionada pelas linhas F_{O-A}, F_{O-B} e F_{O-C}. No protótipo realizado, a tensão de desvio (V_{OFFSET}) foi gerada através de um circuito integrado de precisão (MAX873).

No entanto, este circuito apenas permite amplificar o sinal e deslocar o seu nível DC. Para que sinais bipolares e/ou diferenciais possam ser manipulados por forma a transformá-los num sinal adequado para o conversor AD utilizado, são necessárias algumas alterações ao esquema inicial.

Para os sinais de entrada em modo diferencial, o bloco de condensadores comutados da entrada deve aplicar ao nó inversor do amplificador operacional um tensão em modo comum. Isto é feito ligando simplesmente a entrada diferencial ao condensador comutado da entrada visto que este é inerentemente diferencial, figura 6.7. Deste modo, a tensão diferencial entregue ao condensador da entrada (CA_1) é transferida para o nó inversor de A_3 referida à massa.

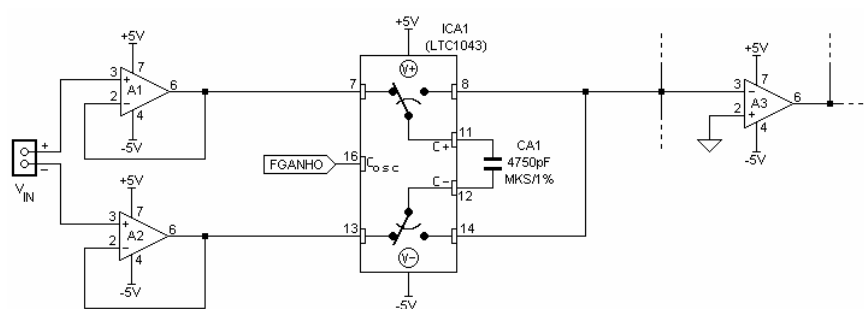


Figura 6.7 - Aplicação de uma entrada diferencial.

Neste circuito, os amplificadores A_1 e A_2 servem como tampão. Se à entrada é aplicada uma entrada diferencial, o condensador carrega até à tensão diferencial, aplicando ao nó inversor de A_3 uma tensão de $-(V_{IN(+)} - V_{IN(-)})$ referida à massa. Para sinais em modo comum, basta ligar a entrada $V_{IN(-)}$ à massa.

Quando o sinal de entrada é negativo (entrada bipolar), o procedimento a efectuar é apenas a inversão da sua polaridade para que o eventual ajuste do ganho e deslocamento DC possa ser feito como se de um sinal positivo se tratasse. O resultado da conversão virá afectado do sinal negativo (assinalado pelo *bit* $\overline{NEG/POS}$) quando se der a respectiva ocorrência. O circuito da figura 6.8 ilustra este procedimento. Quando o sinal é positivo, o comparador ICA_4 apresenta à saída o nível lógico '0'. Esta saída indica a polaridade do sinal e serve também para inverter a posição dos interruptores ICA_{5A} e ICA_{5B} . Na situação de sinal positivo, estes interruptores estão como representados na figura e invertendo o sinal de entrada. Quando o sinal é negativo, o comparador passa para o estado '1', comutando o

estado dos interruptores e invertendo o sinal proveniente de CA_1 que é aplicado ao nó inversor de A_3 .

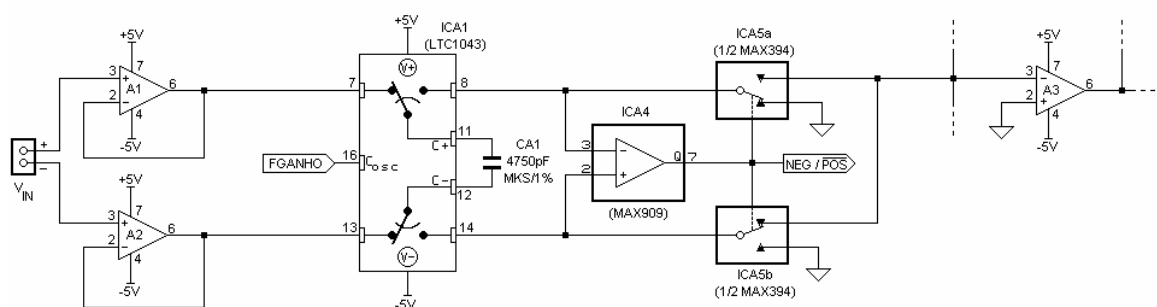


Figura 6.8 - Secção responsável pelo tratamento de sinais bipolares.

Os interruptores analógicos utilizados (ICA_5) foram o MAX394 que é composto por um bloco de 4 interruptores SPDT ('*Single Pole/Double Throw*') de precisão, com uma resistência de condução de apenas 17Ω (valor típico), alimentação unipolar (+2.7V a +15V) ou bipolar ($\pm 2.7V$ a $\pm 8V$), capacidade de lidar com sinais analógicos na gama das tensões de alimentação ('*rail-to-rail*'), baixo consumo ($10\mu W$) e baixa carga injectada ($<10pC$).

O comparador utilizado (ICA_4) foi o MAX909 que é um comparador rápido (40ns), de baixo consumo (3.5mW), alimentação bipolar ($\pm 5V$) e baixa tensão de offset ($500\mu V$).

Na figura 6.9 e 6.10 encontram-se o esquema do circuito usado no protótipo implementado e uma fotografia do conjunto, respectivamente. Por conveniência não se encontram ilustrados os condensadores de desacoplamento das linhas de alimentação referindo-se que os amplificadores operacionais e os blocos de condensadores comutados têm as suas alimentações desacopladas por um par de condensadores cerâmicos e tântalo.

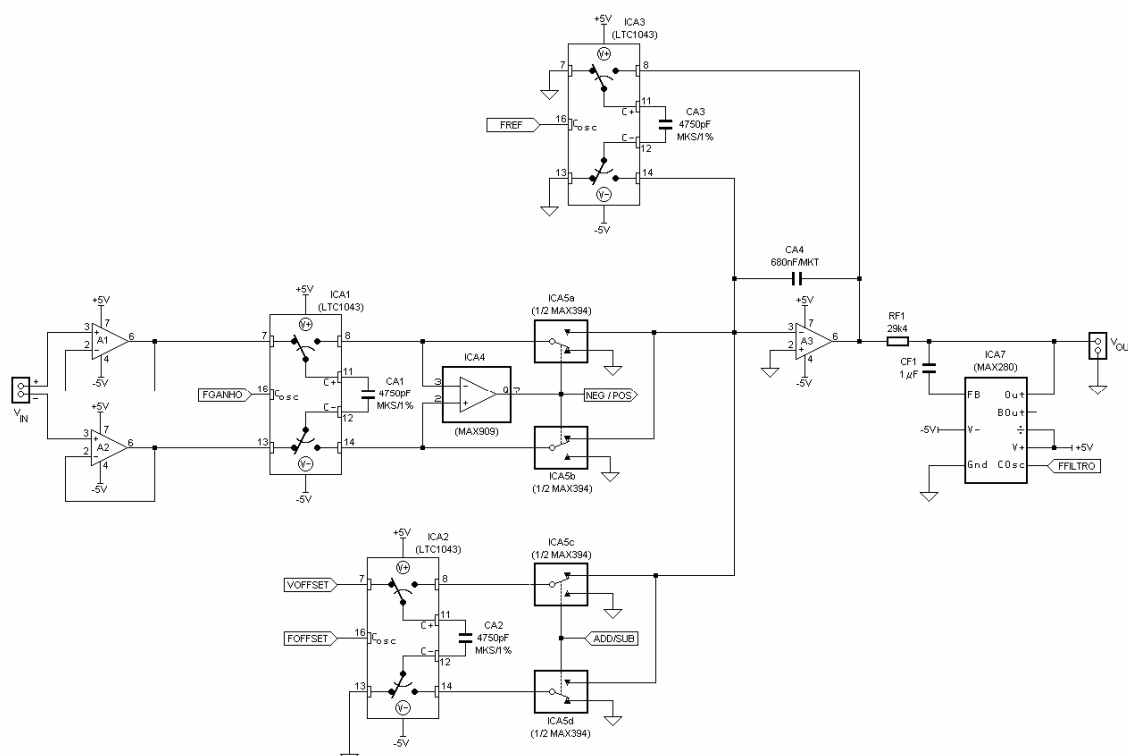


Figura 6.9 - Esquema completo do módulo de condicionamento programável.

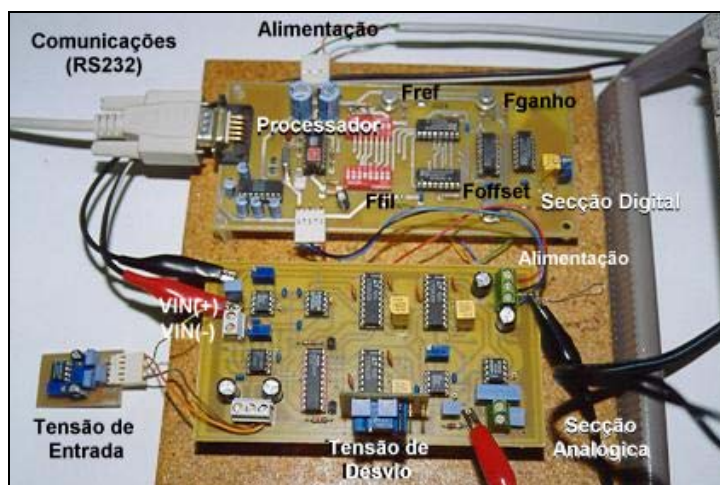


Figura 6.10 - Fotografia do módulo implementado.

Resta referir que o sinal de saída do amplificador A3 é filtrado por um filtro passa-baixo de 5ª ordem do tipo *Butterworth* (ICA₇) com vista a retirar transitórios resultantes da comutação dos condensadores. Este integrado (MAX280 da *Maxim*) filtra o sinal sem erro DC e a frequência de corte é programada por um sinal digital externo (F_{FILTRO}) cuja frequência deverá ser 100 vezes superior à frequência de corte desejada.

Os amplificadores operacionais A1, A2 e A3 utilizados foram o OP27EP da *PMI* que apresenta uma tensão de offset (V_{OS}) máxima de $25\mu V$. Com vista a comparar o desempenho do circuito, foram também utilizados o TL081 e TLC271 da *Texas Instruments* e o MAX430 da *Maxim* que é do tipo "*Chopper Stabilized*". Os resultados foram bastante bons, embora com o TLC271 tenha sido necessário ajustar a tensão de *offset*.

6.3 – Validação experimental

Por forma a ensaiar o módulo de condicionamento programável implementou-se inicialmente um circuito base, partindo-se posteriormente para a solução final. A figura seguinte ilustra o circuito base implementado.

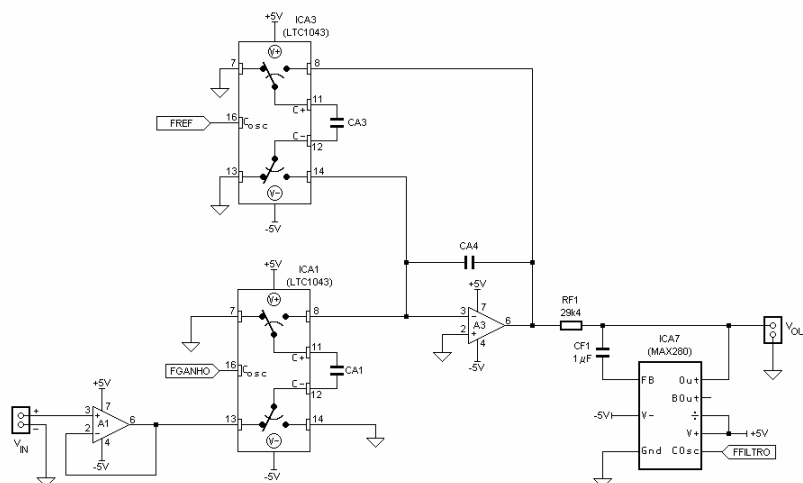


Figura 6.11 - Esquemático do amplificador com ganho controlado digitalmente.

Os ensaios realizados com este circuito visaram determinar a precisão com que o módulo multiplica o sinal de entrada por diferentes constantes estabelecidas por uma relação entre frequências. Outro aspecto importante consistiu em determinar a estabilidade do ganho com a variação das frequências e com a variação do valor das capacidades utilizadas. O circuito utilizado também serviu o propósito de otimizar o circuito impresso com vista a melhorar o desempenho do condicionador. Os ensaios foram realizados para ganhos de $\frac{1}{2}$, 1, 2, 4, 8, 16 e 32 a uma temperatura de cerca de $22^{\circ}C$. Os quadros 6.1, 6.2 e 6.3 referem-se aos resultados obtidos quando se multiplica o sinal de entrada por 1, 8 e 32, respectivamente. Em todos os casos, utilizou-se uma tensão de entrada ajustável até 2.5V, gerada por um circuito integrado de precisão (MAX873).

Quadro 6.1 - Resultados do ensaio realizado com entrada em modo simples e ganho unitário.

Entrada (V_{IN}), [mV]	Saída (V_{OUT}), [mV]	Ganho	Erro [mV], (a)	Erro [ppm], (b)	Precisão [bit]
20.534	20.5232	0.999445	-0.001	0.13	> 14 bit
50.253	50.2312	0.999570	0.005	0.94	> 14 bit
100.1159	100.0685	0.999527	0.005	0.99	> 14 bit
150.137	150.062	0.999500	0.004	0.70	> 14 bit
200.611	200.510	0.999497	0.004	0.78	> 14 bit
300.483	300.331	0.999494	0.005	1.03	> 14 bit
400.089	399.883	0.999485	0.003	0.65	> 14 bit
500.252	499.991	0.999478	0.001	0.13	> 14 bit
650.204	649.864	0.999477	0.000	0.01	> 14 bit
800.452	800.024	0.999465	-0.009	1.87	> 14 bit
1000.472	999.918	0.999446	-0.031	6.15	> 14 bit
1200.15	1199.49	0.999450	-0.032	6.46	> 14 bit
1401.26	1400.49	0.999450	-0.037	7.43	> 14 bit
1600.72	1599.83	0.999444	-0.053	10.56	> 14 bit
1801.16	1800.17	0.999450	-0.048	9.60	> 14 bit
2000.68	1999.59	0.999455	-0.044	8.73	> 14 bit
2200.59	2199.41	0.999464	-0.029	5.82	> 14 bit
2500.68	2499.39	0.999484	0.018	3.57	> 14 bit
Condições do ensaio : (circuito da figura 6.11)					
F_{REF}	5 kHz	CA_3 (C_{REF})	4750pF/MKS	Ganho médio do ensaio 0.999477	
F_{GANHO}	5 kHz	CA_1 (C_{GANHO})	4750pF/MKS		
CA_4 (C_{REAL})	680nF/MKT	$A1=A3$	OP27EP		

Notas: a) Erro entre a saída e o produto da entrada pelo ganho médio do ensaio (0.999477).
b) Erro em partes por milhão referido à gama total (FSR=5V).

Quadro 6.2 - Resultados do ensaio realizado com entrada em modo simples e ganho 8.

Entrada (V_{IN}), [mV]	Saída (V_{OUT}), [mV]	Ganho	Erro [mV], (a)	Erro [ppm], (b)	Precisão [bit]
20.0651	160.44	7.995973	0.001	0.18	> 14 bit
49.982	399.651	7.995899	-0.002	0.30	> 14 bit
100.699	805.169	7.995799	-0.013	2.61	> 14 bit
150.164	1200.67	7.995725	-0.031	6.14	> 14 bit
200.076	1599.70	7.995462	-0.093	18.70	> 14 bit
300.177	2400.17	7.995849	-0.024	4.80	> 14 bit
400.692	3203.97	7.996092	0.065	13.04	> 14 bit
500.236	3999.98	7.996186	0.128	25.69	> 14 bit
600.357	4800.59	7.996226	0.178	35.61	> 14 bit
625.292	5000.01	7.996280	0.220	43.91	> 14 bit
Condições do ensaio : (circuito da figura 6.11)					
F_{REF}	2 kHz	CA_3 (C_{REF})	4750pF/MKS	Ganho médio do ensaio 7.995949	
F_{GANHO}	16 kHz	CA_1 (C_{GANHO})	4750pF/MKS		
CA_4 (C_{REAL})	680nF/MKT	$A1=A3$	OP27EP		

Notas: a) Erro entre a saída e o produto da entrada pelo ganho médio do ensaio (7.995949).
b) Erro em partes por milhão referido à gama total (FSR=5V).

Quadro 6.3 - Resultados do ensaio realizado com entrada em modo simples e ganho 32.

Entrada (V _{IN}), [mV]	Saída (V _{OUT}), [mV]	Ganho	Erro [mV], (a)	Erro [ppm], (b)	Precisão [bit]
20.1111	643.111	31.977913	-0.045	8.98	> 14 bit
40.2853	1288.20	31.976925	-0.130	25.95	> 14 bit
60.3719	1930.67	31.979613	-0.032	6.42	> 14 bit
80.1675	2563.83	31.980915	0.062	12.35	> 14 bit
100.042	3199.58	31.982367	0.222	44.47	> 14 bit
125.096	4000.78	31.981678	0.192	38.36	> 14 bit
149.978	4796.46	31.981091	0.142	28.36	> 14 bit
156.433	5002.83	31.980656	0.080	16.00	> 14 bit

Condições do ensaio : (circuito da figura 6.11)

F _{REF}	1 kHz	CA ₃ (C _{REF})	4750pF/MKS	Ganho médio do ensaio 31.980145
F _{GANHO}	32 kHz	CA ₁ (C _{GANHO})	4750pF/MKS	
CA ₄ (C _{REAL})	680nF/MKT	A1=A3	OP27EP	

Notas: b) Erro entre a saída e o produto da entrada pelo ganho médio do ensaio (31.980145).
c) Erro em partes por milhão referido à gama total (FSR=5V).

Os quadros anteriores mostram que a precisão da multiplicação é em todos os casos superior a 14-bit. O valor do erro para determinar a precisão em número de *bit* refere-se à diferença entre a saída e a entrada multiplicada pelo ganho médio do ensaios.

Dos resultados obtidos nos ensaios anteriores pode observar-se uma boa concordância entre os valores práticos e definidos para o ganho. Como foi referido, o ganho é afectado pela razão de dois condensadores, pelo qualquer variação do valor destes se irá reflectir no desempenho do condicionador. Assim mediram-se, com recurso a uma ponte de medida RLC de precisão Fluke PM6304, os valores das capacidades que estabelecem o ganho:

$$\text{Ganho} = \frac{C_{\text{GANHO}}}{C_{\text{REF}}} \cdot \frac{F_{\text{GANHO}}}{F_{\text{REF}}} = \frac{CA_1}{CA_3} \cdot \frac{F_{\text{GANHO}}}{F_{\text{REF}}} = \frac{4769.2_{\text{pF}}}{4765.7_{\text{pF}}} \cdot \frac{F_{\text{GANHO}}}{F_{\text{REF}}} = 0.999266 \cdot \frac{F_{\text{GANHO}}}{F_{\text{REF}}}$$

Desta expressão se conclui que o ganho é praticamente igual à razão entre as frequências de ganho e de referência como era pretendido.

O circuito da figura 6.12 ilustra o circuito do protótipo final do módulo de condicionamento programável.

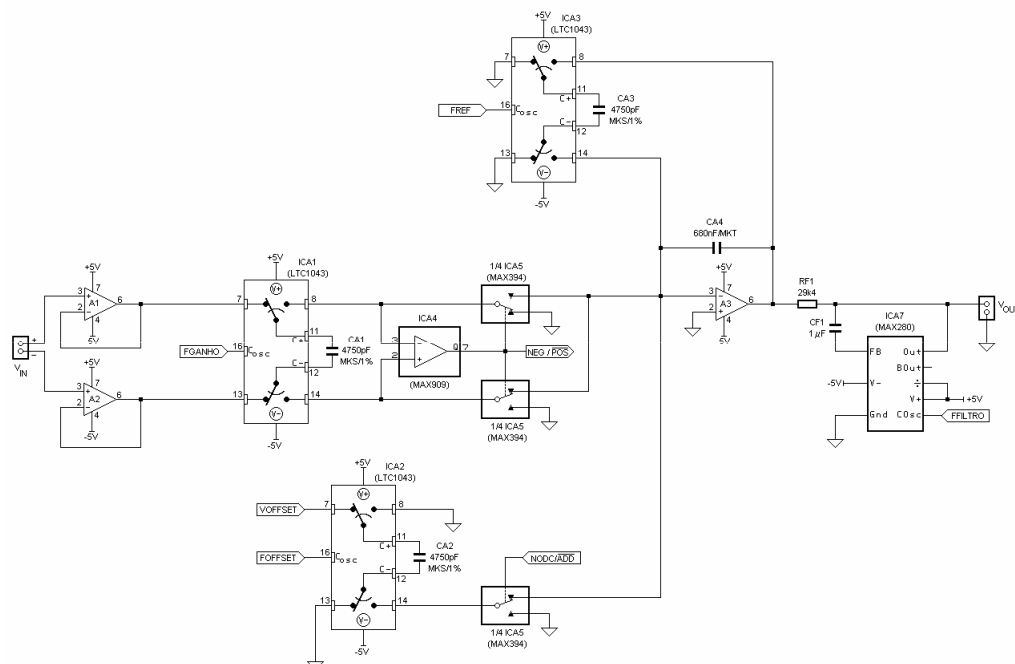


Figura 6.12 - Esquemático do protótipo final do módulo de condicionamento programável.

O quadro 6.4 mostra os resultados obtidos para um ganho unitário e quando à entrada é aplicado um sinal diferencial. Neste ensaio não foi aplicado nenhum deslocamento DC.

Quadro 6.4 - Resultado do ensaio realizado com ganho unitário e entrada diferencial.

Entrada ($V_{IN(+)}-V_{IN(-)}$), [mV]	Saída (V_{OUT}), [mV]	Ganho	Erro [mV], (^a)	Erro [ppm], (^b)	Precisão [bit]
100.903	100.846	0.999435	-0.005	1.09	> 14 bit
200.425	200.329	0.999521	0.006	1.28	> 14 bit
299.744	299.600	0.999520	0.009	1.83	> 14 bit
400.891	400.691	0.999501	0.005	0.97	> 14 bit
500.169	499.914	0.999490	0.001	0.12	> 14 bit
600.089	599.773	0.999473	-0.009	1.87	> 14 bit
800.73	800.316	0.999483	-0.005	0.97	> 14 bit
1000.385	999.882	0.999497	0.008	1.64	> 14 bit
1250.13	1249.50	0.999496	0.009	1.76	> 14 bit
1500.76	1499.98	0.999480	-0.013	2.62	> 14 bit
1750.37	1749.45	0.999474	-0.026	5.11	> 14 bit
2000.96	1999.96	0.999500	0.022	4.50	> 14 bit

Condições do ensaio : (circuito da figura 6.12)

F _{REF}	5 kHz	CA ₃ (C _{REF})	4750pF/MKS	Ganho médio do ensaio 0.999489
F _{Ganho}	10 kHz	CA ₁ (C _{Ganho})	4750pF/MKS	
F _{Offset}	1250 Hz	CA ₂ (C _{Offset})	4750pF/MKS	
CA ₄ (C _{REAL})	680nF/MKT	A1=A2=A3	OP27EP	

Notas: a) Erro entre a saída e o produto da entrada pelo ganho médio do ensaio (0.999489).
b) Erro em partes por milhão referido à gama total (FSR=5V).

O quadro 6.5 refere-se ao caso em que ao sinal de entrada em modo simples se aplicou um ganho de 2 à qual se adicionou uma tensão de desvio. Neste ensaio, o valor da tensão de desvio é de $\frac{1}{4} \times (1000.271 \text{ mV})$ que foi gerada a partir de um circuito integrado de precisão (MAX873).

Quadro 6.5 - Resultados do ensaio realizado com entrada em modo simples, ganho 2 e deslocamento DC.

Entrada (V_{IN}), [mV]	Saída (^a) (V_{OUT}), [mV]	Ganho (^b)	Saída (^c) (V_{OUT}), [mV]	Ganho (^d)	Erro [mV], (^e)	Erro [ppm], (^f)	Precisão [bit]
100.032	199.992	1.999280	449.741	0.249678	0.067	13.50	> 14 bit
200.151	400.184	1.999410	649.898	0.249667	0.056	11.13	> 14 bit
300.105	599.912	1.999007	849.760	0.249690	0.079	15.75	> 14 bit
400.122	799.951	1.999268	1049.623	0.249588	-0.023	4.63	> 14 bit
500.624	1001.09	1.999684	1250.57	0.249600	-0.011	2.14	> 14 bit
600.342	1200.21	1.999210	1449.96	0.249623	0.012	2.44	> 14 bit
800.106	1599.57	1.999198	1849.29	0.249563	-0.048	9.55	> 14 bit
1000.026	1999.25	1.999198	2249.12	0.249691	0.080	16.07	> 14 bit
1250.01	2499.38	1.999488	2748.85	0.249626	0.015	3.02	> 14 bit
1500.58	3000.12	1.999307	3249.93	0.249739	0.128	25.65	> 14 bit
1750.34	3499.51	1.999332	3749.2	0.249662	0.051	10.17	> 14 bit
2000.40	3999.45	1.999325	4249.2	0.249715	0.104	20.73	> 14 bit

Condições do ensaio : (circuito da figura 6.12 com adição de uma componente DC)

F_{REF}	5 kHz	CA_3 (C_{REF})	4750pF/MKS	Ganho médio directo
F_{GANHO}	10 kHz	CA_1 (C_{GANHO})	4750pF/MKS	1.999309
F_{OFFSET}	1250 Hz	CA_2 (C_{OFFSET})	4750pF/MKS	Ganho médio do deslocamento
V_{OFFSET}	1000.271mV	$A1=A2=A3$	OP27EP	0.249654
CA_4 (C_{REAL})	680nF/MKT			

- Notas:
- a) Saída com ganho 2, sem adição de componente DC.
 - b) Ganho do sinal de entrada, sem adição de componente DC.
 - c) Saída com ganho 2, com adição de componente DC 1000.271mV dividida por 4
 - d) Ganho entre a tensão de desvio (1000,271mV) e a componente DC adicionada.
 - e) Erro entre o valor da saída com deslocamento DC e o valor esperado tendo em conta o valor médio do ganho da entrada para a saída (1.999309) e do valor médio do ganho da tensão de desvio para a componente DC adicionada (0.249654).
 - f) Erro em partes por milhão referido à gama total (FSR=5V), relativo a e).

Para os ensaios com entradas bipolares, aplicou-se um sinal triangular sem componente DC e com uma amplitude de $4V_{pp}$. A figura 6.13 ilustra as formas de onda dos sinais à entrada (A) e à saída do módulo, (B). Como se pode observar, para sinais com amplitude negativa a saída do módulo aparece invertida. Isto deve-se à mudança de estado do comparador ICA₄ do circuito da figura 6.12 que inverte a posição dos interruptores à saída de ICA₁.

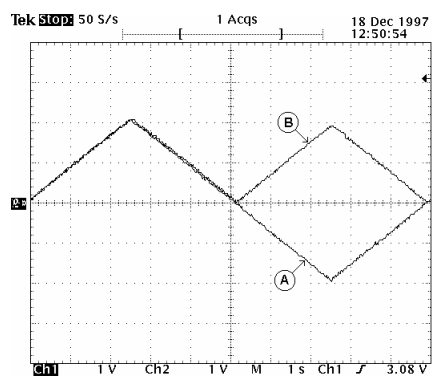


Figura 6.13 - Sinal bipolar aplicado à entrada (A) e o obtido à saída do módulo (B).

Capítulo 7

A rede de comunicações

Tal como referido no capítulo 3, a rede de comunicações é composta por um conjunto de estacas multisensoriais ligadas a uma estação de nível hierárquico superior denominada de estação base. Esta estação, situada normalmente na sala de comando da estufa, gere as comunicações com as estacas a ela adjacentes, armazena os dados recolhidos por estas, e dá início ao processo de aquisição de dados. Além destas funções, pode ainda executar estratégias simples de controlo. As estacas fazem unicamente aquisição de dados.

Esta rede foi desenvolvida para ser aplicada a vários processos individuais em zonas geográficas distintas. Como exemplos de aplicações, poderemos instalar este sistema em vários complexos de estufas, estações meteorológicas, estábulos inteligentes, etc. Cada uma dessas áreas distintas será denominada de área agrícola. A ligação em rede de um conjunto de estacas multisensoriais a uma estação base pressupõem que estas entidades estejam afectas a uma determinada área agrícola.

Todos os parâmetros que configuram a estação base e as estacas são fornecidos pelo utilizador através de uma ligação à estação base. Esta ligação pode ser efectuada por ligação directa RS232 com um PC portátil, ou remotamente, através de uma ligação por rádio-frequência de médio alcance.

A figura seguinte ilustra um possível cenário de aplicação deste sistema. Neste exemplo, existem duas estufas das quais apenas a primeira dispõem de facilidades de comando. A estação base é colocada na sala de comando podendo accionar todos os actuadores da estufa 1. Pelo facto de as estufas serem adjacentes, todas as estacas instaladas nessa área estão afectas à estação base instalada na estufa 1. Além das estacas colocadas no interior das estufas existem também estacas colocadas na área circundante às estufas. Estas últimas têm como função monitorar as condições do clima exterior.

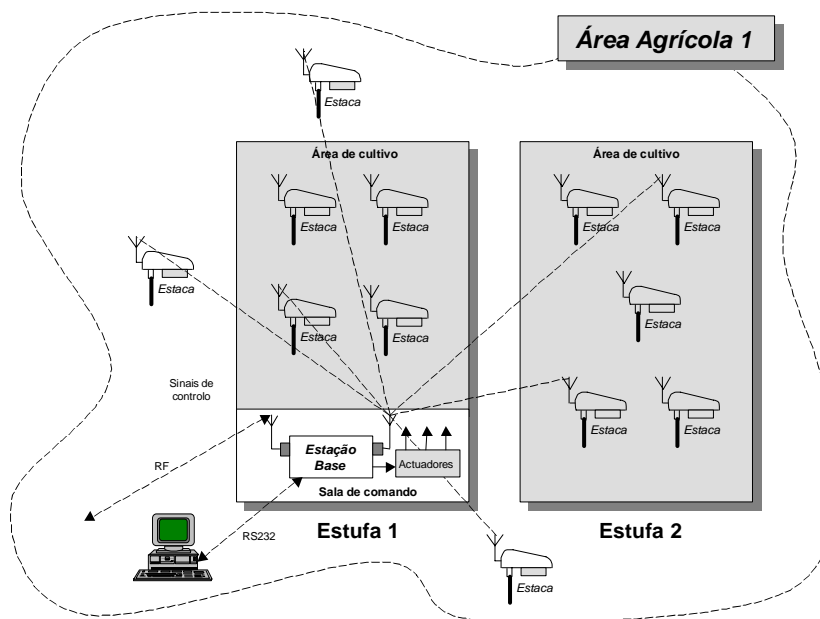


Figura 7.1 – Cenário de aplicação da rede multisensorial.

Trata-se portanto de uma topologia do tipo multiponto, em que todas as estações secundárias (estacas) se encontram ligadas a uma estação primária (estação base). Esta rede permite apenas a comunicação entre a estação base e as estacas que lhe são acessíveis, ou seja cobertas pela linha de rádio-frequência. No entanto, foi considerada a hipótese da comunicação entre a estação base e uma estaca não acessível directamente utilizando-se uma estaca intermédia, num esquema do tipo repetidor, a desenvolver numa futura expansão do sistema.

No conjunto proposto para a apresentação deste trabalho, a estação base foi simulada por um computador pessoal dotado de um *transceiver* para comunicação por rádio-frequência, sendo o protótipo da estação base objecto de um outro projecto em curso do qual já está realizada a parte física, restando portanto terminar o *software* das comunicações e gestão.

7.1 - Requisitos básicos

As comunicações no interior de uma rede que englobe dois ou mais sistemas só são eficazes se todos eles compreenderem e utilizarem o mesmo código de comunicação, tecnicamente designado por protocolo de comunicações. Um protocolo de comunicações é

um conjunto de regras que pretendem disciplinar e garantir a eficácia de uma troca de informação entre duas mais entidades.

Para o desenvolvimento de um protocolo de comunicações, e considerada a aplicação a que se destina, deve ter-se em conta diversos aspectos tais como o número de sistemas máximo por estação base, o atraso de propagação, ‘*overhead*’ adicionado para controlo da ligação, sincronismo entre entidades, tipo de informação trocada, reconhecimento e controlo de erro, etc. Para além destes é de referir a importância da topologia da rede e configuração de linha adoptadas.

7.1.1. - Topologia e configuração de linha

A topologia da rede prende-se com a forma como as várias unidades se interligam. Neste caso e por motivos óbvios, foi implementada uma topologia em estrela.

Nesta aplicação, estão definidas duas entidades funcionalmente distintas: a estaca e a estação base. Esta última é a entidade responsável por gerir todas as trocas de informação assim como pelo controlo total sobre o meio, pelo que é denominada de estação primária. A estaca multisensorial é uma entidade que está geralmente num modo suspenso de actividade, acordando apenas para responder a comandos, e/ou iniciar uma transmissão para a estação base quando solicitada. Como não é permitida a comunicação entre estacas, esta entidade é denominada de estação secundária. A configuração mais apropriada para esta rede é denominada de ‘*Multipoint Half-Duplex*’. Isto deve-se ao facto de todas as entidades partilharem o meio de comunicação e de nenhuma delas ter a capacidade de transmitir e receber simultaneamente.

Neste tipo de configuração, o esquema de ligação com as estacas é uma variante do esquema conhecido por ‘*Poll and Select*’. O esquema de ‘*polling*’ usado é do tipo ‘*roll-call polling*’, no qual a estação primária envia um pequeno pedido a cada estação secundária numa sequência pré-determinada.

7.1.2 - Tipo de informação trocada

A informação trocada resume-se ao envio de comandos da estação base para cada estaca e de respostas por parte destas para a estação base. Os comandos podem ser de

configuração individual, de aquisição global ou de aquisição individual. Cada estaca responde adequadamente com dados relativos à amostragem requerida ou com mensagens que reportam principalmente situações de erro.

Os comandos, respostas e mensagens de erro são enviados em blocos individuais de pequeno tamanho pelo que não é necessário que a informação seja fraccionada em pacotes.

7.1.3 – Reconhecimento e controlo de erro

Os sistemas de comunicações sem fios, como os que são baseados em rádio-frequência, são caracterizados por poderem ser pouco fiáveis. De facto, a taxa de ocorrência de erros é superior à que se encontra nos outros suportes de comunicações, devido à menor imunidade às interferências no meio. É então necessário dotar o protocolo de comunicações de técnicas que permitam detectar e eventualmente corrigir erros. As mais comuns baseiam-se em duas funções: detecção de erro, em que geralmente é utilizado uma verificação de redundância cíclica, CRC (*'CRC-Cyclic Redundance Check'*), e pedido de repetição automático (*'ARQ-Automatic Repeat ReQuest'*).

Quando a estação base está num processo de configuração das estacas, é enviado um comando de configuração a cada uma destas. Caso ocorra um erro na transmissão, a sua detecção é feita por CRC. Neste caso o receptor, ou seja a estaca, envia uma mensagem de reconhecimento, indicando se ocorreu erro ou não. Quando a estação base envia um comando de aquisição global, as estacas não estão autorizadas a fazer o reconhecimento da recepção. Este só é feito quando a estaca é posteriormente interrogada. Assim, se ocorrer um erro na recepção do comando de aquisição global é enviada uma mensagem de erro ao invés dos dados esperados na altura em que a estaca é interrogada.

Embora existam diversas técnicas de detecção de erro, a verificação de redundância cíclica é uma técnica bastante poderosa e cuja implementação não envolve demasiada complexidade, nem demasiados recursos. Para uma dada sequência binária a transmitir, o emissor adiciona um código de detecção de erro, ou sequência de verificação da trama, que é função dos *bit* anteriormente enviados. O receptor executa o mesmo cálculo e compara os dois resultados. Um erro detectado ocorre se e só se existir diferença entre o valor transmitido e o calculado. O CRC é determinado pela divisão da sequência a transmitir por

um divisor determinado. O resto desta divisão é a sequência de detecção de erro. Para este divisor, normalmente expresso por um código polinomial, existem diversas versões padronizadas internacionalmente: CRC-12, CRC-16 e CRC-CCITT.

Das propriedades do CRC, existe uma que é bastante útil para detecção rápida de erros. À medida que a sequência é recebida, o receptor actualiza sucessivamente o CRC. Após o último *byte* de dados, o valor calculado deverá coincidir com o CRC enviado. Se actualizarmos o valor do CRC com o valor recebido, o novo valor do CRC será zero no caso de ausência de erro.

No esquema de detecção de erro implementado são usados dois tipos de CRC. No envio de comandos e de mensagens de erro, recorreu-se a um código de detecção de 8-*bit* devido ao reduzido tamanho da sequência binária transmitida. Usando este código de 8-*bit*, cujo polinómio representativo é $X^8+X^5+X^4+1$, o tempo de detecção de erros é substancialmente reduzido, além de se diminuir o ‘*overhead*’ da sequência enviada. Nas respostas é enviado um código de 16-*bit* (CRC-16) devido ao maior tamanho da sequência transmitida.

7.1.4 – Sincronismo

O sincronismo entre estacas e estação base é em parte condicionado pelo modo em que uma estaca funciona no estado de baixo consumo. Como observado na secção 5.3, o consumo médio é controlado pelo período dos impulsos de alimentação do *transceiver* da estaca. O valor utilizado de cerca de 380ms exige que seja enviado um preâmbulo com uma duração mínima de 380ms. Além deste parâmetro, o sincronismo é levado a cabo através de uma combinação de padrões binários específicos. Ao nível da transmissão, o receptor necessita de um tempo mínimo de 3ms para sincronizar com o emissor. Ao nível da ligação de dados, o sincronismo é concretizado através do envio de dois *byte* de valor FF_{hex}. Este valor permite que o receptor sincronize na única transição que ocorre com este padrão, ou seja, o seu *StartBit*.

No sentido inverso, isto é da estaca para a estação base, não é necessário o envio de um preâmbulo com a duração referida. Isto deve-se ao facto de que o ‘*transceiver*’ da estação base não funciona em regime pulsado, mas sim num regime permanentemente activo. Deste modo, basta apenas enviar alguns *byte* de sincronismo seguidos dos dois *byte* de valor FF_{hex}.

7.1.5 – Comprimento das mensagens trocadas

Quando se troca informação num sistema de comunicações, é necessário saber qual o comprimento total da mensagem trocada. Por exemplo, no controlo de ligação de dados HDLC existem delimitadores de pacote constituídos por um padrão específico. No entanto, a ocorrência desse mesmo padrão no seio da informação daria origem a uma interpretação errada do comprimento do pacote. Isto pode ser evitado recorrendo-se, por exemplo, a uma técnica denominada de *bit stuffing* que evita o aparecimento dessa ocorrência.

Neste sistema de comunicações, o conhecimento prévio do comprimento das mensagens trocadas reduz significativamente o tempo de processamento das mensagens recebidas. De facto, quando a estação base emite um comando de aquisição global, a estaca rege a sua operação tendo em conta a configuração anteriormente enviada e armazenada. O conhecimento desta configuração individual determina claramente o comprimento da resposta pelo que não se considerou necessário recorrer a delimitadores específicos para os blocos de informação.

7.1.6 – Número máximo de sistemas

Sendo a estaca multisensorial uma entidade que realiza aquisição de dados sob comando de uma estação base, é a esta última que cabe estabelecer os instantes de amostragem. Este último parâmetro condiciona consideravelmente o número máximo de estacas que podem ser ligadas a cada estação base. De facto, o tempo que decorre entre instantes de amostragem deve ser suficiente para que a estação base emita um comando de aquisição global e recolha posteriormente os dados de todas as estacas.

A figura 7.2 ilustra este procedimento. No instante de amostragem T_a , a estação base emite um comando de aquisição para todas as estacas. Após um tempo de espera, $t_s - t_1$, a estação base inicia a recolha dos dados adquiridos pelas estacas em tempo diferido, pelo que este processo deverá estar concluído antes do próximo instante de amostragem, $2 T_a$.

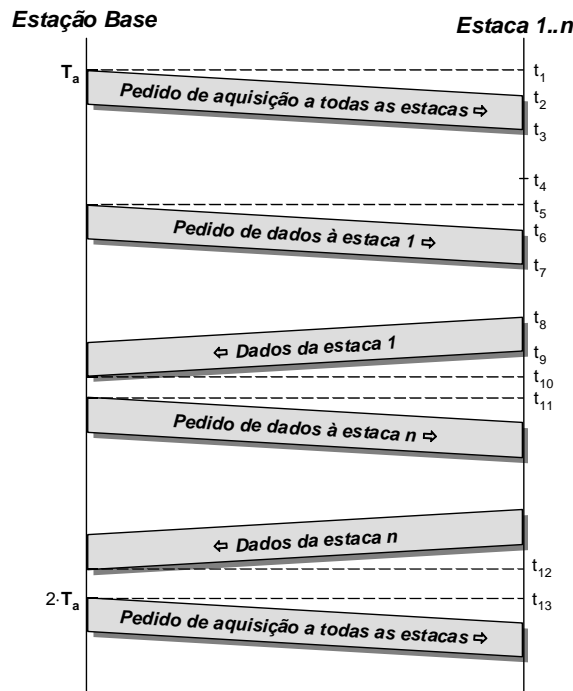


Figura 7.2 – Sequência temporal de um ciclo normal de transferência de dados.

Para determinar o número máximo de sistemas, é necessário calcular o tempo que decorre entre o instante inicial do pedido global de aquisição (t_1) e o instante em que a estação base armazenou os dados recolhidos referentes à ultima estaca (t_{13}). Este intervalo de tempo é composto pela soma de duas componentes. A primeira refere-se ao pedido global e tem uma duração de $t_5 - t_1$, designado por $T_{\text{multicast}}$. Durante este período de tempo, cada estaca deverá analisar a ordem, efectuar as aquisições e armazenar os dados para posterior envio. A segunda componente é determinada pelo número de estacas e pelo tempo que decorre entre o pedido de dados à estaca (t_5) e o armazenamento destes por parte da estação base (t_{11}), ou seja, $n_{\text{estacas}} \times (t_{11} - t_5)$. O tempo $t_{11} - t_5$ é designado por período de transferência de dados em diferido, $T_{\text{transferência}}$.

Assim sendo, o número de estacas que podem ser instaladas depende do intervalo de amostragem requerido para o sistema e é determinado pela expressão:

$$n_{\text{estacas}} \cdot T_{\text{transferencia}} + T_{\text{multicast}} < T_{\text{amostragem}} \Leftrightarrow n_{\text{estacas}} < \frac{T_{\text{amostragem}} - T_{\text{multicast}}}{T_{\text{transferencia}}}$$

A duração do pedido global de aquisição é determinada por :

$$T_{\text{multicast}} = T_{\text{prop}} + T_{\text{poll}} + T_{\text{proc,estaca}} + T_{\text{segurança}}$$

onde:

T_{prop}	: tempo de propagação no meio (t_2-t_1);
T_{poll}	: duração do comando global de aquisição, 'poll' (t_3-t_2);
$T_{proc,estaca}$: tempo de processamento do pedido (t_4-t_3);
$T_{segurança}$: margem de segurança (t_5-t_4);

O ciclo de transferência de dados em diferido tem uma duração determinada por :

$$T_{transferência} = 2T_{prop} + T_{pedido} + T_{resposta} + T_{dados} + T_{proc,EB}$$

onde :

T_{prop}	: tempo de propagação no meio (t_6-t_5) e ($t_{10}-t_9$);
T_{pedido}	: duração do comando de pedido de dados (t_7-t_6);
$T_{resposta}$: tempo de processamento da resposta ao pedido (t_8-t_7);
T_{dados}	: duração do envio dos dados (t_9-t_8);
$T_{proc,EB}$: tempo de processamento dos dados recebidos ($t_{11}-t_{10}$);

O tempo de propagação no meio é igual à distância entre o emissor e o receptor dividida pela velocidade de propagação do sinal no meio V , 2.998×10^8 m/s. Considerando uma distância máxima entre emissor e receptor de 200m, o tempo de propagação é de $0.667\mu s$, podendo considerar-se desprezável face aos outros tempos.

Os tempos a seguir referidos estão calculados nas secções seguintes, pelo que aqui se apresenta um resumo para efeitos de cálculo do número máximo de estacas por estação base e por período de amostragem. Estes tempos referem-se ao pior caso, sendo por isso tempos máximos.

A tabela 7.1 resume os tempos envolvidos numa transferência de dados típica, tendo em vista o cálculo do número máximo de estacas. Os tempos com o sufixo ⁽¹⁾ referem-se à duração de cada tipo de bloco e encontram-se calculados nas secções seguintes.

Tabela 7.1 - Resumo dos tempos envolvidos numa transferência de dados.

T_{prop}	$T_{poll}^{(1)}$	$T_{proc,estaca}^{(a)}$	$T_{segurança}^{(b)}$	$T_{pedido}^{(1)}$	$T_{resposta}^{(c)}$	$T_{dados}^{(1)}$	$T_{proc,EB}^{(d)}$
$0.667\mu s$	787,7ms	400ms	100ms	787,7ms	30ms	187,2ms	200ms

Observações : a) Tempo máximo necessário para a aquisição e armazenamento dos dados na EEPROM.

b) Margem de segurança antes de iniciar o processo de recolha dos dados.

c) Tempo máximo para leitura das amostras armazenadas na EEPROM.

d) Estimativa do tempo máximo despendido para gravação dos dados em disco e visualização.

O que resulta em :

$$T_{\text{multicast}} \cong 787.7 + 400 + 100 = 1288\text{ms}$$

$$T_{\text{transferência}} \cong 787.7 + 30 + 187.2 + 200 = 1205\text{ms}$$

Para um período de amostragem de 60 segundos, o número de estacas que podem ser instaladas são :

$$n_{\text{estacas}} < \frac{60_{\text{seg}} - 1288_{\text{ms}}}{1205_{\text{ms}}} = 48_{\text{estacas}}$$

Para períodos de amostragem de 30 segundos, apenas podem ser instaladas :

$$n_{\text{estacas}} < \frac{30_{\text{seg}} - 1288_{\text{ms}}}{1205_{\text{ms}}} = 23_{\text{estacas}}$$

7.2 – O protocolo de comunicações

7.2.1 – Modo de funcionamento normal

A estação base acede às estacas segundo um algoritmo de *'polling'* numa topologia multiponto. Por forma a sincronizar os instantes em que as estacas executam uma amostragem, a estação base envia um comando de aquisição global. Todas as estacas recebem e executam este comando segundo a sua configuração individual. Após o tempo necessário ao processamento do comando de aquisição global e correspondente tempo de aquisição, a estação base executa um *'polling'* sequencial do tipo *'round-robin'*, requerendo o envio dos dados.

Na topologia utilizada, em que todas as entidades escutam o meio, é necessário existir um esquema de endereçamento. Cada mensagem trocada contém o endereço de destino assim como do remetente. Sempre que a estação base envia um comando para uma estaca, existem duas classes de endereçamento permitidas: global ou individual que permitem diferenciar comandos para todas as estacas ou apenas para uma. O remetente é identificado através do seu endereço que inclui a área agrícola a que pertence. A

especificação do remetente pertencente a uma determinada área agrícola é importante nos casos em que uma estaca está acessível por várias estações base. Deste modo é possível distinguir entre estações base com endereço igual mas colocadas em áreas distintas facilitando ao utilizador a sua identificação.

Por forma a utilizar as vantagens de sincronizar os instantes de amostragem de todas as estacas, é porém necessário proceder à configuração prévia de cada estaca, podendo esta ser levada a cabo em qualquer altura. Esta configuração é efectuada através do envio de um comando individual apropriado, ao qual a estaca deve responder com uma mensagem de reconhecimento (figura 7.3 a). Sempre que este comando seja executado com sucesso, a estaca armazena a configuração. A figura 7.3 b) ilustra a sequência temporal nos casos de má configuração. Esta situação ocorre sempre que a estaca esteja desligada, ocorram erros de comunicação ou a configuração enviada não possa ser correctamente armazenada.

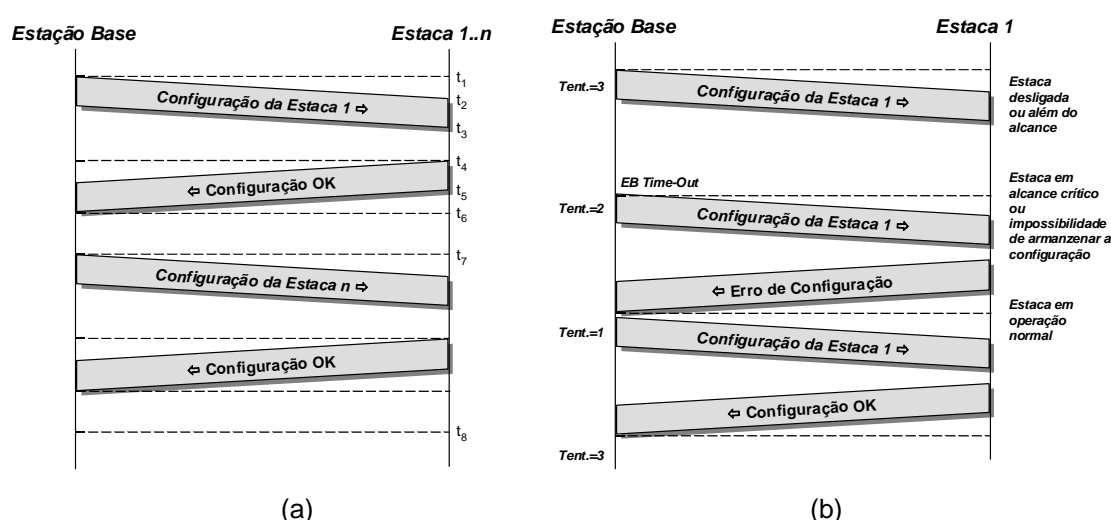


Figura 7.3 - Sequência temporal para uma configuração normal das estacas (a), e nos casos de ocorrência de erro (b).

Além dos comandos de aquisição global, podem ainda ser utilizados comandos de aquisição individuais a cada estaca. Em resposta a estes, a estaca envia as amostras pretendidas de acordo com a configuração embebida no próprio comando ou a anteriormente armazenada.

O envio de qualquer comando desencadeia o “acordar” de todas as estacas para análise do destinatário. Quando o comando é individual, as restantes estacas entram novamente no modo adormecido. Todas as funções das estacas permanecem inibidas até que o comando lhe seja dirigido.

7.2.2 – Situações de erro

O surgimento de erros deve-se, em grande percentagem, a factores que se prendem com a distância entre uma estaca e a estação base, o estado das antenas e aos obstáculos, principalmente metálicos, que se encontrem entre estas entidades. Estes traduzem-se na maior parte das vezes em ocorrências sucessivas de erros de CRC que serão devidamente sinalizados na estação base. Esta sinalização deverá posteriormente chamar a atenção do utilizador para uma verificação e possível correcção destes aspectos.

As tentativas falhadas de comunicação com uma estaca podem ser divididas em duas classes: tentativas devido a erro de CRC e tentativas com ausência de resposta. Neste último caso, e após se esgotarem um número pré-definido de tentativas consecutivas, a estação base deixa de enviar comandos a essa estaca considerando-se como possível que a estaca foi removida ou que a bateria atingiu um ponto de descarga que inviabiliza a sua operação.

O processo de reactivação é bastante simples. Quando ligada a primeira vez, ou após recuperação de uma condição de *reset* provocada pela descarga da bateria, cada estaca emite uma mensagem indicando à estação base que foi activada. A estação base após a recepção dessa mensagem poderá ou não proceder à sua reconfiguração.

Há ainda que referir que a ocorrência de erros pode estar relacionada com o facto de que a estaca pode não conter qualquer configuração. Nesta situação, a estaca responde com uma mensagem de erro com o respectivo código, conforme posteriormente indicado na tabela 7.5. Em resposta a esta situação, a estação base deverá proceder à respectiva configuração.

7.2.3 – Estrutura do bloco de informação.

A informação trocada entre estacas e estação base, também designada de blocos de informação, é constituído por 5 campos conforme ilustrado na figura 7.4, sendo o campo de 'Informação' opcional.

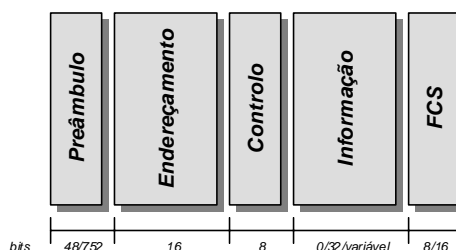


Figura 7.4 - Formato do bloco de informação.

Os campos de preâmbulo, endereçamento e de controle têm sempre o mesmo tamanho independente do tipo de informação que circula de uma entidade para outra. O campo de endereçamento está dividido em dois sub-campos: endereço do remetente e endereço do destinatário. O campo de informação é opcional sendo omitido nos casos de envio de comandos globais, utilizando um endereço de destinatário de '*multicast*', ou de pedido de dados resultantes de um comando global. O campo de sequência de controle de bloco, vulgarmente conhecido por FCS ('*Frame Check Sequence*') tem um tamanho variável consoante o tipo de bloco. Apenas quando o campo de informação contém amostras resultantes da aquisição de dados de uma estaca, é que o seu tamanho é de 16-bit (CRC16).

O campo de informação pode conter 2 tipos de dados. No sentido da estação base para a estaca os dados representam uma configuração individual da estaca, tendo neste caso um tamanho de 32 *bit*. No sentido inverso, ou seja, da estaca para a estação base, o campo de informação contém as amostras adquiridas pela estaca. Nesta situação, o seu tamanho é variável, mas previsível, pois o número de amostras enviadas devem estar de acordo com a configuração individual anteriormente enviada.

O campo de controle tem também dois significados. No caso de um bloco enviado pela estação base para a estaca, este campo pode conter informação adicional de procedimentos a realizar pela estaca. No sentido inverso o campo de controle indica se o bloco é de dados ou de erro, e neste caso indica o tipo de erro ocorrido anteriormente.

Na figura 7.5 ilustra-se o tipo de bloco usado em comandos individuais, como por exemplo no da configuração de uma estaca ou pedido de aquisição individual. O tempo necessário para o envio deste bloco é de aproximadamente 425ms, tendo em conta uma taxa de dados de 2400 bps num esquema de 8-bit de dados, sem paridade e 1 *stop bit* (2400,8,N,1).

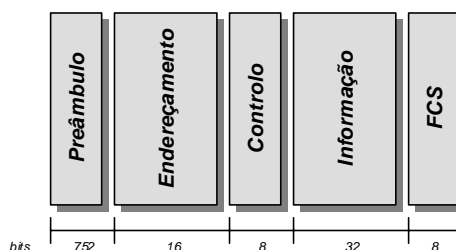


Figura 7.5 - Formato do bloco utilizado em comandos individuais.

Na figura 7.6 a) ilustra-se o esquema do bloco utilizado pela estação base para realizar um pedido de dados simultaneamente a todas as estacas. Neste caso concreto, o endereço do destino é um endereço de '*multicast*'. Este bloco é também utilizado quando ocorre uma situação de erro, figura 7.6 b).

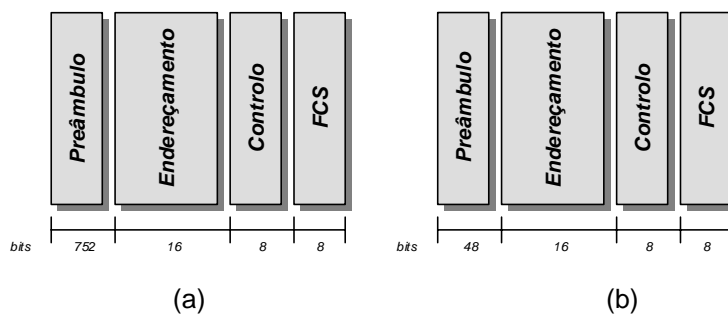


Figura 7.6 - Formato do bloco utilizado em comandos globais (a) e mensagens de erro (b).

O tempo de transmissão destes blocos é de 403,3ms para o comando global e de 41,7ms para as mensagens de erro, tendo em conta a configuração 2400,8,N,1. A diferença dos tempos referidos relaciona-se com a duração do preâmbulo. De facto, o bloco da figura 7.6 a), enviado para a estaca, deve ter um preâmbulo superior à latência do *transceiver* da estaca.

O bloco de dados enviado pela estaca para a estação base tem o formato ilustrado na figura 7.7. Para o comprimento máximo de 17 amostras de 16 *bit* do campo de informação, é necessário um tempo de transmissão de 187,5ms.

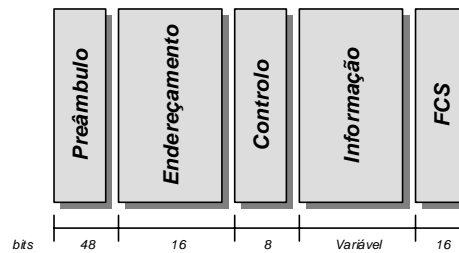


Figura 7.7 - Formato do bloco utilizado na resposta a comandos.

7.2.3.1 – O campo de ‘Preâmbulo’

Tal como já referido na secção 5.3, Comunicação de Dados, o campo de preâmbulo relaciona-se com o esquema físico de transmissão utilizado. Os transmissores e receptores de rádio-frequência, utilizados para a comunicação, necessitam de um determinado tempo para estabilizar e apresentar dados válidos após a detecção de uma portadora. Além disso o *transceiver* de cada estaca é alimentado num regime pulsado com factor de serviço δ e período T , pelo que é necessário enviar um preâmbulo com uma duração mínima de T s para garantir que o receptor acorde.

O preâmbulo tem um comprimento variável consoante o sentido do bloco. Se a estação base envia um comando para uma estaca, o preâmbulo desse bloco deverá ter uma duração superior ao período da alimentação, ou seja, 380ms. Num esquema de 2400 bps, 8 *bit* de dados, sem paridade e um *bit* de paragem, são necessários 92 *byte* para perfazer uma duração mínima de 380ms. Este valor é calculado do seguinte modo:

$$n_{\text{bytes}} = \frac{380_{\text{ms}}}{(1_{\text{startbit}} + 8_{\text{databits}} + 1_{\text{stopbit}}) \cdot \frac{1_{\text{bit}}}{2400_{\text{bps}}}} \cong 92$$

O valor do preâmbulo enviado neste caso é de AA_{hex} por forma a garantir o sincronismo do receptor no momento em que o bloco é detectado. Seguidamente, são enviados dois *byte* de valor FF_{hex} para que o *software* do receptor sincronize no início correcto de um *byte*, pois com este valor a única transição é no *startbit*. A duração total do preâmbulo de um bloco enviado para a estaca é então de 94 *byte*, ou seja 752-*bit*.

Se o bloco é enviado pela estaca para a estação base, o preâmbulo deverá ter uma duração mínima de 6 *byte* apenas para que o receptor da estação base sincronize. Desta sequência de 6 *byte*, os quatro primeiros têm valor AA_{hex} e os restantes dois FF_{hex} pelos motivos

anteriormente referidos. Tendo em conta estas considerações, apresenta-se na tabela 7.2 um resumo do cálculo da duração dos blocos anteriormente mencionados.

Tabela 7.2 - Resumo do tempo máximo necessário para transmitir cada bloco.

Tipo de Bloco	Origem do bloco	Latência do transceiver receptor (ms)	Preâmbulo (Bit)	Endereço (Bit)	Controlo (Bit)	Informação (comprimento máximo) (Bit)	CRC (Bit)	Duração do bloco (ms)
Comando global	EB	380	752	16	8	0	8	407,68
Comando individual	EB	380	752	16	8	32	8	424,32
Dados	EST	0	48	16	8	272	16	187,20
Mensagem de erro	EST	0	48	16	8	0	8	41,60

7.2.3.2 – O campo ‘Endereçamento’

Este campo define a entidade que envia o bloco e a que o deverá receber e encontra-se dividido em dois sub-campos: remetente e destinatário conforme ilustrada na figura 7.8.

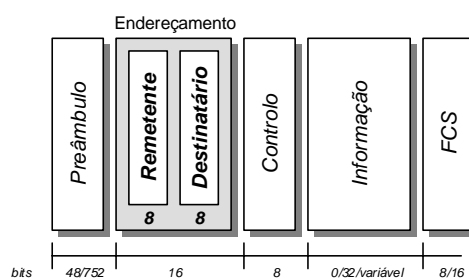


Figura 7.8 – Os sub-campos do campo ‘Endereçamento’.

A tabela 7.3 ilustra a codificação dos sub-campos do endereçamento.

Tabela 7.3 – Codificação dos sub-campos ‘Remetente e Destinatário’.

	Estação Base	Estaca
bit 7	Reservado a expansão futura	Reservado a expansão futura
bit 6	Reservado a expansão futura	Reservado a expansão futura
bit 5	Reservado a expansão futura	Reservado a expansão futura
bit 4	bit-1 da Área Agrícola	bit-4 do Endereço da Estaca
bit 3	bit-0 da Área Agrícola	bit-3 do Endereço da Estaca
bit 2	bit-2 do Endereço da Estação Base	bit-2 do Endereço da Estaca
bit 1	bit-1 do Endereço da Estação Base	bit-1 do Endereço da Estaca
bit 0	bit-0 do Endereço da Estação Base	bit-0 do Endereço da Estaca

Com este esquema de endereçamento, os 5 *bit* menos significativos distinguem 32 estacas ligadas logicamente a uma estação base. No entanto reservou-se o último endereço (1F_{hex}) reservado a ‘multicast’. Os três *bit* mais significativos do endereço do remetente e destinatário estão reservados a expansões futuras, permitindo posteriormente a utilização de esquemas de repetidor.

O exemplo seguinte ilustra o esquema de endereçamento utilizado numa comunicação entre a estaca 5 com a estação base 1 da área agrícola 2.



Figura 7.9 – Exemplo do endereçamento utilizado.

7.2.3.3 – O campo de ‘Controlo’

O campo de controlo identifica o tipo de bloco transmitido. Nos casos de envio de comandos globais (onde o campo de informação é omitido), este campo pode conter informação adicional para todas as estacas. A tabela 7.4 ilustra a codificação deste campo distinguindo-se consoante se trate de um bloco de dados ou de erro, assim como pelo seu sentido.

Tabela 7.4 – Codificação do campo ‘Controlo’.

<i>Campo</i>	Controlo		
<i>Sentido</i>	<i>Estaca ⇒ Estação Base</i>		<i>Estaca ⇐ Estação Base</i>
Bit 7	Tipo de bloco ('0'-Bloco de Erro)	Tipo de bloco ('1'-Bloco de Dados)	Tipo de bloco ('1'-Bloco de Dados)
Bit 6	Reservado	Reservado	Responde sempre (Reservado a ensaios)
Bit 5	Reservado	Reservado	Comando de configuração
Bit 4	Reservado	Reservado	Apenas enviar dados armazenados
Bit 3	Reservado	Reservado	Reservado
Bit 2	bit-2 do tipo de erro	Reservado	Actualização do valor da média da radiação solar
Bit 1	bit-1 do tipo de erro	Reservado	Pedido de estado geral.
Bit 0	bit-0 do tipo de erro	Dados já enviados	Reservado

Sempre que o campo de controlo identifica um bloco de erro (*bit-7*), pode, mediante a análise dos 3 *bit* menos significativos, obter-se informação sobre o tipo de erro que ocorreu. Estes *bit* indicam de igual modo a ocorrência de outro tipo de situações, como descrito na tabela 7.5.

De referir que, quando a estação base recolhe repetidamente os dados de uma determinada estaca, esta responde com os dados armazenados, mas com a indicação de que estes já foram anteriormente enviados. Uma outra característica incorporada foi a da possibilidade de actualização do valor da média da radiação solar. Tendo este parâmetro uma variação rápida devido à passagem de nuvens, interessa normalmente saber o valor médio ao longo do período de amostragem. Isto é possível mediante o envio de um comando global de aquisição, indicando através do *bit 2* do campo 'Controlo' que deve ser calculada a média de várias amostras obtidas durante o período de amostragem especificado. Deste modo,

quando a estaca envia os dados, o valor da radiação solar refere-se à média das amostras obtidas após a última transmissão de dados e não ao valor instantâneo.

Tabela 7.5 – Códigos de erro utilizados.

bit 2	bit 1	bit 0	Código de erro	Descrição	Observações
0	0	0	BADCRC	O CRC calculado não coincide com o recebido. O Bloco recebido é rejeitado e a estaca responde com um bloco de erro, caso esteja habilitada a envia-lo.	
0	0	1	BADADD	Endereço recebido inválido.	Reservado a ensaios.
0	1	0	NOCFG	Configuração não se encontra armazenada.	Código retornado sempre que a estação base emite um comando global de aquisição e determinada estaca não foi anteriormente configurada.
0	1	1	SPWASON	A correspondente estaca foi ligada.	
1	0	0	CFGOK	Configuração armazenada com sucesso.	Código retornado pela estaca sempre que a configuração é correctamente recebida.
1	0	1	R1	Reservado.	
1	1	0	R2	Reservado.	
1	1	1	R3	Reservado.	

7.2.3.4 – O campo de ‘Informação’

Este campo opcional transporta dois tipos de informação. No sentido da estação base para a estaca contém a configuração a ser utilizada pela estaca quer para armazenamento (comando de configuração) quer para realizar uma aquisição (comando de aquisição individual). No sentido inverso, contém as amostras relativas ao pedido de dados anterior, segundo a configuração anteriormente armazenada.

O procedimento normal consiste no envio para cada uma das estacas inseridas da sua configuração habitual sendo esta armazenada pela estaca. Após este procedimento, a estação base pode enviar pedidos globais a todas as estacas, através de um endereço de *multicast*, permitindo sincronizar a aquisição de dados da estaca no mesmo instante. Neste caso, as estacas operam segundo a configuração anteriormente armazenada, não estando

habilitadas a responder com os dados adquiridos. Posteriormente, e durante o tempo que decorre entre dois instantes de amostragem consecutivos, a estação base recolhe os dados individualmente de cada estaca. Quando se pretende configurar a estaca é enviado um bloco de dados do tipo indicado na figura.

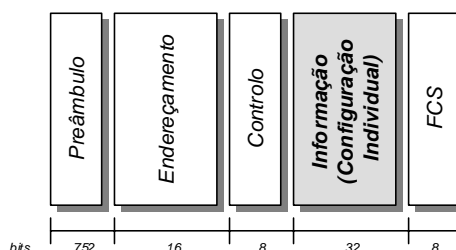


Figura 7.10 – Formato do bloco de dados usado para configurar uma estaca.

A configuração individual que constitui o campo de informação do bloco está relacionada com as características de cada estaca. As possibilidades de configuração estão apresentadas na tabela 7.6.

Tabela 7.6 – Possibilidades de configuração.

<i>Opções de Configuração</i>
• Controlo individual dos canais analógicos activos.
• Aquisição do valor da tensão da bateria.
• Aquisição do valor da tensão do painel solar.
• Aquisição do valor da radiação solar.
• Média de Amostras (sem máximo e mínimo).
• Transmitir apenas máximos e mínimos.

As opções disponíveis nas estacas versão 6 ou superior estão codificadas no campo de informação com um tamanho de 32-bit, divididos em quatro *byte* com o formato esquematizado na figura 7.11.

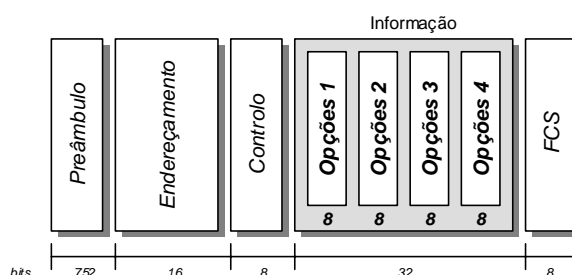


Figura 7.11 – Formato do bloco correspondente a um comando de configuração.

A codificação do campo de informação, dividida em 4 *byte*, está ilustrada na tabela 7.7.

Tabela 7.7 – Codificação do campo de ‘Informação’ num comando de configuração.

<i>Campo</i>		<i>Dados</i>
<i>Sentido</i>		<i>Estação Base ⇒ Estaca</i>
bit 31	bit O1.7	Reservado
bit 30	bit O1.6	Reservado
bit 29	bit O1.5	Média de 6 aquisições (Média 4 aquisições - Máximo e Mínimo)
bit 28	bit O1.4	Reservado
bit 27	bit O1.3	Reservado
bit 26	bit O1.2	Leitura da radiação solar
bit 25	bit O1.1	Aquisição da tensão do painel solar
bit 24	bit O1.0	Aquisição da tensão da bateria
bit 23	bit O2.7	Aquisição do canal analógico CH15 ('1'-Sim , '0' - Não)
bit 22	bit O2.6	Aquisição do canal analógico CH14 ('1'-Sim , '0' - Não)
bit 21	bit O2.5	Aquisição do canal analógico CH13 ('1'-Sim , '0' - Não)
bit 20	bit O2.4	Aquisição do canal analógico CH12 ('1'-Sim , '0' - Não)
bit 19	bit O2.3	Aquisição do canal analógico CH11 ('1'-Sim , '0' - Não)
bit 18	bit O2.2	Aquisição do canal analógico CH10 ('1'-Sim , '0' - Não)
bit 17	bit O2.1	Aquisição do canal analógico CH09 ('1'-Sim , '0' - Não)
bit 16	bit O2.0	Aquisição do canal analógico CH08 ('1'-Sim , '0' - Não)

Tabela 7.7 (continuação)

bit 15	bit O3.7	Aquisição do canal analógico CH07 ('1'-Sim , '0' - Não)
bit 14	bit O3.6	Aquisição do canal analógico CH06 ('1'-Sim , '0' - Não)
bit 13	bit O3.5	Aquisição do canal analógico CH05 ('1'-Sim , '0' - Não)
bit 12	bit O3.4	Aquisição do canal analógico CH04 ('1'-Sim , '0' - Não)
bit 11	bit O3.3	Aquisição do canal analógico CH03 ('1'-Sim , '0' - Não)
bit 10	bit O3.2	Aquisição do canal analógico CH02 ('1'-Sim , '0' - Não)
bit 9	bit O3.1	Aquisição do canal analógico CH01 ('1'-Sim , '0' - Não)
bit 8	bit O3.0	Aquisição do canal analógico CH00 ('1'-Sim , '0' - Não)
bit 7	bit O4.7	Reservado
bit 6	bit O4.6	Reservado
bit 5	bit O4.5	Reservado
bit 4	bit O4.4	Reservado
bit 3	bit O4.3	Reservado
bit 2	bit O4.2	Reservado
bit 1	bit O4.1	Reservado
bit 0	bit O4.0	Teste da secção analógica. (reservado apenas para ensaios)

Quando o bloco de dados (*bit-7* do campo de controlo) é enviado pela estaca para a estação base, o conteúdo do campo de informação é o dos dados solicitados segundo a configuração corrente. Cada amostra é enviada em 2 *byte* sendo o mais significativo o primeiro. A primeira amostra enviada refere-se ao primeiro canal seleccionado, seguido das amostras da radiação solar, painel solar e bateria. As figuras 7.12 e 7.13 ilustram um pedido de dados à estaca e a correspondente resposta. Neste exemplo, são seleccionados os canais analógicos CH01, CH06, radiação solar, bateria e painel solar.

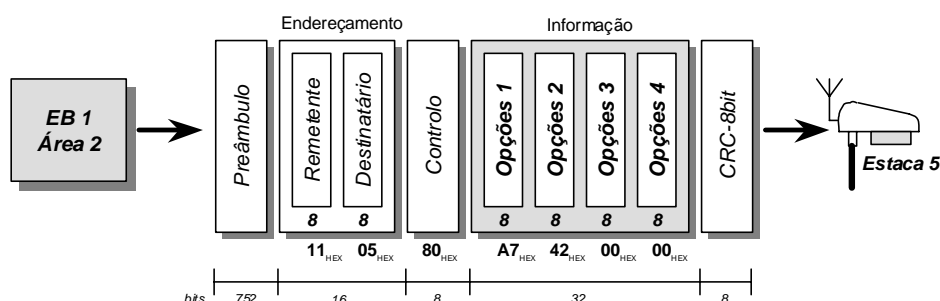


Figura 7.12 – Exemplo de um pedido de dados da Estação Base 1 da Área 2 para a Estaca 5.

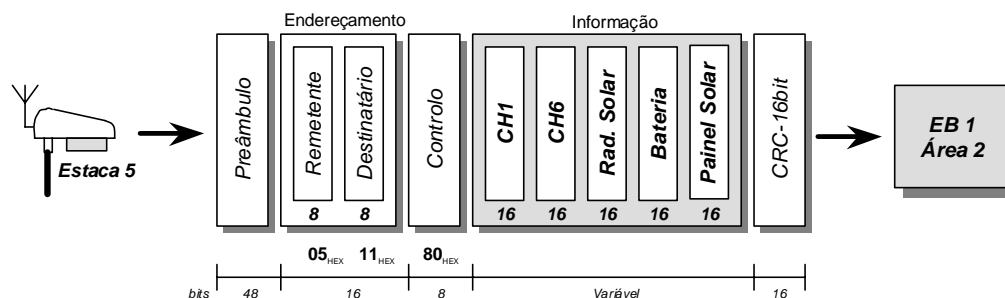


Figura 7.13 – Exemplo de um bloco de dados da Estaca 5 para a Estação Base 1 da Área 2.

7.2.3.5 – O campo de ‘Controlo de Erro’

Este campo é constituído por uma sequência de verificação de trama (FCS), usando a técnica de verificação cíclica de redundância (CRC) com tamanho de 8 ou 16 *bit* consoante o tamanho do bloco. Nos blocos de dados no sentido da estaca para a estação base o FCS tem um tamanho de 16-*bit*, sendo nos outros casos de 8-*bit*. O CRC de 16 *bit* corresponde ao standard CRC16 no qual o divisor é descrito na forma polinomial por $X^{16}+X^{15}+X^2+1$ e o CRC de 8-*bit* descrito por pelo polinómio $X^8+X^5+X^4+1$.

7.3 - Expansão da Rede

A configuração apresentada serviu o propósito de testar o sistema. No entanto já foi desenvolvida tendo em conta a possibilidade de ser expandida. Assim, as limitações físicas (tempo de transmissão dos dados de todas as estacas, número máximo de sistemas, etc.) permitem suportar configurações cobrindo áreas agrícolas mais extensas.

Embora cada estação base suporte um máximo de 31 estacas, esta situação nem sempre é a mais aconselhável face à possibilidade de poder instalar-se uma outra estação base servindo outras estacas e diminuindo o número de estacas instaladas por estação base.

A rede multisensorial descrita neste trabalho pode ser expandida através da instalação de outras estações base subordinadas à primeira. Estas estações base adicionais, doravante referenciadas como estações escravo, eventualmente com potencialidades inferiores à

estação mestre ao nível de *hardware*, servem como intermediário entre a estação mestre e as estacas ligadas a cada estação escravo.

Assim, O funcionamento do protocolo de comunicações deverá neste caso ser alterado com vista a permitir a transferência dos dados armazenadas por cada estação escravo e a estação mestre em intervalos definidos pelo utilizador. É óbvio que este procedimento deverá ter em conta as possibilidades de armazenamento de cada estação escravo. O protocolo de comunicações apresentado anteriormente seria assim válido entre cada estação escravo e as respectivas estacas.

Na secção 8.1 apresentam-se alguns dos resultados obtidos nas comunicações entre um computador, a simular uma estação base, e a estaca.

Capítulo 8

Resultados obtidos

Nos capítulos quinto e sexto foram apresentados alguns testes sectoriais de validação de diversos módulos electrónicos desenvolvidos. Este capítulo é dedicado aos testes globais, pretendendo validar o funcionamento da estaca no seu todo.

Numa 1ª fase foram realizados ensaios com a estaca multisensorial no laboratório de Instrumentação e Controlo da UTAD. Seguidamente a estaca foi instalada numa estufa agrícola da universidade para monitorização das grandezas físicas ambientais. Estes ensaios são apresentados nas secções seguintes e encontram-se divididos da seguinte forma:

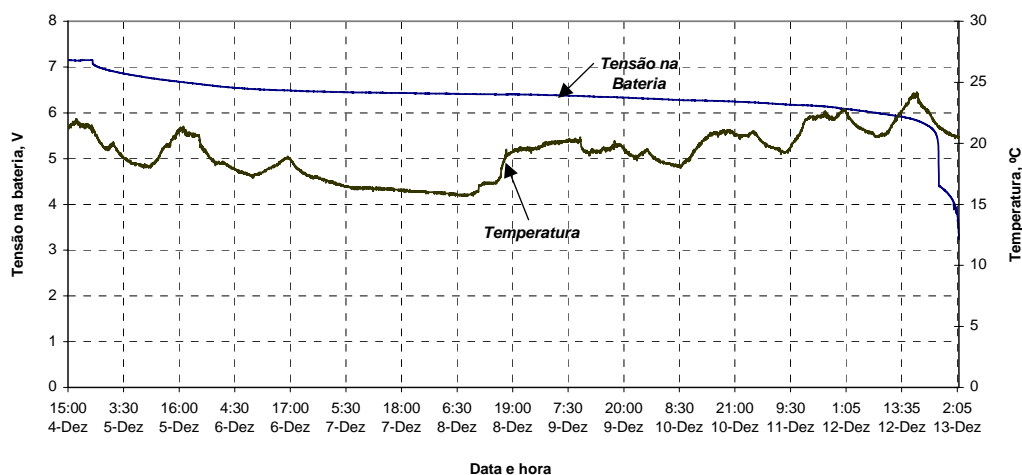
- 8.1 – Autonomia e consumo da estaca;
- 8.2 – Alcance das comunicações;
- 8.3 – Desempenho das comunicações;
- 8.4 – Monitorização das grandezas ambientais numa estufa.

No final de cada secção são apresentadas as devidas conclusões.

8.1 - Autonomia e consumo da estaca multisensorial

Para determinar a autonomia da estaca em condições laboratoriais, carregou-se a bateria com o adaptador externo até esta atingir a sua tensão máxima (cerca de 7V). Após a carga, desligou-se o adaptador e o painel solar e a estaca foi posta no seu modo de operação normal até que o sistema deixasse de funcionar. Este modo de funcionamento consiste no envio de comandos de aquisição global seguidos da respectiva recolha de dados por parte da estação base. A periodicidade entre comunicações, correspondendo ao intervalo de aquisição, foi de 60 segundos no primeiro caso e de 120 segundos no segundo. Estes tempos de amostragem são considerados os normais para este tipo de aplicação, dado que as constantes de tempo envolvidas neste tipo de processo são bastante elevadas.

Nas figuras 8.1 e 8.2 mostram-se as curvas da tensão na bateria e da temperatura do ar no laboratório para um tempo de amostragem de 60 e 120 segundos respectivamente. A autonomia conseguida, 215h e 281h para o 1º e 2º ensaio, está em concordância com as estimativas apresentadas na secção 5.5.



Condições do ensaio

Sensores utilizados:

- 2 sensores de temperatura *LM35*;
- 1 sensor de radiação *TSL230*;
- 1 sensor de humidade *HybridCap*;

Tempo de amostragem:

- 60 segundos

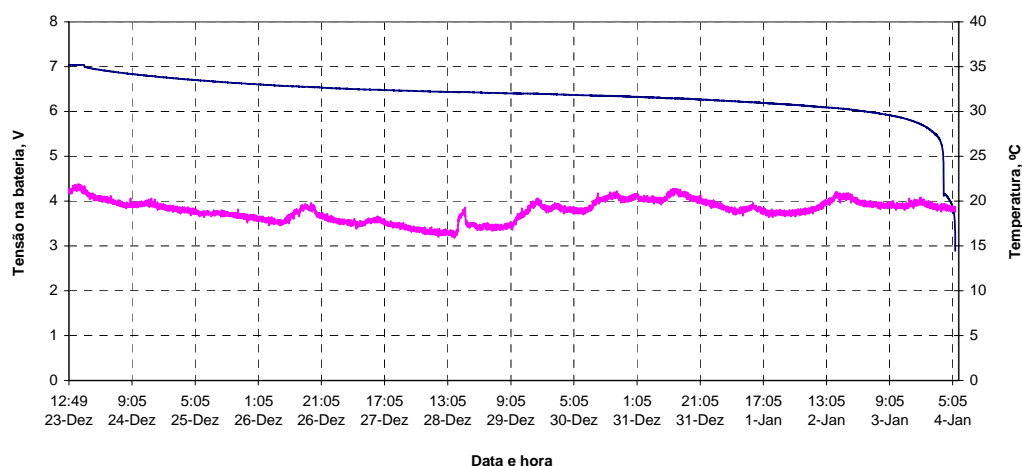
Comunicações:

- Comando de configuração inicial
- Pedido de dados em '*Multicast*'
- Recolha dos dados em tempo diferido

Autonomia:

- 215 horas (≈ 9 dias)

Figura 8.1 - Variação da tensão da bateria para um intervalo de amostragem de 60 segundos.



Condições do ensaio

Sensores utilizados:

- 2 sensores de temperatura *LM35*;
- 1 sensor de radiação *TSL230*;
- 1 sensor de humidade *HybridCap*;

Tempo de amostragem:

- 120 segundos

Comunicações:

- Comando de configuração inicial
- Pedido de dados em '*Multicast*'
- Recolha dos dados em tempo diferido

Autonomia:

- 281 horas (>11 dias)

Figura 8.2 - Variação da tensão da bateria para um intervalo de amostragem de 120 segundos.

Deste último ensaio pode-se concluir que, em princípio, a autonomia da estaca é adequada para que esta possa ser instalada no interior da estufa. No entanto, é necessário verificar se os níveis de radiação solar nos dias mais curtos permitem que a bateria possa ser devidamente carregada. Foi feita alguma pesquisa no sentido de determinar qual a probabilidade de ocorrência de dias sem sol com vista a determinar se a autonomia alcançada é ou não suficiente mediante condições de dias consecutivos sem sol. Não foram encontrados elementos suficientes para determinar a ocorrência de dias consecutivos de baixa radiação, pelo que se optou por utilizar os dados recolhidos durante alguns dias de baixa radiação para determinar se o sistema fotovoltaico utilizado era adequado a este fim. Os resultados referentes a esta abordagem são apresentados na secção 8.4.

8.2 - Alcance das comunicações

Tendo em vista determinar a distância máxima a que cada estaca pode ser colocada em relação à estação base, colocou-se a estaca numa posição inicial distanciada de cerca de 15m da estação base e realizaram-se ensaios com vista a determinar a distância à qual o sistema deixa de comunicar com sucesso. Para cada local, a estaca foi posta no seu modo de operação normal com um período de amostragem de 60 segundos numa duração total de um dia. Após cada dia de ensaios para uma determinada distância foi-se afastando a estaca de uma distância de 30 metros. No quadro 8.1 apresentam-se os resultados obtidos para comunicações em linha de vista.

Quadro 8.1 - Resultados do ensaio realizado para determinar o alcance máximo da estaca.

Distância	Início (1)	Fim (2)	CFGC (3)	CFGO (4)	TXBK (5)	MCBK (6)	RTBK (7)	DBOK (8)	NRER (9)	C16E (10)
15m	12:00	11:58	1	1	2875	1437	1437	1437	0	0
45m	12:02	12:00	1	1	2875	1437	1437	1437	0	0
75m	12:05	11:59	1	1	2867	1433	1433	1433	0	0
105m	12:10	12:01	1	1	2861	1430	1430	1430	0	0
135m	12:08	12:02	1	1	2867	1433	1433	1433	0	0
165m	12:15	11:56	1	1	2841	1420	1420	1420	0	0
195m	12:04	12:00	2	1	3622	1436	2185	1232	329	420
225m	12:12	12:08	60	0	60	0	0	0	15	0

Notas:

- (1) Hora inicial do ensaio.
- (2) Hora final do ensaio no dia seguinte.
- (3) CFGC - "Configuration Commands", contador de comandos de configuração inicial enviados para a estaca.
- (4) CFGO - "Configuration Commands OK", contador de comandos de configuração reconhecidos.
- (5) TXBK - "Transmitted blocks", contador do número total de blocos transmitidos para a estaca.
- (6) MCBK - "Multicast blocks", contador do número de comandos de aquisição global enviados ("Multicast request").
- (7) RTBK - "Retrieval blocks", contador do número de comandos de recolha de dados.
- (8) DBOK - "Data Blocks OK" - contador do número de blocos de dados recebidos correctamente.
- (9) NRER - "No Response Error" - contador do número de erros por ausência de resposta.
- (10) C16E - "CRC-16 Error" - contador do número de erros de CRC-16 bit.

Em situação de erro, tais como ausência de resposta (NRER), erros de CRC (C16E), ou configuração não reconhecida pela estaca (CFGO), o *software* da estação base repete o respectivo comando 3 vezes. Caso o comando não seja executado com sucesso durante 5 períodos de amostragem, a estação base assume que a estaca foi removida. Sem intervenção do utilizador decorridas 6 horas, a estação base tentará estabelecer a sequência normal de operação com a estaca.

Para distâncias superiores a 165m, verificou-se a ocorrência de erros nas comunicações. Em alguns casos, os comandos de recolha de dados não tiveram resposta e nos restantes casos, os blocos de dados chegaram com erro de CRC16. Pelos resultados apresentados, pode-se concluir que a distância entre cada uma das estacas e a sua estação base nunca deverá ultrapassar os 165m em linha de vista.

Normalmente as estufas têm dimensões que não excedem em comprimento os 100m e em largura 30m, pelo que em princípio não existirão problemas de comunicação no caso em que a estação base e as estacas estejam instaladas no seu interior. Há ainda a considerar que no interior da estufa podem existir estruturas metálicas de suporte que poderão influenciar a qualidade das comunicações. Como as dimensões destas não são limitativas

deverá ter-se cuidado com a localização das estacas para que as comunicações não sejam degradadas. De referir ainda que a rede constituída pelo conjunto de estacas e pela estação base, não se destina a cobrir uma vasta área, como por exemplo um complexo de estufas, mas sim uma área restrita, tal como ilustrado na figura 4.2.

8.3 - Desempenho das comunicações

Visto não existirem estacas suficientes para ensaiar o desempenho da rede, a estaca foi posta em modo de operação individual por forma a se determinar o número de transferências de dados realizado com sucesso por intervalo de amostragem. Nesta simulação, a estação base enviou repetidamente comandos de aquisição individual à estaca. De referir que ao contrário do modo de operação global onde a estação base envia um comando de aquisição global e posteriormente recolhe os dados, este procedimento visto mais lento, garante que o número de estacas que poderão ser utilizadas com sucesso é igual ou superior ao indicado no quadro seguinte. Os resultados apresentados no quadro 8.2 permitiram determinar o tempo médio de cada comunicação e por sua vez o número máximo de estacas que podem ser acedidas durante um intervalo de amostragem. De referir que o comando de aquisição individual indicava a aquisição de 16 canais analógicos e 1 em frequência.

Quadro 8.2 - Tempos médios das comunicações.

Intervalo de amostragem	Duração média do pedido ⁽¹⁾	Duração média do processamento da resposta ⁽²⁾	Duração média da resposta ⁽³⁾	Duração média armazenamento em disco ⁽⁴⁾	Duração média do ciclo ⁽⁵⁾	Número de estacas por intervalo de amostragem ⁽⁶⁾
30s	0.22 s	0.74 s	0.52 s	0.56 s	2.04 s	14
60s						29
90s						44
120s						58

Notas: (tempos obtidos num PC compatível 80286)

- (1) Tempo médio que decorre entre a ordem do pedido e que o fim do envio do pedido
- (2) Tempo médio que decorre entre o fim do envio e o início da recepção dos dados.
- (3) Tempo médio que decorre entre o início e o fim da recepção dos dados, incluindo verificação de CRC.
- (4) Tempo médio que decorre entre a validação dos dados e o início do próximo ciclo.
Inclui armazenamento dos dados em disco.
- (5) Soma dos tempos indicados em (1), (2), (3) e (4).
- (6) Valor obtido dividindo o intervalo de amostragem pela duração média do ciclo completo.

8.4 - Monitorização de grandezas ambientais

A versão final da estaca foi instalada numa estufa em Outubro de 1997, figura 8.3. As grandezas físicas referentes à temperatura interior, radiação solar e humidade relativa foram adquiridas com um intervalo de amostragem de 120 segundos. A escolha deste tempo de amostragem deve-se às grandes constantes de tempo associadas às grandezas referidas e ao baixo nível de radiação que se verifica nesta altura do ano que condiciona a carga da bateria da estaca. O gráfico da figura 8.4 ilustra as variações da temperatura, humidade relativa e radiação solar no interior da estufa. No gráfico da figura 8.5 apresenta-se a variação da tensão aos terminais da bateria e no painel solar. Os dados a que se referem os gráficos foram adquiridos entre 23 de Dezembro de 1997 e 5 de Janeiro de 1998. Optou-se por não se instalar uma estaca no exterior da estufa para a medida das condições meteorológicas dado que neste local se têm verificado vários furtos em estações meteorológicas afectas a outros projectos.



Figura 8.3 - Fotografia da estaca instalada na estufa.

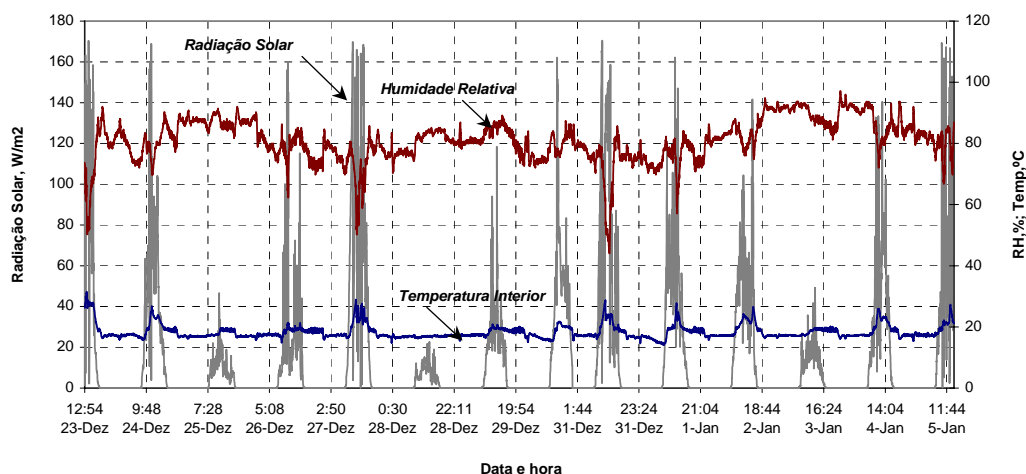


Figura 8.4 - Grandezas ambientais na estufa.

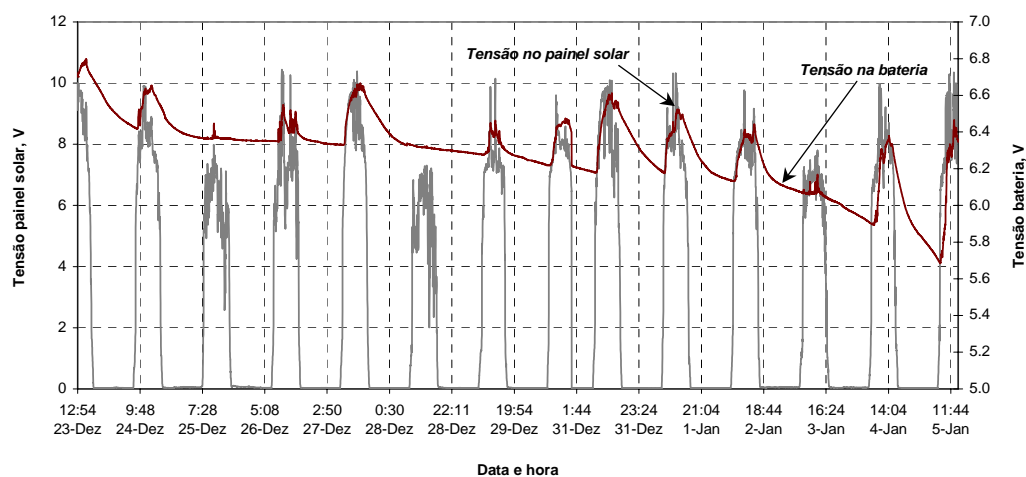


Figura 8.5 - Variação da tensão na bateria e painel solar com regulador de carga linear.

É de referir que os ensaios foram realizados em dias com bastante nebulosidade o que se traduziu em valores reduzidos de radiação solar. Tendo em conta a atenuação produzida pela dupla cobertura de polietileno da estufa, cerca de 40%, os valores de radiação solar verificados não permitiram que a bateria fosse carregada satisfatoriamente através do painel solar, conforme ilustrado no gráfico anterior. Deste facto resultou uma tendência para a descarga da bateria dia após dia. A título exemplificativo, para o dia 24 de Dezembro de 1997 verificou-se que a corrente média entregue pelo painel solar foi de 2.8 mA durante 6.5 horas. Como a corrente solicitada pela estaca é de cerca de 1.5mA, restam 1.3mA para carregar a bateria durante esse período de tempo. Como a estaca solicita à bateria uma corrente média superior à que lhe é disponibilizada para carregar, é fácil concluir que, nestas condições, existe uma tendência contínua para a sua descarga.

Pode então concluir-se que o circuito de controlo linear de carga da bateria, ilustrado na figura 5.5, não é adequado para estas condições de funcionamento. Por esta razão o circuito foi substituído pelo apresentado na figura 5.6 o que levou a uma melhoria substancial da eficiência do circuito de carga da bateria, figura 8.6. No entanto é de salientar que para dias consecutivos de baixa radiação é possível que não se garanta a autonomia do sistema. Contudo, verificou-se que após se ter instalado o novo circuito, os dados recolhidos não evidenciaram a anterior tendência para a descarga. Caso isto aconteça novamente a solução terá que passar por uma das seguintes alternativas: substituição do painel por um outro de maior potência com vista a diminuir o tempo de carga; aumentar a capacidade da bateria; se a estufa estiver dotada de iluminação artificial ligá-la durante um curto intervalo de tempo para carregar a bateria.

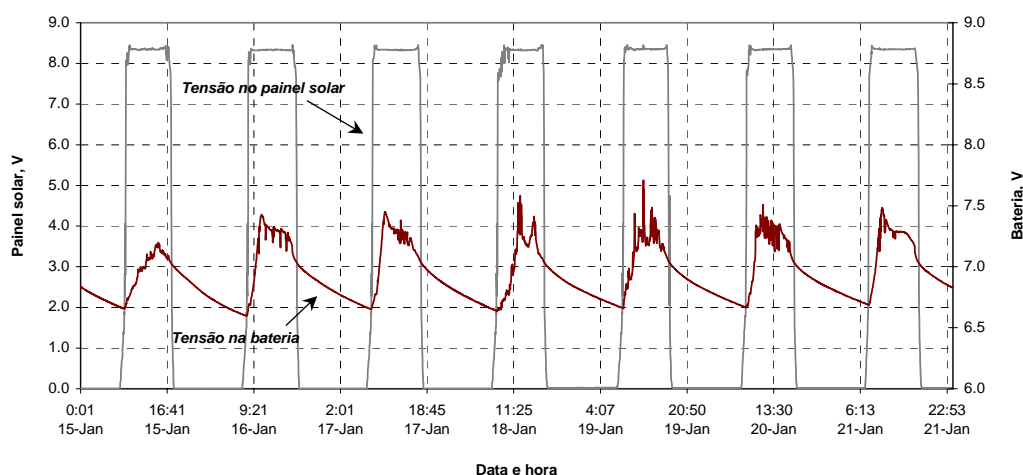


Figura 8.6 - Variação da tensão na bateria e painel solar com regulador de carga comutado.

No gráfico da figura seguinte apresenta-se a variação das grandezas referidas no intervalo de 15 a 21 de Janeiro de 1998.

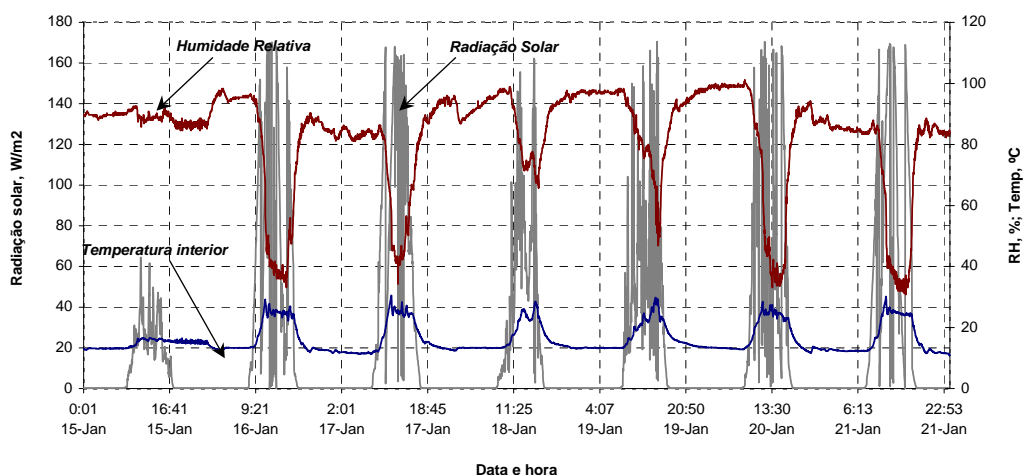


Figura 8.7 - Grandezas ambientais na estufa.

O gráfico da figura seguinte ilustra a variação da temperatura interior, humidade relativa interior e radiação solar no exterior da estufa no mesmo período, obtidos com um *Data-Logger Delta-T*.

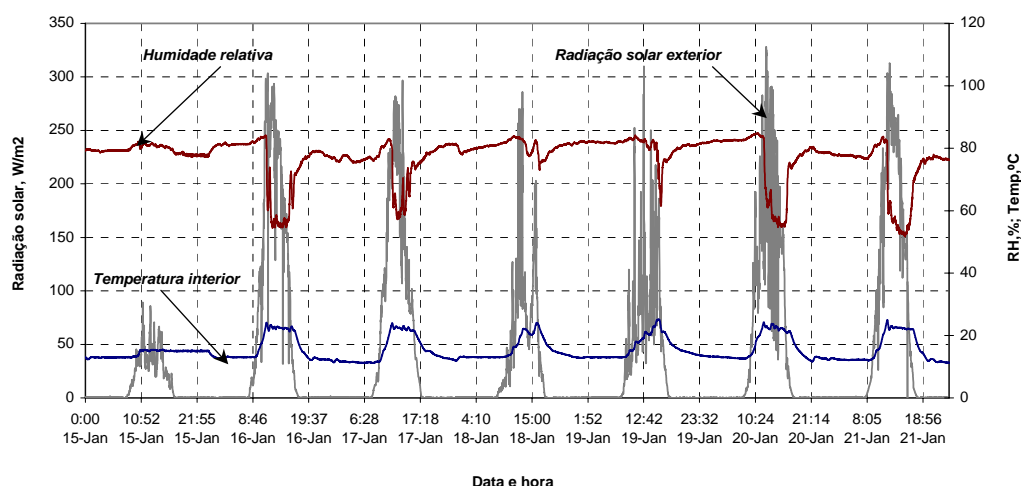


Figura 8.8 - Grandezas ambientais na estufa obtidas com o *logger Delta-T*.

Estas curvas mostram uma boa concordância entre as temperaturas medidas pelos dois sistemas. No que se refere à radiação solar, as diferenças que se verificam devem-se ao facto das medidas que foram efectuadas dentro da estufa estarem afectadas pela atenuação da cobertura. Por outro lado, as leituras efectuadas com a estaca correspondem a valores instantâneos, ao passo que no *logger Delta-T* os valores armazenados representam a média da radiação durante o período de amostragem. Pode ainda observar-se que o andamento das curvas da humidade relativa é idêntico à excepção dos níveis máximos e mínimos registados. Como o sensor utilizado na estaca foi calibrado para 35%, 50% e 85% numa câmara de calibração a 25°C com soluções de precisão $\pm 1\%RH$ @ 25°C, conclui-se que o sensor utilizado no *logger Delta-T* necessita ser calibrado.

Capítulo 9

Conclusões e perspectiva de evolução futura

Neste capítulo apresentam-se as conclusões finais relativamente ao trabalho desenvolvido, estando estas divididas em três partes fundamentais:

- Conclusões acerca do trabalho efectuado a realização deste trabalho tendo em vista a concretização dos objectivos inicialmente traçados;
- Perspectivas de evolução futura do trabalho apresentado;
- Concretização ao nível pessoal.

9.1 – Conclusões do trabalho efectuado

O objectivo principal deste trabalho consistiu no desenvolvimento de um sistema de instrumentação sem fios para utilização em explorações agrícolas, nomeadamente estufas. Esta solução baseou-se numa estação fixa, uma por estufa, com a partir da rede eléctrica e estacas equipadas com sensores, electrónica de aquisição e painel solar de alimentação que comunicam com a anterior através de rádio-frequência. Vários requisitos foram ponderados de modo a que a solução implementada constituísse um contributo válido na gestão de explorações agrícolas. Os ensaios realizados durante praticamente um ano comprovaram que a estaca multisensorial é adequada para este tipo de aplicações. De facto, todos os requisitos mencionados na secção 4.4 foram cumpridos tendo em conta a opinião de pessoal técnico e investigadores responsáveis pelos trabalhos agrícolas na estufa utilizada.

Outro objectivo conseguido foi o da aplicação da técnica de condensadores comutados a um módulo de condicionamento programável. Esta técnica permitiu que o módulo desenvolvido constituísse o *hardware* base da interface inteligente. A inteligência reside nos algoritmos incluídos no processador do módulo que permitem efectuar funções inteligentes, tais como: configuração, calibração, ajuste automático de zero, validação, entre outras.

Por último, é de salientar que a topologia desenvolvida foi acolhida com agrado por parte dos potenciais utilizadores a quem se deu a conhecer a estaca. A apreciação global referiu aspectos positivos no que se refere ao custo, facilidade de operação e portabilidade do sistema. Como ponto negativo, foi mencionada a fragilidade da estrutura utilizada.

Este documento reporta o desenvolvimento de uma solução em termos de engenharia para a instrumentação de estufas agrícolas. Salienta-se as áreas onde se concentraram a maior parte dos esforços desenvolvidos neste âmbito: a gestão de energia da estaca enquanto sistema autónomo alimentado por painel solar, o sistema de comunicações sem fios, escolha dos sensores e o desenvolvimento do sistema de aquisição de dados ao nível de cada estaca.

9.2 – Perspectiva de evolução futura

Este documento não estaria completo se não fossem tecidas considerações relativas aos desenvolvimentos que poderão e deverão ser efectuados no futuro. De facto novas aplicações podem ser encontradas tendo por base a estação de aquisição desenvolvida.

Além da evolução natural do *hardware* e *software* da estaca multisensorial, há a ter em consideração metas futuras. Um dos possíveis desenvolvimentos ao nível do *hardware* seria a implementação na estaca do módulo de condicionamento programável e de *software* adequado, por forma a dotar a estaca de várias funções inteligentes: unidades, detecção e correcção de falhas, auto-diagnóstico, auto-configuração, entre outras. Assim concretizaríamos uma evolução para a estaca multisensorial inteligente. É ainda de referir que este sistema permite a utilização redundante de sensores o que permite aumentar o grau de confiança das medidas efectuadas. Isto permitirá que no futuro este sistema possa ser aplicado nas áreas de fusão sensorial e na detecção de falhas.

O futuro aponta para que os sistemas de aquisição se tornem cada vez mais inteligentes. De facto, duas das características dos actuais sistemas de aquisição referem-se à falta de inteligência quando comparados com os designados sensores humanos e à ausência de aprendizagem. Assim um dos grandes passos a dar com o trabalho aqui apresentado é de dotar o sistema de inteligência própria de forma a garantir uma maior autonomia na interpretação e validação das medidas elementares realizadas.

Aponta-se então um grande desafio que é a fusão sensorial. Neste campo pretende-se dotar tal sistema de uma capacidade próxima da dos seres humanos como seja a selecção de informação relevante e ignorar toda a informação desnecessária.

9.3 – Considerações finais

É nesta última secção que se apontam alguns resultados tidos como concretização pessoal.

A título pessoal foi adquirido, durante o período de realização desta dissertação, conhecimento relativo ao processo de aquisição de dados em ambientes agrícolas.

Foram também postos em prática os conhecimentos adquiridos ao nível de comunicações por rádio-frequência bem como o da sua aplicação ao desenvolvimento de um protocolo de comunicações que forneça um serviço fiável utilizando este tipo de comunicação. Também foi compensador a abordagem, ainda que empírica, efectuada no campo das antenas e suas características.

No que diz respeito ao desenvolvimento de *hardware*, este foi feito essencialmente ao nível dos microcontroladores, pelo que foram adquiridos bastantes conhecimentos neste domínio. Ao nível de *software*, recorreu-se intensivamente a linguagem *assembly* e a linguagem C pelo que também foram adquiridos bastantes conhecimentos nesta área.

Este trabalho também serviu para refinar os conhecimentos relativos ao desenho assistido por computador (CAD) de circuitos eléctricos e circuitos impressos. Os conhecimentos adquiridos na realização de circuitos impresso foi bastante proveitosa no que se refere à problemática do ruído.

Após a realização deste trabalho torna-se agora possível a implementação de soluções de aquisição de dados para ambientes agrícolas tendo em conta as diversas especificidades dos vários tipos de explorações agrícolas. Além do mais, este trabalho permitiu encarar o processo agrícola de um modo diferente. O convívio com agricultores e o conhecimento das suas necessidades e ambições tornou possível conhecer os verdadeiros requisitos para uma exploração agrícola comercial com vista a melhorar a qualidade das culturas e a sua rentabilização.

Ao longo deste trabalho foi também atingida alguma maturidade no que se refere à apreciação e quantificação do desempenho deste tipo de sistemas. Deste modo ficou-se na posse de um melhor sentido crítico para a concepção de testes e validação dos mesmos.

Como comentário final pode-se concluir que este trabalho foi bastante compensador a nível de conhecimentos adquiridos nos vários domínios o que se traduziu numa grande satisfação pessoal e uma acrescida autoconfiança para realização de projectos desta índole.

Bibliografia

Artigos

- [1] Ahmed, A.S., Al-Amoud, A.I., "*Infrared telemetry for data acquisition and telecontrol in automatic irrigation scheduling*," Computers and Electronics in Agriculture, 8, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1993, pp.73-85, ISSN 0168-1699.
- [2] Bailey, B.J., Chalabi, Z.S., "*Improving the cost effectiveness of greenhouse climate control*," Computers and Electronics in Agriculture, 10, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1994, pp. 203-214.
- [3] Bayart, M., Staroswiecki, M., "*A Generic Functional Model of Smart Instruments for Distributed Architecture*," 6th Symposium of IMEKO TC-4, Bruxelas, Bélgica, Maio 1993.
- [4] Brignell, J.E., "*Quo vadis smart sensors ?*," Sensors and Actuators, Vol A37-38, pp. 6-8, 1993.
- [5] Couto, C., Higino, J., "*Células de carga inteligentes*," Encontro colégio de Engenharia Electrotécnica da Ordem dos Engenheiros, Lisboa, Portugal, 12-13 Maio de 1994.
- [6] Couto, C., Higino, J., "*Intelligent Signal Processing for Ratiometric Data Acquisition: A Low Cost Solution for Load Cells*," 6th Symposium of IMEKO TC-4, Bruxelas, Bélgica, Maio 1993.
- [7] Czanderna, A.W., Jorgensen, G.J., "*Service Lifetime Prediction for Encapsulated Photovoltaic Cells/Minimodules*," National Renewable Energy Laboratory and Sandia Reserch Project, Technical Report, U.S. Department of Energy, Contract N° DE-AC36-83CH10093.
- [8] Goodenough, F., "*Battery-Management ICs meet diverse needs*," Electronic Design, 19, pp.79-96 (1996).
- [9] Huijsing, J.H., "*Integrated smart sensors*," Sensors and Actuators, Vol A30, pp.167-174, 1992.
- [10] Huijsing, J.H., Riedijk, F.R., Horn, G., "*Developments in integrated smart sensors*," Sensors and Actuators, Vol A43, pp. 276-288, 1994.
- [11] J. Boaventura Cunha, Carlos Couto, A.E.B. Ruano, "*Tecnologias da Informação e Electrónica Aplicadas às Estufas Agrícolas*", 2º Encontro Nacional do Colégio de Engenharia Electrotécnica, Instituto Superior Técnico, pp. 189-196, 14 e 15 de Dezembro de 1995.

-
- [12] J. Boaventura R. Cunha, "*Sistema de Aquisição de dados e controlo ambiental para estufas*", U.T.A.D., Departamento de Engenharias, 1991.
- [13] Jones, P.H., "*Environmental Requirements of Greenhouses*", Fact Sheet RFAA95, Agricultural Extension Agent Handbook, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, October 1994.
- [14] Mason, A., Yazdi, N., Najafi, K., Wise, K.D., "*A low-power wireless microinstrumentation system for environmental monitoring*", Proceedings of the 8th International Conference on Solid-state Sensors and Actuators, and Eurosensors IV, Stockholm, Sweden, June 25-29, 1995.
- [15] Rivière, J.M., Robert, M., Hermann, F., Aubrun, C., "*Modelling of Smart Sensors: Application to a Smart Temperature*," 6th Symposium of IMEKO TC-4, Bruxelas, Bélgica, Maio 1993.
- [16] Takahashi, K., Nosaki, S., "*From intelligent sensors to fuzzy sensors*," Sensors and Actuators, Vol A40, pp. 89-91, 1994.
- [17] Yamasaki, H. "*Sensors and Intelligent Sensing*," IFAC, Mathematical and Control Applications in Agriculture and Horticulture, Matsuyama, Japan, 1991, pp. 349-353.
- [18] Zazueta, F.S., Bucklin, R., Jones, P.H., Smajstrla, A.G., "*Basic Concepts in Environmental Computer Control of Agricultural Systems*", Circular 1029, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, December 1991.

Livros

- [19] Chappell, A., "*Optoelectronics, Theory and Practice*," Texas Instruments electronics series, 1978, McGraw-Hill, ISBN 0-07-063755-5.
- [20] Considine, Douglas, M. "*Process/Industrial Instruments & Controls Handbook*", 4th edition, McGraw-Hill International Editions, 1993, ISBN 0-07-113252-X.
- [21] "*Greenhouse Climate Control - an integrated approach*", edited by J.C.Bakker, G.P.A. Bot., H. Challa, N.J. Van de Braak, Wageningen Pers, Wageningen, 1995, ISBN 90-74134-17-3
- [22] Fraden, J, "*AIP Handbook of Modern Sensores - Physics, Designs and Applications*", ISBN 1-56396-108-3

- [23] Franco, S., "*Design with Operational Amplifiers and Analog Integrated Circuits*", McGraw-Hill International Edition, 1988, ISBN 0-07-100435-1.
- [24] Lacanette, K., "*Temperature Sensor Handbook*", National Semiconductor Corporation, January 1997.
- [25] Sheingold, D.H., "*Transducer Interfacing Handbook, A Guide to Analog Signal Conditioning*", Analog Devices, 1980, ISBN 0-916550-05-2.
- [26] Stallings, William, "*Data and Computer Communications*", 2nd Edition, Macmillan Publishing Company, 1988, ISBN 0-02-415451-2
- [27] Tompkins, Willis J., Webster, John G., "*Interfacing Sensores to IBM PC*", Prentice Hall, 1988.

Manuais e Catálogos

- [28] "1995 Linear Mixed-Signal Design Seminar", Texas Instruments, 1995
- [29] "*Embedded Control Handbook*", Microchip, 1994.
- [30] "*Instruments & Systems for Weather and Water Monitoring*", NovaLynx Corporation, 1997
- [31] "*Microchip Non-Volatile Memory Products Data Book*", Microchip, 1995.
- [32] "*Microchip PIC16/17 Microcontroller Data Book*", Microchip, 1995.
- [33] "OMEGA Complete Temperature Measurement Handbook and Encyclopedia® Vol.29", OMEGA Engineering, Inc. 1995.
- [34] "*Radiation Measurements*", LI-COR Inc., 1979.
- [35] "*Signal Acquisition and Conditioning with Low Supply - Application Report*", Texas Instruments, Mixed Signal Products, 1996
- [36] "*SOLAREX Photovoltaic Product Catalog*", SOLAREX, 1994.
- [37] "*YSI Temperature Sensors & Probes*", YSI Incorporated, 1993.
- [38] "*Temperature Sensors*", Book S11, Philips, 1991.

Glossário de Termos

Anemómetro

Termo genérico de instrumentos designados para medir a velocidade ou força dos ventos.

Antena

Condutor ou sistema de condutores para irradiação e/ou recepção de energia electromagnética.

Aquisição de dados

O processo pelo qual acontecimentos do mundo real são transpostos para sinais digitais representativos.

ASIC

Acrónimo inglês de *Application Specific Integrated Circuit* que significa "Circuito Integrado de Aplicação Específica".

Auto-aquecimento

Aquecimento interno de um transdutor como resultado de dissipação de potência.

BPS

Acrónimo inglês de *Bit Per Second* que significa "bit por segundo".

Calibração

O processo de identificar determinada posição na escala de um instrumento consoante a amplitude do sinal de entrada.

Calibração, erro de

A imprecisão que o fabricante permite quando determinada unidade é calibrada de fábrica.

Celsius, escala de temperatura

Escala de temperatura definida por 0°C no ponto de gelo e 100°C no ponto de ebulição da água ao nível do mar.

Célula fotoelétrica

Transdutor que converte radiação electromagnética na banda dos infravermelhos, visível e ultravioletas em quantidades eléctricas tais como tensão, corrente ou resistência.

Chuva

Precipitação composta por gotas de água líquida com diâmetro superior a 0.5mm, que partem da atmosfera e atingem o solo.

Coefficiente de temperatura

Erro introduzido por uma mudança de temperatura. Normalmente expresso em %/°C ou ppm/°C.

Condicionador de sinal

Módulo electrónico que realiza deslocamento, atenuação, amplificação, linearização e/ou filtragem do sinal antes de ele ser aplicado a um conversor analógico-digital.

Corpo negro

Objecto teórico que irradia a máxima quantidade de energia a uma dada temperatura, e absorve toda a energia que nele incide.

Diagrama de radiação

Diagrama que indica a intensidade do campo de radiação em todas as direcções de uma antena de rádio a uma dada distância.

ESR

Acrónimo inglês de *Equivalent Series Resistance* que significa "Resistência Equivalente Série".

Estabilidade

A qualidade de um instrumento ou sensor de manter uma saída consistente quando a entrada é constante.

Fahrenheit

Escala de temperatura definida por 32° no ponto de gelo e 212° no ponto de ebulição da água, ao nível do mar.

Half-duplex

Modo de operação de um circuito de comunicações no qual cada extremidade pode transmitir e receber dados, mas não simultaneamente.

Hardware

Equipamento físico de um sistema de processamento de dados.

Humidade relativa

A razão entre a quantidade existente de vapor de água no ar a uma dada temperatura e a máxima quantidade de vapor que pode existir a essa mesma temperatura. Usualmente expressa em %RH.

Humidade solo

Teor de humidade presente nos poros do solo. Em alguns casos, este termo é referido à humidade contida na zona envolvente à raiz das plantas Conteúdo.

Infravermelha, radiação

Área do espectro electromagnético que se estende desde a luz vermelha dos 760nm aos 1060nm. É a forma de radiação utilizada para realizar medições de temperatura sem contacto.

Kelvin

Símbolo K. Unidade de temperatura absoluta ou temperatura termodinâmica baseada na escala Celsius com 100 unidades entre o ponto de gelo e ebulição da água. $0^{\circ}\text{C} = 273.15\text{K}$ (não existe o símbolo de grau ($^{\circ}$) na escala Kelvin).

Linearidade

A proximidade de uma curva de calibração em relação a uma linha recta específica. A linearidade é expressa como o máximo desvio de qualquer ponto de calibração numa recta específica durante qualquer ciclo de calibração.

LSB

Acrónimo inglês de *Least Significant Bit*. Num código binário, representa o bit menos significativo.

MSB

Acrónimo inglês de *Most Significant Bit*. Num código binário, representa o bit mais significativo.

NTC

Acrónimo inglês de *Negative Temperature Coefficient* que significa "Coeficiente de Temperatura Negativo". Designação normalmente empregue para um termistor com coeficiente de temperatura negativo, ou seja, a sua resistência decresce com o aumento da temperatura.

Piranómetro

Instrumento que mede radiação solar directa e difusa. O transdutor utilizado é normalmente uma termopilha.

Precipitação

Qualquer forma de partículas de água, líquidas ou sólidas, que partem da atmosfera e atingem o solo.

Precisão

Proximidade de uma indicação ou leitura de um dispositivo de medida face ao valor actual da quantidade que está a ser medida. É expressa normalmente como $\pm\%$ da saída na gama total.

PRTD

Acrónimo inglês de *Platinum Resistance Temperature Detector* que significa Detector Resistivo de Temperatura em que o metal utilizado é a platina.

Psicrómetro

Instrumento usado para medir o teor de vapor de água no solo. Tipo de higrómetro. Consiste em dois termómetros, um seco e um molhado, cuja diferença de temperaturas fornece uma indicação precisa da humidade relativa.

PTC

Acrónimo inglês de *Positive Temperature Coefficient* que significa "Coeficiente de Temperatura Positivo". Designação normalmente empregue para um termistor com coeficiente de temperatura positivo, ou seja, a sua resistência aumenta com o aumento da temperatura.

Radiação solar

Radiação electromagnética total emitida pelo sol. Cerca de 99.9% da sua energia cai dentro dos comprimentos de onda entre 0.15 microns a 4.0 microns, com o máximo de intensidade nos 0.47 microns. Cerca de metade da energia total emitida pelo sol cai no espectro visível de 0.4 a 0.7 microns, e a maior parte da restante cai na região dos infravermelhos. Uma pequena porção cai na região dos ultravioletas.

Radiação visível

Radiação electromagnética que cai na gama de comprimentos de onda aos quais o olho humano é sensível, ou seja o intervalo de 0.4 a 0.7 microns (400 aos 700nm). Este intervalo está limitado inferiormente pela radiação ultravioleta (abaixo dos 400nm) e pela radiação infravermelha (acima dos 700nm).

Radiação, escudo de

Dispositivo utilizado em certos tipos de instrumentos para prevenir que a radiação solar afecte a medida de uma quantidade. Por exemplo escudos de radiação usados em sensores de temperatura.

Rain Gauge

Instrumento para medir a profundidade da água derivada de precipitação que se assume ser distribuída na horizontal e não sujeita a evaporação.

Ratiométrica, medida

Técnica de medida onde um sinal externo é usado para fornecer uma referência de tensão em conversores A/D. O sinal externo pode ser derivado da tensão de excitação aplicada a uma ponte e deste modo eliminar erros derivados da flutuação da tensão de alimentação.

Repetibilidade

Capacidade de um transdutor reproduzir a mesma saída quando mede o mesmo fenómeno consecutivamente, nas mesmas condições. É normalmente expresso como a máxima diferença entre leituras.

Resolução

O mais pequeno incremento detectável na medida. A resolução é normalmente limitada pelo número de bits usados para quantificar o sinal de entrada. Por exemplo, um conversor A/D de 12-bit pode resolver uma parte em 4096 (2 elevado a 12).

RF

Acrónimo inglês de *Radio Frequency* que significa "Rádio Frequência".

RS232

Interface *standard* entre um porto de entrada/saída de um computador e um dispositivo periférico. As propriedades dos sinais envolvidos incluem duração, tensão e corrente e são especificados pela *Electronic Industries Association*.

RTD

Acrónimo inglês de *Resistance Temperature Detector* que significa "Detector Resistivo de Temperatura". Elemento sensor de temperatura baseado numa alteração da resistência de um metal.

Seeback, coeficiente de

É a derivada (taxa de mudança) da força electromotriz térmica em relação à temperatura, normalmente expresso em milivolt por grau centígrado.

Seeback, efeito de

Quando um circuito é formado pela junção de dois metais dissimilares a as junções são mantidas a diferentes temperaturas, circulará uma corrente no circuito causada pela diferença de temperatura entre as duas junções.

Seeback, fem de

A tensão em circuito aberto causada pela diferença de temperatura entre as junções quente e fria de um circuito feito a partir de dois metais dissimilares.

SEPIC

Acrónimo inglês de *Single-Ended Primary Inductance Converter*. Conversor DC-DC em que o circuito de saída está acoplado capacitivamente do circuito de entrada, permitindo que a tensão de entrada possa ser inferior, igual ou superior à tensão de saída.

Software

Programa ou conjunto de instruções que determinam o fluxo de informação num processador digital.

SPI

Acrónimo inglês de *Serial Peripheral Interface*. Norma de comunicação série desenvolvida pela Motorola.

STC

Acrónimo inglês de *Standard Test Conditions* que significa "Condições de Teste Padrão". Condições pelas quais é normalmente caracterizado um painel solar.

Telemetria

A transmissão de dados recolhidos num local remoto, através de canais de comunicação, para uma estação central.

Tempo de resposta (constante de tempo)

Intervalo de tempo necessário para que um sensor atinja 63.2% do valor final em resposta a uma entrada em degrau, dentro de determinadas condições. São requeridas 5 constantes de tempo para que o sensor estabilize nos 100%.

Termistor

Semicondutor que exhibe uma rápida e significativa variação da sua resistência para pequenas variações de temperatura.

Termopar

Elemento sensor de temperatura que converte energia térmica directamente em energia eléctrica. Na sua forma básica, consiste em dois metais condutores dissimilares ligados em malha fechada. Cada junção forma um termopar. Se um deles é mantido a uma temperatura diferente da do outro, uma corrente eléctrica proporcional à diferença das temperaturas circulará na malha. Este valor varia com os materiais utilizados. Pares de cobre e *constantan*, que geram aproximadamente 40 microvolts por °C são muitas vezes usados em meteorologia.

Termopilha

Combinação de termopares ligados em série de tal modo que as junções estão alternadamente à temperatura a medir e à temperatura de referência. Este arranjo permite amplificar a tensão termoeléctrica gerada.

Transdutor

Dispositivo (ou meio) que converte energia de uma forma em outra. O termo é geralmente aplicado a dispositivos cuja entrada é um fenómeno físico (pressão, temperatura, humidade, fluxo, etc) e a saída é um sinal eléctrico.

Ultravioleta, radiação

Segmento do espectro electromagnético abaixo da cor azul (380nm)

Zero Absoluto

Temperatura hipotética caracterizada pela completa ausência de calor e definido como 0K, -273,15°C ou 459,67°F.

Anexo C

Lista de Material da Estaca Versão MK6B

Módulo : Unidade Central de Processamento

Tipo : SEMICONDUCTORES

Referência	Designação	Custo
ICM1	μC PIC16C84 ou PIC16C71 (Microchip)	2.400\$00
ICM2	EEPROM 93LC46 ou 93LC56 (Microchip)	150\$00
QM1	MOSFET BS250	30\$00
DM1	Díodo 1N4148	10\$00
Subtotal (\$)		2.590\$00

Tipo : Componentes Passivos

Referência	Designação	Custo
RM1	Resistência 22kΩ	2\$50
RM2	Resistência 470Ω	2\$50
RM3	Resistência 1,5kΩ	2\$50
RM4	Resistência 2,2kΩ	2\$50
CM1	Condensador 10μF/16V	20\$00
CM2, CM3	Condensador 33pF/cerâmico	40\$00
CM4	Condensador 22nF/cerâmico	20\$00
CM5	Condensador 47nF/cerâmico	20\$00
Subtotal (\$)		110\$00

Tipo : Diversos

Referência	Designação	Custo
SICM1	Socket 18 pinos para ICM1	110\$00
SICM2	Socket 8 pinos para ICM2	60\$00
X1	Cristal 4MHz	89\$00
Subtotal (\$)		259\$00

Módulo : Unidade de Alimentação**Tipo : SEMICONDUTORES**

<i>Referência</i>	<i>Designação</i>	<i>Custo</i>
DS1	Díodo BAT85	12\$50
DS3	Regulador 'shunt' TL431 (<i>Texas Instruments</i>)	110\$00
DS4	Díodo 1N4001 (<i>Philips</i>)	12\$50
DP1, DP2	Díodo 1N5817 (<i>Motorola</i>)	284\$00
ICP1	MAX761 ou MAX762 (<i>Maxim</i>)	700\$00
IC2, IC3	MAX860 ou MAX 861 (<i>Maxim</i>)	500\$00
ICP2	MAX393 ou MAX314 (<i>Maxim</i>)	500\$00
Subtotal (\$)		2.119\$00

Tipo : Componentes Passivos

<i>Referência</i>	<i>Designação</i>	<i>Custo</i>
RS1	Resistência 150 Ω	2\$50
RS4	Resistência 180 Ω	2\$50
RP5	Resistência 100k Ω	2\$50
RP1	Resistência 120k Ω 1%	10\$00
RP3, RP4	Resistência 150k Ω	5\$00
RP2	Resistência 270k Ω 1%	10\$00
RP6	Resistência 560k Ω	2\$50
RS3	Potenciometro 1M Ω	150\$00
PP1	Potenciometro 10k Ω	150\$00
CS1	Condensador 100 μ F/16V	20\$00
CP1, CP4, CP5	Condensador 47 μ F (low ESR)	2.109\$00
CP2	Condensador 2,2 μ F/16V	20\$00
CP3, CP13	Condensador 100nF/cerâmico	20\$00
CP6	Condensador 22nF/cerâmico	20\$00
CP7,CP9	Condensador 47 μ F (low ESR)	1.030\$00
CP11,CP12	Condensador 47 μ F (low ESR)	1.030\$00
CP8, CP10	Condensador 10 μ F/16V	40\$00
LP1, LP2	Bobine 33 μ H	478\$00
Subtotal (\$)		5.102\$50

Tipo : Diversos		
<i>Referência</i>	<i>Designação</i>	<i>Custo</i>
SICP1	Socket 8 pinos para ICP1	60\$00
SICP2	Socket 16 pinos para ICP2	110\$00
KS1, KS2, KS3	Bloco de 2 terminais aparafusáveis para CI	120\$00
SWS1	Bloco de 3 terminais aparafusáveis para CI	30\$00
Subtotal (\$)		320\$00

Módulo : Unidade Analógica

Tipo : SEMICONDUTORES		
<i>Referência</i>	<i>Designação</i>	<i>Custo</i>
IC1, IC2	MAX186 (Maxim)	1.640\$00
D1A, D1B	Díodo 1N4148	20\$00
Subtotal (\$)		1.660\$00

Tipo : Componentes Passivos		
<i>Referência</i>	<i>Designação</i>	<i>Custo</i>
RA1	Resistência 10 Ω	2\$50
RA2, RA3, RA4	Resistência 220k Ω 1%	30\$00
RA5	Resistência 68k Ω 1%	10\$00
C1A,C2A	Condensador 10nF/cerâmico	40\$00
C1B,C2B	Condensador 10nF/cerâmico	40\$00
C6A,C6B	Condensador 10nF/cerâmico	40\$00
C3A, C4A	Condensador 4,7 μ F/16V	40\$00
C3B, C4B	Condensador 4,7 μ F/16V	40\$00
C5A, C5B	Condensador 4,7 μ F/16V	40\$00
CA7,CA8	Condensador 330nF/MKT	180\$00
Subtotal (\$)		462\$50

Tipo : Diversos		
<i>Referência</i>	<i>Designação</i>	<i>Custo</i>
SIC1,SIC2	Socket 20 pinos para IC1, IC2	125\$00
K1A, K1B	Ficha MOLEX 8 pinos	70\$00
Subtotal (\$)		195\$00

Módulo : Comunicações por RF**Tipo : SEMICONDUTORES**

<i>Referência</i>	<i>Designação</i>	<i>Custo</i>
BIM1	Transceiver BIM418F (Radiometrix, Ltd)	12.500\$00
ICBIM1	Temporizador CMOS TLC555 (Texas Instruments)	100\$00
TBIM1, TBIM3	MOSFET BS250	60\$00
MBIM2	MOSFET BS170	39\$00
DBIM1	Díodo 1N914	10\$00
Subtotal (\$)		12.709\$00

Tipo : Componentes Passivos

<i>Referência</i>	<i>Designação</i>	<i>Custo</i>
RBIM5	Resistência 2,2k Ω	2\$50
RBIM3	Resistência 8,2k Ω	2\$50
RBIM1	Resistência 47k Ω	2\$50
RBIM6	Resistência 56k Ω	2\$50
RBIM4	Resistência 150k Ω	2\$50
RBIM2	Resistência 470k Ω	2\$50
CBIM5	Condensador 47 μ F/16V	20\$00
CBIM3	Condensador 1 μ F/16V	20\$00
CBIM4	Condensador 22nF/cerâmico	20\$00
Subtotal (\$)		75\$00

Tipo : Diversos

<i>Referência</i>	<i>Designação</i>	<i>Custo</i>
ANT1	Antena (Fio envernizado 0.8mm 16,5cm)	0\$00
SICBIM1	Socket 8 pinos para ICBIM1	60\$00
Subtotal (\$)		60\$00

Módulo : Interface Sensorial**Tipo : Diversos**

<i>Referência</i>	<i>Designação</i>	<i>Custo</i>
KA01..KA16, KA17	Ficha RJ11 para CI	1530\$00
RA01A..RA16A	Resistência 150k Ω	40\$00
RA01B..RA16B	Resistência 15 Ω	40\$00
RC1	Resistência 150k Ω	2\$50
CA01..CA16	Condensador 68nF/MKT	320\$00
CIS1, CIS2, CIS3	Condensador 100nF/cerâmico	60\$00
CIS4, CIS5, CIS6	Condensador 47 μ F/16V	60\$00
Subtotal (\$)		2.052\$50

Estaca**Tipo : Diversos**

<i>Referência</i>	<i>Designação</i>	<i>Custo</i>
	Candeeiro Solar para jardim SOLITE SW125A (inclui painel solar de 0.6W, bateria 6V600mA/h NiCd, interruptor e jack de alimentação externa)	5.576\$00
	Circuito impresso face simples com furação	2.000\$00
		\$00
Subtotal (\$)		7.576\$00

Custo do Protótipo

Total (\$)

35.290\$50

Anexo D

Software da Estaca e da Estação Base

	<i>Página</i>
<i>Software da Estaca</i> (Versão <i>S609.B</i>)	D-3
<i>Software da Estação Base</i> (Versão de ensaio <i>SPWAS05</i>)	D-29

Software da Estaca S609.B

```

;-----
; FILE          : SPWMK609.ASM
; Purpose       : SPWAS Version MK6A and MK6B
; Features      :   - Transmit 8,N,1,2400
;                 - Receive 8,N,1,2400
;                 - Sleep Mode
;                 - Send Data Frame
;                 - Send Error Frame
;                 - 2 MAX186
;                 - 93LC46
;                 - Internal EEPROM
;                 - Bim418 Transceiver
;                 - Radiation Measure (16bit/170ms)
;
; Protocol      : Memphis Release
;
; Last Revision : 16:45 20-06-1997
;               : By Raul Morais, U.T.A.D.-D.E.
; Compiling     : mpasm spwmk609
;               : programming PICSTART 16B1 device = 16C84
;
; Pin Assignments:
;   : (17) RA0 - *CS1(0-7) , Output
;   : (18) RA1 - *CS2(8-F) , Output
;   : ( 1) RA2 - *ON/OFF   , Output
;   : ( 2) RA3 - Counter   , INPUT
;   : ( 3) RA4 -           , INPUT
;   : ( 6) RB0 - CTS       , Input (from PC)
;   : ( 7) RB1 - TXDATA    , Output (To PC-RXD)
;   : ( 8) RB2 - RXDATA    , Input (From PC-TXD)
;   : ( 9) RB3 - *RTS      , Output
;   : (10) RB4 - CSEE      , Output
;   : (11) RB5 - SPICLK    , Output
;   : (12) RB6 - TOSPIIC   , Output
;   : (13) RB7 - FRSPIIC   , Input
;-----
;               list p=16c84, f=inhx8m ;16C84 MicroController , IntelHEX
;-----
;               include "p16c84.inc"
;-----
; SPWAS Address Assignment
;
MYADDRESS      equ    001H
;
; Hardware Pin Assignments
;
CTS             equ    0      ; RB0/INT = RTS(PC)
TXDATA         equ    1      ; RB1    = RXD(PC)
RXDATA         equ    2      ; RB2    = TXD(PC)
RTS            equ    3      ; RB3    = CTS(PC)
CSEE           equ    4      ; RB4
SPICLK         equ    5      ; RB5
TOSPIIC        equ    6      ; RB6
FRSPIIC        equ    7      ; RB7
CS1            equ    0      ; RA0
CS2            equ    1      ; RA1
ONOFF          equ    2      ; RA2
CNTOUT         equ    3      ; RA3
CNTIN          equ    4      ; RA4
;
;-----
; General Purpose Registers - User Defined - Memory MAP
;-----
BITCOUNT      equ    00CH
TXREG           equ    00DH
RXREG          equ    00EH
delay          equ    00FH
TEMP1          equ    010H

```

```

TEMP2          equ      011H
USReg          equ      012H
MSReg          equ      013H
NCH            equ      014H
CH_i           equ      015H
EEDAT          equ      016H      ;*
Flags          equ      017H      ;*
TimerHigh      equ      018H      ; High result of COUNTER Value
TimerLow       equ      019H      ; Low result of COUNTER Value
CFG186         equ      01AH      ; MAX186 Configuration register
ADSUMH         equ      01BH      ;
ADSUML         equ      01CH      ;
ADMAXH         equ      01DH      ;
ADMAXL         equ      01EH      ;
ADMINH         equ      01FH      ;
ADMINL         equ      020H      ;
ADH            equ      021H      ;
ADL            equ      022H      ;
AVCNT          equ      023H      ; Number of samples in average
CRCHI          equ      024H      ; High byte of CRC16bit
CRCLO          equ      025H      ; Low byte of CRC16bit
CRCIN          equ      026H      ; CRC8 input register
REMETENTE      equ      027H      ;
DESTINO        equ      028H      ;
CONTROLO       equ      029H      ;
OPTIONS1       equ      02AH      ;
OPTIONS2       equ      02BH      ;
OPTIONS3       equ      02CH      ;
OPTIONS4       equ      02DH      ;
FCS            equ      02EH      ; incoming frame check sequence
EEADD          equ      02FH      ; pointer to EEPROM Address
;
;-----
; Constant Definition Area - User Defined
;-----
;-----
; Values of Timing Constant BITDK for various clock speeds and bit rates
; CLK Freq      Serial bit rate (bit time)
;   300         600      1200      2400      4800      9600      19200
; (3.33ms) (1.66ms) (833us) (417us) (208us) (104us) (52us)
; 1MHz  206      102      50       24       -        -        -
; 2MHz   -       206      102      50       24       -        -
; 4MHz   -       -       206      102      50       24       -
; 8MHz   -       -       -       206      102      50       24
;-----
BITDK equ      .102          ; 2400 baud @ 4MHz Bit time = 416us
HBITDK equ      BITDK/2      ; half-bit time
;
;-----
; Bit Functions Assignment
;-----
#define BATOption      OPTIONS1,0      ; (Battery Option)
#define SPOption       OPTIONS1,1      ; (Solar Panel Option)
#define SRADOption     OPTIONS1,2      ; (Solar Radiation Option)
#define AVEROption     OPTIONS1,5      ; (6-Sample Average Option)

#define CFGCommand     CONTROLO,5      ; (CFGCommand)
#define OnlySENDDATA   CONTROLO,4      ; (Send Stored Data)
#define ANSWEROption   CONTROLO,6      ; (Enable ANSWER BACK - TEST)
#define RADUpdate      CONTROLO,2      ; Radiation average update
#define FullStatus     CONTROLO,1      ; Full Status DATA back
#define DATSented      CONTROLO,0      ; Data has already sent

#define MULTIBIT       Flags,3         ; Multicast request flag
#define COUNTERIN      PORTA,CNTIN     ; Counter input
#define COUNTEROUT     PORTA,CNTOUT    ; impulse output
;
;-----
; Codes returned from functions and error type in error frames
;-----
#define BADCRC08CODE    001h
#define CFGCOMMANDOK    002h
#define TESTOKCODE      003h
#define BROADADDCODE    004h

```

```

#define      OTHERADDCODE      005h
#define      SPWASON           006h
#define      MULTICASTCODE     007h

#define      EEDATASTART       010h      ; Data start at EEPROM 0x10
#define      EECFGSTART        003h      ; Configuration at 0x03
;
;-----
; MACROS - User defined
;-----
;
PowerON      macro
              bcf      PORTA,ONOFF
              endm

PowerOFF     macro
              bsf      PORTA,ONOFF
              endm

MACResetCRC  macro
              CLRF     CRCHI
              CLRF     CRCLO
              endm

MACUpdateCRC16 macro
              movwf    CRCIN
              call     CRC16
              endm

MACUpdateCRC8 macro
              movwf    CRCIN
              call     CRC8
              endm

SetSPICLK    macro
              bsf      PORTB,SPICLK
              endm

ClearSPICLK  macro
              bcf      PORTB,SPICLK
              endm

SetTOSPIIC   macro
              bsf      PORTB,TOSPIIC
              endm

ClearTOSPIIC macro
              bcf      PORTB,TOSPIIC
              endm

CSADC07      macro
              bcf      PORTB,CSEE
              bsf      PORTA,CS2
              bcf      PORTA,CS1
              endm

CSADC8F      macro
              bcf      PORTB,CSEE
              bsf      PORTA,CS1
              bcf      PORTA,CS2
              endm

CSEEPROM     macro
              bsf      PORTA,CS1
              bsf      PORTA,CS2
              bsf      PORTB,CSEE
              endm

NOCS         macro
              bsf      PORTA,CS1
              bsf      PORTA,CS2
              bcf      PORTB,CSEE
              endm

```



```

MEnableEEWrite macro
    bsf     STATUS,RP0      ;select pg 1
    bsf     EECON1,WREN     ;enable write operation
    bcf     STATUS,RP0      ;select pg 0
endm

MDisableEEWrite macro
    bsf     STATUS,RP0      ;pg 1
    bcf     EECON1,WREN     ;disable write
    bcf     STATUS,RP0      ;pg 0
endm

;-----
; PROGRAM Starts here
;-----
    org     000H            ; Start CODE-address is always 0
    goto    MainProgram     ; Start
    org     004H
    goto    ServiceINT

;
MainProgram
    call    PortsInit       ; PORTA and PORTB Initializations

    movlw   B'11100111'     ; 1:pull-ups disabled
                                ; 1:RB0/INT 0->1
                                ; 0:TMR0 on RA4
                                ; 0:TMR0 inc on RA4 0->1
                                ; 0:Prescaler assigned to TMR0
                                ; 1:Prescaler = 256
                                ; 1:
    option                                     ; 1:

    movlw   011H            ; Send wake message
    movwf   REMETENTE       ; to Base station
    movlw   SPWASON         ; CODE is SPWAS ON
    call    SendErrorFrame

    movlw   .200            ; wait 200ms
    call    WaitMS

EnterSleepMode
    call    BeforeSleep     ; Set sleep conditions
    sleep                                     ; enter in idle mode
    nop
    clrf    INTCON          ; Clear Interrupt Register

;--- Start receiving incomming frame -----
;--- 2 formats allowed
;--- R,D,C,01,02,03,04,CRC8 (single operation) or
;--- R,D,C,CRC8 (multicast operation)

    call    WaitForFrame
    xorlw   0FFH           ; TimeOut ( W=FF )
    btfsc   STATUS,Z       ; Test Z flag
    goto    PreSleep       ; Set (Z=TRUE), Goto Sleep Mode
    movf    RXREG,W        ;
    movwf   REMETENTE     ; REMETENTE - BS Address

    movlw   .137           ;
    call    DelayUS        ;
    call    Receive        ;
    movf    RXREG,W        ;
    movwf   DESTINO        ; DESTINATARIO - SPWAS Address

    movlw   .137           ;
    call    DelayUS        ;
    call    Receive        ;
    movf    RXREG,W        ;
    movwf   CONTROLO      ; CONTROLO do Bloco

;--- DESTINO must be checked here
;--- if DESTINO = 0x1F (MultiCast Address), jump to receive CRC8
;--- Frame is validated after CRC8 Test...

```

```

        bcf      MULTIBIT
        movf     DESTINO,W      ; W = DESTINO
        sublw   01FH           ; W = W - 0x1F
        btfss   STATUS,Z       ; W = 0 ?
        goto    NoMulti        ;
        bsf      MULTIBIT
        goto    Multi
NoMulti
        movlw   .136           ;
        call    DelayUS        ;
        call    Receive        ;
        movf     RXREG,W       ;
        movwf    OPTIONS1      ; OPTIONS1 - Opções de Programa#o

        movlw   .137           ;
        call    DelayUS        ;
        call    Receive        ;
        movf     RXREG,W       ;
        movwf    OPTIONS2      ; OPTIONS2 - Opções de Programa#o

        movlw   .137           ;
        call    DelayUS        ;
        call    Receive        ;
        movf     RXREG,W       ;
        movwf    OPTIONS3      ; OPTIONS3 - Opções de Programa#o

        movlw   .137           ;
        call    DelayUS        ;
        call    Receive        ;
        movf     RXREG,W       ;
        movwf    OPTIONS4      ; OPTIONS4 - Opções de Programa#o
Multi
        movlw   .137           ;
        call    DelayUS        ;
        call    Receive        ;
        movf     RXREG,W       ;
        movwf    FCS           ; CRCIN - Incomming FCS

;--- Check if incomming FCS is correct -----
        call    CheckCRC8
        xorlw   0
        btfsc   STATUS,Z
        goto    CRCIsOK

;--- Send Error frame and go sleep
        btfss   ANSWEROption    ; Answer back ? (TEST purposes)
        goto    PreSleep        ; No, Normal operation
        movlw   BADCRC08CODE     ; Yes, send error message
        call    SendErrorFrame   ;
        goto    PreSleep

CRCIsOK

;--- Check if incomming Destination is correct -----
        call    CheckAddress
        xorlw   0
        btfsc   STATUS,Z
        goto    StartProcess

;--- Incomming address was not MYADDRESS or MULTICAST ADDRESS

        btfss   ANSWEROption
        goto    PreSleep
        movlw   OTHERADDCODE
        call    SendErrorFrame
        goto    PreSleep

StartProcess

        PowerON           ; Power = ON
        movlw   .200

```

```

        call    WaitMS          ; Wait 200mS for sensors power up
        movlw   .200
        call    WaitMS          ; Wait 200mS for sensors power up
        movlw   .200
        call    WaitMS          ; Wait 200mS for sensors power up

;--- It is a Multicast Data request ?

        btfss   MULTIBIT
        goto    NextPass        ; No, Single Operation

        call    ReadInternalCFG ; Yes, Read Configuration from EEPROM
        call    StartCollecting ; Collect DATA following CFG

        btfss   ANSWEROption    ; Send MultiCast Frame ? (Only for testing)
        goto    PreSleep
        movlw   MULTICASTCODE    ; Yes, Send error frame with Multicast code
        call    SendErrorFrame   ;
        goto    PreSleep         ;

;--- Single Operation

NextPass
        btfsc   OnlySENDDATA     ; OnlySend ?
        goto    SendData         ; Yes, send DataFrame

NoSend
        btfsc   CFGCommand       ; Configuration Command ?
        goto    OnlyStore        ; Yes, Store Configuration
        goto    Collect          ; No, Individual Data Request

OnlyStore
        call    WriteInternalCFG; Store CFG
        movlw   .200
        call    WaitMS           ; Wait 200mS for sensors power up
        movlw   CFGCOMMANDOK     ; Send Acknowledge to CFG Command
        call    SendErrorFrame   ; Send Frame
        goto    PreSleep

Collect
        call    StartCollecting ;

SendData
        call    SendDataFrame    ; Send data to BS

PreSleep
        movlw   .200
        call    WaitMS
        goto    EnterSleepMode
;
;-----
ServiceINT
        return
;
;-----
; Subroutine      : FreqMeasure
; Purpose         :
; Input params    :
; Output params   : TimerValue in TimerHigh:TimerLow
; Remarks         :
;                 ;
; Subrot.used     :
;-----
FreqMeasure
        clrf    TMR0
        movlw   0
        movwf   TMR0

GetLOOP1
        movlw   .170
        call    WaitMS           ;

        bsf     STATUS,RP0       ; Select Bank 1
        movlw   B'11110000'      ; RA0,RA1,RA2,RA3 - Output,

```

```

                                ; RA4 - Input. (B'XXX10000')
movwf PORTA                    ; Set configuration
bcf STATUS,RP0                 ; Bank 0

                                ; End of counting
bcf COUNTEROUT

movf TMR0,W
movwf TimerHigh
clrf TimerLow

GetLOOP
bsf COUNTEROUT
xorwf TimerHigh,W
btfsc STATUS,Z
goto INC_CONT
decf TimerLow,F

bsf STATUS,RP0                 ; Select Bank 1
movlw B'11111000'              ; RA0,RA1,RA2 - Output,
                                ; RA3,RA4 - Input. (B'XXX11000')
movwf PORTA                    ; Set configuration
bcf STATUS,RP0                 ; Bank 0

retlw 0

INC_CONT
incf TimerLow,F
bcf COUNTEROUT
movf TMR0,W
goto GetLOOP

;
;-----
WriteInternalCFG
MEnableEEWrite

clrf EEADR
movf OPTIONS1,W
movwf EEDATA
call WriteIEE

incf EEADR,F
movf OPTIONS2,W
movwf EEDATA
call WriteIEE

incf EEADR,F
movf OPTIONS3,W
movwf EEDATA
call WriteIEE

incf EEADR,F
movf OPTIONS4,W
movwf EEDATA
call WriteIEE

MDisableEEWrite

retlw 0

;
;-----
ReadInternalCFG
clrf EEADR
call ReadIEE
movf EEDATA,W
movwf OPTIONS1

incf EEADR,F
call ReadIEE
movf EEDATA,W
movwf OPTIONS2

incf EEADR,F
call ReadIEE

```

```

        movf    EEDATA,W
        movwf   OPTIONS3

        incf    EEADR,F
        call    ReadIEE
        movf    EEDATA,W
        movwf   OPTIONS4

        retlw   0
;
;-----
StartCollecting
        call    EWENOrg8          ; EEPROM Write Enable

        movlw   EEDATASTART      ; Data starts at add EEDATASTART
        movwf   EEADD

        call    ADNChannels

        btfss   SRADOption       ; SolarRadiation Acquitition
        goto    NoRADOption      ; No, Skip
        call    FreqMeasure

        movf    TimerHigh,W      ; Store TimerHigh in EEPROM at current ADD
        movwf   EEDAT
        call    WriteEEPROM
        incf    EEADD,F

        movf    TimerLow,W       ; Store TimerLow in EEPROM at current ADD
        movwf   EEDAT
        call    WriteEEPROM
        incf    EEADD,F

NoRADOption
        btfsc   SPOption         ; SolarPanel Acquisition ?
        call    SPConversion      ; Yes
        btfsc   BATOption        ; Battery Acquitision ?
        call    VBATConversion    ; Yes

        movf    EEADD,W          ; Store Last data address
        movwf   EEDAT            ; in EEPROM address 0x00
        clrf    EEADD
        call    WriteEEPROM

        call    EWDSOrg8         ; EEPROM Write Disable
        retlw   0

;-----
; Subroutine      : SendDataFrame
; Purpose         : Sends a Data Frame to Base Station
; Format          : PPPPAA,REMETENTE,DESTINO,CONTROLO,DADOS,CRC16
; Input Params   :
; Output Params  : W = 0
; Var Usage      : TEMP1, CSumReg
; Subrot.used     : Transmit, TurnONTXM, TurnOFFTXM
;-----
SendDataFrame
        bsf     PORTB,TXDATA
        bcf     PORTB,RTS
        movlw   0AAh
        call    Transmit
        movlw   0AAh
        call    Transmit
        movlw   0AAh
        call    Transmit
        movlw   0AAh
        call    Transmit
        movlw   0AAh
        call    Transmit
        movlw   0AAh
        call    Transmit
        movlw   0AAh
        call    Transmit
        movlw   0AAh
        call    Transmit
        movlw   0AAh

```

```

        call    Transmit
        movlw   0AAh
        call    Transmit

;--- Send Preamble

        movlw   0FFh
        call    Transmit
        movlw   0FFh
        call    Transmit
        movlw   0FFh
        call    Transmit
        movlw   0FFh
        call    Transmit
        movlw   0AAh
        call    Transmit
        movlw   0AAh
        call    Transmit

MACResetCRC

        movlw   MYADDRESS
        MACUpdateCRC16
        movlw   MYADDRESS
        call     Transmit           ; REMETENTE

        movf    REMETENTE,W
        MACUpdateCRC16
        movf    REMETENTE,W
        call     Transmit           ; DESTINO

        movlw   B'00000000'
        MACUpdateCRC16
        movlw   B'00000000'
        call     Transmit           ; CONTROLO

        clrf    EEADD               ; Set EEPROM Address at 0x00
        call    ReadEEPROM           ; Read Stored EEADD
        movlw   EEDATASTART
        subwf   EEDAT,F              ; Subtract Starting Address
        movf    EEDAT,W
        movwf   AVCNT               ; AVCNT = Number of stored bytes
        movlw   EEDATASTART
        movwf   EEADD               ; Set EEPROM at Start of Data

DataLoop
        call    ReadEEPROM
        movf    EEDAT,W
        MACUpdateCRC16
        movf    EEDAT,W
        call     Transmit           ; DATA BYTE
        incf    EEADD,F
        decfsz  AVCNT,F
        goto    DataLoop
        movf    CRCHI,W
        call     Transmit           ; CRC-16 HIGH BYTE
        movf    CRCLO,W
        call     Transmit           ; CRC-16 LOW BYTE

        call    TurnOFFTXM
        retlw   0
;
;-----
; Subroutine      : SendErrorFrame
; Purpose         :
; Format          : PPPPAA,REMETENTE,DESTINO,CONTROLO,CRC8
; Input Params   : W with Error Code
; Output Params  : W = 0
; Var Usage      : TEMP1, CSumReg
; Subrot.used    : Transmit, TurnONTXM, TurnOFFTXM
;-----
SendErrorFrame
        movwf   TEMP1

```

```

        bsf      PORTB, TXDATA
        bcf      PORTB, RTS
        movlw    0AAh
        call     Transmit
        movlw    0AAh
        call     Transmit
        movlw    0AAh
        call     Transmit
        movlw    0AAh
        call     Transmit
        movlw    0AAh
        call     Transmit
        movlw    0AAh
        call     Transmit
        movlw    0AAh
        call     Transmit
        movlw    0AAh
        call     Transmit
        movlw    0AAh
        call     Transmit
        movlw    0AAh
        call     Transmit
        movlw    0AAh
        call     Transmit

;--- Send Preamble

        movlw    0FFH
        call     Transmit
        movlw    0FFH
        call     Transmit
        movlw    0FFH
        call     Transmit
        movlw    0FFH
        call     Transmit
        movlw    0FFH
        call     Transmit
        movlw    0AAH
        call     Transmit
        movlw    0AAH
        call     Transmit

MACResetCRC

        movlw    MYADDRESS
        MACUpdateCRC8
        movlw    MYADDRESS
        call      Transmit          ; REMETENTE

        movf     REMETENTE, W
        MACUpdateCRC8
        movf     REMETENTE, W
        call      Transmit          ; DESTINO

        movf     TEMP1, W
        MACUpdateCRC8
        movf     TEMP1, W
        call      Transmit          ; CONTROLO (with ErrorCode)

        movf     CRCLO, W
        call      Transmit          ; CRC-8

        call      TurnOFFTXM

        retlw    0
;
;-----
; Subroutine Transmit
; Parameter      : Byte to Send in W Register
;                : 8 Data bits, 1 stop bit, no parity
; Var usage     : TXREG, Data to transmitted storage place
;                : delay, counts time in baudrate
;                : count, number of bits to transmit
; Subrot.used   : DelayUS
;-----
Transmit
        movwf    TXREG
        movlw    .8

```

```

        movwf    BITCOUNT
        bcf      PORTB,TXDATA      ; TXDATA = 0 - Send start bit
        call     BitDelay
TXBIT
        rrf      TXREG,F
        btfss    STATUS,C
        bcf      PORTB,TXDATA
        btfsc    STATUS,C
        bsf      PORTB,TXDATA
        call     BitDelay
        decfsz   BITCOUNT,F
        goto     TXBIT
        bsf      PORTB,TXDATA
        call     BitDelay
        retlw    0
;
;-----
; Subroutine      : Receive
; Purpose         : Receive serial data (8,N,1,9600)
; Input parms    : None
; Output parms   : W = 0FFh, Reception failed (BadStartBit)
;                : W = 000h, Reception OK, Received byte in RXREG
; Var usage      : RXREG, received byte
;                : count, number of bits to receive
; Subrot.used    : DelayUS
;-----
Receive
        btfsc    PORTB,RXDATA      ; Test RXDATA Pin
        goto     Receive           ; Wait for receive : RXDATA = 1
        movlw    .68               ; software delay for
        call     DelayUS           ; 53 uS, (B/2) - TestStartBIT
TestStartBit
        btfsc    PORTB,RXDATA      ; if it was a start bit, RXDATA = 0
        retlw    0FFh             ; no, RXDATA = 1, Wrong Start bit
        movlw    .9                ; Start Bit detected, receive
        movwf    BITCOUNT         ; 8 data bits
        clrf     RXREG             ; clear RXREG
RXBaudWait
        decfsz   BITCOUNT,F       ; count = count - 1
        goto     RecvNextBit       ; count <> 0, Receive next Bit
        retlw    0                ; count = 0, end of received char
RecvNextBit
        movlw    .137              ; Software delay for
        call     DelayUS           ; 105 uS (B)
        bcf      STATUS,C
        btfsc    PORTB,RXDATA      ; Test RXDATA pin
        bsf      STATUS,C          ; RXDATA = 1, Set CARRY to rotate
        rrf      RXREG, F          ; Rotate RXREG
        goto     RXBaudWait        ; wait for next bit
;
;-----
BitDelay
        movlw    BITDK
        movwf    delay
D1Loop
        nop
        decfsz   delay,F
        goto     D1Loop
        retlw    0
StartDelay
        movlw    HBITDK
        movwf    delay
D2Loop
        nop
        decfsz   delay,F
        goto     D2Loop
        retlw    0
;
;-----
; Subroutine      : WaitForFrame
; Purpose         : Waits for a valid frame (beginning with flag 0xFF)
;                : Stops until a byte different from 0xFF has been received
; Input parms    : none

```



```

; Output parms : W = 0, with 1st data byte (different from 0xAA) in RXREG
; Var usage    : RXREG,
; Subrot.used   : Receive, DelayUS
;-----
WaitForFrame
    movlw    0FFH
    movwf    TEMP1
WaitFrame
    decfsz   TEMP1,F
    goto     NextFlag
    retlw    0FFH

NextFlag
    call     Receive          ; Wait for char
    sublw    0FFH             ; char received with wrong start bit ?
    btfsc    STATUS,Z         ; test
    goto     WaitFrame        ; Yes, it was a wrong start bit
    movf     RXREG,W          ; No, W = RXREG (received char)
    sublw    0FFH             ; subtract Flag
    btfss    STATUS,Z         ; Test
    goto     WaitFrame        ; No Flag received, wait again
    nop                      ; Flag received

ByPassAA
    movlw    .137             ; Wait last Stop bit
    call     DelayUS
    call     Receive          ; try to get second flag
    movf     RXREG,W          ; W = RXREG (next received char)
    sublw    0FFH             ; subtract Flag
    btfsc    STATUS,Z         ; Test
    goto     ByPassAA         ; Flag Received, wait for non Flag char
    retlw    0                ; Flag not received, perhaps address
;
;-----
; Subroutine    : CheckAddress
; Purpose       : Check Address in DESTINO Register
; Input parms   : DESTINO Register with address value to check
; Output parms  : W = 'B' if was an broadcast address DESTINO = 11111)
;               : W = 0 if address received is equal to SPWAS OWNADDRESS
;               : W = 'H' if address received is to other SPWAS
; Remarks       : After calling this subroutine, don't forget to test W
; Var usage     : none
; Subrot.used   : none
; Example       : call CheckAddress
;               : xorlw 0
;               : btfss STATUS,Z
;               : goto EnterSleepMode
;-----
CheckAddress
    bcf      MULTIBIT         ; Clear MultiCast Bit Flag
    movf     DESTINO,W        ; W = DESTINO
    andlw    01FH             ; W = W & 0x1F
    sublw    01FH             ; W = W - 0x1F
    btfsc    STATUS,Z         ; W = 0 ?
    goto     MultiCast        ;
    movf     DESTINO,W        ; No, continue testing
    sublw    MYADDRESS        ; W = W - SPWAS Own Address
    btfss    STATUS,Z         ; W = 0 ?
    retlw    'H'              ; Other SPWAS
    retlw    0                ; Yes, return OK

MultiCast
    bsf      MULTIBIT
    retlw    0
;
;-----
; Subroutine    : CheckCRC8
; Purpose       : Check CRC in incoming Frame from BS
; Input parms   :
; Output parms  : W = 'O', CheckSum OK, W = 0, BADSUM
; Remarks       : After calling this subroutine, don't forget to test W
; Var usage     :
; Subrot.used   :
; Example       : call CheckCHECKSUM
;               : xorlw 0
;               : btfss STATUS,Z

```

```

;                                : goto EnterSleepMode
;-----
CheckCRC8
    MACResetCRC;
    movf    REMETENTE,W
    MACUpdateCRC8
    movf    DESTINO,W
    MACUpdateCRC8
    movf    CONTROLO,W
    MACUpdateCRC8
    btfsc   MULTIBIT
    goto    MCast

    movf    OPTIONS1,W
    MACUpdateCRC8
    movf    OPTIONS2,W
    MACUpdateCRC8
    movf    OPTIONS3,W
    MACUpdateCRC8
    movf    OPTIONS4,W
    MACUpdateCRC8

MCast
    movf    FCS,W
    MACUpdateCRC8
    btfsc   STATUS,Z           ; If CRC OK, Computed CRC = 0.
    retlw   0                  ;
    retlw   BADCRC08CODE

;
;-----
;TurnONTXM
;    bsf    PORTB,TXDATA
;    bcf    PORTB,RTS
;    movlw  .30
;    call   WaitMS
;    retlw  0
;
;-----
TurnOFFTXM
    bsf    PORTB,TXDATA
    bsf    PORTB,RTS
    retlw  0
;
;-----
; Subroutine    : PortsInit
; Purpose      : Initiates PIC16C84 PortA and PortB Pins
;              : RA0 = Output  (*CS1(0-7))
;              : RA1 = Output  (*CS2(8-F))
;              : RA2 = Output  (*ON/OFF )
;              : RA3 = Input
;              : RA4 = Input  (COUNTER)
;              :
;              : RB0 = Input  (Ext.Int - from PC-RTS Pin)
;              : RB1 = Output ( to PC-RxD Pin)
;              : RB2 = Input  (from PC-TxD Pin)
;              : RB3 = Output ( to PC-CTS Pin)
;              : RB4 = Output (CSEE)
;              : RB5 = Output (SPICLK)
;              : RB6 = Output (TOSPIIC)
;              : RB7 = Input  (FRSPIIC)
; Input Parms  : none
; Output Parms : W = 0
; Var Usage    : none
; Subrot.used  : none
;-----
PortsInit
    bcf     STATUS,RP0        ; Select Bank 0, even already
    clrf    PORTA             ; Initialize PORTA
    bsf     STATUS,RP0        ; Select Bank 1

    movlw   B'11111000'      ; RA0,RA1,RA2 - Output,
                                ; RA3,RA4 - Input. (B'XXX11000')
    movwf   PORTA             ; Set configuration
    bcf     STATUS,RP0        ; Bank 0
    clrf    PORTB             ; Initialize PORTB

```

```

    bsf     STATUS,RP0      ; Select Bank 1
    movlw   B'10000101'    ; RB0,RB2,RB7 - Input,
                           ; RB6,RB5,RB4,RB3,RB1 - Outputs
    movwf   PORTB           ; Set configuration
    bcf     STATUS,RP0      ; Select Bank 0, even already

    clrf    OPTIONS1
    clrf    OPTIONS2
    clrf    OPTIONS3
    clrf    OPTIONS4

    retlw   0               ; Return from subroutine
;
;-----
; Subroutine      : BeforeSleep
; Purpose         : Set the Before Sleep Conditions
;
; Input Params   : none
; Output Params  : W = 0
; Var Usage      : none
; Subrot.used    : none
; Pin State      : (17) RA0 - *CS1(0-7), OUT : 5V
;                : (18) RA1 - *CS2(8-F), OUT : 5V
;                : ( 1) RA2 - *ON/OFF , OUT : 5V
;                : ( 2) RA3 -          IN
;                : ( 3) RA4 - COUNTER , IN
;
;                : ( ) RB0 = INT      , IN
;                : ( ) RB1 = TXDATA   , OUT : 5V
;                : ( ) RB2 = RXDATA   , IN
;                : ( ) RB3 = *RTS     , OUT : 5V
;                : (10) RB4 - CSEE     , OUT : 0V
;                : (11) RB5 - SPICLK   , OUT : 5V
;                : (12) RB6 - TOSPIIC  , OUT : 5V
;                : (13) RB7 - FRSPIIC  , IN
;-----
BeforeSleep
    movlw   B'01101010'
    movwf   PORTB
    movlw   B'11100111'
    movwf   PORTA
    PowerOFF
    movlw   B'10010000'      ; Clear RBIF, INTF, Set INTE, GIE
    movwf   INTCON
    retlw   0
;
;-----
; Subroutine      : DelayUS
; Purpose         : Software delay. With 4MHz Cristal, this subroutine takes
;                : (Delay-1)*3+7 uS (includes call instruction)
; Input params    : W - Delay value = (W-1)*3+7
; Output params   : W = 0
; Remarks         : Choose W as [(Delay-7)/3]+1
; Var usage       : delay
; Subrot.used     : none
;-----
DelayUS
    clrw    delay
    movwf   delay           ; (DELAY) = (W)
DelayLoop
    decfsz  delay,F         ; (DELAY)<-(DELAY)-1
    goto    DelayLoop      ; (DELAY)=0 ?, No
    retlw   0               ; (DELAY)=0, Return with W=0
;
;-----
; Subroutine      : WaitMS
; Purpose         : Software delay in mS
; Parameter       : ms in W Register (W=0 -> Delay = 256mS)
; Return Value    : W = 0
; Var usage       : MSReg, USReg
; Subrot.used     : None
;-----
WaitMS
    movwf   MSReg           ; Store ms

```

```

        movlw    0FEH          ; Correct call time (included 1 movlw
        movwf    USReg         ; before calling) for first loop
WLoopMS
        movlw    0F9H          ; 1 Loop 249*WLoopUS+4Cycles
        addwf    USReg,F       ; Destination is F Register
WLoopUS
        nop                     ; One Loop = 4 cycles
        decfsz   USReg,F       ; USReg - 1, skip if zero
        goto     WLoopUS

        decfsz   MSReg,F       ; MSReg - 1, skip if zero
        goto     WLoopMS
        nop                     ; correct time of last ms loop

        retlw    000H          ; return with W = 000h
;
;-----
Clock
        nop                     ; wait 1uS
        SetSPICLK              ; SPICLK = 1
        nop                     ; wait 1uS
        ClearSPICLK            ; SPICLK = 0
        retlw    0             ; return W = 0
;
;-----
; Subroutine      : VBAT Conversion
; Purpose         : Perform Battery Value conversion CH7 of ADC2,
; Input parms    :
; Output parms   : W = 0
; Var usage      :
; Subrot.used    :
;-----
VBATConversion
        movlw    B'00111111'
        movwf    CFG186
        btfss    AVEROption
        goto     NOAVBAT
        call     AV6
        goto     CONTBAT
NOAVBAT
        call     MAX186
CONTBAT
        movf     ADH,W
        movwf    EEDAT
        call     WriteEEPROM
        incf     EEADD,F

        movf     ADL,W
        movwf    EEDAT
        call     WriteEEPROM
        incf     EEADD,F

        retlw    0
;
;-----
; Subroutine      : SolarConversion
; Purpose         : Perform Solar Panel Value conversion CH6 of ADC2,
; Input parms    :
; Output parms   : W = 0
; Var usage      :
; Subrot.used    :
;-----
SPConversion
        movlw    B'00111110'    ; SGL,UNI,SEL0=0,SEL1=1,SEL0=1
        movwf    CFG186
        btfss    AVEROption
        goto     NOAVSP
        call     AV6
        goto     CONTSP
NOAVSP
        call     MAX186
CONTSP
        movf     ADH,W
        movwf    EEDAT

```

```

        call    WriteEEPROM
        incf    EEADD,F

        movf    ADL,W
        movwf   EEDAT
        call    WriteEEPROM
        incf    EEADD,F

        retlw   0
;
;-----
; Subroutine      : ADNChannels
; Purpose         :
; Input parms    :
; Output parms   :
; Var usage      : OPTIONS1, NCH (USReg), CH_i (MSReg)
; Subrot.used    :
;-----
ADNChannels
    bcf        STATUS,C
    clrf       CH_i
    movlw      .8
    movwf      BITCOUNT
CHLowIsON
    rrf        OPTIONS3,F
    btfsc      STATUS,C
    goto       ChannelON
NextCHLow
    incf       CH_i,F
    decfsz     BITCOUNT,F
    goto       CHLowIsON
    rrf        OPTIONS3,F
CHHigh
    bcf        STATUS,C
    movlw      .8
    movwf      BITCOUNT
CHHighIsON
    rrf        OPTIONS2,F
    btfsc      STATUS,C
    goto       ChannelON
NextCHHigh
    incf       CH_i,F
    decfsz     BITCOUNT,F
    goto       CHHighIsON
    rrf        OPTIONS2,F
    retlw      0
ChannelON
    movf       CH_i,W
    movwf      CFG186
    bsf        CFG186,4
    bsf        CFG186,5
    btfss      AVEROption
    goto       NOAVER
    call       AV6
    goto       YESAVER
NOAVER
    call       MAX186
YESAVER
    movf       ADH,W
    movwf      EEDAT
    call       WriteEEPROM
    incf       EEADD,F

    movf       ADL,W
    movwf      EEDAT
    call       WriteEEPROM
    incf       EEADD,F

    btfsc      CH_i,3
    goto       NextCHHigh
    goto       NextCHLow
;
;-----
; Subroutine      : MAX186

```

```

; Purpose      :
; Input parms  : Configuration in CFG186 register
;              : bit 7 : NotUsed
;              : bit 6 : NotUsed
;              : bit 5 : SingleEnded/*Differential
;              : bit 4 : Unipolar/*Bipolar Mode
;              : bit 3 : Selected CH,bit3
;              : bit 2 : Selected CH,bit2
;              : bit 1 : Selected CH,bit1
;              : bit 0 : Selected CH,bit0
; Output parms : W = 0, Result in ADH,ADL
; Subrot.used  : Clock
;-----
MAX186
    btfss    CFG186,3          ; bit 3 = 1 ? (>8 canais)
    goto     MAX07             ; No, CH_i < 8
    CSADC8F          ; Enable ADC02
    goto     StartMAX

MAX07
    CSADC07          ; Enable ADC01
;-----;
StartMAX
    ClearSPIIC
    SetTOSPIIC          ; START = 1
    call     Clock       ; Toggle Clock Pin

    btfss    CFG186,0          ; SEL2 = CH_i,0
    goto     ClearSEL2
    SetTOSPIIC
    goto     SEL2OK

ClearSEL2
    ClearTOSPIIC
SEL2OK
    call     Clock       ; Toggle Clock Pin
;-----;
    btfss    CFG186,2          ; SEL1 = CH_i,2
    goto     ClearSEL1
    SetTOSPIIC
    goto     SEL1OK

ClearSEL1
    ClearTOSPIIC
SEL1OK
    call     Clock       ; Toggle Clock Pin
;-----;
    btfss    CFG186,1          ; SEL0 = CH_i,1
    goto     ClearSEL0
    SetTOSPIIC
    goto     SEL0OK

ClearSEL0
    ClearTOSPIIC
SEL0OK
    call     Clock       ; Toggle Clock Pin
;-----;
    btfss    CFG186,4          ; Unipolar or Bipolar Operation ?
    goto     BipolarM
    SetTOSPIIC          ; Unipolar Mode
    goto     UNIBIP

BipolarM
    ClearTOSPIIC          ; Bipolar Mode
UNIBIP
    call     Clock       ; Toggle Clock Pin
;-----;
    btfss    CFG186,5          ; SingleEnded or Differential ?
    goto     DiffMode
    SetTOSPIIC          ; Single Ended
    goto     SGLDIF

DiffMode
    ClearTOSPIIC          ; Differential
SGLDIF
    call     Clock       ; Toggle Clock Pin
;-----;
    SetTOSPIIC          ; PD1 = 1
    call     Clock       ; Toggle Clock Pin
    ClearTOSPIIC        ; PD0 = 0 (Internal Clock)

```

```

        call    Clock           ; Toggle Clock Pin
;-----;
        NOCS                ; Disable All
;-----;
        movlw    .7
        call    DelayUS        ; Delay for conversion (min 10uS)

StoreADCValue
        clrf     ADL           ; LSB ADResult = 0
        movlw    010H
        movwf    ADH           ; MSB ADResult = 0001.0000

        movlw    ADH
        movwf    FSR           ; FSR points to ADH

        btfss    CFG186,3      ; bit 3 = 1 ? (>8 canais)
        goto     MAX1          ; No, CH_i < 8
        CSADC8F
        goto     StartREAD

MAX1
        CSADC07                ; Enable ADC01
StartREAD
        movlw    .12           ; Number of bits to rotate
        movwf    TEMP2

ReadLoop
        call    Clock          ; Toggle Pin
        btfss    PORTB,FRSPIIC ; Test AD clocked out ADResult bit
        goto     ClearRBit     ; Bit read = 0
        goto     SetRBit       ; Bit read = 1

NextRBit
        decfsz   TEMP2,F        ; decrement n$of bits to get
        goto     ReadLoop      ; get next bit
        NOCS                ; Disable ADC
        retlw    0

ClearRBit
        bcf      STATUS,C       ; Carry = 0
        rlf      INDF,F         ; rotate left INDF = [FSR]
        btfss    STATUS,C       ; CARRY = 1 ?
        goto     NextRBit       ; No, still in MSB
        incf     FSR,F          ; Yes,Get LSB, FSR points to ADL
        goto     NextRBit       ; Next bit

SetRBit
        bsf      STATUS,C       ; Carry = 1
        rlf      INDF,F         ; rotate left INDF = [FSR]
        btfss    STATUS,C       ; Carry = 1 ?
        goto     NextRBit       ; No, still in MSB
        incf     FSR,F          ; Yes,Get LSB, FSR points to ADL
        goto     NextRBit       ; Next READ bit
;
;-----;
; Subroutine      : AV6
; Purpose         :
; Input parms     :
; Output parms    : W = 0
; Subrot.used     : MAX186,ADD16Bit,SUB16Bit,DivBy4,TestMAXMIN
;-----;
AV6
        movlw    .6             ; Number of averaged channels
        movwf    AVCNT
        clrf     ADMAXH
        clrf     ADMAXL         ; ADMAX = 0x0000
        clrf     ADMINH
        clrf     ADMINL
        clrf     ADSUMH
        clrf     ADSUML         ; ADSUM = 0x0000
        decf     ADMINH,F
        decf     ADMINL,F       ; ADMIN = 0xFFFF

NextAVSample
        call     MAX186
        call     ADD16Bit        ; ADSUM = ADSUM + AD
        call     TestMAXMIN      ; AD = MAX ? Yes, ADMAX = AD, No, continue

        decfsz   AVCNT,F

```

```

        goto      NextAVSample
FinishAV
        movf      ADMINH,W
        movwf     ADH
        movf      ADMINL,W
        movwf     ADL
        call      SUB16Bit          ; ADSUM = ADSUM - ADMIN
        movf      ADMAXH,W
        movwf     ADH
        movf      ADMAXL,W
        movwf     ADL
        call      SUB16Bit          ; ADSUM = ADSUM - ADMAX
        call      DivBy4           ; AD = ADSUM / 4
        retlw     0
;
;-----
; Subroutine      : SUB16Bit
; Purpose         : ADSUM = ADSUM - AD
; Input parms    :
; Output parms   : W = 0
; Sequence       :
;-----
SUB16Bit
        call      Negate
;
;-----
; Subroutine      : ADD16Bit
; Purpose         : ADSUM = ADSUM + AD
; Input parms    :
; Output parms   : W = 0
; Sequence       :
;-----
ADD16Bit
        movf      ADL,W
        addwf     ADSUML,F
        btfsc     STATUS,C
        incf      ADSUMH,F
        movf      ADH,W
        addwf     ADSUMH,F
        retlw     0
;
;-----
; Subroutine      : Negate16Bit
; Purpose         :
; Input parms    :
; Output parms   : W = 0
; Sequence       :
;-----
Negate
        comf      ADL,F
        incf      ADL,F
        btfsc     STATUS,Z
        decf      ADH,F
        comf      ADH,F
        retlw     0
;
;-----
; Subroutine      : TestMAXMIN
; Purpose         :
; Input parms    :
; Output parms   : W = 0
; Sequence       :
;-----
TestMAXMIN
        movf      ADMAXH,W
        subwf     ADH,W          ; AdHigh-AdMaxHigh
        btfss     STATUS,C
        goto      Val_S_Max
        btfsc     STATUS,Z
        goto      Val_E_Max_H
        movf      ADH,W
        movwf     ADMAXH
        movf      ADL,W
        movwf     ADMAXL

```



```

Val_S_Max
    movf    ADH,W
    subwf   ADMINH,W           ;AdMinHigh-AdHigh
    btfss   STATUS,C
    retlw   00h
    btfsc   STATUS,Z
    goto    Val_E_Min_H
    movf    ADH,W
    movwf   ADMINH
    movf    ADL,W
    movwf   ADMINL
    retlw   00h

Val_E_Max_H
    movf    ADMAXL,W           ;AdHigh=AdMaxHigh
    subwf   ADL,W             ;AdLow-AdMaxLow
    btfss   STATUS,C
    goto    Val_S_Max
    movf    ADH,W
    movwf   ADMAXH
    movf    ADL,W
    movwf   ADMAXL
    goto    Val_S_Max

Val_E_Min_H
    movf    ADL,W             ;AdHigh=AdMinHigh
    subwf   ADMINL,W          ;AdMinLow-AdLow
    btfss   STATUS,C
    retlw   00h
    movf    ADH,W
    movwf   ADMINH
    movf    ADL,W
    movwf   ADMINL
    retlw   00h

;
;-----
; Subroutine      : DivBy4
; Purpose         :
; Input parms     :
; Output parms    : W = 0
; Sequence        :
;-----
DivBy4
    bcf     STATUS,C
    rrf     ADSUMH,F
    rrf     ADSUML,F
    bcf     STATUS,C
    rrf     ADSUMH,F
    rrf     ADSUML,F
    movf    ADSUMH,W
    movwf   ADH
    movf    ADSUML,W
    movwf   ADL
    retlw   0

;-----
; Write a byte in EEDAT at internal EEPROM address EEADR
; Sequence :      MEnableEEWrite
;              <Data in EEDAT>
;              <Address in EEADR>
;              call WriteIEE
;              <Data in EEDAT>
;              <Address in EEADR>
;              call WriteIEE
;              ...
;              MDisableEEWrite
;-----
WriteIEE
    bsf     STATUS,RP0         ;page 1
    movlw   055h               ;do write seq.
    movwf   EECON2             ;      /
    movlw   0AAh               ;      /
    movwf   EECON2             ;      /

```

```

        bsf      EECON1,WR      ;initiate write
W01
        btfsc    EECON1,WR      ;write complete?
        goto     W01            ;no then keep checking
        bcf      STATUS,RP0     ;pg 0
        retlw    0
;
;-----
; Reads a byte to EEDAT from internal EEPROM address EEADR
; Sequence :    <Address in EEADR>
;              call ReadIEE
;              <Data in EEDAT>
;-----
ReadIEE
        bsf      STATUS,RP0     ;pg 1
        bsf      EECON1,RD      ;do a read
R01
        btfsc    EECON1,RD      ;rd done?
        goto     R01            ;no then loop
        bcf      STATUS,RP0     ;pg 0
        retlw    0
;
;-----
; Subroutine    : EWENOrg8
; Purpose       : Erase/Write Enable
; Input parms   : None
; Output parms  : W = 0
; Sequence      : 1.0.0.1.1.X.X.X.X
;-----
EWENOrg8
        ClearSPICLK
        CSEEPROM
        SetTOSPIIC
        call     Clock
        ClearTOSPIIC
        call     Clock
        ClearTOSPIIC
        call     Clock
        SetTOSPIIC
        call     Clock
        SetTOSPIIC
        call     Clock
        call     Clock
        call     Clock
        call     Clock
        call     Clock
        call     Clock
        NOCS
        retlw    0
;
;-----
; Subroutine    : EWDSOrg8
; Purpose       : Erase/Write Disable
; Input parms   : None
; Output parms  : W = 0
; Sequence      : 1.0.0.0.0.X.X.X.X
;-----
EWDSOrg8
        ClearSPICLK
        CSEEPROM
        SetTOSPIIC
        call     Clock
        ClearTOSPIIC
        call     Clock
        ClearTOSPIIC
        call     Clock
        ClearTOSPIIC
        call     Clock
        ClearTOSPIIC
        call     Clock
        call     Clock
        call     Clock
        call     Clock
        call     Clock

```

```

        call    Clock
        NOCS
        retlw   0
;
;-----
; Subroutine      : WriteEEPROM
; Purpose         : Write a DATA Byte in EEPROM Orgx8, at address EEADD
; Input parms     : EEADD (not destroyed), EEDAT (Destroyed)
; Output parms    : W = 0
; Var usage       : TEMP1,TEMP2
; Subrot.used     :
; Sequence        : 1.0.1.A6.A5.A4.A3.A2.A1.A0::D7.D6.D5.D4.D3.D2.D1.D0
;-----
WriteEEPROM
    movf    EEADD,W          ; Copy of EEADD
    movwf   TEMP1            ; to TEMP1
    ClearSPICLK
    CSEEPROM                ; Enable 93LC46 EEPROM

    SetTOSPIIC              ; 1
    call    Clock            ; Toggle Clock Pin
    ClearTOSPIIC            ; 0
    call    Clock            ; Toggle Clock Pin
    SetTOSPIIC              ; 1
    call    Clock            ; Toggle Clock Pin

;-----
; Send Address to EEPROM, TEMP1 = EEADD, TEMP2 Destroyed
;-----
    call    SendADDtoEEPROM
;-----
; Write clocked DATA in EEPROM
;-----
DATAToEE
    movlw   .8               ; number of bits
    movwf   TEMP2
    bcf     STATUS,C         ; clear Carry

SendDAT
    btfss   EEDAT,7          ; test bit 7 of data
    goto    ClearDAT         ; bit 7 = 0, send 0
    goto    SetDAT           ; bit 7 = 1, send 1

ClearDAT
    ClearTOSPIIC             ; TOSPIIC = 0
    call    Clock            ; ToggleClock
    goto    NextDAT         ; next bit

SetDAT
    SetTOSPIIC              ; TOSPIIC = 1
    call    Clock            ; ToggleClock
    goto    NextDAT         ; next bit

NextDAT
    rlf     EEDAT,F          ; rotate data, place next bit in pos7
    decfsz  TEMP2,F          ; finish ?
    goto    SendDAT         ; no, send next bit
    NOCS                    ; Disable EEPROM
    nop                      ; wait
    nop                      ; wait
    CSEEPROM                ; Enable again
    call    Clock            ; ToggleClock
    nop                      ; wait
    nop                      ; wait

WaitWrite
    btfss   PORTB,FRSPIIC    ; EEPROM Ready
    goto    WaitWrite        ; no, still busy
    NOCS                    ; Disable EEPROM, READY
    retlw   0               ; return W=0
;
;-----
; Subroutine      : ReadEEPROM
; Purpose         : Get DATA Byte from EEPROM Orgx8, at address EEADD
; Input parms     : EEADD (not destroyed)
; Output parms    : W = 0 (DATA in Register EEDAT)
; Var usage       : TEMP1,TEMP2
; Subrot.used     :
; Sequence        : 1.1.0.A6.A5.A4.A3.A2.A1.A0::D7.D6.D5.D4.D3.D2.D1.D0
;-----

```

```

;-----
ReadEEPROM
    movf    EEADD,W           ; Copy of EEADD
    movwf   TEMP1            ; to TEMP1
    ClearSPICLK
    CSEEPROM                  ; Enable 93LC46 EEPROM

    SetTOSPIIC                ; 1
    call    Clock             ; Toggle Clock Pin
    SetTOSPIIC                ; 1
    call    Clock             ; Toggle Clock Pin
    ClearTOSPIIC              ; 0
    call    Clock             ; Toggle Clock Pin
;-----
; Send Address to EEPROM, TEMP1 = EEADD, TEMP2 Destroyed
;-----
    call    SendADDToEEPROM
;-----
; Get DATA clocked out by the EEPROM
;-----
DATAFromEE
    movlw   .8                ; Number of bits to rotate
    movwf   TEMP2

LoopREE
    call    Clock             ; Toggle Pin
    btfss   PORTB,FRSPIIC     ; Test EEPROM clocked out Data bit
    goto    ClearBFEE         ; Bit read = 0
    goto    SetBFEE           ; Bit read = 1
NextREE
    decfsz  TEMP2,F           ; decrement n$of bits to get
    goto    LoopREE           ; get next bit
    NOCS    NOCS              ; Disable ALL
    retlw   0                 ; end, result in EEDAT

ClearBFEE
    bcf     STATUS,C          ; Carry = 0
    rlf     EEDAT,F           ; rotate left
    goto    NextREE           ; test next bit
SetBFEE
    bsf     STATUS,C          ; Carry = 1
    rlf     EEDAT,F           ; rotate left
    goto    NextREE           ; test next bit
;-----

SendADDToEEPROM
;-----
; Send Address to EEPROM
;-----
    movlw   .7                ; 7-bit address counter
    movwf   TEMP2
    bcf     STATUS,C

SendADD
    btfss   TEMP1,6           ; test bit 6
    goto    ClearADD          ; Clear, Send AX=0
    goto    SetADD            ; Set, Send AX=1
ClearADD
    ClearTOSPIIC              ; TOSPIIC = 0
    call    Clock             ; ToggleClock
    goto    NextADD           ; Next bit
SetADD
    SetTOSPIIC                ; ToSPIIC = 1
    call    Clock             ; ToggleClock
    goto    NextADD
NextADD
    rlf     TEMP1,F           ; rotate ADDRESS
    decfsz  TEMP2,F           ; finish 7-bit ?
    goto    SendADD           ; no, test next
    retlw   0
;
;-----
; Subroutine      : CRC16
; Purpose         : Calculate CRC-16
; Input parms    : Value to be CRC'ed in CRCIN Register

```

```
; Output parms : W = 0, CRC-16 Updated in CRCHI:CRCL0
; Var usage    : BITCOUNT,TEMP2
; Subrot.used   : None
```

```
-----
CRC16
    movlw    8
    movwf    BITCOUNT
    movf     CRCIN,W
CRCGETBIT
    movwf    CRCIN
    rrf      CRCIN,F
    movf     CRCIN,W
    movwf    TEMP2

    btfsc    STATUS,C
    goto     CRCIN1
    btfsc    CRCL0,0
    goto     SetC1
    bcf       STATUS,C
    goto     CRCCont
SetC1
    bsf      STATUS,C
    goto     HI6
CRCIN1
    btfsc    CRCL0,0
    goto     SetC2
    bsf      STATUS,C
    goto     HI6
SetC2
    bcf      STATUS,C
CRCCont
    btfss    STATUS,C
    goto     CRCSHIFT
HI6
    btfsc    CRCHI,6
    goto     ClearHI6
    bsf      CRCHI,6
    goto     L01
ClearHI6
    bcf      CRCHI,6
L01
    btfsc    CRCL0,1
    goto     ClearL01
    bsf      CRCL0,1
    goto     CRCSHIFT
ClearL01
    bcf      CRCL0,1
CRCSHIFT
    rrf      CRCHI,F
    rrf      CRCL0,F
    movf     TEMP2,W
    decfsz   BITCOUNT,F
    goto     CRCGETBIT
    retlw    0
```

```
;
;-----
; Subroutine    : CRC8
; Purpose       : Calculate CRC-8
; Input parms   : Value to be CRC'ed in CRCIN Register
; Output parms  : W = 0, CRC-8 Updated in CRCL0 Register
; Var usage     : BITCOUNT
; Subrot.used   : None
```

```
-----
CRC8
    movlw    8
    movwf    BITCOUNT

    movf     CRCIN,W
    xorwf    CRCL0,F
CRC8Loop
    bcf       STATUS,C
    btfss    CRCL0,0
    goto     CRC8Zero
    rrf      CRCL0,F
```

```
        movlw    08Ch
        xorwf    CRCL0,F
        goto     Next
CRC8Zero
        rrf      CRCL0,F
Next
        decfsz   BITCOUNT,F
        goto     CRC8Loop
        retlw    0
;-----
        end                ; End of program
;-----
```


Software da Estação Base

Versão de teste provisória SPWAS05

```

#include <stdio.h>
#include <graph.h>
#include <string.h>
#include <stdlib.h>
#include <time.h>
#include <dos.h>
#include "pcl4c.h"

#define FALSE 0
#define TRUE !FALSE
#define ESC 0x1b
#define M16 0xA001 /* crc-16 mask */

#define DEBUG FALSE
#define BADDES FALSE
#define BADCRC FALSE
#define DET FALSE

typedef unsigned int WORD;
typedef unsigned char BYTE;

struct REM
{
    BYTE Version;
    BYTE CONTROL0;
    BYTE OPTIONS1;
    BYTE OPTIONS2;
    BYTE OPTIONS3;
    BYTE OPTIONS4;
    WORD CHValue[16];
    BYTE SensorType[16];
    WORD BAT;
    WORD SP;
    WORD TIMER;
    float BATCoef;
    float SPCoef;
};

/*--- Global Variables -----*/

int Port = 1; /* COM port # 1 ( COM2 ) */
int BaudCode = Baud2400; /* Code for 2400 baud */
int D,T,ch,CRCValue;

time_t SamplingTime;
time_t DataStart, DataEnd;

char RxBuf[512]; /* PCL receive buffer */

struct dostime_t STime;
struct dostime_t CurrentTime;
struct REM SPWAS[32];

BYTE String[255];
BYTE Frame[512];
BYTE CurrentHour;
BYTE SPWASAddress;
BYTE MULTIFLAG;

WORD crc16;
WORD TX_1,OK_1,BADCRC16_1,TX_2,OK_2,BADCRC16_2,MCAST;
WORD CFG_1,CFG_2,NRE_1,NRE_2;

BYTE SPWASDataTransfer( BYTE SPWASAddress );

```



```

void    SendFrame( BYTE R,BYTE D,BYTE C,BYTE O1,BYTE O2,BYTE O3,BYTE O4 );
BYTE    FrameStartOK( void );
BYTE    FrameValidated( BYTE i);
void    StoreSPWASFrame( BYTE SPWASAddress );
void    WriteErrorFile( BYTE SPWASAddress, BYTE ErrorCode );
WORD    UpdateCRC16( WORD ,int, WORD );
int     SimpleCRC8( int CRCIN, int Data );
BYTE    BytesExpectedToReceive( BYTE SPWASAddress );
void    ShowStatus( void );

#define NIGHTTIME      150
#define DAYTIME        120

#define RETRYSECONDS   4
#define BADCRC16       0x16
#define DATAFRAMEOK   0x00
#define NORESPONSE     0x12
#define BADSTART       0x10
#define ERRORFRAME     0x11
#define CFGOK          0x02
/*
#define          BADCRC08CODE    001h
#define          CFGCOMMANDOK    002h
#define          TESTOKCODE      003h
#define          BROADADDCODE    004h
#define          OTHERADDCODE    005h
#define          SPWASON         006h
#define          MULTICASTCODE   007h
*/

#define MULTICASTADDRESS      0x1F
#define MAXRETRY              3

/**** Main ****/

main(int argc,char *argv[])
{
    char    c;
    BYTE    R,R1,R2,CRC,RetryCounter=0;
    WORD    CurrentCRC16;
    int     i,j,nch;
    time_t  NextTS, Sampling, Aux;

    Port = 0;
    TX_1 = OK_1 = BADCRC16_1 = MCAST = 0;
    TX_2 = OK_2 = BADCRC16_2 = 0;
    CFG_1 = CFG_2 = NRE_1 = NRE_2 = 0;

    if( argc==1)
        Sampling = 60;
    else
    {
        if( argc > 1 )
            Sampling=atoi(argv[1]);
    }

    ErrorCheck( SioRxBuf(Port,RxBuf,Size512) );
    ErrorCheck( SioParms(Port,NoParity,OneStopBit,WordLength8) );
    ErrorCheck( SioReset(Port,BaudCode) );

    _clearscreen(_GCLEARSCREEN);

    SioRTS(Port,CLEAR);

    SPWASAddress = 0x01;
    SPWAS[ 1 ].BATCoef = 494.80;
    SPWAS[ 1 ].SPCoef  = 235.00;
    SPWAS[ 2 ].BATCoef = 494.55;
    SPWAS[ 2 ].SPCoef  = 234.68;

    NextTS = time(NULL)+Sampling;

    /-- first time SPWAS configuration -----*/

```

```

printf("\n> Sending first SPWAS01 Configuration");
SPWASAddress = 0x01;
SendFrame(0x11,SPWASAddress,0xA0,0x27,0x00,0x07,0x00);
CFG_1++;
/*- Controlo = 1010.0000, DATABLOCK,CFGCMD
   Options1 = 0010.0111, AVERAGE,RAD,SP,BAT
-*/

/*-----
printf("\n> Sending first SPWAS02 Configuration");
SPWASAddress = 0x02;
SendFrame(0x11,SPWASAddress,0x80,0xA7,0x30,0x00,0x00);
CFG_2++;

---*/
printf("\n\n> Remaining Time :   ");
MULTIFLAG = TRUE;
while(TRUE)
{
    _dos_gettime( &CurrentTime );
    CurrentHour = CurrentTime.hour;

/*-----
    if( argc == 1 )
    {
        if( CurrentHour > 19 || CurrentHour < 7 )
            Sampling = NIGHTTIME;
        else
            Sampling = DAYTIME;
    }

---*/
    if( SioCTS(Port) )
    {
        if( FrameStartOK() )
        {
            j=0;
            while( (i=SioGetc( Port ,0 )) > -1 && j<4)
            {
                Frame[j] = (BYTE)i;
                j++;
            }
            printf("\nRX> Frame : ");
            printf("|0x%02X|0x%02X|0x%02X",Frame[0],Frame[1],Frame[2]);
            switch( Frame[2] )
            {
                case 0x00 : printf("(Unknown Error)"); break;
                case 0x01 : printf("(BADCRC08CODE)"); break;
                case 0x02 : printf("(CFGCOMMANDOK)"); break;
                case 0x03 : printf("(TESTOKCODE)"); break;
                case 0x04 : printf("(BROADADDCODE)"); break;
                case 0x05 : printf("(OTHERADDCODE)"); break;
                case 0x06 : printf("(SPWASON)"); break;
                case 0x07 : printf("(MULTICASTCODE)"); break;
            }
            printf("|0x%02X|",Frame[3]);
            CRCValue = 0;
            CRCValue = SimpleCRC8( CRCValue, Frame[0] );
            CRCValue = SimpleCRC8( CRCValue, Frame[1] );
            CRCValue = SimpleCRC8( CRCValue, Frame[2] );
            CRCValue = SimpleCRC8( CRCValue, Frame[3] );
            if( CRCValue == 0 )
            {
                printf(" -> Frame CRC8 OK");
                WriteErrorFile( Frame[0], Frame[2] );
                if( Frame[2] == 0x06 )
                {
                    printf("\n> Reconfiguring SPWAS...");
                    SPWASAddress = Frame[0];

SendFrame(0x11,SPWASAddress,0xA0,0x27,0x00,0x07,0x00);
                    if( SPWASAddress == 0x01 ) CFG_1++;
                    if( SPWASAddress == 0x02 ) CFG_2++;

                    /*- Controlo = 1010.0000, DATABLOCK,CFGCMD
                       Options1 = 0010.0111, AVERAGE,RAD,SP,BAT

```

```

                                -*/
/*----- Wait for Acknowledge from SPWAS -----*/

                                R = SPWASDataTransfer( SPWASAddress );
                                }
                                }
                                ShowStatus();
                                }
                                }

if( SioKeyPress() )
{
    i = SioKeyRead();
    if((char)i==ESC)
    {
        SioDone(Port);
        _clearscreen(_GCLEARSCREEN);
        exit(1);
    }
    else
    {
        switch( (char)i )
        {
            case 'h' :
            case 'H' : printf("\n-----");
            -----");
                                printf("\nCommand Help :");
                                printf("\n      C : Clear RTS,      S:Set RTS");
                                printf("\n      M : Toggle MULTICAST FLAG ");
                                printf("\n      1 : Individual DATA Request

to SPWAS1 : 0x80,0x27,0x00,0x07,0x00");
                                printf("\n      2 : Individual DATA Request

to SPWAS2 : 0x80,0x27,0x00,0x07,0x00");
                                printf("\n      3 : Multicast DATA Request

: 0x00,0x00,0x00,0x00,0x00");
                                printf("\n      4 : Get DATA from SPWAS1

: 0x90,0x27,0x00,0x07,0x00");
                                printf("\n      5 : Get DATA from SPWAS2

: 0x90,0x00,0x00,0x00,0x00");
                                printf("\n      6 : CFG Command to SPWAS1

: 0x80,0xA7,0x00,0x07,0x00");
                                printf("\n      7 : CFG Command to SPWAS2

: 0x80,0xA7,0x00,0x07,0x00");
                                printf("\n-----");
                                break;
            case 'M' :
            case 'm' : if( MULTIFLAG == TRUE )
                        {
                            MULTIFLAG = FALSE;
                            printf("\nIndividual

                                }
                                else
                                {
                                    MULTIFLAG = TRUE;
                                    printf("\nGlobal Operation....\n");
                                }

                                break;

            case 'C' :
            case 'c' : printf("\nRTS is OFF (Power OFF)....");
                        SioRTS(Port,CLEAR);
                        break;
            case 'S' :
            case 's' : printf("\nRTS is ON.....");
                        SioRTS(Port,SET);
                        break;

            /*-- Normal Request to SPWAS 0x01 ---*/

            case 'l' : printf("\n> Normal DATA Request to

SPWAS01...");

```

```

        SPWASAddress = 0x01;

SendFrame(0x11,SPWASAddress,0x80,0x27,0x00,0x07,0x00);
        R = SPWASDataTransfer( SPWASAddress );
        switch( R )
        {
            case BADCRC16      : BADCRC16_1++;

putch(7); break;

            case DATAFRAMEOK : OK_1++; break;
        }
        break;

    /*-- Normal Request to SPWAS 0x02 ---*/

    case '2' : SPWASAddress = 0x02;
        printf("\n> Normal DATA Request to
SPWAS02...");

SendFrame(0x11,SPWASAddress,0x80,0x27,0x30,0x00,0x00);
        R = SPWASDataTransfer( SPWASAddress );
        switch( R )
        {
            case BADCRC16      : BADCRC16_2++;

putch(7); break;

            case DATAFRAMEOK : OK_2++; break;
        }
        break;

    /*-- MULTICAST request -----*/

    case '3' : printf("\n> Sending MULTICAST Data
Request...");

SendFrame(0x11,MULTICASTADDRESS,0x00,0x00,0x00,0x00,0x00);
        break;

    /*-- Retrieve Data from SPWAS01 ----*/

    case '4' : SPWASAddress = 0x01;
        printf("\n> Retrieving data from
SPWAS01...");

SendFrame(0x11,SPWASAddress,0x90,0x27,0x00,0x07,0x00);
        R = SPWASDataTransfer( SPWASAddress );
        switch( R )
        {
            case BADCRC16      : BADCRC16_1++;

putch(7); break;

            case DATAFRAMEOK : OK_1++; break;
        }
        break;

    /*-- Retrieve Data from SPWAS02 ----*/

    case '5' : SPWASAddress = 0x02;
        printf("\n> Retrieving data from
SPWAS02...");

SendFrame(0x11,SPWASAddress,0x90,0x00,0x00,0x00,0x00);
        R = SPWASDataTransfer( SPWASAddress );
        switch( R )
        {
            case BADCRC16      : BADCRC16_2++;

putch(7); break;

            case DATAFRAMEOK : OK_2++; break;
        }
        break;

    /*-- SPWAS01 Configuration ---*/

    case '6' : SPWASAddress = 0x01;
        printf("\n> Sending SPWAS01
Configuration");

```

```

/*SendFrame(0x11,SPWASAddress,0x80,0xA7,0x00,0x07,0x00);*/

SendFrame(0x11,SPWASAddress,0xA0,0x27,0x00,0x07,0x00);
    CFG_1++;
    break;

    /*-- SPWAS02 Configuration ---*/

    case '7' : SPWASAddress = 0x02;
        printf("\n> Sending first SPWAS02
Configuration");

SendFrame(0x11,SPWASAddress,0x80,0xA7,0x30,0x00,0x00);
    CFG_2++;
    break;
}
switch( (char)i )
{
    case '1' :
    case '2' :
    case '3' :
    case '4' :
    case '5' :
    case '6' :
    case '7' : ShowStatus();
        break;
}
}
}
if( time(NULL) >= NextTS )
{
    NextTS = time(NULL) + Sampling;
    _dos_gettime(&STime);

    DataStart = time( NULL );
    printf("\n> Normal DATA Request to SPWAS01...");

    SPWASAddress = 0x01;

    SendFrame(0x11,SPWASAddress,0x80,0x27,0x00,0x07,0x00);
    R = SPWASDataTransfer( SPWASAddress );
    switch( R )
    {
        case BADCRC16 : BADCRC16_1++; break;
        case DATAFRAMEOK : break;
        case NORESPONSE : printf("\n> No Response Error ...");
            NRE_1++;
            WriteErrorFile( 0x01, 0x09 );
            break;
        case BADSTART : printf("\n> Bad Start of Incoming
Frame ..."); break;
        case ERRORFRAME : printf("\n> Error Frame Received
..."); break;
    }

    if( R==DATAFRAMEOK )
    {
        OK_1++;
        StoreSPWASFrame( SPWASAddress );
    }

/*---

    SPWASAddress = 0x02;
    SendFrame(0x11,SPWASAddress,0x90,0x00,0x00,0x00,0x00);
    R = SPWASDataTransfer( SPWASAddress );
    switch( R )
    {
        case BADCRC16 : BADCRC16_2++; getch(7); break;
        case DATAFRAMEOK : OK_2++; break;
    }

    StoreSPWASFrame( SPWASAddress );

```

```

---*/
        DataEnd = time( NULL );

        ShowStatus();
    }
    else
    {
        printf("\b\b\b");
        printf("%03u",NextTS-time(NULL) );
    }
}

void ShowStatus( void )
{
    printf("\n-----");
    ");
    printf("\n> Status after this data transfer :");
    printf("\n> (S) MCST | DFOK | C16E | FRTX | CFGC | NRER");
    printf("\n> (1) %04u | %04u | %04u | %04u | %04u |
%04u",MCAST,OK_1,BADCRC16_1,TX_1,CFG_1,NRE_1);
    printf("\n> (2) %04u | %04u | %04u | %04u | %04u |
%04u",MCAST,OK_2,BADCRC16_2,TX_2,CFG_2,NRE_2);
    printf("\n> Total Data Transfer Time : %d seconds",DataEnd-DataStart);
    printf("\n-----");
    ");
    printf("\n\n> Remaining Time :    ");
}

/*-----*/
BYTE    SPWASDataTransfer( BYTE SPWASAddress )
{
    BYTE    BytesToReceive;
    time_t  WaitForRetry;
    int      i,j;
    float    Freq;
    WORD     DigitalFreq;

    WaitForRetry = time( NULL ) + 4;

    while( (WaitForRetry>time(NULL)) && !SioCTS(Port) );

    printf("\n> Data transfer with SPWAS address 0x%02X...",SPWASAddress);

    if( SioCTS(Port) )
    {
        printf("\n> Waiting Start of Frame.....");
        if( FrameStartOK() )
        {
            printf("OK ...");
            j = 0;
            while( (i=SioGetc( Port ,0 )) > -1 && j<150)
            {
                Frame[j] = (unsigned char)i;

                #if DEBUG
                printf(" 0x%02X",(BYTE)i);
                #endif

                j++;
            }
            if( Frame[2] == 0 )      /*---- DATA FRAME -----*/
            {
                crc16 = 0;
                printf("\nRXDF> |0x%02X|",Frame[0]);
                crc16 = UpdateCRC16( crc16,Frame[0], M16 );
                printf("0x%02X|",Frame[1]);
                crc16 = UpdateCRC16( crc16,Frame[1], M16 );
                printf("0x%02X|",Frame[2]);
                crc16 = UpdateCRC16( crc16,Frame[2], M16 );
                BytesToReceive = BytesExpectedToReceive( SPWASAddress );

                for(j=0;j<BytesToReceive;j++)
                {
                    printf("%02X",Frame[3+j]);

```

```

        crc16 = UpdateCRC16( crc16,Frame[3+j], M16 );
    }
    printf(" |0x%02X",Frame[3+j]);
    crc16 = UpdateCRC16( crc16,Frame[3+j+1], M16 );
    printf(" |0x%02X",Frame[3+j+1]);
    crc16 = UpdateCRC16( crc16,Frame[3+j], M16 );
    printf("(0x%04X)",crc16);
    if( crc16==0) printf("->OK");
    printf("\n-----");
-----");
        if( crc16 != 0 )
            return( BADCRC16 );

/*----- DATA Frame is CRC16 corrected -----*/

        j = 0;
        i = 0;
        if( SPWAS[SPWASAddress].OPTIONS3 & 0x01 )
        {
            SPWAS[SPWASAddress].CHValue[i] = DigitalFreq =
(WORD)(((Frame[j+3])<<8) | Frame[j+4]);
            Freq = (float)( ((float)(DigitalFreq)-1870.0)/1.755555
);
            printf("\n> CH[%02d]      = %04d (%6.0f
%RH)",i,SPWAS[SPWASAddress].CHValue[i],Freq);
            j+=2;
        }
        i++;
        if( SPWAS[SPWASAddress].OPTIONS3 & 0x02 ) {
SPWAS[SPWASAddress].CHValue[i] = (WORD)(((Frame[j+3])<<8) | Frame[j+4]); printf("\n> CH[%02d]
= %04d",i,SPWAS[SPWASAddress].CHValue[i]); j+=2; }
        i++;
        if( SPWAS[SPWASAddress].OPTIONS3 & 0x04 ) {
SPWAS[SPWASAddress].CHValue[i] = (WORD)(((Frame[j+3])<<8) | Frame[j+4]); printf("\n> CH[%02d]
= %04d",i,SPWAS[SPWASAddress].CHValue[i]); j+=2; }
        i++;
        if( SPWAS[SPWASAddress].OPTIONS3 & 0x08 ) {
SPWAS[SPWASAddress].CHValue[i] = (WORD)(((Frame[j+3])<<8) | Frame[j+4]); printf("\n> CH[%02d]
= %04d",i,SPWAS[SPWASAddress].CHValue[i]); j+=2; }
        i++;
        if( SPWAS[SPWASAddress].OPTIONS3 & 0x10 ) {
SPWAS[SPWASAddress].CHValue[i] = (WORD)(((Frame[j+3])<<8) | Frame[j+4]); printf("\n> CH[%02d]
= %04d",i,SPWAS[SPWASAddress].CHValue[i]); j+=2; }
        i++;
        if( SPWAS[SPWASAddress].OPTIONS3 & 0x20 ) {
SPWAS[SPWASAddress].CHValue[i] = (WORD)(((Frame[j+3])<<8) | Frame[j+4]); printf("\n> CH[%02d]
= %04d",i,SPWAS[SPWASAddress].CHValue[i]); j+=2; }
        i++;
        if( SPWAS[SPWASAddress].OPTIONS3 & 0x40 ) {
SPWAS[SPWASAddress].CHValue[i] = (WORD)(((Frame[j+3])<<8) | Frame[j+4]); printf("\n> CH[%02d]
= %04d",i,SPWAS[SPWASAddress].CHValue[i]); j+=2; }
        i++;
        if( SPWAS[SPWASAddress].OPTIONS3 & 0x80 ) {
SPWAS[SPWASAddress].CHValue[i] = (WORD)(((Frame[j+3])<<8) | Frame[j+4]); printf("\n> CH[%02d]
= %04d",i,SPWAS[SPWASAddress].CHValue[i]); j+=2; }
        i++;
        if( SPWAS[SPWASAddress].OPTIONS2 & 0x01 ) {
SPWAS[SPWASAddress].CHValue[i] = (WORD)(((Frame[j+3])<<8) | Frame[j+4]); printf("\n> CH[%02d]
= %04d",i,SPWAS[SPWASAddress].CHValue[i]); j+=2; }
        i++;
        if( SPWAS[SPWASAddress].OPTIONS2 & 0x02 ) {
SPWAS[SPWASAddress].CHValue[i] = (WORD)(((Frame[j+3])<<8) | Frame[j+4]); printf("\n> CH[%02d]
= %04d",i,SPWAS[SPWASAddress].CHValue[i]); j+=2; }
        i++;
        if( SPWAS[SPWASAddress].OPTIONS2 & 0x04 ) {
SPWAS[SPWASAddress].CHValue[i] = (WORD)(((Frame[j+3])<<8) | Frame[j+4]); printf("\n> CH[%02d]
= %04d",i,SPWAS[SPWASAddress].CHValue[i]); j+=2; }
        i++;
        if( SPWAS[SPWASAddress].OPTIONS2 & 0x08 ) {
SPWAS[SPWASAddress].CHValue[i] = (WORD)(((Frame[j+3])<<8) | Frame[j+4]); printf("\n> CH[%02d]
= %04d",i,SPWAS[SPWASAddress].CHValue[i]); j+=2; }
        i++;

```

```

        if( SPWAS[SPWASAddress].OPTIONS2 & 0x10 )    {
SPWAS[SPWASAddress].CHValue[i] = (WORD)((((Frame[j+3])<<8) | Frame[j+4])); printf("\n> CH[%02d]
= %04d",i,SPWAS[SPWASAddress].CHValue[i]); j+=2; }
        i++;
        if( SPWAS[SPWASAddress].OPTIONS2 & 0x20 )    {
SPWAS[SPWASAddress].CHValue[i] = (WORD)((((Frame[j+3])<<8) | Frame[j+4])); printf("\n> CH[%02d]
= %04d",i,SPWAS[SPWASAddress].CHValue[i]); j+=2; }
        i++;
        if( SPWAS[SPWASAddress].OPTIONS2 & 0x40 )    {
SPWAS[SPWASAddress].CHValue[i] = (WORD)((((Frame[j+3])<<8) | Frame[j+4])); printf("\n> CH[%02d]
= %04d",i,SPWAS[SPWASAddress].CHValue[i]); j+=2; }
        i++;
        if( SPWAS[SPWASAddress].OPTIONS2 & 0x80 )    {
SPWAS[SPWASAddress].CHValue[i] = (WORD)((((Frame[j+3])<<8) | Frame[j+4])); printf("\n> CH[%02d]
= %04d",i,SPWAS[SPWASAddress].CHValue[i]); j+=2; }
        if( SPWAS[SPWASAddress].OPTIONS1 & 0x01 )
        {
printf("\n> TIMER          =
%04d:%04d",Frame[j+3],Frame[j+4]);
        Freq =
(float)(1/(0.17))*(256*(float)(Frame[j+3])+(float)(255.0-Frame[j+4]));
        printf( "->%6.2fHz (%6.2f) W/m2", Freq,
((Freq*1002.1)/385000.0) );
        SPWAS[SPWASAddress].TIMER = (WORD)Freq;
        j+=2;
        }
        if( SPWAS[SPWASAddress].OPTIONS1 & 0x02 )
        {
SPWAS[SPWASAddress].SP = (WORD)((((Frame[j+3])<<8) |
Frame[j+4]));
        printf("\n> SolarPanel = %04d (%6.2f
V)",SPWAS[SPWASAddress].SP,(float)(SPWAS[SPWASAddress].SP/SPWAS[SPWASAddress].SPCoef));
        j+=2;
        }

        if( SPWAS[SPWASAddress].OPTIONS1 & 0x04 )
        {
SPWAS[SPWASAddress].BAT = (WORD)((((Frame[j+3])<<8) |
Frame[j+4]));
        printf("\n> Battery   = %04d (%6.2f
V)",SPWAS[SPWASAddress].BAT,(float)(SPWAS[SPWASAddress].BAT/SPWAS[SPWASAddress].BATCoef));
        j+=2;
        }

        return( DATAFRAMEOK );
    }
else
/*----- ERROR Frame Detected ..... -----*/
{
printf("\nRX> Frame : ");
printf("|0x%02X|0x%02X|0x%02X",Frame[0],Frame[1],Frame[2]);
switch( Frame[2] )
{
case 0x00 : printf("(Unknown Error)"); break;
case 0x01 : printf("(BADCRC08CODE)"); break;
case 0x02 : printf("(CFGCOMMANDOK)"); break;
case 0x03 : printf("(TESTOKCODE)"); break;
case 0x04 : printf("(BROADADDCODE)"); break;
case 0x05 : printf("(OTHERADDCODE)"); break;
case 0x06 : printf("(SPWASON)"); break;
case 0x07 : printf("(MULTICASTCODE)"); break;
}
printf("|0x%02X|",Frame[3]);
CRCValue = 0;
CRCValue = SimpleCRC8( CRCValue, Frame[0] );
CRCValue = SimpleCRC8( CRCValue, Frame[1] );
CRCValue = SimpleCRC8( CRCValue, Frame[2] );
CRCValue = SimpleCRC8( CRCValue, Frame[3] );
if( CRCValue == 0 )
{
printf(" -> Frame CRC8 OK");
}
}

```



```

        WriteErrorFile( Frame[0], Frame[2] );
    }
    printf("\n-----\n\n\n\n\n\n");
    return( ERRORFRAME );
}
    }
else
    return( BADSTART );
}
else
    return( NORESPONSE );
}

/*-----*/
BYTE FrameStartOK( void )
{
    int RX,i;
    BYTE GotIt;
    char ShiftRegister[10];
    time_t tout,Wait;

    GotIt = 0;
    tout = time(NULL)+1;
    while( !(time(NULL)>tout))
    {
        RX = SioGetc( Port ,0 );
        if( RX > -1 )
        {
            /*if( RX == 'a' || RX == ':' )*/

#if DEGUG
                printf(" 0x%02X",RX);
#endif

            for(i=0;i<3;i++)
                ShiftRegister[i] = ShiftRegister[i+1];
            ShiftRegister[3]=(char)RX;
            if( !strnicmp(ShiftRegister, "ÿÿa", 4) )
            {
                /*
                Wait = time(NULL)+1;
                while( !(time(NULL)>Wait));*/
                return( 1 );
            }
        }
    }
    return(0);
}

int ErrorCheck( int Code)
{
    if(Code<0)
    {
        SioError(Code);
        exit(1);
    }
}

/*-----*/
BYTE BytesExpectedToReceive( BYTE SPWASAddress )
{
    BYTE Counter;

    Counter = 0;
    if( SPWAS[SPWASAddress].OPTIONS1 & 0x01 )    Counter +=2;
    if( SPWAS[SPWASAddress].OPTIONS1 & 0x02 )    Counter +=2;
    if( SPWAS[SPWASAddress].OPTIONS1 & 0x04 )    Counter +=2;
    if( SPWAS[SPWASAddress].OPTIONS2 & 0x01 )    Counter +=2;
    if( SPWAS[SPWASAddress].OPTIONS2 & 0x02 )    Counter +=2;
    if( SPWAS[SPWASAddress].OPTIONS2 & 0x04 )    Counter +=2;
    if( SPWAS[SPWASAddress].OPTIONS2 & 0x08 )    Counter +=2;
    if( SPWAS[SPWASAddress].OPTIONS2 & 0x10 )    Counter +=2;
    if( SPWAS[SPWASAddress].OPTIONS2 & 0x20 )    Counter +=2;
    if( SPWAS[SPWASAddress].OPTIONS2 & 0x40 )    Counter +=2;
    if( SPWAS[SPWASAddress].OPTIONS2 & 0x80 )    Counter +=2;
    if( SPWAS[SPWASAddress].OPTIONS3 & 0x01 )    Counter +=2;

```

```

        if( SPWAS[SPWASAddress].OPTIONS3 & 0x02 )      Counter +=2;
        if( SPWAS[SPWASAddress].OPTIONS3 & 0x04 )      Counter +=2;
        if( SPWAS[SPWASAddress].OPTIONS3 & 0x08 )      Counter +=2;
        if( SPWAS[SPWASAddress].OPTIONS3 & 0x10 )      Counter +=2;
        if( SPWAS[SPWASAddress].OPTIONS3 & 0x20 )      Counter +=2;
        if( SPWAS[SPWASAddress].OPTIONS3 & 0x40 )      Counter +=2;
        if( SPWAS[SPWASAddress].OPTIONS3 & 0x80 )      Counter +=2;
        return( Counter );
    }

/*-----*/
void SendFrame( BYTE R,BYTE D,BYTE C,BYTE O1,BYTE O2,BYTE O3,BYTE O4 )
{
    BYTE    Add,W;

    SioRXFlush(Port);
    CRCValue = 0;
    if( D == 0x01 ) TX_1++;
    if( D == 0x02 ) TX_2++;
    if( D == MULTICASTADDRESS ) MCAST++;

    if( D == MULTICASTADDRESS )
    {
        CRCValue = SimpleCRC8( CRCValue, R );
        CRCValue = SimpleCRC8( CRCValue, MULTICASTADDRESS );
        CRCValue = SimpleCRC8( CRCValue, C );
        printf("\n-----");
        printf("\n>      Reme, Dest, Ctrl, CRC8");
        printf("\n> M : 0x%02X, 0x%02X, 0x%02X, 0x%02X", R, MULTICASTADDRESS, C, CRCValue);
        printf("\n-----");
    }
    else
    {
        Add = D;
        SPWAS[Add].CONTROLO = C;
        if( !(C & 0x10) )
        {
            SPWAS[Add].OPTIONS1 = 01;
            SPWAS[Add].OPTIONS2 = 02;
            SPWAS[Add].OPTIONS3 = 03;
            SPWAS[Add].OPTIONS4 = 04;
        }
        CRCValue = SimpleCRC8( CRCValue, R );
        CRCValue = SimpleCRC8( CRCValue, D );
        CRCValue = SimpleCRC8( CRCValue, C );
        CRCValue = SimpleCRC8( CRCValue, SPWAS[Add].OPTIONS1 );
        CRCValue = SimpleCRC8( CRCValue, SPWAS[Add].OPTIONS2 );
        CRCValue = SimpleCRC8( CRCValue, SPWAS[Add].OPTIONS3 );
        CRCValue = SimpleCRC8( CRCValue, SPWAS[Add].OPTIONS4 );
        printf("\n-----");
        printf("\n>      Reme, Dest, Ctrl, Opt1, Opt2, Opt3, Opt4, CRC8");
        printf("\n> F : 0x%02X, 0x%02X, 0x%02X, 0x%02X, 0x%02X, 0x%02X, 0x%02X, 0x%02X",
R,D,C,SPWAS[Add].OPTIONS1,SPWAS[Add].OPTIONS2,SPWAS[Add].OPTIONS3,SPWAS[Add].OPTIONS4,CRCValue
);
        printf("\n-----");
    }
}

/*      SioRXFlush(Port);*/
SioRTS(Port, SET);
/*----- old
    for(W=0;W<100;W++)
        SioPutc(Port, (char)0xFF );
---*/
    for(W=0;W<100;W++)
        SioPutc(Port, (char)0xAA );

    SioPutc(Port, (char)0xFF );
    SioPutc(Port, (char)0xFF );

```

```

    SioPutc(Port,(char)0xFF );
    SioPutc(Port,(char)0xFF );
    SioPutc(Port,(char)0xFF );

    SioPutc(Port,(char)R );
    SioPutc(Port,(char)D );
    SioPutc(Port,(char)C );
    if( D != MULTICASTADDRESS )
    {
        SioPutc(Port,(char)SPWAS[Add].OPTIONS1 );
        SioPutc(Port,(char)SPWAS[Add].OPTIONS2 );
        SioPutc(Port,(char)SPWAS[Add].OPTIONS3 );
        SioPutc(Port,(char)SPWAS[Add].OPTIONS4 );
    }
    SioPutc(Port,(char)CRCValue );

    for(W=0;W<50;W++)
        SioPutc(Port,(char)0xAA );

    SioRTS(Port,CLEAR);

    SioRXFlush(Port);
}

/*-----*/
/*-- ROW FORMAT
/*-- DATE(t)HOUR(t)BAT(t)TIMER(t)SOLARPANEL(t)CH1(t)CH2(t)...(t)CH16(\n)
/*-----*/
void StoreSPWASFrame( BYTE SPWASAddress )
{
    FILE      *StoreFile;
    BYTE      Index;
    BYTE      TMPBuf1[10],TMPBuf2[10];
    float      Freq;
    WORD      DigitalFreq;
    struct dostime_t FileTime;
    struct dosdate_t FileDate;

    _dos_getdate( &FileDate );
    sprintf( String,"SPW%d%02d%02d.TXT",SPWASAddress,FileDate.day,FileDate.month);

    StoreFile = fopen(String,"a+t");
    printf("\n-----");

    );
    printf("\n> Storing DATA in file %s results from Sampling Time : %02d:%02d:%02d",String,STime.hour,STime.minute,STime.second);

    /*---- Store DATE(\t)HOUR(\t)MINUTE(\t)SECOND(\t) -----*/

    fprintf( StoreFile,"%s\t%02d:%02d:%02d\t",_strdate( TMPBuf1
    ),STime.hour,STime.minute,STime.second );

    /*---- Store Battery and SP Digital Value divided by BAT coef. -----*/

    fprintf( StoreFile,"%6.3f\t",(float) (SPWAS[SPWASAddress].BAT /
    SPWAS[SPWASAddress].BATCoef ) );
    fprintf( StoreFile,"%6.3f\t",(float) (SPWAS[SPWASAddress].SP /
    SPWAS[SPWASAddress].SPCoef ) );

    /*---- Store Frequency Value (Integer) -----*/

    fprintf(StoreFile,"%06u\t", SPWAS[SPWASAddress].TIMER );

    /*---- Store Digital Values of Analog Channels -----*/

    for(Index=0;Index<16;Index++)
    {
        fprintf( StoreFile,"%05u\t",SPWAS[SPWASAddress].CHValue[Index]);
    }
    fprintf( StoreFile,"\n");
    fclose( StoreFile );
}

/*-----*/

```

```

void WriteErrorFile( BYTE SPWASAddress, BYTE ErrorCode )
{
    FILE *ErrorFile;
    BYTE  TMPBuf1[10];
    struct dostime_t FileTime;
    struct dosdate_t FileDate;

    _dos_getdate( &FileDate );
    sprintf( String,"ERR%d%02d%02d.TXT",SPWASAddress,FileDate.day,FileDate.month);
    ErrorFile = fopen(String,"a+t");

    fprintf( ErrorFile,"Error Time : %s, ",_strtime( TMPBuf1 ) );

    switch( ErrorCode )
    {
        case 0x00 : fprintf( ErrorFile," > (Unknown Error)"); break;
        case 0x01 : fprintf( ErrorFile," > (BADCRC08CODE)"); break;
        case 0x02 : fprintf( ErrorFile," > (CFGCOMMANDOK)"); break;
        case 0x03 : fprintf( ErrorFile," > (TESTOKCODE)"); break;
        case 0x04 : fprintf( ErrorFile," (-----)"); break;
        case 0x05 : fprintf( ErrorFile," > Address not match (Test purposes)"); break;
        case 0x06 : fprintf( ErrorFile," > SPWAS Inserted or powered up"); break;
        case 0x07 : fprintf( ErrorFile," > Multicast Message"); break;
        case 0x08 : fprintf( ErrorFile," > BAD Frame Start.."); break;
        case 0x09 : fprintf( ErrorFile," > No Response from SPWAS"); break;
        case 0x0A : fprintf( ErrorFile," > Re-Sending Retrieve Data Command"); break;
    }
    fprintf( ErrorFile , "\n" );
    fclose( ErrorFile );
}

/*-----*/
WORD UpdateCRC16( WORD CRCIN, int Data, WORD Mask)
{
    int i;

    for(i=0;i<8;i++)
    {
        if( (CRCIN^Data) & 1)
            CRCIN = (CRCIN>>1)^Mask;
        else
            CRCIN>>=1;
        Data>>=1;
    }
    return(CRCIN);
}

/*-----*/
int SimpleCRC8( int CRCIN, int Data )
{
    int i;

    CRCIN = Data ^ CRCIN;

    for(i=0;i<8;i++)
    {
        if( (CRCIN & 0x01)==1 )
            CRCIN = (CRCIN >> 1)^0x8C;
        else
            CRCIN = (CRCIN >> 1);
    }
    return( CRCIN );
}
/*-----*/

```