



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

**Desenvolvimento de um Sistema de
Transmissão de Dados e de Software
para Aquisição de Dados de Estações
Meteorológicas em Tempo Real**

Rodrigo Zerezuela

Ilha Solteira - SP



Desenvolvimento de um Sistema de Transmissão de Dados e de Software para Aquisição de Dados de Estações Meteorológicas em Tempo Real

Rodrigo Zerezuella

1210001406

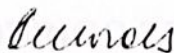


DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À FACULDADE DE ENGENHARIA - CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA – UNESP – COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA

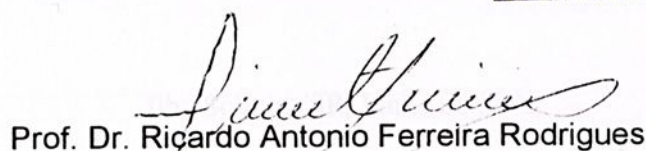
COMISSÃO EXAMINADORA:



Prof. Dr. Nobuo Oki – orientador



Prof. Dr. Sergio Oliveira Moraes



Prof. Dr. Ricardo Antonio Ferreira Rodrigues

Ilha Solteira-SP, junho de 2003

Proc. 053/2003 - NPD 141

UNESP - "CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA"	
SERVIÇO TÉCN. DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO	
DATA DE CHEGADA	DATA DE TOMBO
01.09.03	30.09.03
REGISTRADO POR	TOMBO
Ailza	Tc. 1406
AQUISIÇÃO	CLASSIFICAÇÃO
Wesley Antônio R\$ 10,00	Z58d

Co
sys 1994/5
sys 55467
30406030

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP

**FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE TRANSMISSÃO
DE DADOS E DE SOFTWARE PARA AQUISIÇÃO DE DADOS
DE ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS EM TEMPO REAL**

Dissertação apresentada à Faculdade
de Engenharia de Ilha Solteira –
Unesp, para a obtenção do Título de
Mestre em Engenharia Elétrica.

**CANDIDATO: RODRIGO ZEREZUELA
ORIENTADOR: PROF. DR. NOBUO OKI**

Ilha Solteira/SP, Junho de 2003.

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação/Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação da FEIS/UNESP

Z58d Zerezuela, Rodrigo
Desenvolvimento de um sistema de transmissão de dados e de software para aquisição de dados de estações meteorológicas em tempo real / Rodrigo Zerezuela. -- Ilha Solteira : [s.n.], 2003

vi, 94 p. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2003

Orientador: Nobou Oki

Bibliografia: p. 92-94

1. Estações meteorológicas . 2. Aquisição de dados. 3. Sistema de transmissão de dados. 4. Tempo real.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela minha existência, por fazer com que eu enfrentasse as dificuldades do caminho e por ter me dado a superação nos revezes da vida.

Aos meus pais pela educação, lição de vida, constante apoio e por não medirem esforços para que mais uma etapa da minha vida fosse alcançada.

Ao Prof. Dr. Nobuo Oki, por sua orientação, me guiando para além das teorias e das técnicas alcançando compreensão, amizade e mais do que tudo, fazendo-me acreditar no sonho que hoje se torna realidade.

Ao Prof. Dr. Ricardo Antônio F. Rodrigues, do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia – UNESP, por ter acreditado no projeto, por ter disponibilizado os setores de sua estação meteorológica e por ter compartilhado sua sabedoria.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, por ter financiado o projeto e a minha estadia na cidade de Ilha Solteira.

A minha irmã Daniela, pelo incentivo e amor que me concede constantemente.

A minha namorada e companheira Milaine, pelo carinho, apoio, compreensão e incentivo em todos os momentos, principalmente nos mais difíceis enfrentados no transcorrer deste trabalho.

Aos meus pais Norival e Maria Luiza:

Ao mestre João Batista Romero, Sinto-me envaidecido de vós, de vosso exemplo e esforço, que talvez não saiba exprimir em palavras o

especial carinho, o amor sincero e a gratidão que vos dedico. Divide, pois, conosco os méritos dessa conquista, porque ela vos pertence, ela é tão vossa quanto minha.



AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela minha existência, por fazer com que eu enfrentasse as dificuldades do caminho e por ter me dado à superação nos reveses da vida.

Aos meus pais pela educação, lição de vida, constante apoio e por não medirem esforços para que mais uma etapa da minha vida fosse alcançada.

Ao Prof. Dr. Nobuo Oki, por sua orientação, me guiando para além das teorias e das técnicas induzindo compreensão, amizade e mais do que tudo, fazendo-me acreditar no sonho que hoje se torna realidade.

Ao Prof. Dr. Ricardo Antônio F. Rodrigues, do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia – UNESP, por ter acreditado no projeto, por ter disponibilizado os sensores de sua estação meteorológica e por ter compartilhado sua sabedoria.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, por ter financiado o projeto e a minha estadia na cidade de Ilha Solteira.

À minha irmã Daniela, pelo incentivo e amor que me concede constantemente.

À minha namorada e companheira Milaine, pelo carinho, apoio, compreensão e incentivo em todos os momentos, principalmente nos mais difíceis enfrentados no transcorrer deste trabalho.

Ao mestre João Batista Romero, que através da sua inteligência me incentivou antes de tudo começar.

Aos técnicos Deoclécio Mitsuiti Kosaka e Carlos Alex Sander, do Laboratório de Computação do Departamento de Engenharia Elétrica da FEIS – UNESP, por estarem sempre presentes nos momentos que necessitei de vosso auxílio.

Ao colega de mestrado Raynner Antonio T. Silva, pela sua colaboração e por dividir comigo seus conhecimentos na área computacional.

Às secretárias Sueli e Cristina, pela constante e incansável colaboração.

Aos amigos Alexandre, Ronaldo, Renato e Ricardo, por serem grandes companheiros de república e por compartilharem comigo as alegrias e tristezas ao longo da jornada.

Aos eternos amigos de todas as horas Dr. Marcos, Victor, Edvan, Kinho, Paulão, Zuin, Matão, Digão, Tiago, Borim, Zé Rissi, M. Pontes e Xi, por serem verdadeiros companheiros em todos os momentos, mas principalmente nos mais difíceis.

A família do Departamento de Engenharia Elétrica da FEIS – UNESP, pela colaboração direta ou indireta.

A todos os meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um sistema alternativo para aquisição de dados capaz de atender as necessidades dos vários setores que necessitam de um sistema de coleta de informações de sensores. O sistema em questão é genérico e dentre os diversos segmentos de aplicação foi escolhido o da meteorologia.

Como as estações usadas para este fim ocupam áreas remotas onde os meios de acesso são difíceis, o sistema desenvolvido visou coletar as informações dos sensores de uma estação meteorológica, a sua transmissão de dados via rádio e a possibilidade de disponibiliza-las em uma página da Internet. Portanto, para a concepção do sistema na íntegra, deve-se processar, armazenar e transmitir as informações dos sensores de uma estação meteorológica.

Para o processamento dos sinais provenientes dos sensores foram utilizados amplificadores operacionais; para coleta e armazenagem dos dados foi utilizado o microcontrolador 68HC11 da Motorola; e para transmissão dos dados um modem acoplado a um rádio. Os dados assim obtidos foram disponibilizados em uma página da Internet. São descritos neste trabalho os circuitos de processamento dos sinais provenientes dos sensores, o desenvolvimento do software de coleta e armazenamento dos valores destes sinais e o sistema de transmissão dos dados via rádio para uma estação de processamento central. Os sensores monitorados foram de temperatura, umidade, direção e velocidade do vento, índice pluviométrico e radiação solar. Os resultados obtidos são atualizados a cada 60 segundos e disponibilizados em uma página da Internet. Resultados obtidos em dias anteriores também são disponibilizados nesta página.



ABSTRACT

The present work had as objective the development of an alternative system for data acquisition capable to assist the needs of several fields that need a system of sensor data acquisition. The system in subject is generic and among the several possible applications the one of the meteorology was chosen.

As this meteorological stations occupy remote areas where the access are difficult, the system developed seeks to collect the information of the meteorological station sensors, with remote monitoration through the data transmission by radio and with the possibility of display the results in a page of Internet, in other words, an open system where the user has knowledge on your operation. Therefore for the complete system, it is necessary processed, stored and transmitted the information from meteorological station sensors.

The signals coming from sensors were processed using operational amplifiers. They were acquired and stored using the Motorola microcontroller 68HC11. For transmitting these data were used a modem coupled with the radio transmitter. These data were available in the Internet. In this work were described the circuits for processing the sensors signal. The software used for data acquisition and data storing were also described. In following these data were transmitted to a central processing station. The sensors used in this work were the temperature, humidity, wind speed and direction, rain precipitation and solar radiation. These results are reload each 60 seconds and available in the Internet site. The results obtained in previous days are also available in this site

2.4-SENSOR DE PRECIPITAÇÃO

29

2.5-SENSOR DE VELOCIDADE E DIREÇÃO DOS VENTOS

30

2.6-SENSOR DE RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA

33

2.7-SENSORES COMERCIAIS UTILIZADOS NO PROJETO

33



Capítulo I 19

E TRANSMISSÃO DE SINAIS 34

INTRODUÇÃO 19

3.1-INTRODUÇÃO 34

Capítulo II 25

3.3-EXPANSÃO DE MEMÓRIA 35

APRESENTAÇÃO DE ALGUNS TIPOS DE SENSORES
UTILIZADOS EM ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS 25

- Diagrama Elétrico 26

2.1-INTRODUÇÃO 25

3.4-INTERFACE ANALÓGICA 37

2.2-SENSOR DE TEMPERATURA 26

3.5-INTERFACE PARA O SENSOR DE TEMPERATURA 39

2.3-SENSOR DE UMIDADE RELATIVA 28

- Especificações do Sensor 28

2.4-SENSOR DE PRECIPITAÇÃO 29

- Equacionamento do Circuito Condicionador de Sinal (CCS) 29

2.5-SENSOR DE VELOCIDADE E DIREÇÃO DOS VENTOS 30

- Diagrama Elétrico 31

2.6-SENSOR DE RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA 32

- Cálculo dos Resistores R_1 , R_4 , R_3 e R_6 (Segunda Etapa) 34

2.7-SENSORES COMERCIAIS UTILIZADOS NO PROJETO 33



SISTEMA DE AQUISIÇÃO, PROCESSAMENTO

E TRANSMISSÃO DE SINAIS

34

3.1-INTRODUÇÃO

34

3.2-O MICROCONTROLADOR ESCOLHIDO

34

3.3-EXPANSÃO DE MEMÓRIA

35

- Memória Utilizada

36

- Diagrama Elétrico

36

3.4-INTERFACE ANALÓGICA

37

3.5-INTERFACE PARA O SENSOR DE TEMPERATURA

39

- Especificações do Sensor

39

- Equacionamento do Sensor

39

- Equacionamento do Circuito Condicionador de Sinal (CCS)

41

- Condicionador de Sinal

43

- Diagrama Elétrico

43

- Cálculo dos Resistores R_1 e R_2 (Primeira Etapa)

44

- Cálculo dos Resistores R_3 , R_4 , R_5 e R_6 (Segunda Etapa)

44

- Cálculo dos Resistores R_7 e R_8 (Terceira Etapa)

45



3.6-INTERFACE PARA O SENSOR DE UMIDADE RELATIVA	47
- Especificações do Sensor	47
- Equacionamento do Sensor	47
- Equacionamento do Circuito Condicionador de Sinal (CCS)	49
- Condicionador de Sinal	50
- Diagrama Elétrico	50
- Cálculo do Ganho do Circuito Amplificador	51
- Cálculo do Ganho para o Conversor Tensão-Tensão	57
3.7-INTERFACE PARA O SENSOR DE PRECIPITAÇÃO	52
3.11-SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE DADOS	61
- Especificações do Sensor	52
- Equacionamento do Sensor	53
- Equacionamento do Circuito Condicionador de Sinal (CCS)	54
- Funcionamento do Sistema	62
3.8-INTERFACE PARA O SENSOR DE DIREÇÃO DO VENTO	55
- Especificações do Sensor	55
- Equacionamento do Sensor	55
- Equacionamento do Circuito Condicionador de Sinal (CCS)	58
3.9-INTERFACE PARA O SENSOR DE VELOCIDADE DO VENTO	58
- Especificações do Sensor	58
- Equacionamento do Sensor	58
- Equacionamento do Circuito Condicionador de Sinal (CCS)	61
- Condicionador de Sinal	61
- Diagrama Elétrico	62
- Cálculo do Ganho do Circuito Amplificador	62
4.1-INTERFACE PARA O SENSOR DE TEMPERATURA	70
- Especificações do Sensor	70
- Equacionamento do Sensor	70
- Equacionamento do Circuito Condicionador de Sinal (CCS)	73
- Condicionador de Sinal	73
- Diagrama Elétrico	74
- Cálculo do Ganho do Circuito Amplificador	74
4.2-ROTEIRO DE MANUTENÇÃO	75
4.3-FLUXOGRAMA	75



3.10-INTERFACE PARA O SENSOR DE RADIAÇÃO **63**

- Especificações do Sensor	63
- Equacionamento do Sensor	63
- Equacionamento do Circuito Condicionador de Sinal (CCS)	64
- Condicionador de Sinal	65
- Diagrama Elétrico	66
- Cálculo do Ganho para o Conversor Corrente-Tensão	66
- Cálculo do Ganho para o Conversor Tensão-Tensão	67
- Linguagem de Programação	73

3.11-SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE DADOS **68**

- Especificações do Modem	68
- Especificações do Rádio-Transmissor	69
- Funcionamento do Sistema	69

Capítulo IV **70**

PROJETO DO SOFTWARE DE GERENCIAMENTO DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS E SISTEMA DE TRANSFERÊNCIA DE DADOS PARA A INTERNET **70**

4.1-INTRODUÇÃO **70**

4.2-ROTINAS DE PROGRAMAÇÃO **71**

4.3-FLUXOGRAMA **73**



4.4-PROGRAMA	73
4.5- DOWNLOAD DO PROGRAMA PARA A MEMÓRIA NÃO-VOLÁTIL	74
4.6-TRANSFERÊNCIA DE DADOS PARA A PÁGINA DA INTERNET	74
- Comunicação	74
- Armazenamento	75
- Linguagem de Programação	75
- Sistema Operacional	75
- Servidor <i>Web</i>	76

5.5 - APRESENTAÇÃO DOS DADOS NA PÁGINA DA INTERNET	79
---	-----------

Capítulo V **77**

Capítulo VI **90**

RESULTADOS EXPERIMENTAIS OBTIDOS	77
---	-----------

CONCLUSÕES	80
-------------------	-----------

5.1 – INTRODUÇÃO	77
-------------------------	-----------

5.2 – EXPANSÃO DE MEMÓRIA	77
----------------------------------	-----------

5.3 – CONDICIONAMENTO DE SINAIS (INTERFACES ANALÓGICAS)	79
--	-----------

5.3.1 – Amplificador Operacional	79
----------------------------------	----

5.3.2 – Sensor de Temperatura	80
-------------------------------	----

5.3.3 – Sensor de Umidade Relativa	81
------------------------------------	----

5.3.4 – Sensor de Velocidade do Vento	82
---------------------------------------	----

5.3.5 – Sensor de Radiação Fotossinteticamente Ativa	83
--	----

5.4 – PROGRAMAÇÃO E FUNCIONAMENTO	84
--	-----------

5.5 – AQUISIÇÃO DE DADOS	85
---------------------------------	-----------

5.5.1 – Sensores	86
------------------	----

- Sensor de Temperatura	86
-------------------------	----

- Sensor de Umidade Relativa	86
------------------------------	----

- Sensor de Direção do Vento	87
------------------------------	----

- Sensor de Velocidade do Vento	88
---------------------------------	----

- Sensor de Radiação Fotossinteticamente Ativa	88
--	----

5.6 – APRESENTAÇÃO DOS DADOS NA PÁGINA DA INTERNET	89
---	-----------

Capítulo VI	90
--------------------	-----------

CONCLUSÕES	90
-------------------	-----------

BIBLIOGRAFIA	92
---------------------	-----------

APÊNDICE A – SENSORES UTILIZADOS PARA O PROJETO	90
--	-----------

APÊNDICE B – SOFTWARE DE APLICAÇÃO EM ASSEMBLER	92
--	-----------

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	- Sistema global.....	21
Figura 1.2	- Sistema em tempo real para manejo de dados ambientais.....	22
Figura 2.1	- Sensor de precipitação tipo báscula.....	30
Figura 2.2	- Sensor para radiação fotossinteticamente ativa (<i>PAR</i>).....	33
Figura 3.1	- Expansão de memória para o M68HC11.....	37
Figura 3.2	- Diagrama de bloco para a interface analógica.....	38
Figura 3.3	- Diagrama de blocos do circuito sensor e condicionamento de sinal.....	38
Figura 3.4	- Diagrama de bloco do sensor de temperatura.....	39
Figura 3.5	- Curva de resposta do sensor de temperatura.....	40
Figura 3.6	- Curva de resposta do sensor de temperatura para escala positiva.....	41
Figura 3.7	- Diagrama de bloco do condicionador de sinal do sensor de temperatura.....	42
Figura 3.8	- Curva de resposta do sistema condicionador de sinal do sensor de temperatura.....	42
Figura 3.9	- Diagrama elétrico do condicionador de sinal para o sensor de temperatura.....	43
Figura 3.10	- Representação gráfica completa da interface analógica para o sensor de temperatura.....	46
Figura 3.11	- Diagrama de bloco do sensor de umidade relativa.....	47
Figura 3.12	- Curva de resposta do sensor de umidade relativa.....	48
Figura 3.13	- Diagrama de bloco do condicionador de sinal do sensor de umidade relativa.....	49
Figura 3.14	- Curva de resposta do sistema condicionador de sinal do sensor de umidade relativa.....	50
Figura 3.15	- Diagrama elétrico do amplificador não-inversor.....	50
Figura 3.16	- Representação gráfica completa da interface analógica para o sensor de umidade relativa.....	52
Figura 3.17	- Diagrama de bloco do sensor de precipitação.....	53
Figura 3.18	- Resposta do sensor de precipitação.....	54



Figura 3.19 - Diagrama de bloco do sensor de direção do vento.....	55
Figura 3.20 - Curva de resposta do sensor de direção do vento.....	57
Figura 3.21 - Diagrama de bloco do sensor de velocidade do vento.....	58
Figura 3.22 - Diagrama de bloco do condicionador de sinal do sensor de velocidade.....	61
Figura 3.23 - Detector de pico e amplificador.....	62
Figura 3.24 - Diagrama de bloco do sensor de radiação.....	63
Figura 3.25 - Diagrama de bloco do condicionador de sinal do sensor de radiação.....	65
Figura 3.26 - Diagrama elétrico do circuito condicionador de sinal para o sensor de radiação.....	66
Figura 3.27 - Sistema de transmissão de dados.....	68
Figura 4.1 - Fluxograma completo do programa de gerenciamento do sistema.....	73
Figura 5.1 - Mapa de memória antes da adição de memória.....	78
Figura 5.2 - Mapa de memória após a adição de memória.....	78
Figura 5.3 - Resposta teórica e prática do amplificador operacional AD6482.....	79
Figura 5.4 - Resposta teórica e prática do condicionador de sinal do sensor de temperatura.....	80
Figura 5.5 - Resposta teórica e prática do condicionador de sinal do sensor de umidade relativa.....	81
Figura 5.6 - Resposta teórica e prática do condicionador de sinal do sensor de velocidade do vento.....	82
Figura 5.7 - Resposta teórica e prática do condicionador de sinal do sensor de radiação.....	83
Figura 5.8 - Dados obtidos do sistema e mostrados na tela do monitor do PC a cada 60 segundos.....	84
Figura 5.9 - Estação Meteorológica da Faculdade de Agronomia – UNESP – Ilha Solteira/SP.....	85
Figura 5.10 - Sistema de condicionamento, armazenamento e transmissão de sinais.....	85
Figura 5.11 - Dados obtidos do sensor de temperatura.....	86
Figura 5.12 - Dados obtidos do sensor de umidade relativa.....	86
Figura 5.13 - Dados obtidos do sensor de direção do vento.....	87



Figura 5.14 -	Direção predominante do vento em percentual.....	87
Figura 5.15 -	Dados obtidos do sensor de velocidade do vento.....	88
Figura 5.16 -	Dados obtidos do sensor de radiação.....	88
Figura 5.17 -	Página de apresentação dos dados na Internet.....	89

A/D	-	Conversor Analógico-Digital
AFSK	-	Audio Frequency Shift Keying
Bps	-	Bauds por Segundo
CA	-	Corrente Alternada
CC	-	Corrente Contínua
CCS	-	Circuito Condicionador de Sinal
CPU	-	Unidade de Processamento Central
D _r	-	Direção Real do Vento
D _{cc}	-	Direção do Vento após Correção
EEPROM	-	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
F _c	-	Fator de Correção da Direção do Vento
FEM	-	Força Eletromotriz
HTML	-	Hypertext Markup Language
Hz	-	Hertz (unidade de medida de frequência)
I _s	-	Corrente de Saída do Sensor
M _g	-	Fator de Multiplicação da Direção do Vento
N _p	-	Número de Pulsos
NVRAM	-	Non Volatile Static Random-Access Memory
PAR	-	Photosynthetically Active Radiation
PC	-	Personal Computer
PHP	-	Hypertext Pre-Processor
Q _e	-	Quantidade de Chuva
RAM	-	Random-Access Memory
RTINAS	-	A Real-Time System for Managing Environmental Data
RF	-	Rádio-frequência
ROM	-	Read-Only Memory
RPM	-	Revolução Por Minuto



LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	-	Ganho
A/D	-	Conversor Analógico-Digital
AFSK	-	Audio Frequency Shift Keying
Bps	-	Bauds por Segundo
CA	-	Corrente Alternada
CC	-	Corrente Contínua
CCS	-	Circuito Condicionador de Sinal
CPU	-	Unidade de Processamento Central
Dr	-	Direção Real do Vento
D _{S/C}	-	Direção do Vento sem Correção
EEPROM	-	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
F _C	-	Fator de Correção da Direção do Vento
FEM	-	Força Eletromotriz
HTML	-	Hypertext Markup Language
Hz	-	Hertz (unidade de medida de frequência)
I _s	-	Corrente de Saída do Sensor
M _D	-	Fator de Multiplicação da Direção do Vento
N _P	-	Número de Pulsos
NVSRAM	-	Non Volatile Static Random-Acess Memory
PAR	-	Photosynthetically Active Radiation
PC	-	Personal Computer
PHP	-	Hypertext Pre-Processor
Q _c	-	Quantidade de Chuva
RAM	-	Random-Acess Memory
REINAS	-	A Real-Time System for Managing Enviromental Data
RF	-	Rádio-Frequência
ROM	-	Read-Only Memory
RPM	-	Rotação Por Minuto



R_s	-	Resistência de Saída do Sensor
RTD	-	Detector de Temperatura Resistivo
SIHESP	-	Sistema Integrado de Monitoramento e Previsão Hidrometeorológica para o Estado de São Paulo
SRAM	-	Static Random-Access Memory
T_C	-	Temperatura
TCP/IP	-	Transmission Control Protocol / Internet Protocol
UHF	-	Ultra High Frequency
UR	-	Umidade Relativa
V	-	Velocidade
V_{EXC}	-	Tensão de Excitação
V_o	-	Tensão de Saída do Condicionador de Sinal
V_{P-P}	-	Tensão de Pico à Pico
V_s	-	Tensão de Saída do Sensor
WWW	-	World Wide Web



Ω	-	Ohm (unidade de medida de resistência elétrica)
$^{\circ}\text{C}$	-	Grau Celsius (unidade de medida de temperatura)
ε	-	Erro Percentual
ΔV_o	-	Variação da Tensão de Saída do Condicionador de Sinal
ΔV_s	-	Variação da Tensão de Saída do Sensor
ΔI_s	-	Variação da Corrente de Saída do Sensor

Capítulo I

INTRODUÇÃO

Desde os primórdios, tornou-se necessário o conhecimento das leis que regem o universo. Dentro deste contexto, a Física, a Química e outras ciências existentes procuram explicar e traduzir todos esses fenômenos.

O conhecimento de grandezas físicas, bem como, sua importância e utilização, tornam-se cada vez mais necessárias e indispensáveis. Dispositivos capazes de realizar medidas destas grandezas foram criados de acordo com o surgimento das necessidades.

No passado, estes dispositivos geralmente eram mecânicos e forneciam leituras em locais remotos de curta distância, ou seja, dentro de um mesmo ambiente como é o caso de uma indústria, por exemplo. Com a evolução tecnológica, estes dispositivos foram sendo substituídos por dispositivos elétricos capazes de fornecer em sua saída um sinal elétrico proporcional à grandeza a ser medida, possibilitando assim, leituras em locais remotos de longa distância, podendo até, através de um modem, serem transmitidas por linha telefônica ou rádio para locais muito distantes. Estes dispositivos comumente recebem o nome de sensores (dispositivo que recebe um estímulo e responde através de um sinal elétrico), e são empregados em diversos setores como, por exemplo, na indústria automobilística, em equipamentos de navegação, na meteorologia, etc.

Com o avanço da tecnologia, existe hoje uma considerável gama de componentes eletrônicos capazes de processar os sinais de todos os tipos de sensores e adequá-los para os mais variados fins. Após o surgimento dos microprocessadores e dos microcontroladores tornou-se possível conceber sistemas autônomos para processar e gerenciar sinais e controlar outros dispositivos, como, por exemplo, atuadores e alarmes através de uma programação prévia.



A instrumentação moderna e os sistemas de controle são hoje, de baixo custo, versáteis, e flexíveis devido a grande aceitação e disponibilidade dos microcontroladores. Estes circuitos integrados contêm uma unidade de processamento central (CPU) completa, que contém geralmente três tipos de memória (ROM, RAM, EEPROM), conversor A/D, além de uma variedade de portas de entrada e saída. Por causa da grande quantidade de dispositivos integrados em um único chip, os produtos baseados nos microcontroladores possuem um vasto leque de aplicações, tais como, automóveis, instrumentos médicos, etc.

Sabendo-se da existência destes dispositivos e conhecendo a carência de alguns setores, como, o agrícola e o industrial, o objetivo do trabalho é desenvolver um sistema alternativo e flexível para aquisição de dados, ou seja, capaz de atender as necessidades de todos os setores que necessitam de um sistema de coleta de informações de sensores. O sistema é considerado alternativo porque já existem no mercado produtos similares, porém, são comercializados como uma “caixa fechada”, onde o usuário não possui conhecimento sobre seu funcionamento, além de não possuírem manutenção imediata e do seu alto custo, pois, são geralmente produtos importados.

No futuro, tal como já acontece nos países mais desenvolvidos, a maioria das Estações Meteorológicas destinar-se-ão a servir aglomerados populacionais de pequenas dimensões. Sendo conhecido que existem dificuldades na qualificação e contratações dos recursos humanos necessários a uma correta exploração destas estações convencionais, ficando normalmente a sua operação e manutenção sob responsabilidade de técnicos que desenvolvem outras tarefas simultâneas, surge a necessidade de conceber estratégias que permitam atender estas dificuldades. Portanto o sistema desenvolvido visa integrar as informações de todos os sensores provenientes de uma Estação Meteorológica, a um custo reduzido de instalação e exploração, com monitoração remota através da transmissão de dados via rádio e/ou telefonia celular de fácil utilização e manutenção com a possibilidade de disponibilizá-las em uma página da Internet onde qualquer usuário habilitado em qualquer localidade possa compartilhar estas informações, ou seja, um sistema “aberto” e dinâmico onde o usuário tenha conhecimento sobre seu funcionamento. A Figura 1.1 ilustra o projeto de uma forma global.



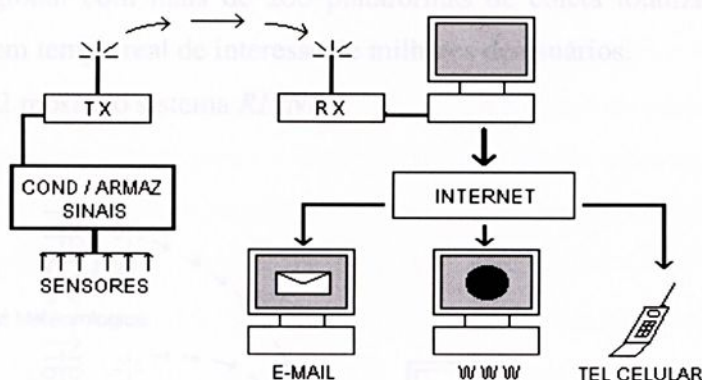


Figura 1.1 - Sistema global

O diagrama mostrado na Figura. 1.1, representa o sistema desde os sensores até os meios pelos quais serão obtidas as informações da Estação Meteorológica remota. As informações de temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, direção do vento, precipitação e radiação solar serão disponibilizadas na Rede Mundial de Comunicações (WWW), onde os dados meteorológicos poderão ser obtidos através de uma *Home Page*.

Visando obter embasamento para proposição deste trabalho foi efetuada uma busca de trabalhos relacionados com este tema. O projeto denominado *StormCast* desenvolvido pelo grupo de Sistemas Operacionais Distribuídos da *University de Thomso* onde as condições meteorológicas da região de *Thomso* são monitoradas e disponibilizadas em uma página da Internet.^[1] Outro sistema denominado *REINAS (A Real-Time System for Managing Enviromental Data)* foi desenvolvido pelo *Baskin Center for Computer Engineering & Computer Science da University of California - Santa Cruz/CA* onde um sistema em tempo real foi implementado para monitoração das condições atmosféricas da região da baía de Monterey na Califórnia.^[2] Foram neste projeto desenvolvidos também software de visualização destas condições em tempo real através da Internet.^[3]

O sistema *REINAS* foi construído para uma ou mais base de dados em tempo real e para retrospectiva ambiental regional. Dados contínuos em tempo real são adquiridos de sensores dispersos e enviados para um sistema integrado onde são armazenados e depois distribuídos. A arquitetura *REINAS* é um sistema operacional que inclui uma rede de

instrumentação regional com mais de 200 plataformas de coleta totalizando 1500 sensores fornecendo dados em tempo real de interesse de milhares de usuários.

A Figura 1.2 mostra o sistema *REINAS*:

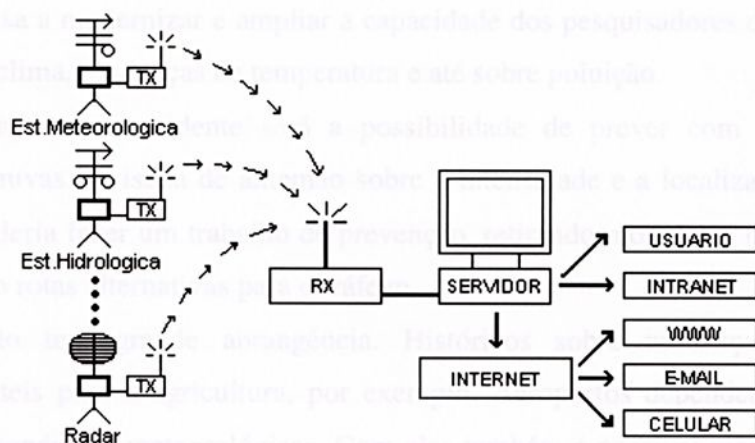


Figura 1.2 – Sistema em tempo real para manejo de dados ambientais

Com este sistema, os cientistas têm a possibilidade de observar, monitorar e fazer análise oceanográfica e meteorológica regional. Isto é possível devido a:

- um flexível conjunto de ferramentas para coletar dados de instrumentos em campo em tempo real,
- uma base de dados que armazenam dados independente do formato do arquivo, provendo um instrumento genérico para a visualização de dados obtidos de diversos locais.

O *REINAS* serve um diferente grupo de usuários: “Setor de Prognóstico Operacional” que monitora condições correntes, dados padrões e síntese de novos dados; “Modeladores” que analisam novos modelos de produtos e comparam com outros modelos; “Cientistas” que colaboram com outros cientistas *on-line*, observando dados de campo e como são coletados; “Engenharia de Instrumentação” que adicionam novos equipamentos para o sistema; e o

público em geral (especialmente em comunidades de velejadores e surfistas) que dependem do acesso do *REINAS* para obterem dados ambientais através da *World Wide Web*.

Um dos mais recentes trabalhos relacionados é o Sistema Integrado de Monitoramento e Previsão Hidrometeorológica para o Estado de São Paulo (Sihesp) da FAPESP, um programa que visa a modernizar e ampliar a capacidade dos pesquisadores de fazer previsão e estudos sobre o clima, mudanças de temperatura e até sobre poluição.

O resultado mais evidente será a possibilidade de prever com maior precisão a ocorrência de chuvas. Avisada de antemão sobre a intensidade e a localização das chuvas, a Defesa Civil poderia fazer um trabalho de prevenção, retirando moradores de áreas em perigo ou estabelecendo rotas alternativas para o tráfego.

O projeto tem grande abrangência. Históricos sobre mudanças climáticas são extremamente úteis para a agricultura, por exemplo. Aeroportos dependem no dia-a-dia de dados sobre as condições meteorológicas. Com eles também é possível monitorar queimadas, fazer estudos sobre a dispersão de poluentes ou pesquisas básicas sobre o clima.

O plano prevê a instalação de estações automáticas de superfície cobrindo todo o Estado, radares *doppler*, que podem medir o vento além de chuva, perfiladores de vento e temperatura, sistemas para monitorar o mar e o litoral, rede de detecção de descargas elétricas e melhoramento dos radares existentes no centro e no oeste do Estado.

A meta do projeto é formar uma rede de monitoramento de dados, que vão fluir para uma central de processamento, por meio de rádio, satélite ou telefone. Essa central vai controlar a qualidade das informações, gerando mapas em todo o Estado.

O Sihesp visa a coordenar e fazer a informação circular entre os participantes. E servir como ponte entre o conhecimento científico e as agências responsáveis pelo monitoramento ou prestação de serviços ao usuário.

Uma outra parte do Sihesp prevê a instalação de estações meteorológicas, que fazem medições simples, de pressão, temperatura, umidade e vento.

Os trabalhos citados são sistemas amplos que empregam tecnologias avançadas e de altíssimo custo, porém, a idéia foco é basicamente a mesma, ou seja, monitoramento das condições ambientais em tempo real.

O plano de pesquisa então, é desenvolver um sistema de aquisição de dados de sensores em tempo real com a possibilidade de disponibilizá-los no monitor de um PC ou em



uma página da Internet, ou seja, podendo ser considerado uma ramificação ou uma parte de um sistema amplo como o Sihesp, por exemplo. Este sistema fará o monitoramento de grandezas de interesse para a agricultura, podendo ser utilizado em outras aplicações através de algumas modificações de hardware e de software. A opção de monitorar grandezas de interesse para a agricultura deve-se à disponibilidade de recursos existentes na Faculdade de Agronomia que dispõe de uma estação meteorológica com sensores de temperatura, umidade, precipitação e de velocidade e direção dos ventos.

A disponibilidade de dados confiáveis é de fundamental importância para órgãos ligados a atividades agrícolas. A tomada de decisões corretas depende da qualidade e da época em que estes dados estão disponíveis, possibilitando assim, um planejamento adequado. A utilização de dados obtidos a partir das técnicas de sensoriamento remoto (estação meteorológica remota), associadas à tecnologia computacional, cria novas perspectivas à obtenção de informações relevantes para o monitoramento e planejamento agrícola.

O trabalho de pesquisa aqui descrito foi dividido em: Capítulo 1 - Introdução; Capítulo 2 – Apresentação de Alguns Tipos de Sensores Utilizados em Estações Meteorológicas, neste capítulo foram relatados os tipos de sensores existentes para cada segmento de monitoração meteorológica; Capítulo 3 – Sistema de Aquisição, Processamento e Transmissão de Sinais, onde foram descritos os métodos utilizados para o processamento dos sinais, armazenamento dos dados de interesse obtidos dos sensores de uma estação meteorológica e a transmissão dos mesmos para uma central de processamento através de ondas de rádio (RF); Capítulo 4 – Projeto do Software do Gerenciamento do Sistema de Aquisição de Dados e Sistema de Transferência de Dados para a Internet, este capítulo descreve a maneira pela qual foi construído o *software* que faz o gerenciamento do sistema de aquisição de dados e a forma pela qual os dados são enviados para a Internet; Capítulo 5 – Resultados Experimentais Obtidos, neste capítulo foram apresentados os resultados desde os sistemas condicionadores de sinais dos sensores até a obtenção dos dados de interesse na tela do monitor de um PC e na Internet; Capítulo 6 – Conclusões.



Capítulo II

APRESENTAÇÃO DE ALGUNS TIPOS DE SENSORES UTILIZADOS EM ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS

Neste capítulo foram relatados os tipos de sensores existentes para cada segmento de monitoração meteorológica.

2.1 – INTRODUÇÃO

Os sensores são dispositivos utilizados para medição de qualquer variável física que possa ser convertida em sinal elétrico. Empregam uma grande variedade de fenômenos, e podem ser classificados em duas categorias gerais:

⇒ Sensores Ativos;

⇒ Sensores Passivos.

Sensores Ativos

Um elemento sensível que gera uma “FEM” (força eletromotriz) ou corrente é denominado *sensor ativo*. Os sensores ativos utilizam os seguintes efeitos físicos: Seebeck (termopar), piezoelétricos, fotoelétricos, eletromagnéticos.



Sensores Passivos

Qualquer efeito físico que varie um parâmetro do circuito elétrico é característica de um *sensor passivo*. Nestes sensores deve-se dispor de uma fonte de energia elétrica, pois, os mesmos não geram tensão ou corrente. Os tipos de sensores relacionados nesta categoria são: os resistivos, os indutivos e os capacitivos.

Áreas de Sensoriamento

Este estudo foi realizado visando as aplicações voltadas principalmente para o monitoramento de grandezas de interesse para agricultura. Após um levantamento destas grandezas, foi determinada uma gama de sensores necessários que compõe uma estação meteorológica.

Os sensores que serão abordados neste estudo são:

- ⇒ Sensor de Temperatura;
- ⇒ Sensor de Umidade Relativa do Ar (UR);
- ⇒ Sensor de Velocidade do Vento;
- ⇒ Sensor de Direção do Vento;
- ⇒ Sensor de Radiação Fotossinteticamente Ativa (400-700nm);
- ⇒ Sensor de Precipitação.

2.2 – SENSOR DE TEMPERATURA

Características dos Tipos mais Utilizados:

Para a seleção de um sensor de temperatura correto, depende do processo ou do ambiente onde será utilizado, da faixa de temperatura a ser medida, do tempo de resposta, da precisão necessária e da condição ambiental encontrada.



Outro fator importante a ser considerado é o preço, que varia com a precisão e com o tipo de montagem do instrumento.

São dois os métodos de sensoriamento de temperatura, o sensoriamento “em contato”, que coloca o elemento sensor em contato físico com a substância ou objeto a ser medido, podendo ser utilizados em sólidos, líquidos ou gases; e o sensoriamento “sem contato”, que faz a leitura da temperatura através da interceptação de uma porção de energia eletromagnética emitida por um objeto ou substância e detectando-se esta intensidade.^[4] Esta tecnologia pode ser aplicada somente em sólidos e líquidos. Portanto, serão abordados apenas os sensores que utilizam a tecnologia “em contato”, pois, necessitamos da leitura da temperatura do ar.

Sensores de Contato:

Os tipos básicos são:

- ⇒ Termopares;
- ⇒ Detectores de Temperatura Resistivos (RTDs);
- ⇒ Termistores;
- ⇒ Semicondutores.

Após uma pesquisa bibliográfica sobre os tipos de sensores existentes levando em consideração a escala de temperatura e linearidade, de acordo com as informações reunidas, concluiu-se que o tipo de sensor mais conveniente a ser utilizado para medições de temperatura do ar é o Detector de Temperatura Resistivo (RTD), pois, possui muitas vantagens, tais como, escala de temperatura dentro da faixa utilizada para a agricultura, boa estabilidade, resposta linear, além de ser um sistema simples porque possui apenas um elemento resistivo.^[4, 5, 6, 7, 8]

O (RTD) é composto por um fio de platina com resistência de $1k\Omega$ depositado em um substrato cerâmico onde a resistência elétrica deste fio é linearmente proporcional à variação de temperatura. Através da Lei de Ohm sabe-se que a diferença de potencial nas extremidades de um resistor é diretamente proporcional ao produto de seu valor ôhmico pela corrente que o



atravessa. Para que a variação de temperatura seja convertida em um sinal elétrico como tensão, basta aplicar uma corrente constante através deste fio. Portanto, com a corrente constante, a tensão nas extremidades do fio será diretamente proporcional a variação de sua resistência, ou seja, um valor de tensão correspondente à temperatura. A desvantagem deste tipo de sensor está relacionada com o seu auto-aquecimento.

2.3 – SENSOR DE UMIDADE RELATIVA

Características dos Tipos mais Utilizados: ^[9, 10]

Os princípios de medições de umidade relativa são basicamente dispostos em três categorias: capacitiva, resistiva e condutividade térmica.

As especificações mais importantes para a seleção destes sensores são:

- ⇒ Precisão;
- ⇒ Alta Estabilidade;
- ⇒ Habilidade de recuperar-se da condensação e de impurezas hidrófilas;
- ⇒ Dimensão;
- ⇒ Custo Efetivo.

Outros fatores significantes são o custo associado com a substituição destes sensores, a calibração em campo e a complexidade do condicionamento dos sinais e aquisição de dados.

Após uma análise das categorias de sensores existentes, chega-se à conclusão que tanto os sensores resistivos quanto os capacitivos poderão ser empregados.^[9, 10] O sensor resistivo apesar de apresentar resposta mais rápida, não é o mais indicado a ser utilizado, pois, possuem várias limitações tais como tendência em apresentar valores distorcidos quando submetidos à condensação, tempo de vida reduzido quando submetidos a vapores químicos além de outros inconvenientes que restringem seu uso.



Portanto, a tecnologia mais indicada é a capacitiva, porque possui estabilidade e precisão razoáveis, trabalham em altas temperaturas, podem possuir condicionamento de sinais dentro do próprio substrato, além de sua resposta possuir uma boa linearidade.

Este sensor consiste de um substrato em que um filme higroscópico (elemento sensível à umidade) é depositado entre dois eletrodos, constituindo um capacitor. O dielétrico do capacitor (filme higroscópico) tem a propriedade de absorver moléculas de água resultando na variação da constante dielétrica e fazendo com que a capacitância se torne proporcional a percentagem de umidade relativa da atmosfera circundante. A capacitância é convertida em tensão contínua correspondente, ou seja, com a variação da umidade relativa obtém-se uma tensão contínua proporcional.

Figura 2.1 – Sensor de precipitação tipo bascula.

2.4 – SENSOR DE PRECIPITAÇÃO

É um instrumento destinado a medir a precipitação (chuva) acumulada em um intervalo de tempo. O sensor de precipitação clássico consiste em um funil com 200mm de diâmetro de abertura, o qual recolhe a chuva e encaminha para um sistema de básculas alternadas que é constituído de uma haste apoiada em seu centro com conchas nas extremidades, formando uma espécie de “gangorra”.

Quando a quantidade de chuva acumulada em uma báscula atinge 0,25mm, o peso desta quantidade de líquido aciona o mecanismo, fechando uma *reed switch* ou relê magnético descartando o líquido e preparando a outra báscula para receber nova quantidade de líquido. O fechamento da chave ou relê produz um pulso que é encaminhado a uma entrada contadora de pulsos que é programada para reportar a precipitação acumulada na unidade apropriada. A capacidade do sensor é ilimitada, pois, o líquido é descartado imediatamente após a medida. O sensor possui um nível de “bolha” em sua base que é utilizado para o correto nivelamento do instrumento.

O modelo encontrado comercialmente é apresentado na Figura 2.1:^[11]





Figura 2.1 – Sensor de precipitação tipo balança.

2.5 – SENSOR DE VELOCIDADE E DIREÇÃO DOS VENTOS

Características dos Tipos mais Utilizados:

Os sensores de velocidade e direção dos ventos geralmente chamados de “anemômetro” e “vane” respectivamente, foram evoluindo através dos tempos em relação aos seus princípios de medições, ou seja, os primeiros sensores eram mecânicos e hoje existem sensores que utilizam a tecnologia de ultra-som para a realização das medidas. Isto se deve à necessidade de instrumentos mais precisos e mais confiáveis.

Os tipos de sensores de velocidade mais utilizados são:

- ⇒ Anemômetro de Conchas com Chaves Magnéticas (*Reed Switch*);^[12]
- ⇒ Anemômetro de Conchas com Bobina Estacionária;^[13]
- ⇒ Anemômetro de Ultra-som.^[14]

Os tipos de sensores de direção dos ventos mais utilizados são:

⇒ Vane com Chaves Magnéticas (*Reed Switch*);^[12]

⇒ Vane com Potenciômetro;^[13]

⇒ Vane de Ultra-som.^[14]

Comparações (Anemômetros: de Conchas com Chave Magnética e com Bobina, e de Ultra-som):

Analizando as informações a respeito dos tipos de anemômetros mais utilizados nas estações meteorológicas, pode-se constatar que o anemômetro de ultra-som é o melhor, pois, reúne boa precisão e medições micrometeorológicas, porém, seu alto custo e sua técnica especial de condicionamento de sinais tornam o uso deste tipo de sensor inviável.^[12, 13, 14]

Descartando-se o sensor ultra-sônico, e comparando os tipos restantes, conclui-se que o sensor mais adequado em nossas aplicações é o que utiliza a tecnologia de bobina estacionária, pois, é um sensor de boa precisão e estabilidade além de ter um custo razoável.

Este anemômetro é composto por três conchas fixadas na parte superior de um eixo e um ímã fixado na região inferior do eixo. Quando as conchas são movidas pela ação do vento, o ímã também gira próximo a uma bobina estacionária induzindo desta forma uma tensão CA senoidal. Portanto, a resposta deste sensor é uma tensão CA senoidal proporcional à velocidade do vento.

Comparações (Vane: com Chaves Magnéticas, com Potenciômetro e de Ultra-som).

Comparando as características dos sensores de direção dos ventos, pode-se novamente comprovar que o de ultra-som é o melhor, pois, é a tecnologia mais avançada até o presente momento, ou seja, reúne boa precisão e fornece leituras com melhor resolução que as demais tecnologias.^[12, 13, 14] Mas novamente esbarra-se no seu alto custo e em sua técnica especial de condicionamento de sinal. Portanto, analisando as demais tecnologias empregadas chega-se à



conclusão que, o melhor e mais adequado sensor a ser utilizado é o que utiliza o potenciômetro como transdutor, pois, apresenta resposta com alta linearidade, boa precisão, variação de direção inferior a 15° , aliados a um baixo custo de aquisição e condicionamento de sinais.

Este sensor é composto por uma “seta” acoplada na extremidade superior do eixo de um potenciômetro de $10k\Omega$. Nas extremidades deste potenciômetro é aplicada uma tensão de excitação de $15 V_{CC\ MÁX}$ e o sinal de saída do sensor é uma tensão CC proporcional ao ângulo da direção do vento com a tensão de excitação aplicada ao extremo do potenciômetro.

2.6 – SENSOR DE RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA

2.7 – SENSORES COMERCIAIS UTILIZADOS NO PROJETO

Características do Sensor^[14]

Os sensores de radiação solar global e da radiação fotossintética ativa ou, do Inglês, PAR (*Photosynthetically Active Radiation*) são funcionalmente semelhantes: ambos fornecem uma corrente elétrica proporcional a radiação solar recebida do hemisfério centrado na direção perpendicular ao eixo de montagem do dispositivo sensor.

O elemento sensor é uma junção semicondutora p-n, formada por um material com deficiência de elétrons (semicondutor p), e outro material com excesso de elétrons (semicondutor n). Quando a radiação solar incidente à junção semicondutora p-n atinge um nível de energia capaz de ionizar os átomos, uma corrente elétrica proporcional a esta radiação é produzida nos terminais da junção semicondutora p-n.

A Figura 2.2 mostra este tipo de sensor:



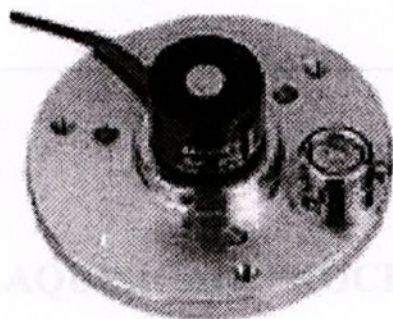


Figura 2.2 – Sensor para radiação fotossinteticamente ativa (PAR)

2.7 – SENSORES COMERCIAIS UTILIZADOS NO PROJETO

Os sensores para os diversos segmentos meteorológicos, bem como, seus modelos e especificações são apresentados no Apêndice A. A opção pela utilização destes sensores deve-se a disponibilidade dos mesmos na Faculdade de Agronomia – UNESP - Campus de Ilha Solteira/SP.

3.2 – O MICROCONTROLADOR ESCOLHIDO

Antes de abordar o sistema de condicionamento (tratamento) de sinais, será feita uma breve descrição do microcontrolador que será utilizado.

O "cérebro" do sistema de armazenamento de sinais é o Microcontrolador M68HC11 da Motorola⁽²³⁾, que possui 8K bytes de memória ROM (read-only memory), 512 bytes de memória RAM (random-access memory) e 512 bytes de EPROM. A vantagem do uso deste

Capítulo III

SISTEMA DE AQUISIÇÃO, PROCESSAMENTO E TRANSMISSÃO DE SINAIS

Neste capítulo foram descritos os métodos utilizados para a aquisição, processamento e transmissão dos sinais de interesse obtidos dos sensores de uma estação meteorológica.

3.1 – INTRODUÇÃO

Para a concepção do sistema de aquisição de dados foi utilizado um kit microcontrolador da família M68HC11 da Motorola, que é responsável pelo gerenciamento da coleta, armazenagem e transmissão de dados. A opção por este kit microcontrolador deveu-se a disponibilidade do mesmo no Laboratório de Eletrônica, mas convém ressaltar que poderiam ser utilizados outros modelos de outros fabricantes.

3.2 – O MICROCONTROLADOR ESCOLHIDO

Antes de abordar o sistema de condicionamento (tratamento) de sinais, será feita uma breve descrição do microcontrolador que será utilizado.

O “cérebro” do sistema de armazenamento de sinais é o Microcontrolador M68HC11 da Motorola^[22], que possui 8K bytes de memória ROM (*read-only memory*), 512 bytes de memória RAM (*random-access memory*) e 512 bytes de EEPROM. A vantagem do uso deste



microcontrolador é que ele possui conversor A/D de 8 bits, portas de comunicação serial síncrona e assíncrona, uma unidade de *timer*, um acumulador de pulsos, como também “portos” de entrada/saída de propósito geral.

Uma importante observação a ser feita é que com a utilização da gama de sensores disponíveis em uma estação meteorológica, será necessária uma expansão da memória do microcontrolador com o propósito de armazenar todos os dados provenientes dos mesmos.

Variáveis físicas como temperatura, umidade, velocidade, direção e radiação são naturalmente analógicas e são medidas com sensores. Os sensores aceitam em suas entradas variáveis físicas e as convertem em sinal elétrico como tensão, corrente e resistência que são proporcionais às variáveis de entrada.

As entradas do conversor A/D do microcontrolador devem estar na faixa de 0V a 5V_{CC}. Como, na maioria das vezes, os sinais dos sensores são incompatíveis com estas entradas, estes deverão ser condicionados antes de serem enviados aos portos de entrada do conversor A/D do microcontrolador. Portanto, cada segmento de monitoração possuirá se necessário uma interface entre o sensor e o microcontrolador com o propósito de processar os sinais, para que os mesmos sejam compatíveis e adequados.

3.3 – EXPANSÃO DE MEMÓRIA

Como o microcontrolador escolhido possui uma quantidade de memória limitada, ou seja, 8 Kbytes de ROM, 512 bytes de RAM e 512 bytes de EEPROM, surgiu a necessidade de adicionar memória ao sistema. Isto deve-se ao armazenamento do programa que fará o gerenciamento do sistema de aquisição de dados e a necessidade de um espaço para a armazenagem de dados temporários antes da transmissão dos mesmos.

A adição de memória é possível graças aos dois modos fundamentais de operação do M68HC11: modo normal simples e modo normal expandido. Em modo normal simples o usuário tem disponível 512 bytes de RAM, 512 bytes de EEPROM e 8 Kbytes de ROM. Como este modo de operação não requer funções de barramento de dados/endereços externos, os portos B e C são avaliados como portos de propósito geral.



O modo normal expandido permite a conexão de dispositivos externos de memória e o acesso a estes dispositivos se dá através da multiplexagem no tempo dos sinais do barramento de endereços/dados.

Memória Utilizada:

Como o sistema necessitava de uma memória para armazenar o programa de gerenciamento e uma memória para armazenar dados temporários, foi realizada uma pesquisa sobre os dispositivos de memória existentes no mercado e a opção foi aquisição de dois módulos de memória independentes. O primeiro módulo é uma RAM não-volátil de 64Kbytes, onde será armazenado o programa gerenciador do sistema. A opção deste módulo deve-se a sua não volatilidade, ou seja, se houver qualquer problema com o fornecimento de energia, os dados do programa não serão perdidos e com o restabelecimento da energia o sistema volta a funcionar normalmente. Já o segundo módulo de memória é uma RAM estática convencional de 64Kbytes, onde serão armazenados os dados temporários.

Diagrama Elétrico:

O diagrama da Figura 3.1, mostra como foi realizada a expansão de memória do M68HC11.



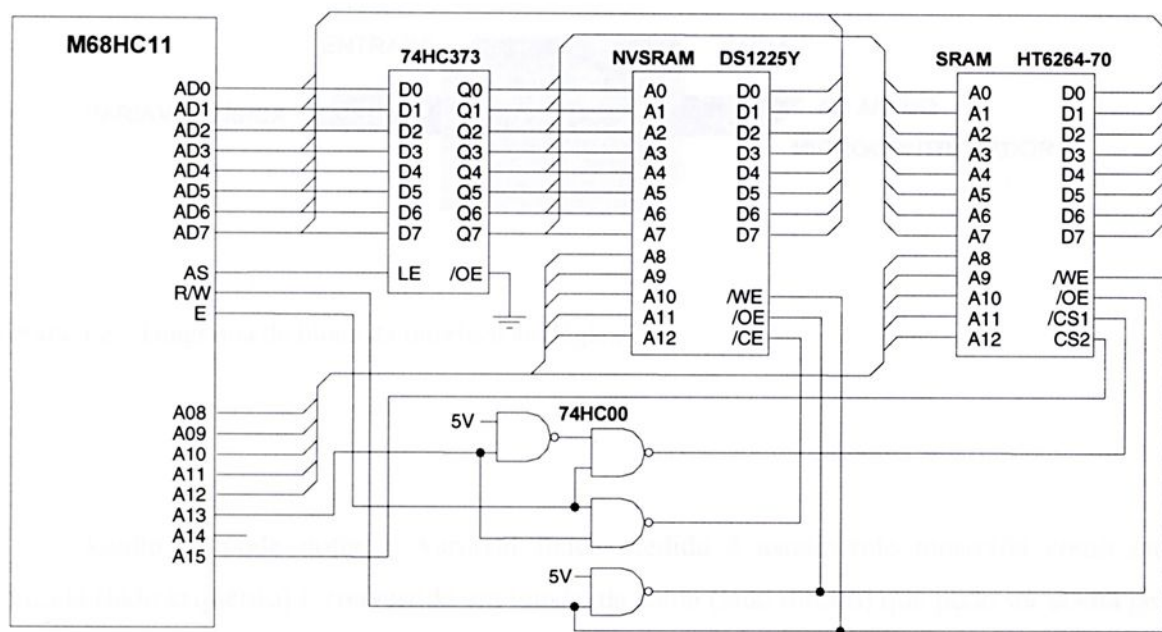


Figura 3.1 – Expansão de memória para o M68HC11

3.4 – INTERFACE ANALÓGICA^[15]

O microcontrolador possui entradas com conversores analógico/digitais que podem ser configurados para aceitarem tensões analógicas em uma faixa de 0V a 5V_{CC}. Sensores que fornecem em sua saída corrente ou resistência devem ser primeiramente convertidas para a faixa de tensão equivalente. Se o sinal de saída do sensor é tensão mas não é compatível com as entradas dos conversores A/D, estas não poderão ser diretamente conectadas às entradas do microcontrolador.

O diagrama de blocos da Figura 3.2 apresenta uma interface analógica para a entrada A/D do microcontrolador.

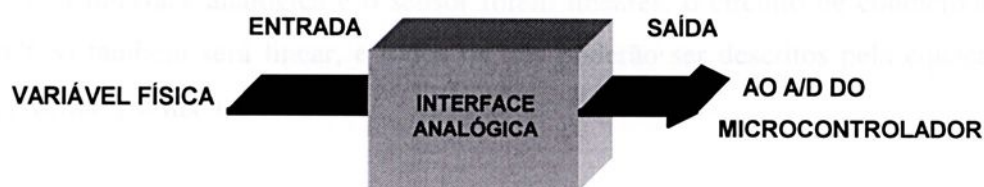


Figura 3.2 – Diagrama de bloco da interface analógica

Como se pode notar, a variável física medida é usualmente mostrada como uma entrada (lado esquerdo) e convertida em tensão de saída (lado direito) que pode ser aceita pelo conversor A/D do microcontrolador.

A Figura 3.3 mostra os detalhes de uma interface analógica típica.

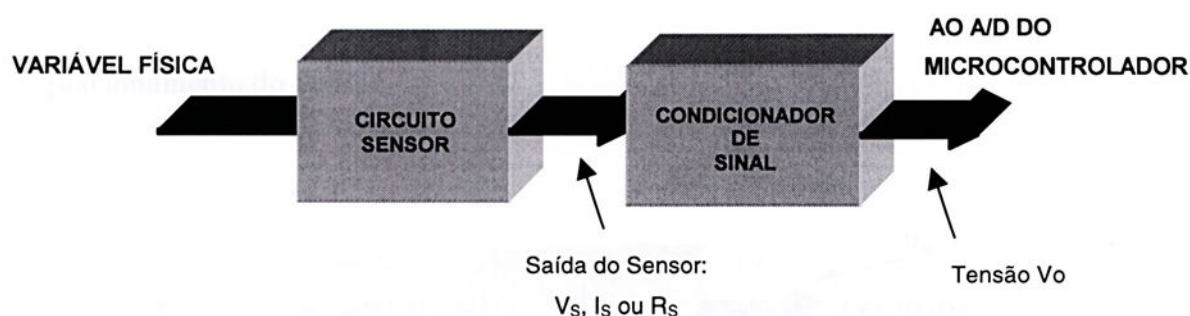


Figura 3.3 – Diagrama de blocos do circuito do sensor e condicionamento de sinal

O sensor da Figura 3.3 converte uma variável física em um parâmetro elétrico como tensão, corrente ou resistência.

Se a interface analógica e o sensor forem lineares, o circuito de condicionamento de sinal (CCS) também será linear, e todos os três poderão ser descritos pela equação de uma reta, da forma $y = mx + b$.

3.5 – INTERFACE PARA O SENSOR DE TEMPERATURA

Especificações do Sensor^[16]

Modelo: HMP 45 C – Campbell Scientific, Inc.

Faixa de Temperatura: -40°C a $+60^{\circ}\text{C}$

Faixa de Saída: 0V a 1V

Equacionamento (dados do fabricante): $T_c(^{\circ}\text{C}) = -40 + (0,1 \times V)$

Offset = -40°C

m = Inclinação = 0,1

Equacionamento do Sensor



Figura 3.4 – Diagrama de bloco do sensor de temperatura

De acordo com o fabricante do sensor, as leituras de temperatura serão obtidas introduzindo na Equação 1 os valores de tensão obtidos na saída do sensor.^[16]

$$T_C = -40 + (0,1 \times V) \quad (1)$$

Sendo:

T_C : valor da temperatura em ($^{\circ}\text{C}$);

V : tensão obtida na saída do sensor em (mV);

Como o sinal de saída do sensor será condicionado, podemos reescrever a Equação 1 em função da tensão, como mostra a Equação 2.

$$V_S = (0,01 \times T_C) + 0,4 \quad (2)$$

Sendo:

V_S : tensão obtida na saída do sensor em (V);

T_C : valor da temperatura medida em ($^{\circ}\text{C}$).

A Figura 3.5 mostra a resposta do sensor de temperatura para uma faixa de -40°C a $+60^{\circ}\text{C}$.

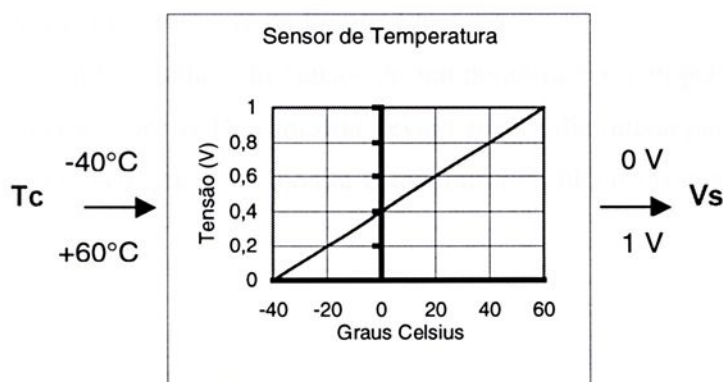


Figura 3.5 – Curva de resposta do sensor de temperatura

Este sensor atua dentro da faixa de -40°C à $+60^{\circ}\text{C}$, porém, neste projeto será utilizada apenas a região positiva da escala, ou seja, de 0°C à $+60^{\circ}\text{C}$. Assim sendo, a resposta do sensor é melhor representada através do gráfico da Figura 3.6.

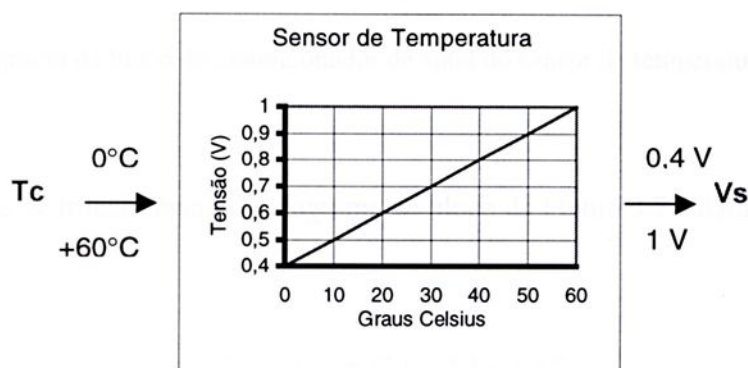


Figura 3.6 – Curva de resposta do sensor de temperatura para escala de temperatura positiva

Equacionamento do Circuito Condicionador de Sinal (CCS)^[15]

Para uma variação de temperatura entre -40°C e $+60^{\circ}\text{C}$ o sensor fornece em sua saída um sinal elétrico entre 0V e $1V_{CC}$, ou seja, quando a temperatura estiver em -40°C o sinal de saída será de 0V e quando a temperatura estiver em $+60^{\circ}\text{C}$ o sinal fornecido pelo sensor será de $1V_{CC}$. Como será utilizada apenas a escala positiva de temperatura, a faixa útil de sinais será de $0,4V_{CC}$ a $1V_{CC}$, como foi visto na Figura 3.6.

Como a faixa útil de sinais do sensor de temperatura é incompatível com a faixa de sinais de entrada do conversor A/D, a mesma deverá ser condicionada para a faixa adequada, ou seja, de 0V a $5V_{CC}$. A Figura 3.7 mostra o diagrama de bloco do condicionador de sinal deste sensor.



Figura 3.7 – Diagrama de bloco do condicionador de sinal do sensor de temperatura.

A função de transferência do diagrama de bloco da Figura 3.7 é dada pela Equação 3:

$$V_o = [(5 \times V_s) - 2] \times 1,67 \quad (3)$$

Sendo:

V_o : tensão de saída do condicionador de sinal, dada em (V);

V_s : tensão de entrada do condicionador de sinal, dada em (V).

A Figura 3.8 apresenta a curva de resposta do sistema condicionador de sinal para um sinal de entrada variando entre $0,4V_{CC}$ e $1V_{CC}$.

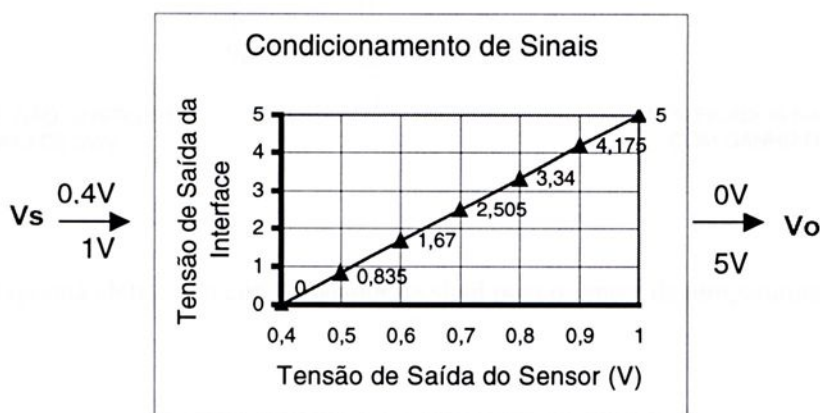


Figura 3.8 – Curva de resposta do sistema condicionador de sinal do sensor de temperatura

Condicionador de Sinal

O circuito condicionador de sinal é composto por alguns amplificadores operacionais, porém, não serão utilizados amplificadores comuns, pois, os amplificadores comuns são alimentados com tensão simétrica o que não estará disponível na estação meteorológica.

Como a estação será alimentada com uma única bateria de 12V e necessita-se de uma faixa de valores entre 0V e 5V, a alternativa encontrada foi à utilização de um amplificador operacional especial conhecido como *rail-to-rail*.^[17] Este tipo de amplificador é alimentado entre 0V e +16V (fonte única) e sua resposta não possui as limitações encontradas nos amplificadores operacionais comuns.

Diagrama Elétrico:

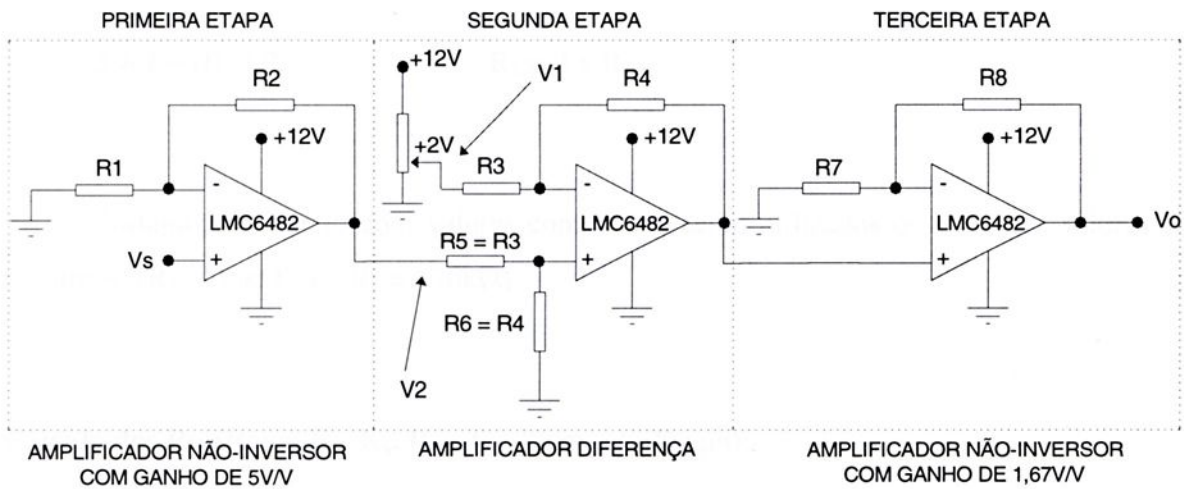


Figura 3.9 – Diagrama elétrico do condicionador de sinal para o sensor de temperatura

Cálculo dos Resistores R_1 e R_2 (Primeira Etapa):

Para o amplificador não-inversor, é dada uma Equação que relaciona os resistores do circuito com o ganho, como: ^[17]

$$A = 1 + (R_2 / R_1) \quad (4)$$

Sendo:

A : ganho do circuito, dado em (V/V).

Através da Equação do amplificador não-inversor, calcula-se o valor dos resistores R_1 e R_2 para a obtenção de um ganho de 5V/V.

$$5 = 1 + (R_2 / R_1) \quad \Rightarrow \quad R_2 = 4 \times R_1$$

Portanto, de acordo com valores comerciais, serão utilizados os seguintes valores de resistores: ($R_1 = 30k\Omega$) e ($R_2 = 120k\Omega$).

Cálculo dos Resistores R_3 , R_4 , R_5 e R_6 (Segunda Etapa):

A relação dos resistores para o amplificador diferença é dada pela Equação 5. ^[17]

$$R_6 / R_5 = R_4 / R_3 \quad (5)$$



Através desta relação sabe-se que ($R_6 = R_4$ e $R_5 = R_3$), portanto, o ganho do circuito pode ser dado pela relação R_4 / R_3 .

O sinal de saída do amplificador diferença (V_o) é linearmente proporcional à diferença dos sinais de entrada, como mostra a Equação 6.

$$V_o = R_4 / R_3 (V_2 - V_1) \quad (6)$$

Sendo:

V_o : sinal de saída do amplificador diferença, dado em (V);

V_1 : tensão de referência, fixada em $2V_{CC}$;

V_2 : tensão de entrada do amplificador diferença, dada em (V);

R_4 / R_3 : ganho do circuito.

Como este circuito irá trabalhar com ganho unitário e considerando-se que $R_6 = R_4$ e $R_5 = R_3$, todos os resistores serão de mesmo valor. Portanto, de acordo com valores comerciais, foi adotado que: $R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = 1k\Omega$.

Cálculo dos Resistores R_7 e R_8 (Terceira Etapa):

Através da Equação 4 do amplificador não-inversor, calcula-se o valor dos resistores R_7 e R_8 para a obtenção de um ganho de 1,67 V/V.

$$1,67 = 1 + (R_8 / R_7) \quad \Rightarrow \quad R_8 = 0,67 \times R_7$$

Portanto, de acordo com valores comerciais, serão utilizados os seguintes valores de resistores: ($R_7 = 16k\Omega$) e ($R_8 = 18k\Omega$).



A representação gráfica completa da interface analógica para o sensor de temperatura é mostrada na Figura 3.10.

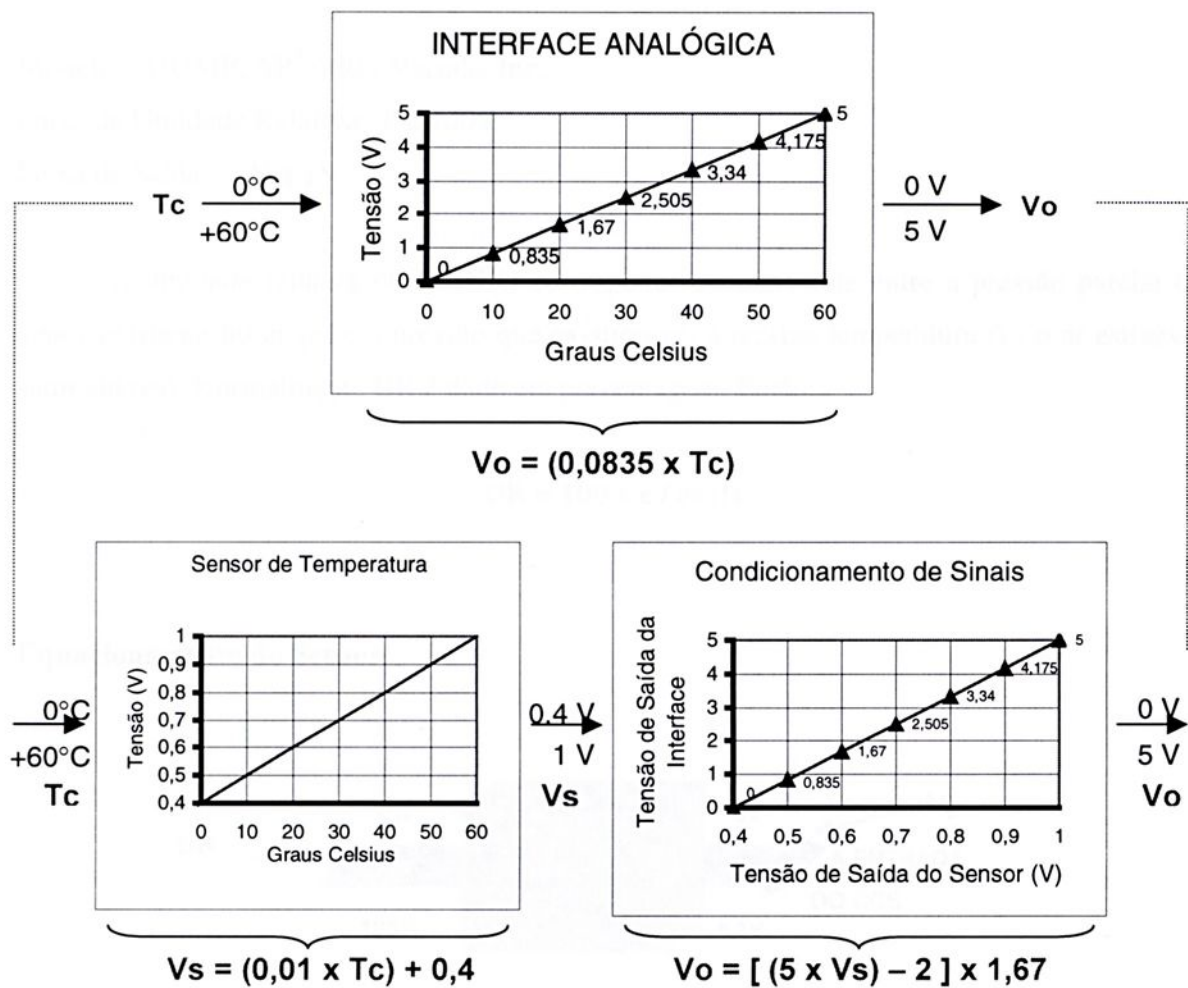


Figura 3.10 – Representação gráfica completa da interface analógica para o sensor de temperatura

3.6 – INTERFACE PARA O SENSOR DE UMIDADE RELATIVA

Especificações do Sensor^[16]

Modelo: HUMICAP® 180 - Vaisala, Inc.

Faixa de Umidade Relativa: 0 a 100%

Faixa de Saída: 0V a 1V

A umidade relativa do ar (UR) corresponde ao quociente entre a pressão parcial do vapor existente no ar (e) e a pressão que existiria se, à mesma temperatura (t), o ar estivesse saturado (es). Normalmente UR é dado em porcentagem. Então:

$$UR = 100 \times e / e_s(t)$$

Equacionamento do Sensor



Figura 3.11 – Diagrama de bloco do sensor de umidade relativa

As leituras de umidade relativa serão obtidas introduzindo na Equação 7 os valores de tensão obtidos na saída do sensor.



$$UR = (0,1 \times V_S) \quad (7)$$

Sendo:

UR : valor da umidade relativa em (%);

V : tensão obtida na saída do sensor em (mV).

Pode-se reescrever a Equação 6 em função da tensão, como mostra a Equação 8.

$$V_S = (0,01 \times UR) \quad (8)$$

Sendo:

V_S : tensão obtida na saída do sensor em (V);

UR : valor da umidade medida em (%).

A Figura 3.12 mostra a resposta do sensor de umidade para uma faixa de 0% a 100%

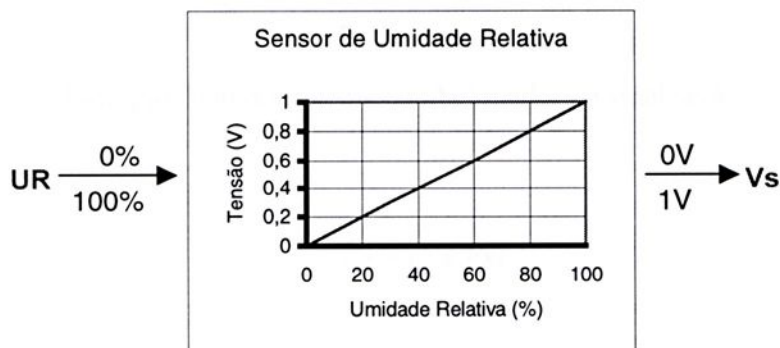


Figura 3.12 – Curva de resposta do sensor de umidade relativa

Equacionamento do Circuito Condicionador de Sinal (CCS)^[15]

O sinal do sensor de umidade (V_s) está em uma faixa de 0V a 1V e deverá ser condicionado para uma faixa de 0V a 5V, como mostra o diagrama da Figura 3.13.

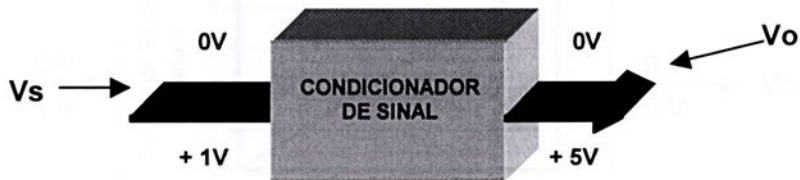


Figura 3.13 – Diagrama de bloco do condicionador de sinal do sensor de umidade relativa

O condicionador de sinal deste sensor irá amplificar o sinal de entrada, ou seja:

$$m = \Delta V_o / \Delta V_s$$

$$m = (5 - 0) / (1 - 0)$$

$$m = 5 \text{ V/V}$$

Portanto, a Equação final do sistema condicionador de sinal será:

$$V_o = (5 \times V_s) \tag{9}$$

Sendo:

V_o : tensão de saída do sistema condicionador de sinal em (V);

V_s : tensão de saída do sensor em (V).

A Figura 3.14 apresenta a curva de resposta do sistema condicionador de sinal para uma faixa de 0V a 1V.

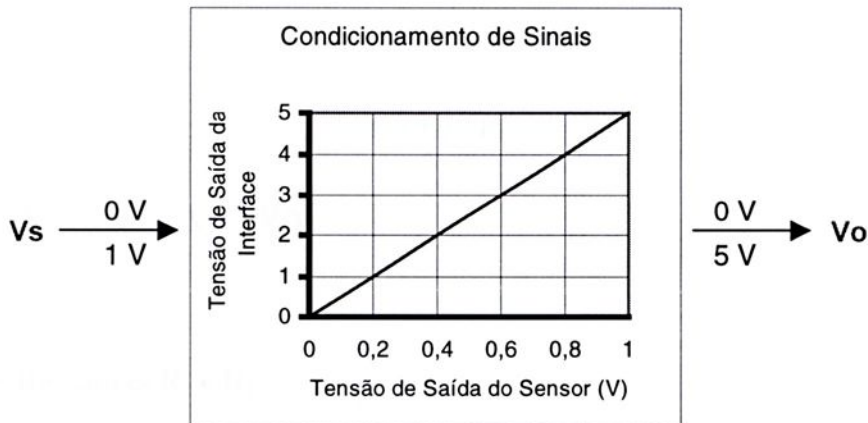


Figura 3.14 – Curva de resposta do sistema condicionador de sinal do sensor de umidade relativa

Condicionador de Sinal

O sinal do sensor de umidade relativa será tratado da mesma forma que o sinal do sensor de temperatura, ou seja, com um amplificador operacional especial *rail-to-rail*.

Diagrama Elétrico:

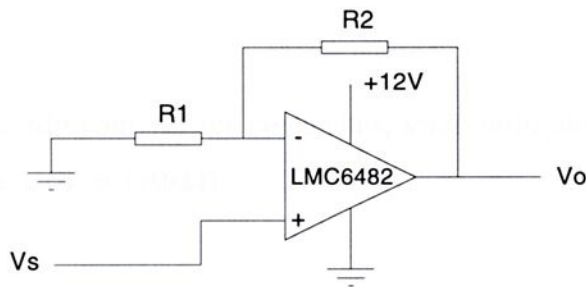


Figura 3.15 – Diagrama elétrico do amplificador não-inversor

Cálculo do Ganho do Circuito Amplificador:

O ganho do circuito é dado pela Equação 10:

$$A = V_o / V_s \quad (10)$$

$$5V / 1V \Rightarrow A = 5 \text{ V/V}$$

Cálculo dos Resistores R_1 e R_2 :

Para o amplificador não-inversor, é dada uma equação que relaciona os resistores do circuito com o ganho, como:

$$A = 1 + (R_2 / R_1) \quad (11)$$

Através da equação do amplificador não inversor, calcula-se o valor dos resistores R_1 e R_2 .

$$5 = 1 + (R_2 / R_1) \Rightarrow R_2 = 4 \times R_1$$

Portanto, de acordo com valores comerciais, serão utilizados os seguintes valores de resistores: ($R_1 = 30k\Omega$) e ($R_2 = 120k\Omega$).



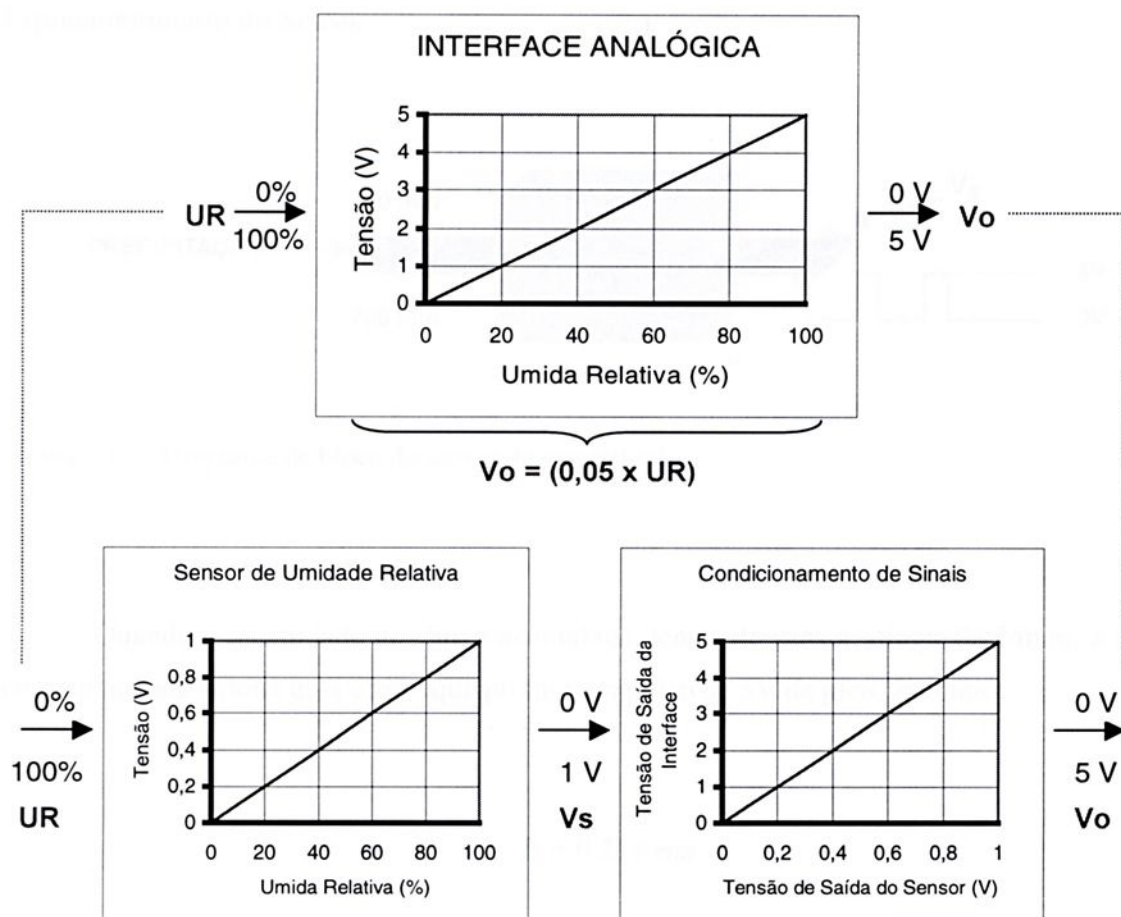


Figura 3.16 – Representação gráfica completa da interface analógica para o sensor de umidade

3.7 – INTERFACE PARA O SENSOR DE PRECIPITAÇÃO

Especificações do Sensor^[11]

Modelo: TB4-L – Hydrological Services Pty. Ltd.

Faixa de Medição: 0 a 27,6 polegadas/hora (0 a 700 mm/hr)

Sinal de Saída: Pulso (5V pico)

Equacionamento (dados do fabricante): $P = 0,254 \text{ mm/pulso}$

$P = \text{precipitação}$

Equacionamento do Sensor



Figura 3.17 – Diagrama de bloco do sensor de precipitação.

Quando a quantidade de chuva acumulada dentro do sensor atingir 0,254mm, a massa correspondente aciona uma chave que produz um pulso de 5V de pico. Portanto:

$$P = 0,254 \text{ mm} \quad (12)$$

Sendo:

P : 1 pulso

A Equação que descreve a quantidade de chuva em relação aos pulsos de saída do sensor, é:

$$Q_c = 0,254 \times N_p \quad (13)$$

Sendo:

Q_c : quantidade de chuva em (mm);

N_p : número de pulsos.

A Figura 3.18 mostra um exemplo da resposta do sensor durante um período de uma hora, para várias fases de chuva.

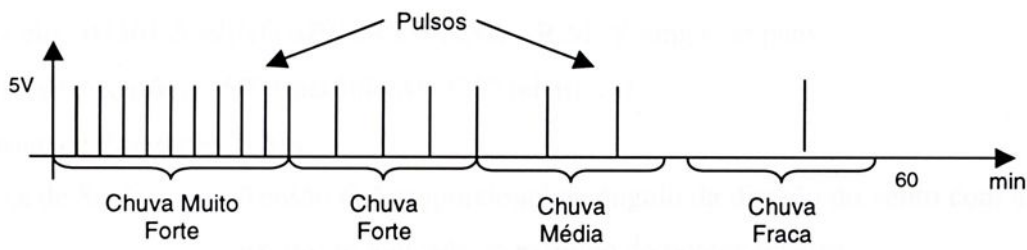


Figura 3.18 – Resposta do sensor de precipitação.

Na fase de chuva muito forte, o sensor produziu 10 pulsos, na fase de chuva forte, o sensor produziu 4 pulsos, na fase de chuva média produziu 2 pulsos e na fase de chuva fraca, o sensor produziu 1 pulso. Para sabermos a quantidade de chuva acumulada durante 1 hora, temos:

Chuva Muito Forte	⇒	$Q_c = 0,254 \times 10$	⇒	$Q_c = 2,540\text{mm}$
Chuva Forte	⇒	$Q_c = 0,254 \times 04$	⇒	$Q_c = 1,016\text{mm}$
Chuva Média	⇒	$Q_c = 0,254 \times 02$	⇒	$Q_c = 0,508\text{mm}$
Chuva Fraca	⇒	$Q_c = 0,254 \times 01$	⇒	$Q_c = 0,254\text{mm}$

Quantidade Total de Chuva = $2,540 + 1,016 + 0,508 + 0,254 = 4,318 \text{ (mm/h)}$

Equacionamento do Circuito Condicionador de Sinal (CCS)

O sinal de saída do sensor é um pulso com amplitude de 5V e o microcontrolador aceita em sua entrada “contadora de pulsos” o mesmo tipo de sinal, portanto, não haverá uma interface para condicionar (tratar) o sinal do sensor de precipitação, ou seja, o sensor será conectado diretamente à entrada do microcontrolador.^[26]

3.8 – INTERFACE PARA O SENSOR DE DIREÇÃO DO VENTO

Especificações do Sensor^[13]

Modelo: 03301-5 WIND SENTRY VANE – R.M. Young Company.

Faixa de Atuação: 360° (mecânicos), 355° (elétricos).

Tensão de Excitação: 5 V_{CC}

Faixa de Saída: Tensão CC proporcional ao ângulo da direção do vento com a tensão de excitação aplicada ao extremo do potenciômetro.

Equacionamento do Sensor



Figura 3.19 – Diagrama de bloco do sensor de direção do vento

O potenciômetro deste sensor não tem rotação completa entre 0° e 360°, ele possui uma banda “sem ação” de 5° entre 355° e 0°. Devido a isto, o fator de multiplicação da direção (posição angular) em relação à tensão de excitação do potenciômetro é dada pela equação:

$$M_D = 355 / V_{exc} \tag{14}$$

Sendo:

M_D : fator de multiplicação da direção (graus/V);

V_{exc} : tensão de excitação do potenciômetro, em (V).

Exemplo: Considerando uma tensão de excitação máxima de 5VDC aplicada aos extremos do potenciômetro e 0° o “norte geográfico”. Quando o multímetro indicar 2,5V, ou seja, a metade da tensão de excitação, a direção correspondente será calculada da seguinte maneira:

$$M_D = 355 / 5$$

$$M_D = 71 \text{ (graus/V)}$$

$$D_{S/C} = M_D \times V_{exc} \quad (15)$$

Sendo:

$D_{S/C}$: direção indicada pelo potenciômetro sem correção

$$D_{S/C} = 71 \times 2,5V$$

$$D_{S/C} = 177,5 \text{ (graus em relação ao norte)}$$

Mas um fator importante deve ser considerado que o potenciômetro realiza um giro de 355° e o que realmente interessa é o giro de 360°. Portanto para se resolver este problema, utiliza-se a seguinte relação que é empregada como fator de correção:

$$Fc = 355 \text{ (graus elétricos)} / 360 \text{ (graus mecânicos)} \quad (16)$$

Sendo:

Fc : fator de correção da direção = 0,9861

Pela Equação 15, a direção resultante foi de 177,5° (em relação ao norte). De posse do valor do fator de correção da Equação 16, substitui-se na Equação 17:



$$D_r = D_{SC} / Fc \quad (17)$$

Sendo:

D_r : direção real, em (graus).

$$D_r = 177,5^\circ / 0,9861$$

$$D_r = 180^\circ \text{ (sul)}$$

Através da Figura 3.20, pode-se observar a direção em relação à tensão aplicada ao potenciômetro (5V).

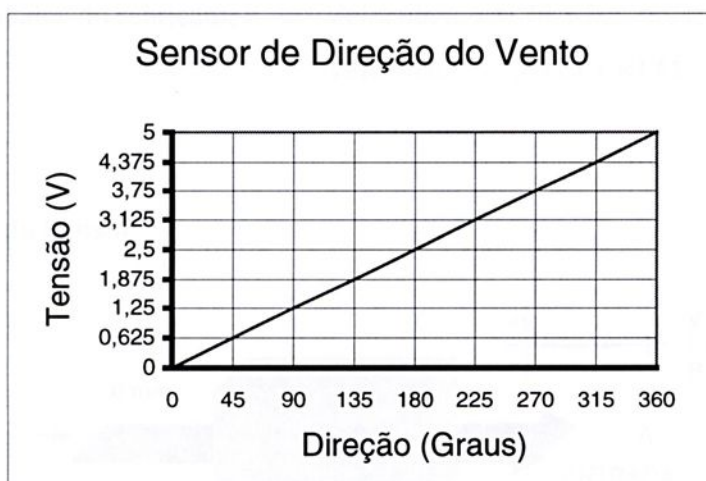


Figura 3.20 – Curva de resposta do sensor de direção do vento

Equacionamento do Circuito Condicionador de Sinal (CCS)^[15]

O sistema de monitoramento da direção do vento não possuirá condicionador de sinal, pois, a tensão de saída do sensor é compatível com a entrada do conversor A/D do microcontrolador.

3.9 – INTERFACE PARA O SENSOR DE VELOCIDADE DO VENTO

Especificações do Sensor^[13]

Modelo: 03101-5 WIND SENTRY ANEMOMETER – R.M. Young Company.

Faixa de Atuação: 0 a 60 m/s

Sinal de Saída: CA senoidal, (100 mVp-p / 60rpm)

Frequência de Saída: 0,75 m/s por Hz

Equacionamento (dados do fabricante): $\text{Velocidade} = 0,75 \times \text{Hz} \text{ (m/s)}$

$\text{Velocidade} = 0,0125 \times \text{RPM} \text{ (m/s)}$

Equacionamento do Sensor

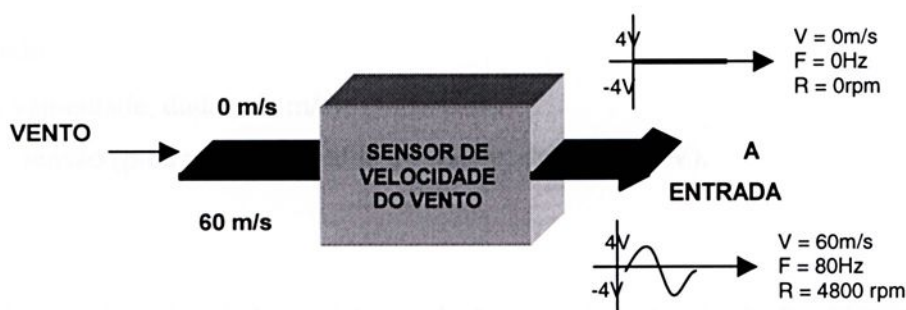


Figura 3.21 – Diagrama de bloco do sensor de velocidade

De acordo com o fabricante do sensor, a leitura de velocidade poderá ser obtida através da rotação do eixo (rpm), como mostrado na Equação 18:

$$V = (0,0125 \times RPM) \quad (18)$$

Sendo:

V : velocidade, dada em (m/s).

O fabricante também fornece a relação rotação *versus* tensão:

$$V = 0,6 \text{ rpm/mV}$$

Portanto, pode-se escrever a velocidade em função da amplitude da tensão de saída do sensor, como é dado na Equação 19:

$$V = 0,0125 \times 0,6 \times V_s \quad (19)$$

Sendo:

V : velocidade, dada em (m/s);

V_s : tensão (pico a pico) de saída do sensor, dada em (mV).

A leitura da velocidade também poderá ser obtida através da frequência do sinal de saída do sensor, como mostra a Equação 20:



$$V = (0,7500 \times F) \quad (20)$$

Sendo:

F : frequência, dada em (Hz);

V : velocidade, dada em (m/s).

Como o sinal que será condicionado é a tensão ou a frequência do sinal de saída do sensor, pode-se reescrever as Equações 19 e 20 em função da tensão e em função da frequência respectivamente.

$$V_s = (V / 15) \quad (21)$$

Sendo:

V_s : tensão (pico) de saída do sensor, dada em (V);

V : velocidade, dada em (m/s).

$$F = (V / 0,75) \quad (22)$$

Sendo:

F : frequência do sinal de saída do sensor, dada em (Hz);

V : velocidade em (m/s).



Equacionamento do Circuito Condicionador de Sinal (CCS)

O sinal proveniente do sensor de velocidade do vento é uma tensão CA senoidal com amplitude variável entre 0 e $4V_{(PICO)}$. Como este sinal é incompatível com a faixa de entrada do conversor A/D do microcontrolador, ou seja, de 0 a $5V_{CC}$, o mesmo foi condicionado em duas etapas para se tornar adequado. A Figura 3.22 mostra o diagrama de bloco do condicionador de sinal.

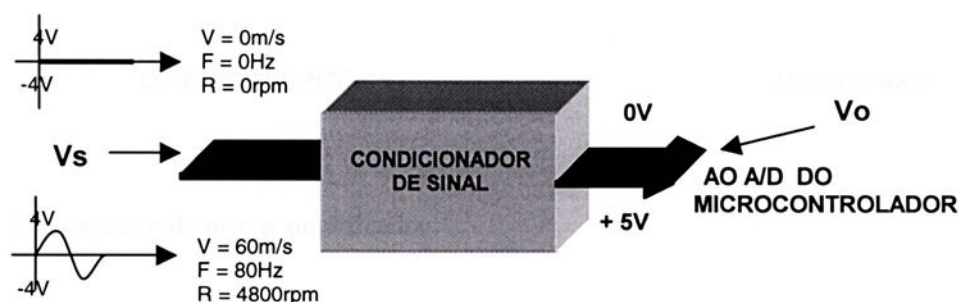


Figura 3.22 – Diagrama de bloco do condicionador de sinal do sensor de velocidade

Condicionador de Sinal

A primeira etapa de condicionamento consiste de um detector de pico, que armazena através de um capacitor (C_1) o valor do pico da tensão para que a leitura seja efetuada pelo conversor A/D. Depois de realizada a leitura, a chave (CH) colocada em paralelo com o capacitor é fechada momentaneamente fazendo com que o mesmo se descarregue através do curto-circuito descartando assim o valor do pico armazenado. Após a abertura da chave, o circuito estará preparado para armazenar um novo valor de pico para a realização de uma nova leitura. A segunda etapa de condicionamento trata-se de um amplificador não-inversor com ganho de 1,25 V/V.

Diagrama Elétrico^[17]:

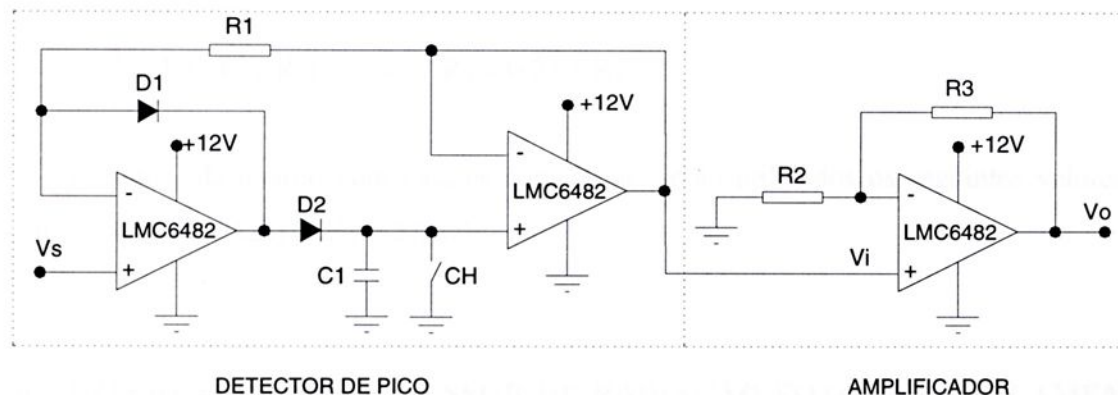


Figura 3.23 – Detector de pico e amplificador

Cálculo do Ganho do Circuito Amplificador:

O ganho do circuito é dado pela Equação 23.

$$A = \Delta V_o / \Delta V_i \quad (23)$$

Sendo:

A : ganho do circuito, dado em (V/V);

ΔV_o : variação da tensão de saída do amplificador, dada em (V);

ΔV_i : variação da tensão de entrada do amplificador, dada em (V).

$$A = (5 - 0) / (4 - 0)$$

$$A = 1,25 \text{ V/V}$$

Cálculo dos Resistores R_2 e R_3 do Circuito Amplificador:

Através da Equação do amplificador não-inversor, tem-se:

$$1,25 = 1 + (R_3 / R_2) \Rightarrow R_3 = 0,25 \times R_2$$

Portanto, de acordo com valores comerciais, serão utilizados os seguintes valores de resistores: ($R_2 = 110k\Omega$) e ($R_3 = 27k\Omega$).

3.10 – INTERFACE PARA O SENSOR DE RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA

Especificações do Sensor^[18]

Modelo: LI190SB QUANTUM SENSOR – LI-COR, Inc.

Detector: Detector fotovoltaico de silício

Espectro Luminoso: 400 a 700 nm

Faixa de Radiação: 0 a 2000 $\mu\text{moles/s.m}^2$

Faixa de Saída: 0 a 10 μA

Equacionamento do Sensor



Figura 3.24 – Diagrama de bloco do sensor de radiação.

De acordo com o fabricante, as leituras de radiação serão obtidas através da Equação 24:

$$P.A.R.. = (200 \times I_s) \quad (24)$$

Sendo:

P.A.R. : Radiação Fotossinteticamente Ativa, dada em ($\mu\text{moles/s.m}^2$);

I_s : corrente de saída do sensor, dada em (μA).

Colocando-se a Equação 24 em função da corrente, tem-se:

$$I_s = (P.A.R. / 200) \quad (25)$$

Sendo:

P.A.R. : Radiação Fotossinteticamente Ativa, dada em ($\mu\text{moles/s.m}^2$);

I_s : corrente de saída do sensor, dada em (μA).

Equacionamento do Circuito Condicionador de Sinal (CCS)

O sinal do sensor está dentro de uma faixa de 0 a $10\mu\text{A}$ e, portanto deverá ser colocado na faixa compatível com o conversor A/D. O diagrama de bloco do circuito condicionador de sinal é mostrado na Figura 3.25:



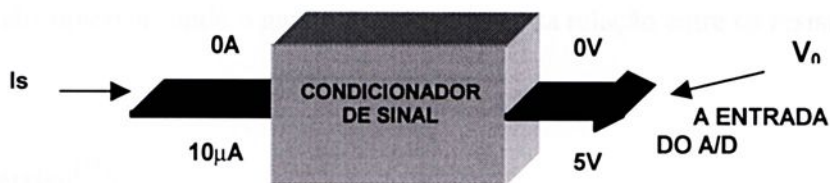


Figura 3.25 – Diagrama de bloco do condicionador de sinal do sensor de radiação.

O condicionador de sinal possui a seguinte função de transferência:

$$m = \Delta V_o / \Delta I_s$$

$$m = (5 - 0) / (10 \times 10^{-6} - 0)$$

$$m = 0,5 \text{ V}/\mu\text{A}$$

Logo, a Equação final do sistema condicionador de sinal será:

$$V_o = (0,5 \times I_s) \quad (26)$$

Sendo:

V_o : tensão de saída do condicionador de sinal, dada em (V);

I_s : corrente de saída do sensor em (μA).

Condicionador de Sinal

Existem diversas maneiras de tratar este sinal. A proposta neste estudo é um sistema que utiliza dois conversores. O primeiro é um conversor corrente-tensão, onde o ganho é dado por apenas 1 resistor, ou seja, a tensão de saída (V_s) é dada pelo produto da corrente de

entrada (I_s) pelo resistor (R_1). Já o segundo é um conversor tensão-tensão constituído por um amplificador não-inversor, onde o ganho é dado através da relação entre os resistores R_2 e R_3 .

Diagrama Elétrico^[17]:

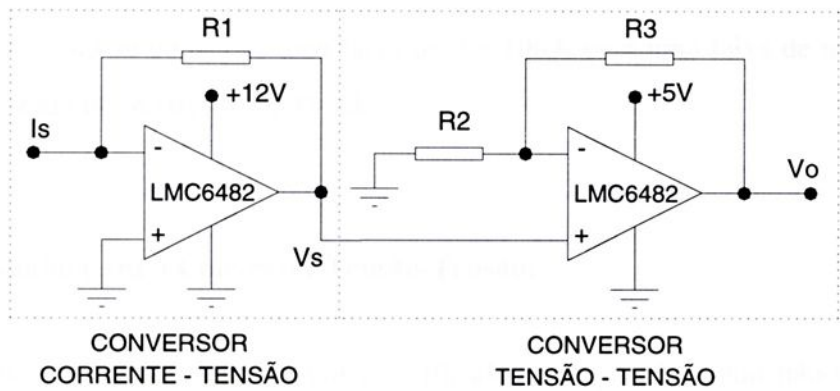


Figura 3.26 – Diagrama elétrico do circuito condicionador de sinal para o sensor de radiação

Cálculo do Ganho para o Conversor Corrente-Tensão:

O objetivo do conversor corrente-tensão é converter o sinal de saída do sensor de radiação de uma faixa de 0 a $10\mu A$ para uma faixa de tensão entre 0 e $1V_{DC}$. Para isso a tensão de saída do circuito é calculada através da Equação 27.

$$V_s = R_1 \times I_s \tag{27}$$

Sendo:

V_s : tensão de saída do conversor corrente-tensão, dada em (V);

R_1 : resistor, dado em (Ω);

I_s : corrente de saída do sensor de radiação, dada em (A).



Utilizando-se a Equação 27, tem-se:

$$R_1 = \Delta V_s / \Delta I_s$$

$$R_1 = (1 - 0) / (10 \times 10^{-6} - 0)$$

$$R_1 = 100\text{k}\Omega$$

Portanto, para se converter uma faixa de 0 a $10\mu\text{A}$ para uma faixa de tensão entre 0 e $1V_{\text{DC}}$ será utilizado um resistor de $100\text{ k}\Omega$.

Cálculo do Ganho para o Conversor Tensão-Tensão:

O conversor tensão-tensão é um amplificador configurado como não-inversor e tem como objetivo amplificar o sinal advindo do conversor corrente-tensão para torná-lo compatível com a faixa de entrada do conversor A/D do microcontrolador. Para o cálculo do ganho é utilizada a Equação 28.

$$A = 1 + (R_3 / R_2) \quad (28)$$

$$5 = 1 + (R_3 / R_2) \quad \Rightarrow \quad R_3 = 4 \times R_2$$

De acordo com valores comerciais, foram escolhidos os seguintes valores: ($R_2 = 30\text{k}\Omega$) e ($R_3 = 120\text{k}\Omega$).



3.11 – SISTEMA DE TRANSMISSÃO DE DADOS

Para a composição do sistema de transmissão de dados foram utilizados um par de modems e um par de rádios para comunicação ponto-a-ponto (*transceiver*).

O modem possibilitará que as informações dos sensores da estação meteorológica sejam enviadas através das ondas de rádio (RF). Portanto, a estação meteorológica em questão possuirá o sistema de aquisição e armazenamento de dados conectado a um modem e este conectado a um rádio transmissor. Já o local de destino das informações possuirá um receptor conectado a um modem e este conectado a um PC.

A Figura 3.27 ilustra o sistema de transmissão de dados.

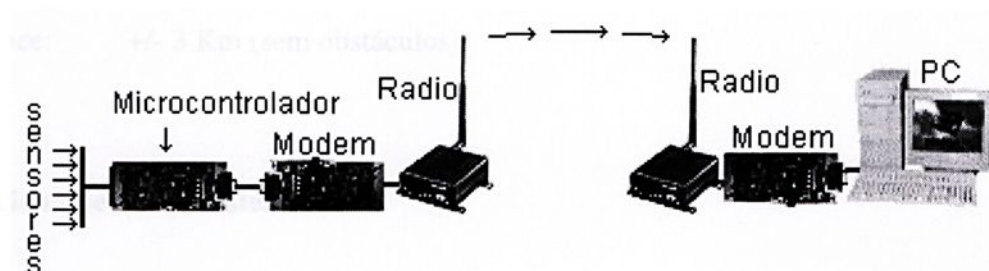


Figura 3.27 – Sistema de transmissão de dados

Especificações do Modem:

Modelo: Rádio Modem AFSK 1200 bps *Full-Duplex*

Fabricante: ABC Microcontrolador

Relação Sinal/Ruído: >35dB

Nível de Saída de Áudio: 100mV

Resposta de Frequência: 100Hz – 5KHz

Nível de Saída de Dados: 1Vp-p

Potência: 1mW

Modulação: AFSK (*Audio Frequency Shift Keying*)

Modo: *Full-Duplex*

Velocidade: 1200 bps

Interface: Serial RS-232 com conector DB-9

Especificações do Rádio-Transmissor:

Modelo: *Talkabout* T5420

Fabricante: Motorola

Frequência: UHF (462.550 a 467.725MHz)

Canais: 14

Alcance: +/- 3 Km (sem obstáculos)

Funcionamento do Sistema:

Após coletar e armazenar os dados dos sensores, o microcontrolador enviará estas informações a cada 60 segundos para a sua saída serial RS-232. Estas informações são transferidas para o modem através de um cabo serial e após passarem pelo modem estas são enviadas para o rádio através de uma conexão com a entrada de microfone disponível no mesmo. O rádio possui um sistema chamado VOX que aciona o transmissor pela voz quando utilizado um microfone, mas ao invés de se utilizar um microfone e a voz como sinal modulante, foi utilizado o sinal de saída do modem que contém as informações dos sensores. Quando as informações chegam a entrada do rádio, estas são transmitidas automaticamente para o receptor no local de destino.

Ao chegarem ao receptor estas informações são enviadas ao modem através do conector de saída para fone de ouvidos. Após passarem pelo modem o sinal que contém as informações da estação meteorológica é enviado para a porta serial do PC para serem mostradas na tela do monitor ou enviadas para uma página da Internet.



Capítulo IV

PROJETO DO SOFTWARE DE GERENCIAMENTO DO SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS E SISTEMA DE TRANSFERÊNCIA DE DADOS PARA A INTERNET

Este capítulo descreve a maneira pela qual foi construído o software que faz o gerenciamento do sistema de aquisição de dados e a forma pela qual os dados são enviados para a Internet.

4.1 – INTRODUÇÃO

Antes da construção do programa para esta aplicação, deve-se definir de forma lógica as tarefas que o microcontrolador deverá realizar para atender os objetivos pré-definidos do sistema de aquisição de dados. Este programa foi construído para realizar as seguintes tarefas:

- Medir a temperatura, umidade relativa, direção do vento, radiação solar, velocidade do vento e precipitação pluviométrica em intervalos de 60s (1 minuto);
- Colocar todos os valores medidos em suas respectivas escalas e unidades;
- Mostrar na tela do monitor a mensagem de apresentação da estação meteorológica;
- Mostrar na tela do monitor os valores das leituras de cada sensor.



4.2 – ROTINAS DE PROGRAMAÇÃO

Para que as tarefas citadas no sub-item 4.1 fossem realizadas pelo microcontrolador, foram construídas as seguintes rotinas de programação:

Iniciar:

A rotina Iniciar faz a limpeza da tela do monitor removendo qualquer caractere existente e mostra a mensagem de apresentação da estação meteorológica.

Limpar:

Esta rotina tem a finalidade de limpar os *buffers*, ou seja, quando se inicia a execução do programa, a RAM local deverá conter lógica “0” (estar vazia). Por esta razão, inclui-se uma pequena rotina que limpa todos os *buffers* de memória antes da utilização das rotinas de interesse.

Metemp:

Esta rotina realiza cinco tarefas, que são: (1) Inicia o registrador do conversor A/D; (2) Executa um tempo de espera para que o conversor A/D tenha tempo suficiente para completar uma conversão; (3) Faz a leitura da conversão A/D armazenada no registrador; (4) Converte o valor digital na escala conveniente, ou seja, entre 0°C e +60°C; e (5) Armazena o valor escalonado em graus Celsius em um *buffer*.

Deve-se dar maior atenção à tarefa (4), pois, nela é feita a multiplicação do valor obtido do conversor A/D por 235 ou (EB_{HEX}). Esta multiplicação é feita porque, desde que o conversor A/D é uma unidade de 8 bits, ele fornecerá ($2^8 = 256$) valores de contagem com escala de 0 a 255_{DEC}. Portanto, como o sensor tem uma escala de 0°C a +60°C (faixa de 60°C),



a 0°C a contagem será 0_{DEC} (00_{HEX}) e a +60°C a contagem será 255_{DEC} (FF_{HEX}). Então cada bit representa:

$$(60^{\circ}\text{C} / 255) = 0,235^{\circ}\text{C/bit}$$

Desde que 0,235 (235×10^{-3}) é uma constante, esta tornar-se-á um valor fixo dentro do programa. A instrução de multiplicação na CPU opera em números binários, portanto, o programa precisa conter um equivalente de 235 que é EB_{HEX}.

Leitura de Umidade, Direção e Velocidade do Vento, Radiação e Índice Pluviométrico:

A forma pela qual é realizada a leitura de umidade, direção e velocidade do vento, radiação e índice pluviométrico é análoga a forma utilizada para a leitura de temperatura, ou seja, é realizada a leitura dos sensores; os valores das leituras são convertidos de hexadecimal para decimal pela rotina Hexdec; após a conversão para decimal, ocorre a verificação de algarismo significativo pela rotina Rndoff; e finalmente os valores em decimais são mostrados na tela do monitor através da rotina Output.

Tatraso:

A expectativa é que o microcontrolador realize as leituras dos sensores a cada 60s e mostre na tela. Isto requer que o programa contenha uma rotina com tempo de espera, ou seja, o microcontrolador faz uma leitura de todos os sensores, mostra na tela durante 60s e após este tempo mostra nova leitura durante 60s e assim sucessivamente.



4.3 - FLUXOGRAMA

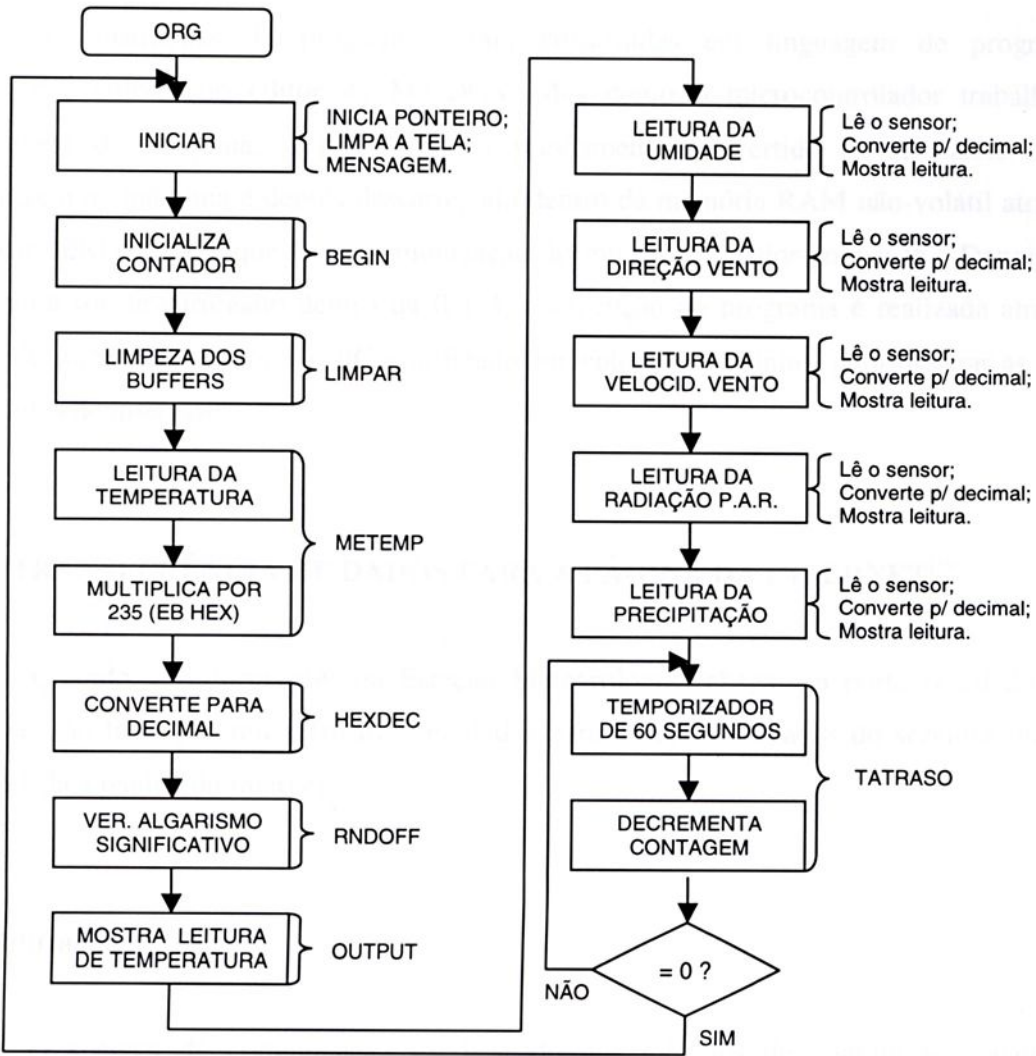


Figura 4.1 – Fluxograma completo do programa de gerenciamento do sistema

4.4 – PROGRAMA

O programa que gerencia o sistema de aquisição de dados foi construído em linguagem de programação *Assembler* e está descrito juntamente com seus comentários no Apêndice B.

4.5 – **DOWNLOAD DO PROGRAMA PARA A MEMÓRIA NÃO-VOLÁTIL**

As instruções do programa foram construídas em linguagem de programação *Assembler* através do editor do MS-DOS. Mas como o microcontrolador trabalha com linguagem de máquina, o programa foi previamente convertido de *Assembler* para a linguagem de máquina e depois descarregado dentro da memória RAM não-volátil através do software PROCOMM que faz a comunicação do microcontrolador com o PC. Depois que o programa foi descarregado dentro da RAM, a execução do programa é realizada através da CPU do microcontrolador e o PC é utilizado somente como monitor para mostrar as leituras dos dados de interesse.

4.6 – **TRANSFERÊNCIA DE DADOS PARA A PÁGINA DA INTERNET^[19]**

Quando as informações da Estação Meteorológica chegam a porta serial do PC as mesmas são lidas por um software e enviadas para o banco de dados do servidor onde está hospedada a página da Internet.

Comunicação:

O sistema de comunicação foi baseado nos modelos de comunicação padrão da Internet, sendo possível desta forma a utilização de tecnologia já existente reduzindo assim o custo do projeto.

O protocolo utilizado para o tráfego de dados foi o TCP/IP. Este protocolo possibilita a conexão a bancos de dados existentes em seu endereço local como também a bancos de dados hospedados em máquinas remotas.



Armazenamento:

O sistema de banco de dados implementado foi o *MySQL*. A vantagem da utilização deste sistema é o reconhecimento de diversos tipos de dados, além de ser indicado no desenvolvimento de aplicações de pequeno e médio porte.

Linguagem de Programação:

A linguagem de programação é a forma onde se transmite ao computador instruções para que tarefas sejam realizadas. As linguagens que foram utilizadas foram o *HTML* e o *PHP*. Uma página *HTML* contém marcas *HTML*, que são comandos embutidos que fornecem informações sobre a estrutura, aparência e conteúdo da página, onde os navegadores *Web* usam estas informações para determinar como exibir a página. *PHP* é uma das linguagens mais utilizadas na Internet atualmente. Esta linguagem possui muitas vantagens, tais como, ser gratuito, facilidade de conexão com bancos de dados e estar embutido dentro do código *HTML*, podendo desta forma extrair o que há de melhor em ambas linguagens.

Sistema Operacional:

O sistema operacional escolhido foi o *Linux* que é baseado em *Unix*. Este sistema possui custo de aquisição muito baixo, que foi um fator avaliado para a viabilização do projeto. Quanto ao seu desempenho, consegue utilizar melhor os recursos disponíveis do computador onde está instalado. O sistema possui boa segurança como o *Unix* possibilitando assim maior confiança, pois, seu funcionamento será de 24 horas e 7 dias por semana.



Servidor *Web*:

O servidor de *Web* é o local onde foi hospedado o *site* do sistema e toda a logística de apresentação das pesquisas. O servidor definido para este projeto foi o *Apache*, que é totalmente compatível com o sistema operacional *Linux*, com as linguagens *HTML* e *PHP*, e com o banco de dados *MySQL*. O *Apache* possui alto grau de confiabilidade para hospedar desde uma página da internet até grandes sistemas corporativos.



Capítulo V

RESULTADOS EXPERIMENTAIS OBTIDOS

Neste capítulo são apresentados os resultados desde os sistemas condicionadores de sinais dos sensores até a obtenção dos dados de interesse na tela do monitor de um PC.

5.1 – INTRODUÇÃO

Após a conclusão de todas as etapas do projeto do sistema de aquisição de dados, bem como, a expansão de memória para o *kit* microcontrolador, o sistema de condicionamento dos sinais dos sensores, a programação e o funcionamento do microcontrolador, será apresentado neste capítulo os resultados experimentais obtidos desde a etapa de expansão de memória até o funcionamento do sistema, ou seja, o monitoramento em tempo real dos sensores de uma estação meteorológica.

5.2 – EXPANSÃO DE MEMÓRIA

Antes de se adicionar memória ao microcontrolador 68HC11 o mesmo possuía uma quantidade de memória limitada, ou seja, 8 Kbytes de ROM, 512 bytes de RAM e 512 bytes de EEPROM. A Figura 5.1 ilustra o mapa de memória do 68HC11 antes da adição de memória ao sistema.



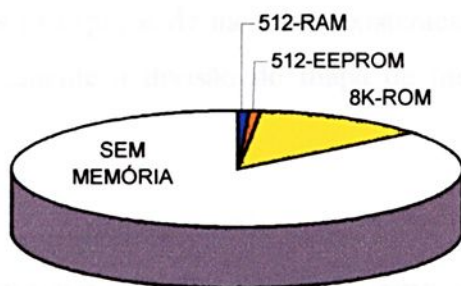


Figura 5.1 – Mapa de memória antes da adição de memória

Como o microcontrolador permite a conexão de dispositivos externos de memória e o sistema necessitava de uma memória para armazenar o programa de gerenciamento e uma memória para armazenar dados temporários, a opção foi a utilização de dois módulos de memória independentes. O primeiro módulo é uma RAM não-volátil de 64Kbytes, onde foi armazenado o programa gerenciador do sistema. Já o segundo módulo de memória é uma RAM estática convencional de 64Kbytes, onde são armazenados os dados temporários.

O resultado obtido foi o preenchimento do espaço “em branco” no mapa de memória ilustrado na Figura 5.1. A Figura 5.2 mostra de que maneira este espaço foi preenchido e as proporções de cada tipo de memória.

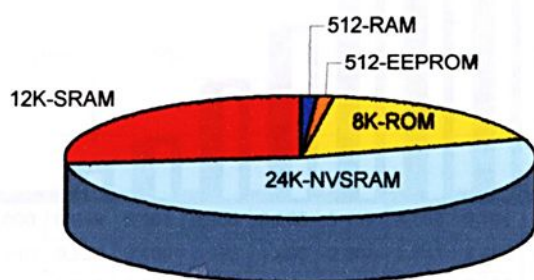


Figura 5.2 – Mapa de memória após a adição de memória

Foram adicionados 128 Kbytes de memória ao sistema sendo 64 Kbytes de SRAM e 64 Kbytes de NVSRAM, porém, o espaço total do mapa de memória do 68HC11 é de 64 Kbytes onde estão localizados todos os espaços de memória existentes. Após a adição de memória o 68HC11 realizou automaticamente a divisão do mapa de memória conforme ilustrado na figura 5.2.

5.3 – CONDICIONAMENTO DE SINAIS (INTERFACES ANALÓGICAS)

5.3.1 – AMPLIFICADOR OPERACIONAL

Os circuitos de condicionamento de sinais utilizados neste projeto possuem amplificadores operacionais *rail-to-rail*, ou seja, amplificadores que utilizam uma única fonte de alimentação. Antes da confecção dos circuitos de condicionamento de sinais foi realizada uma simulação onde o amplificador em questão foi configurado como amplificador não-inversor com ganho de 5V/V e sua resposta é apresentada na Figura 5.3.

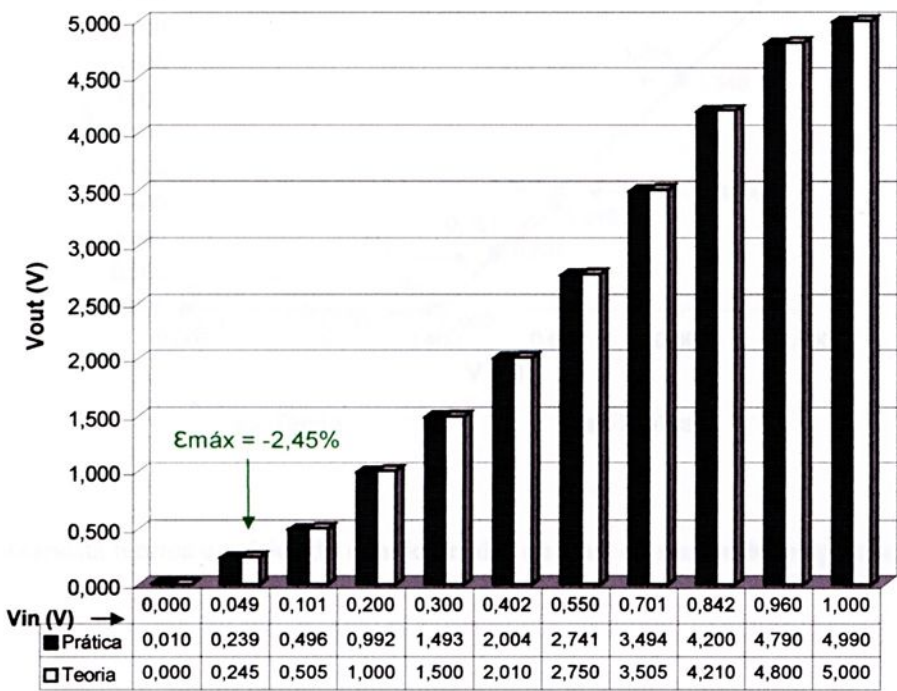


Figura 5.3 – Resposta teórica e prática do amplificador operacional AD6482.

Através da Figura 5.3, pode-se observar que o resultado obtido com a simulação (prática) é bastante próximo da resposta teórica. Sendo assim, os resultados obtidos foram de fundamental importância na escolha deste amplificador operacional para a confecção dos circuitos condicionadores de sinais dos sensores.

5.3.2 – SENSOR DE TEMPERATURA

Como foi utilizada apenas a escala positiva de temperatura, a faixa útil de sinais de saída do sensor é de $0,4V_{CC}$ à $1V_{CC}$. Porém, como esta faixa é incompatível com a faixa de sinais de entrada do conversor A/D, a mesma foi condicionada para a faixa adequada, ou seja, de $0V$ à $5V_{CC}$. A Figura 5.4 mostra a resposta do condicionador de sinal para o sensor de temperatura.

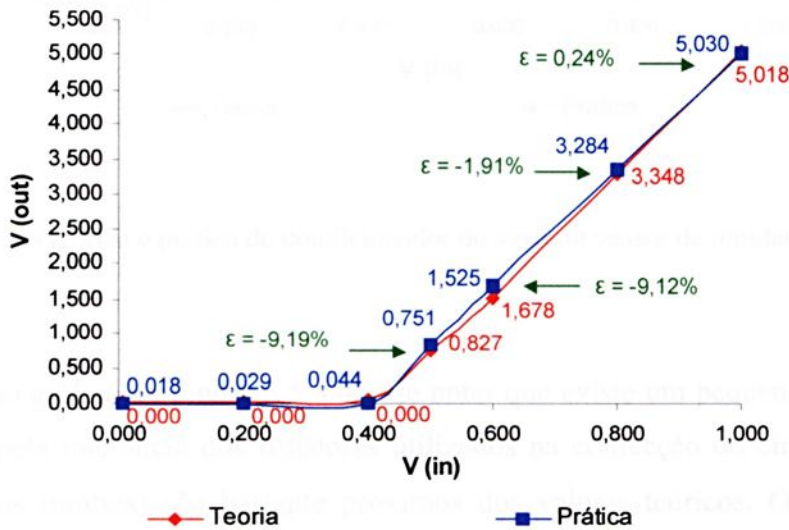


Figura 5.4 – Resposta teórica e prática do condicionador de sinal do sensor de temperatura.

Comparando-se os resultados obtidos (prática) com os valores ideais (teoria) pode-se notar um pequeno desvio de uma curva para outra devido à tolerância dos resistores utilizados no circuito. O erro percentual (ϵ) máximo é de 9,19%.



5.3.3 – SENSOR DE UMIDADE RELATIVA

A faixa do sinal de saída do sensor de umidade relativa é de 0V à 1V_{CC} e foi condicionada para a faixa compatível do conversor A/D que é de 0V a 5V_{CC}. A Figura 5.5 mostra a resposta do condicionador de sinal para o sensor de umidade relativa.

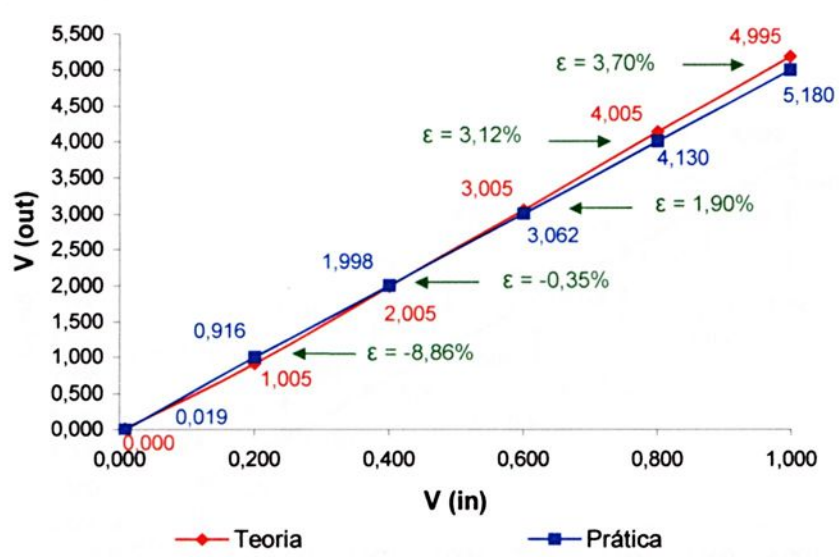


Figura 5.5 – Resposta teórica e prática do condicionador de sinal do sensor de umidade relativa.

Através do gráfico da Figura 5.5, pode-se notar que existe um pequeno desvio entre as curvas causado pela tolerância dos resistores utilizados na confecção do circuito, porém, os resultados obtidos (prática) são bastante próximos dos valores teóricos. O erro percentual máximo é 8,86%.



5.3.4 – SENSOR DE VELOCIDADE DO VENTO

O sinal proveniente do sensor de velocidade é uma tensão CA senoidal com amplitude variável entre 0V e 4V_(PICO). Como este sinal é incompatível com a faixa de entrada do conversor A/D do microcontrolador, o mesmo foi condicionado para se tornar adequado, ou seja, de 0V à 5V_{CC}. O gráfico da Figura 5.6 mostra a resposta do circuito condicionador de sinal para o sensor de velocidade do vento.

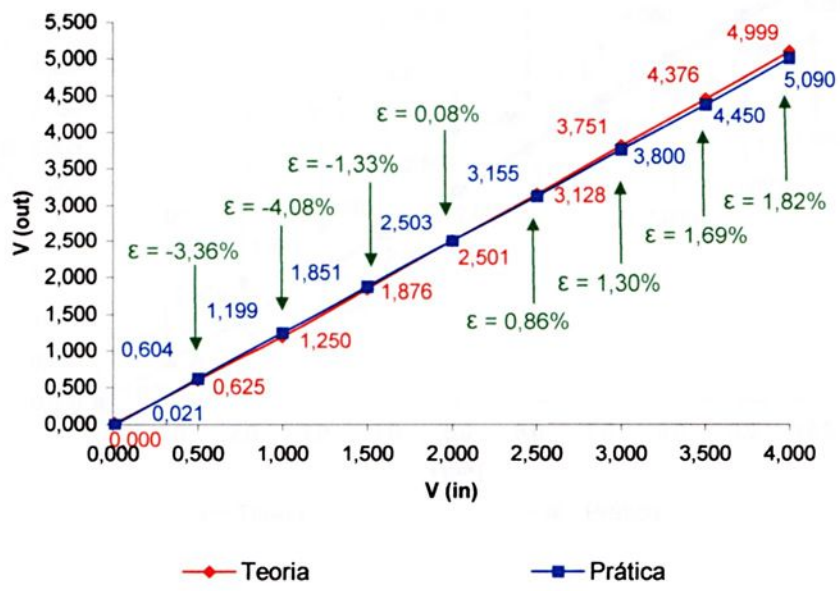


Figura 5.6 – Resposta teórica e prática do condicionador de sinal do sensor de velocidade do vento.

Os resultados obtidos do circuito condicionador de sinal (prática) possuem pequenos desvios em relação aos valores teóricos, onde, o erro percentual máximo é de 4,08%.

5.3.5 – SENSOR DE RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA

O sinal de saída do sensor de radiação é corrente na faixa de 0 a 10μA e foi condicionado para tensão na faixa de 0 à 5V_{CC}. A Figura 5.7 mostra o gráfico da resposta do condicionador de sinal deste sensor.

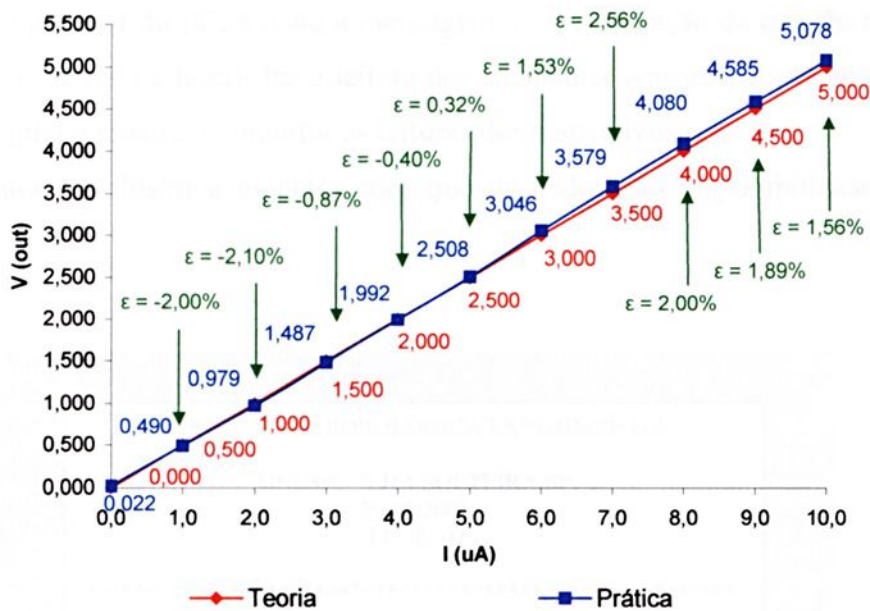


Figura 5.7 – Resposta teórica e prática do condicionador de sinal do sensor de radiação.

O desvio entre as curvas é devido à tolerância dos resistores utilizados no circuito de condicionamento de sinal. O erro percentual máximo é de 2,56%.

5.4 – PROGRAMAÇÃO E FUNCIONAMENTO

O programa construído em *Assembler* foi convertido para linguagem de máquina e descarregado no dispositivo de memória não-volátil através do *software* de comunicação que faz a comunicação entre o PC e o microcontrolador. Uma vez armazenado na memória o PC servirá somente para mostrar em seu monitor as leituras dos sensores. Após um *reset* no *kit* microcontrolador o programa armazenado gerencia o sistema de aquisição de dados, ou seja, limpa a tela do monitor do PC, mostra a mensagem de apresentação da estação meteorológica (nome, localização, data e hora), faz a leitura dos sinais dos sensores, converte os dados para um formato digital e mostra no monitor as leituras dos respectivos sensores.

A Figura 5.8 ilustra a maneira com que os dados são disponibilizados na tela do monitor do PC.

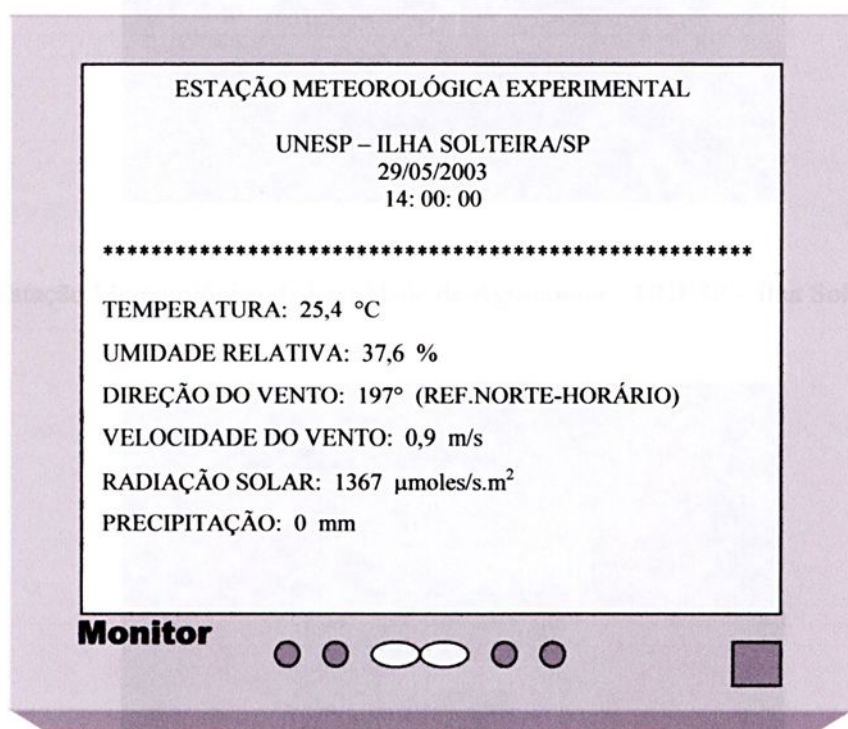


Figura 5.8 – Dados obtidos do sistema e mostrados na tela do monitor do PC a cada 60segundos

5.5 – AQUISIÇÃO DE DADOS

Com o sistema em pleno funcionamento, foi realizada uma aquisição de dados dos sensores da Estação Meteorológica instalada na Faculdade de Agronomia – UNESP – Campus de Ilha Solteira/SP, no dia 29 de maio de 2003 no período das 14 horas às 17 horas. A Figura 5.9 mostra a foto da Estação e a Figura 5.10 mostra a foto do sistema de condicionamento, armazenamento e transmissão de sinais, instalados próximo ao tripé da Estação.



Figura 5.9 – Estação Meteorológica da Faculdade de Agronomia – UNESP – Ilha Solteira/SP

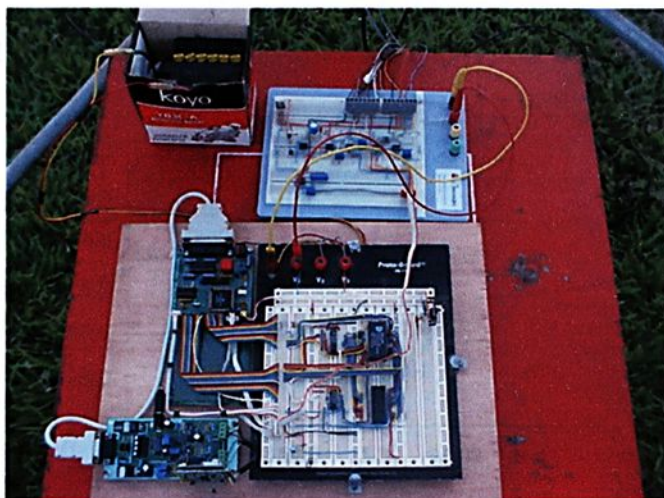


Figura 5.10 – Sistema de condicionamento, armazenamento e transmissão de sinais.

5.5.1 – SENSORES

No período compreendido entre 14 horas e 17 horas foi realizado em intervalos de 60s o monitoramento das condições climáticas através dos seguintes sensores:

Sensor de Temperatura:

O gráfico da Figura 5.11 mostra os dados obtidos do sensor de temperatura.

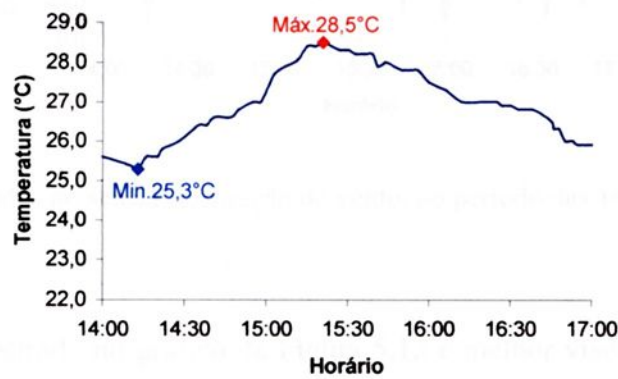


Figura 5.11 – Dados obtidos do sensor de temperatura, no período das 14 Hs às 17 Hs.

Sensor de Umidade Relativa:

A Figura 5.12 mostra o gráfico dos resultados do sensor de umidade relativa.

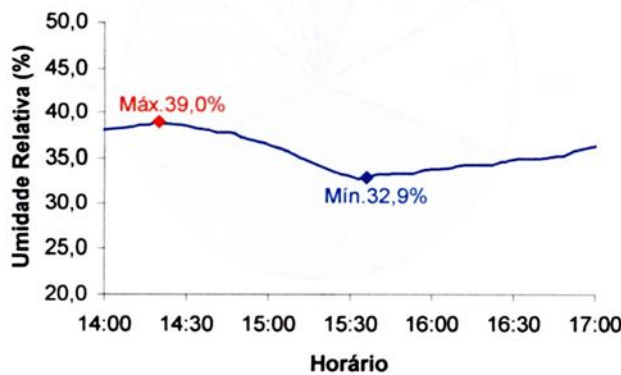


Figura 5.12 – Dados obtidos do sensor de umidade relativa, no período das 14 Hs às 17 Hs.



Sensor de Direção do Vento:

Os resultados obtidos do sensor de direção do vento são mostrados na Figura 5.13.

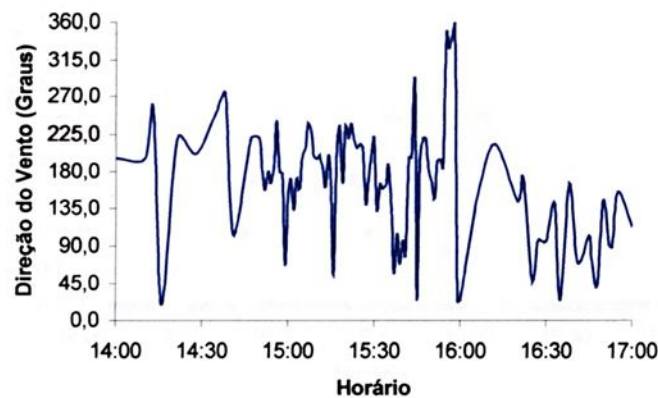


Figura 5.13 – Dados obtidos do sensor de direção do vento, no período das 14 Hs às 17 Hs.

O resultado mostrado no gráfico da Figura 5.13 é melhor visualizado e compreendido no gráfico da Figura 5.14, onde, é mostrada em percentual a direção predominante do vento no período das 14 Hs às 17 Hs.

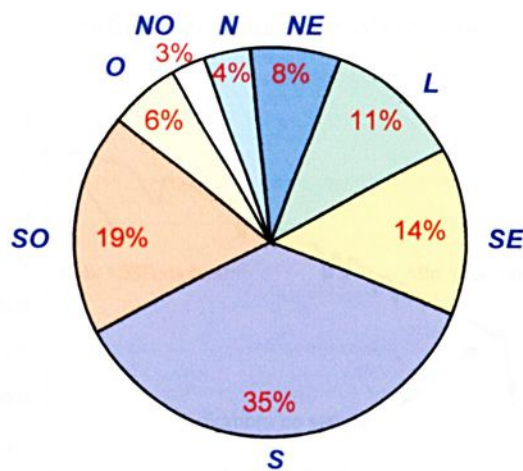


Figura 5.14 – Direção predominante do vento em percentual, no período de 14 Hs às 17 Hs.

Sensor de Velocidade do Vento:

O gráfico da Figura 5.15 mostra os dados obtidos do sensor de velocidade do vento.

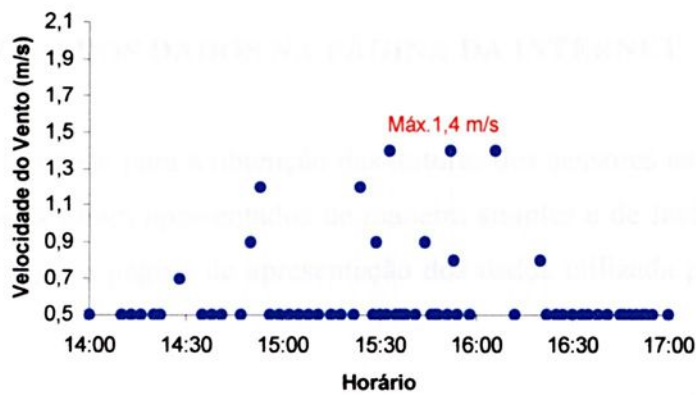


Figura 5.15 – Dados obtidos do sensor de velocidade do vento, no período das 14 Hs às 17 Hs.

Como pode ser notado no gráfico da Figura 5.15, o período no qual foi realizada a aquisição de dados foi de pouca ocorrência de ventos, ou seja, variações esporádicas e com pequenas velocidades.

Sensor de Radiação Fotossinteticamente Ativa:

A Figura 5.16 mostra o gráfico dos resultados obtidos do sensor de radiação solar.

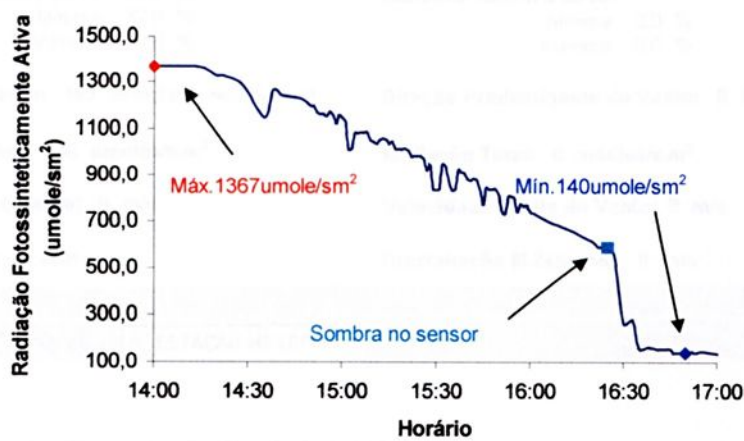


Figura 5.16 – Dados obtidos do sensor de radiação, no período das 14 Hs às 17 Hs.

Nota-se que por volta das 16:30 Hs ocorre uma queda brusca na curva de radiação fotossinteticamente ativa, isto deveu-se à ocorrência de sombra na superfície do sensor.

5.6 – APRESENTAÇÃO DOS DADOS NA PÁGINA DA INTERNET

Foi realizado um teste para a obtenção das leituras dos sensores na página de Internet, onde os dados coletados foram apresentados de maneira simples e de fácil entendimento. Na Figura 5.17 pode ser vista a página de apresentação dos dados utilizada para a realização do teste.

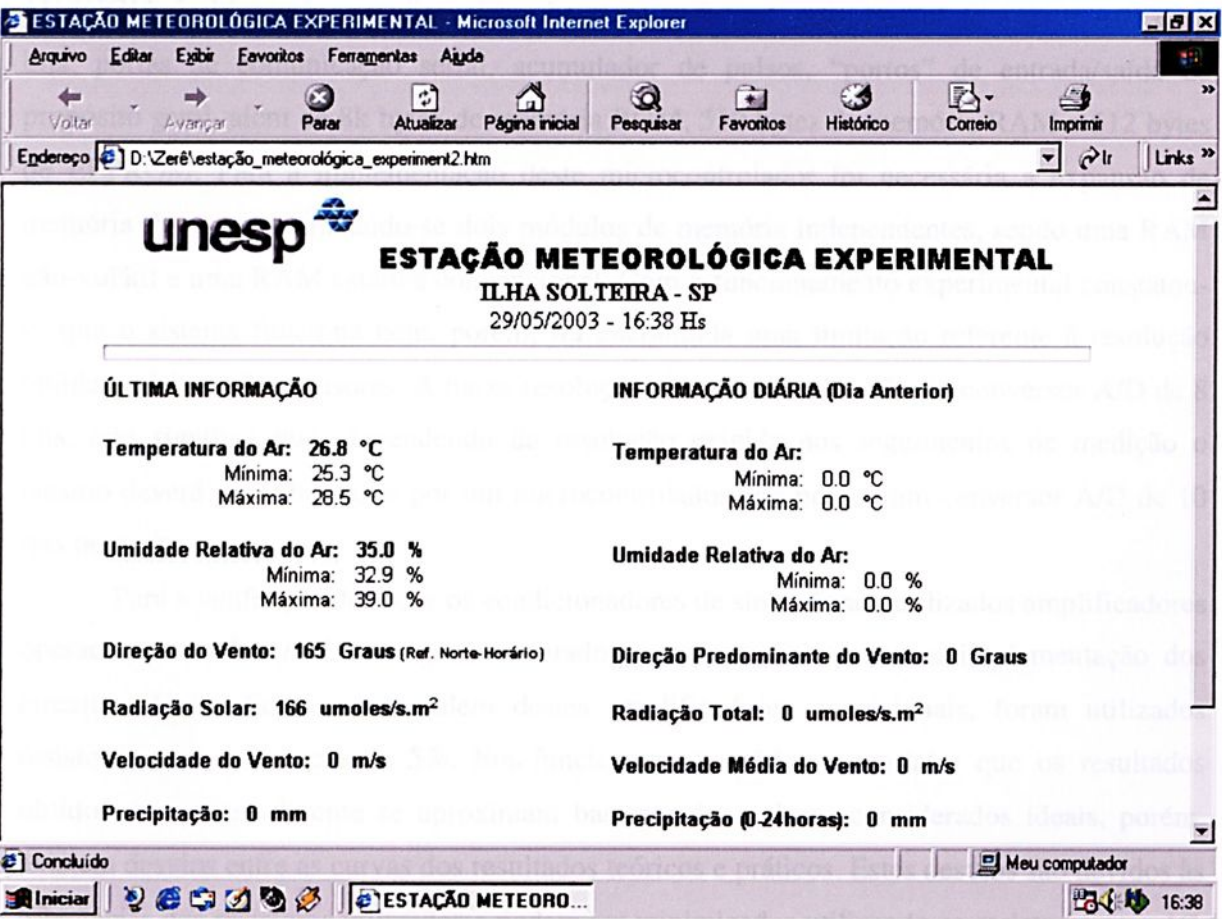


Figura 5.17 – Página de apresentação dos dados na Internet.

Capítulo VI

CONCLUSÕES

Para a concepção do projeto de pesquisa proposto, foi criado um sistema de aquisição de dados utilizando-se um microcontrolador. O microcontrolador escolhido foi o modelo M68HC11 da Motorola, um dispositivo bastante poderoso, pois, possui conversor A/D de 8 bits, portas de comunicação serial, acumulador de pulsos, “portos” de entrada/saída de propósito geral, além de 8k bytes de memória ROM, 512 bytes de memória RAM e 512 bytes de EEPROM. Para a implementação deste microcontrolador foi necessária a expansão de memória do mesmo utilizando-se dois módulos de memória independentes, sendo uma RAM não-volátil e uma RAM estática convencional. Com o funcionamento experimental constatou-se que o sistema funciona bem, porém, foi encontrada uma limitação referente à resolução obtida na leitura dos sensores. A baixa resolução é devida à utilização do conversor A/D de 8 bits, que significa que, dependendo da resolução exigida nos seguimentos de medição o mesmo deverá ser substituído por um microcontrolador que possua um conversor A/D de 10 bits ou mais.

Para a confecção de todos os condicionadores de sinais foram utilizados amplificadores operacionais *rail-to-rail*, ou seja, alimentados por fonte única. Para a implementação dos circuitos de condicionamento, além destes amplificadores operacionais, foram utilizados resistores com tolerância de 5%. Em funcionamento pôde-se constatar que os resultados obtidos experimentalmente se aproximam bastante dos valores considerados ideais, porém, existem desvios entre as curvas dos resultados teóricos e práticos. Estes desvios são devidos às tolerâncias dos resistores utilizados e podem ser minimizados utilizando-se resistores com 1% de tolerância.



O sistema de transmissão foi composto por um par de radio-modems com velocidade de 1200 bps, sendo um instalado na Estação Meteorológica para transmitir as informações dos sensores e outro instalado no local de destino das informações. Com o sistema em funcionamento constatou-se que o mesmo atingiu o objetivo esperado, ou seja, a transmissão das informações dos sensores sem a ocorrência de interferência ou distorção das informações. O sistema foi considerado de baixa velocidade devido à taxa de transmissão do modem empregado. É possível a obtenção de uma transmissão com velocidade de até 9600 bps, porém, deverá ser empregado um conjunto rádio-modem compatível com a velocidade desejada, o que conseqüentemente acarretará um aumento significativo no custo do sistema.

No dia 29 de maio de 2003 no período das 14 horas às 17 horas o sistema na íntegra foi colocado em funcionamento, ou seja, o sistema de aquisição, armazenamento e transmissão de dados foi acoplado a Estação Meteorológica instalada na Faculdade de Agronomia – UNESP – Campus de Ilha Solteira/SP. O sistema funcionou automaticamente realizando a leitura dos sensores, condicionando os sinais e transmitindo-os através de rádio para um PC em local remoto. Os dados além de serem visualizados na tela do monitor foram enviados automaticamente para um banco de dados para consulta através de uma página da Internet. Para a comprovação do funcionamento do sistema, foi acessada a página de apresentação dos dados através de um PC habilitado na Rede Mundial de Comunicações (WWW). Pôde-se constatar que as informações foram obtidas de maneira simples e de fácil entendimento, com atualizações a cada 60 segundos, além de registros de valores mínimos e máximos.

Conclui-se, portanto, que o projeto de pesquisa desenvolvido atendeu plenamente às expectativas, sendo um sistema bastante dinâmico, de fácil utilização, baixo custo e obtenção de dados de fácil compreensão.

Para trabalho futuro sugere-se o desenvolvimento de um amplo sistema de monitoramento meteorológico, onde haja o recebimento, tratamento e apresentação de dados meteorológicos advindos de diversas Estações Meteorológicas distribuídas em vários pontos, possibilitando assim, criar um sistema que monitore uma ampla região geográfica com fornecimento de informações históricas e em tempo real de uma forma bastante didática.



BIBLIOGRAFIA

- [1] JOHNSEN, D. "*The Distributed Operating System Group*". Department of Computer Science, University of Thomso. Storm Cast home Page. Disponível em: <http://www.cs.uit.no/forsking/DOS/StormCast/index.html> Acesso em: 28 Jan. 2003
- [2] WITTENBRINK, C.M. "*REINAS: A Real-time Systems for Managing Enviromental Data*", Proceedings of 1996 Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering. Jun. 1996. pp. 293-300.
- [3] ROSEN, E.C., Reinas Home Page. Computer Engineering, University of California, Santa Cruz. 1995. Site de visualização do sistema REINAS. Disponível em: <http://www.cse.ucsc.edu/research/reinas> Acesso em: 28 Jan. 2003.
- [4] VOLBRECHT, A.; GORDON, W. "*Temperature Measurement: Making Sense Of It All*". June 1998. Disponível em: <http://www.sensormag.com/articles/0698/main.shtml> Acesso em: 05 dez. 2001.
- [5] DOEBELIN, ERNEST O. "*Measurement Systems Application and Designs*", 4^a. Edition. Mc Graw-Hill, 1990. 960 pg.
- [6] SIGHIERI, LUCIANO / NISHINARI, AKIYOSHI "*Controle Automático de Processos Industriais – Instrumentação*", 2^a.Edição. Editora Edgard Blucher Ltda., 1973. 234 pg.
- [7] CARR, JOSEPH J. "*Elements of Eletronic Instrumentation and Measurements*", 3^a. Edition. Prentice Hall, 1996. 593 pg.
- [8] RAMSDEN, E. "*Temperature Measurement*". September 2000. Disponível em: <http://www.sensormag.com/articles/0900/17/main.shtml> Acesso em: 05 dez. 2001.



- [9] ROVETI, DENES K. "*Choosing a Humidity Sensor: A Review of Three Technologies*". Ohmic Instruments Co.. July 2001. Disponível em: <http://www.sensorsmag.com/articles/0701/54/main.shtml> Acesso em: 05 dez. 2001.
- [10] AWTREY, D. "*A 1 – Wire Humidity sensor*". Dallas Semiconductor. August 2000. Disponível em: <http://www.sensorsmag.com/articles/0800/62/main.shtml> Acesso em: 05 dez. 2001.
- [11] Instruction Manual: "*TB4-L – Rain Gauge*". Campbell Scientific, Inc. August 2000. 6 pg.
- [12] AWTREY, D. "*The 1 – Wire Weather Station*". Dallas Semiconductor. June 1998. Disponível em: <http://www.sensorsmag.com/articles/0698/wir0698/main.shtml> Acesso em: 05 dez. 2001.
- [13] Instruction Manual: "*03001 – Wind Sentry*". Campbell Scientific, Inc. December 1996. 13 pg.
- [14] MAGINA, F.C. "*Sensores de Plataformas de Coleta de Dados*". INPE – CMCD. Maio de 2000. Disponível em: http://www.banco.cmcd.inpe.br/Sensores_1.htm Acesso em: 18 out. 2001.
- [15] DRISCOLL, F.F.; COUGHLIN, R.F.; VILLANUCCI, R.S. "*Data Acquisition and Process Control with the M68HC11 Microcontroller*", Second Edition. Prentice-Hall, 2000. 778 pg.
- [16] Instruction Manual: "*HMP45C – Temperature and Relative Humidity Probe*". Campbell Scientific, Inc. May 1998. 8 pg.
- [17] FRANCO, SERGIO "*Design With Operational Amplifiers and Analog Integrated Circuits*", Second Edition. McGraw-Hill, 1998. 668 pg.



- [18] Instruction Manual: "*LI200X – Pyramometer*". Campbell Scientific, Inc. February 1996. 6 pg.
- [19] TOSCHI SILVA, R.A. "*Sistema de Monitoramento Meteorológico*". Ilha Solteira/SP, DEE FEIS UNESP, 04 Jun. 2003. /Estudo Especial I/
- [20] PALLÁS ARENY, R. ; WEBSTER, JOHN G. "*Sensors and Signal Conditioning*", Wiley Inter Science, 1991. 398 pg.
- [21] SMITH, RALPH J. "Circuitos, Dispositivos e Sistemas", Vol.2, 2ª. Edição. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1975. 310 pg.
- [22] BENTLEY, JOHN P. "*Principles of Measurement Systems*", 2ª. Edition. Longman Scientific & Technical, 1988. 503 pg.
- [23] DALLY, J.W.; RILEY, W.F.; MCCONNELL, K.G. "*Instrumentation for Engineering Measurements*", 2ª. Edition. John Wiley & Sons, Inc, 1993. 584 pg.
- [24] BOYLESTAD, ROBERT; NASHELSKY, LOUIS "Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos", Quinta Edição. Prentice-Hall do Brasil, 1994. 858 pg.
- [25] AWTREY, D. "*A 1 – Wire Rain Gauge*". Dallas Semiconductor. December 1999. Disponível em: http://www.sensorsmag.com/articles/1299/56_1299/main.shtml
Acesso em: 05 dez. 2001.
- [26] M68HC11EV B Reference Manual. 1991. Motorola, Inc.



Apêndice A

SENSORES UTILIZADOS PARA O PROJETO

A.1 – SENSORES DE TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR

A.1.1 – Modelo e Fabricante

HMP 45 C – Campbell Scientific, Inc.

A.1.2 – Introdução

Esta combinação de sensores de temperatura e umidade relativa do ar foi projetada para aplicações meteorológicas e seus respectivos elementos sensores estão alocados dentro de um único invólucro protegido por um filtro poroso o qual garante que ambos estejam protegidos contra poeira e água. Para evitar a exposição direta dos elementos sensores à chuva e aos raios solares e também garantir que os mesmos recebam adequada ventilação para permitir o equilíbrio com a atmosfera a sua volta, o conjunto é protegido por abrigo tipo “Gill” que pode ser de plástico ou alumínio.

O elemento sensor de temperatura do ar é um resistor de platina e o elemento sensor de umidade relativa do ar é um filme posicionado entre dois eletrodos, constituindo assim um sensor capacitivo. A capacitância varia de acordo com a umidade absorvida pelo filme (dielétrico do capacitor) e representa a umidade relativa do ar.



A.1.3 – Especificações

Temperatura de Operação: -40°C a $+60^{\circ}\text{C}$

Comprimento: 25,4 cm

Diâmetro do Corpo do Elemento: 2,5 cm

Filtro: $0,2\ \mu\text{m}$ – Membrana de Teflon

Diâmetro do Filtro: 1,9 cm

Consumo: $< 4\ \text{mA}$

Tensão de Operação: 7 a $35\ \text{V}_{\text{CC}}$

Sensor de Temperatura

Sensor: Resistor de Platina ($1\ \text{k}\Omega$), IEC 751, 1/3 Classe B

Faixa de Medição: -40°C a $+60^{\circ}\text{C}$

Faixa do Sinal de Saída: 8 mV a 1V

Sensor de Umidade Relativa

Sensor: Capacitivo - HUMICAP® 180

Faixa de Medição: 0 a 100%

Precisão a 20°C : $\pm 2\%$ UR (0 a 90%)

$\pm 3\%$ UR (90 a 100%)

UR – Umidade Relativa

Dependência de Temperatura: $\pm 0,05\%$ UR/ $^{\circ}\text{C}$

Tempo de Resposta (a 20°C , 90% de resposta): 15 seg. com o filtro



A.1.4 – Instalação

O HMP 45 C é alojado dentro de um protetor contra radiação quando utilizado no campo. O protetor de radiação utilizado é o 41002 do mesmo fabricante e pode ser montado diretamente no tripé como mostra a Figura A-1 ou com um alongador (armação que distancia o elemento do tripé) mostrado na Figura A-2.

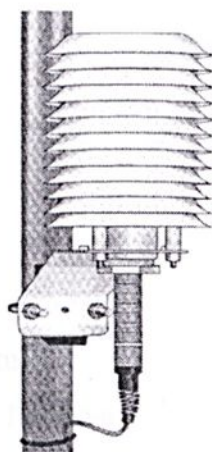


Figura A-1- Instalação do sensor diretamente no tripé

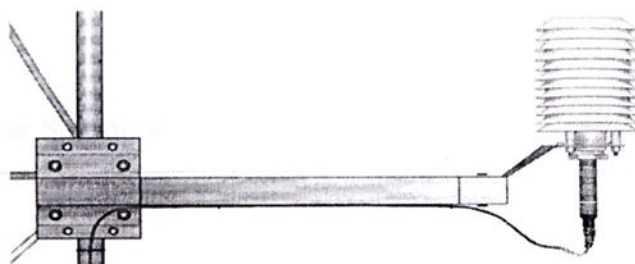


Figura A-2 – Instalação do sensor com alongador

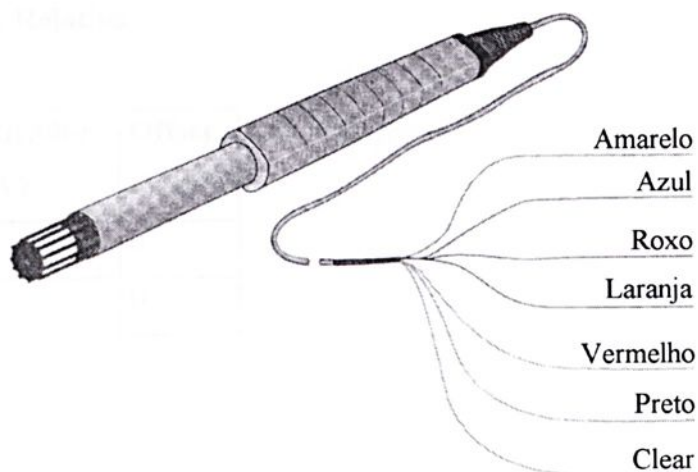


Figura A-3 – HMP 45 C (Conexões)

Onde:

Amarelo: Sinal de Temperatura
 Azul: Sinal de Umidade Relativa
 Roxo: Sinal de Referência (-)
 Laranja: Controle (Power)
 Vermelho: 12 V
 Preto: GND
 Clear: Proteção (GND)

A.1.5 – Calibração dos Sensores

Sensor de Temperatura

Unidade	Multiplicador (graus/mV)	Offset (graus)
Celsius	0,10	-40
Fahrenheit	0,18	-40

Sensor de Umidade Relativa

Unidade	Multiplicador (% / mV)	Offset (%)
Porcento	0,10	0
Fração	0,001	0

A.2 - SENSOR DE VELOCIDADE E DIREÇÃO DOS VENTOS

A.2.1 – Modelo e Fabricante

03001 / Wind Sentry – R.M. Young, Inc.

A.2.2 – Introdução

O 03001/Wind Sentry é composto por dois sensores:

- 03101-5 – Anemômetro que é utilizado para medir a velocidade do vento;
- 03301-5 – Vane que é utilizado para medir a direção do vento;

A.2.3 – Especificações

Sensor de Velocidade

Faixa de Atuação: 0 a 50 m/s (rajadas de 60 m/s)

Fator de Giro: 75 cm

Limiar: 0,5 m/s



Transdutor: Bobina estacionária com resistência nominal de $1,35\text{ k}\Omega$

Sinal de Saída do Transdutor: CA senoidal, induzido pela rotação do ímã fixado no eixo de rotação das conchas
100 mVp-p a 60 rpm
6 Vp-p a 3600 rpm

Frequência de Saída: 1 ciclo por revolução
0,75 m/s por Hz

Sensor de Direção

Faixa de Atuação: 360° (mecânicos), 355° (elétricos)

Threshold: 0,8 m/s (2,88 km/h) a 10° de deslocamento
1,8 m/s (6,48 km/h) a 05° de deslocamento

Transdutor: Potenciômetro de precisão, $10\text{ k}\Omega$ (+/- 20%) 0,5% linearidade, expectativa de vida de 50 milhões de revoluções

Excitação do Transdutor: $15\text{ V}_{\text{CC MAX}}$ (regulada)

Sinal de Saída do Transdutor: Tensão CC proporcional ao ângulo da direção do vento com a tensão de excitação regulada aplicada ao extremo do potenciômetro



A.2.4 – Instalação

O 03001-Wind Sentry pode ser montado diretamente em um tripé como mostrado na Figura A-4 ou com um alongador de alumínio (armação que distancia o elemento sensor do tripé) mostrado na Figura A-5:

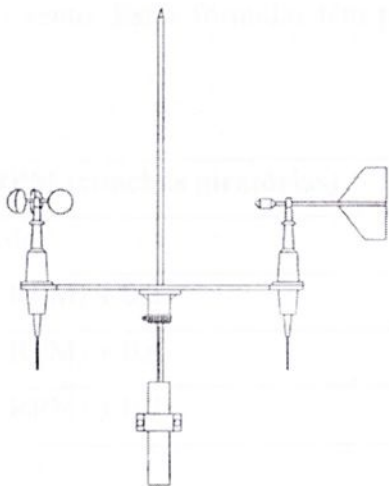


Figura A-4 – Instalação dos sensores diretamente no tripé

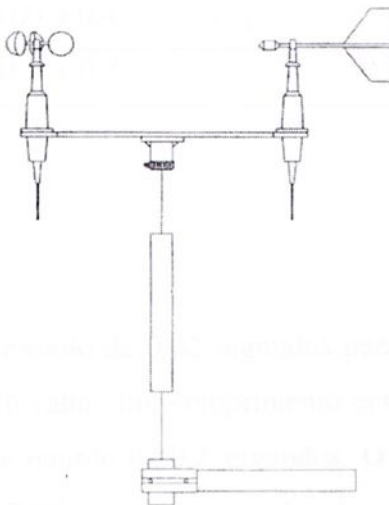


Figura A-5 – Instalação dos sensores com a utilização de um alongador

A.2.5 – Calibração

Sensor de Velocidade

A calibração deste sensor é determinada pelo fator de rotação da cúpula giratória e pelas características de saída do transdutor. As fórmulas de calibração são dadas e (rpm) e frequência versus velocidade do vento. Estas fórmulas têm precisão de 2% e são mostradas abaixo:

Velocidade do Vento Vs. RPM (conchas giratórias)	
Unidade	Multiplicador
m/s	$(0,01250 \times \text{RPM}) + 0,2$
mph	$(0,02795 \times \text{RPM}) + 0,4$
km/h	$(0,04499 \times \text{RPM}) + 0,7$

Velocidade do Vento Vs. Frequência de Saída (Hz)	
Unidade	Multiplicador
m/s	$(0,7500 \times \text{Hz}) + 0,2$
mph	$(1,6770 \times \text{Hz}) + 0,4$
km/h	$(2,6994 \times \text{Hz}) + 0,7$

Sensor de Direção

É utilizado um fator de retardo de 0,02 segundos para cabo com comprimento menor que 100 pés (30,5 m) e para um cabo com comprimento entre 100 pés (30,5 m) e 1000 pés (305 m) é utilizado um fator de retardo de 0,2 segundos. O potenciômetro deste sensor não tem rotação completa entre 0° e 360°, ele possui uma banda sem ação de 5° entre 355° e 0°.

Devido a isto, o fator de multiplicação será dado pela equação abaixo:



$$M = 355 / V_{\text{EXC}} \text{ (graus / mV)}$$

Onde:

M – Multiplicador

V_{EXC} - Tensão de Excitação

Observação: Será utilizado a partir de agora o termo “Azimute”, que é o ângulo que uma dada direção forma com a direção do norte geográfico, medido no sentido horário.

O instrumento é conectado a um circuito que condicionará o sinal, o qual tenha alguma via que indique o valor azimute. Este pode ser um display indicador de valor azimute em ângulo (graus) ou simplesmente um voltímetro monitorando a saída. Para calibração, monta-se o instrumento “Vane” com o centro de rotação coincidindo com o centro de um círculo desenhado em uma folha de papel que tenha divisões de 30° ou 45°. Os sensores de velocidade do vento (anemômetro) e de direção do vento (vane) são montados nas extremidades de uma barra horizontal de 40 cm. Na instalação destes instrumentos, o vane é orientado ao norte e o anemômetro ao sul. O vane é composto por um indicador de direção (parecido com uma seta indicadora). Com esta seta direcionada para o anemômetro, o sinal azimute corresponde a 180° ou exatamente o sul. Observando-se o alinhamento do vane com o eixo das divisões da folha de papel (30° ou 45°) e o display indicador, deve corresponder à posição do vane dentro de 5°, se não, pode ser necessário o ajuste de posição relativa.

É importante notar que a escala total do condicionamento do sinal azimute deve ser 360° e a escala total do sinal azimute do instrumento é 355°. O condicionamento eletrônico deste sinal deve ser ajustado de acordo com esta situação.

EXEMPLO: Um circuito de 0 a 1 V_{CC} representa 0° a 360°, a saída deve ser ajustada para 0,986 V_{CC} quando o instrumento estiver no fundo da escala (355°), ou seja:

$$(355^\circ / 360^\circ) \times 1V_{\text{CC}} = 0,986V$$



A.2.6-Diagrama Elétrico e Conexões

Sensor de Velocidade

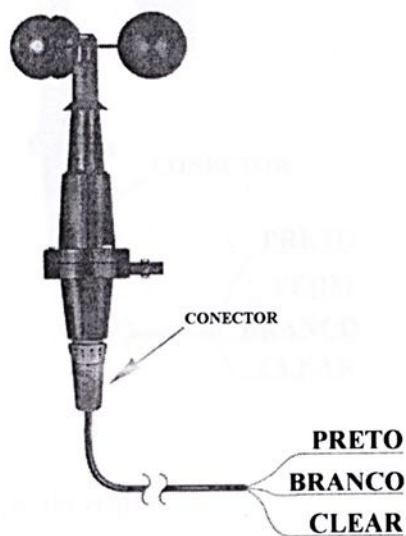


Figura A-6 – Anemômetro

Onde:

- Preto – Pulso de saída
- Branco – GND
- Clear – GND

Sensor de Direção

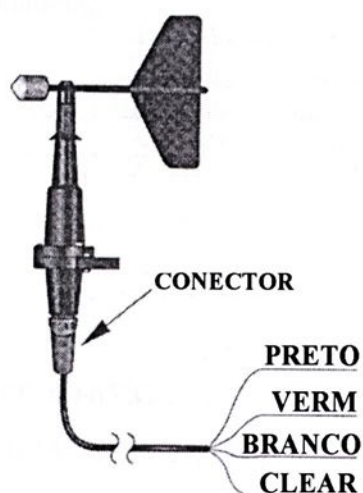


Figura A-7 – Vane (sensor de direção do vento)

A.3 – SENSOR DE RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA

A.3.1 - Modelo e Fabricante

LI190SB QUANTUM SENSOR – LI-COR, Inc.

A.3.2 - Introdução

O LI190SB realiza a medição da radiação solar com um detector fotovoltaico de silício. O sinal de saída do sensor é corrente. É utilizado um resistor shunt (paralelo) no cabo que converte o sinal de corrente em tensão, permitindo que a medição seja feita por um datalogger ou por um voltímetro. A saída do LI190SB é $(200 \mu\text{mole/s.m}^2)/\mu\text{A}$. O LI190SB não deve ser usado sob vegetação ou com luz artificial porque é calibrado para o espectro da luz visível (400 a 700 nm).



Durante a noite o LI190SB pode apresentar leitura de radiação solar negativa. Este sinal negativo é causado por ruídos de RF. Estes valores podem ser ajustados para zero no equipamento de leitura/armazenamento.

A.3.3 – Especificações

Estabilidade: $< \pm 2\%$

Tempo de Resposta: $10 \mu s$

Temperatura de Operação: $-40^{\circ}C$ a $+65^{\circ}C$

Temperatura de Dependência: $0,15\% / ^{\circ}C$

Umidade Relativa: 0 a 100%

Detetor: Detetor fotovoltaico de silício de alta estabilidade (realçado em azul)

Tamanho: 2,38 cm (diâmetro) x 2,54 cm (altura)

Peso: 28 g

Precisão: Erro absoluto à luz do dia natural de $\pm 5\%$ máximo e 3% típico

Sensibilidade: $5 \mu A / 1000 \mu moles.s^{-1}.m^{-2}$ ou $(200 \mu moles/s.m^2) / \mu A$

Linearidade: Desvio máximo de 1% acima de $10.000 \mu moles.s^{-1}.m^{-2}$

Resistor Shunt (paralelo): 604Ω

Espectro Luminoso: 400 a 700 nm

A.3.4– Instalação

O LI190SB pode ser medido com (medida diferencial de tensão). O esquema elétrico deste sensor é mostrado na Figura A-8.



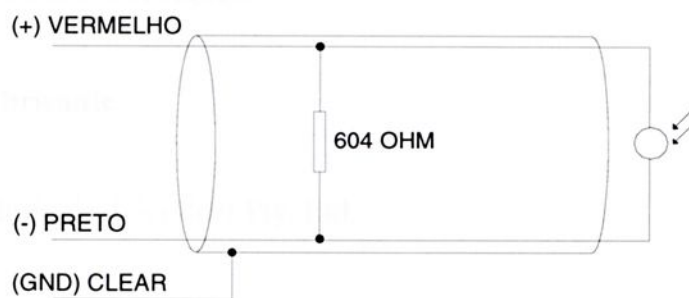


Figura A-8 – Diagrama elétrico do sensor de radiação fotossinteticamente ativa

A.3.5– Calibração

Faixa de Entrada

Através de um exemplo, é determinada a faixa de entrada ótima para uma dada calibração do sensor e máxima irradiação esperada.

Assumindo que a calibração do sensor é $(5\mu\text{A}/1000\mu\text{moles.s}^{-1}.\text{m}^{-2})$, a corrente de saída do sensor é convertida em tensão pelo resistor em paralelo (shunt) no cabo. Para converter a calibração de corrente para tensão, multiplica-se $(5\mu\text{A}/1000\mu\text{moles.s}^{-1}.\text{m}^{-2})$ por 604Ω (resistor shunt). O valor da calibração será dado pela lei de Ohm:

$$U = R \times I$$

$$U = 604 \times (5\mu\text{A}/1000\mu\text{moles.s}^{-1}.\text{m}^{-2})$$

$$U = 3,02 \text{ mV}/1000\mu\text{moles.s}^{-1}.\text{m}^{-2}$$

Observação: Uma estimativa razoável de irradiação máxima na superfície da terra é $2000\mu\text{moles.s}^{-1}.\text{m}^{-2}$. Assim, uma estimativa da máxima tensão de entrada é obtida pela multiplicação da calibração pela máxima irradiação esperada.



A.4 – SENSOR DE PRECIPITAÇÃO

A.4.1– Modelo e Fabricante

TB4-L – Hydrological Services Pty. Ltd.

A.4.2– Introdução

O sensor de precipitação ou pluviômetro é um instrumento destinado a medir precipitação (chuva) acumulada num intervalo de tempo. Consiste em um funil com 200mm de diâmetro de abertura o qual recolhe a chuva e encaminha para um sistema de básculas alternadas que é constituído de uma haste apoiada em seu centro com conchas nas extremidades, formando uma espécie de gangorra. Quando a quantidade de chuva acumulada em uma báscula, atinge 0,254mm, o peso desta quantidade de líquido aciona o mecanismo, fechando uma chave (reed switch), descartando o líquido e preparando a outra báscula para receber nova quantidade de líquido. O fechamento da chave (reed switch) produz um pulso que é encaminhado a uma entrada contadora de pulsos que é programada para reportar a precipitação acumulada na unidade apropriada. A capacidade do pluviômetro é ilimitada, pois, o líquido é descartado imediatamente após a medida.

A.4.3– Especificações

Funil: 200mm

Faixa de Medição: 0 a 27,6 polegadas/hora (0 a 700mm/hr)

Precisão: melhor que +2% a 500mm/hr

Resolução: 0,01" (0,254mm)

Condições Ambientais:

Temperatura: 0°C a +70°C

Unidade: 0 a 100%



Especificações de Temperatura: -20°C a $+70^{\circ}\text{C}$

Capacidade do Sifão: 0,012" (0,3mm)

Contatos: 2 (reed switch)

Capacidade: 12V (0,5A max.)

Dimensões:

Peso: 2kg

Altura: 330mm

Diâmetro: 200mm

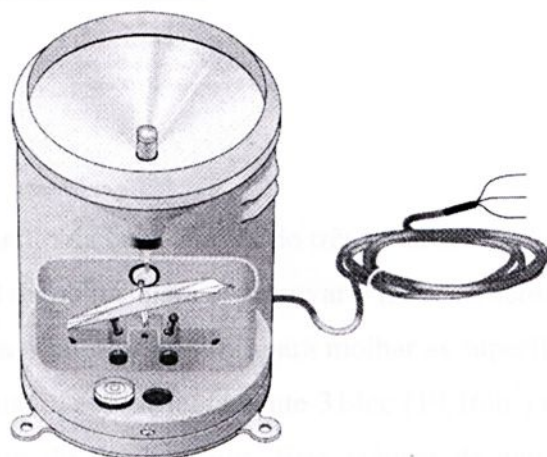


Figura A-9 – Sensor de precipitação

A.4.4– Instalação

Local

A borda do funil deve ser posicionada na horizontal e no mínimo 30 polegadas (72,6cm) acima do solo. A superfície da terra em volta do sensor dever ser vegetação natural ou pedregulho.

Para medições precisas, o sensor deve ser instalado em um local afastado de objetos que obstruam os ventos. A distância mínima deve ser de 2 vezes a altura da obstrução ou mais.

Esquema Elétrico

Condutor	Descrição
Preto	Pulso (+5V)
Branco	GND
Clear	GND

A.4.5– Calibração

- a) Remova o alojamento da base através do três parafusos;
- b) Verificar o “nível de bolha” para comprovar o nível do sensor;
- c) A água escoar para o interior do funil para molhar as superfícies das básculas. Usando um cilindro graduado, escoar lentamente 314cc (19,16in³) de água, por um período de 15 minutos, dentro do funil coletor. Este volume de água é igual a 0,39 polegadas (10mm) de chuva.



Apêndice B

SOFTWARE DE APLICAÇÃO EM ASSEMBLER

PROGRAMA PARA AQUISIÇÃO DE DADOS DOS SENSORES DE UMA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA
UTILIZANDO O M68HC11EVBU

ENDEREÇOS DAS SUBROTINAS UTILIZADAS EVBU
Estas Subrotinas são chamadas pela instrução JSR

OUTRHLF	EQU	\$FFB5
OUTA	EQU	\$FFB8
OUTSTRG	EQU	\$FFC7
OUTSTRGO	EQU	\$FFCA
OUTCRLF	EQU	\$FFC4

EQUAÇÕES DE REGISTRO
Estas localizações são endereços fixos no mapa de memória

RTIVEC	EQU	\$00EB
TMSK2	EQU	\$1024
TFLG2	EQU	\$1025
PACTL	EQU	\$1026
ADCTL	EQU	\$1030
ADR1	EQU	\$1031
ADR2	EQU	\$1032



ADR3 EQU \$1033
ADR4 EQU \$1034
BUFFALO EQU \$E0B2

LOCALIZAÇÕES DOS BUFFERS

Estas localizações são usadas para armazenar dados temporários na RAM

ORG \$2700

ADBUFF RMB 2
HEXBUFF RMB 3
BCDBUF RMB 8
TDREG RMB 2
INTCNT RMB 1

VALORES EQUIVALENTES

Estes valores são usados pela subrotina de conversão de binário para BCD
Cada valor decimal é armazenado como um número de 24 bits

ORG \$2720

CON10M FCB \$98,\$96,\$80 Equivalente Hex de 10.000.000
FCB \$0F,\$42,\$40 Equivalente Hex de 1.000.000
FCB \$01,\$86,\$A0 Equivalente Hex de 100.000
FCB \$00,\$27,\$10 Equivalente Hex de 10.000
FCB \$00,\$03,\$E8 Equivalente Hex de 1.000
FCB \$00,\$00,\$64 Equivalente Hex de 100
FCB \$00,\$00,\$0A Equivalente Hex de 10
CONEND EQU *



CÓDIGOS PARA LIMPAR A TELA E MOVER CURSOR PARA O CANTO SUPERIOR ESQUERDO

ORG \$2900
CLRSCR FCB \$1B,\$5B,\$32,\$4A,\$1B,\$5B,\$48

MENSAGENS DO DISPLAY

Estas mensagens são armazenadas na memória não volátil no endereço \$2000

ORG \$2000

MSTEMP	FCC	'TEMPERATURA DO AR : '
	FCB	\$04
MSDEG	FCC	' GRAUS CELSIUS'
	FCB	\$04
MSUMID	FCC	'UMIDADE RELATIVA : '
	FCB	\$04
MSPORC	FCC	' %'
	FCB	\$04
MSDIR	FCC	'DIRECAO DO VENTO : '
	FCB	\$04
MSGRAU	FCC	' GRAUS (REF NORTE - SENTIDO HORARIO)'
	FCB	\$04
MSVEL	FCC	'VELOCIDADE DO VENTO: '
	FCB	\$04
MSMSEG	FCC	' m/s'
	FCB	\$04
MSRAD	FCC	'RADIACAO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA: '
	FCB	\$04
MSMMOL	FCC	' umoles/s.m2'
	FCB	\$04
APRES	FCC	' ESTACAO METEOROLOGICA EXPERIMENTAL'
	FCB	\$04
LOCAL	FCC	' ILHA SOLTEIRA/SP'
	FCB	\$04
DATA	FCC	' 29/05/03'
	FCB	\$04
HORA	FCC	' 14:00:00'
	FCB	\$04
LINHA	FCC	'*****'
	FCB	\$04



PROGRAMA DE APLICAÇÃO

O programa é armazenado na memória não volátil com início no endereço \$3000

ORG \$3000

INICIAR: LDS #004A Inicializa o apontador de pilha.
JSR CLEAN Limpa a tela do monitor.
JSR DISPLAY Mostra na tela mensagens de apresentação.
CLI

BEGIN: LDAA #10 \Inicializa
STAA INTCNT /contagem.

LIMPAR: LDY #ADBUFF+14 Inicializa registrador Y.
LDAB #15 Inicializa o valor de contagem.
CLRA #0 Limpa acumulador A.
C1: STAA 00,Y Limpa buffer.
DEY Muda ponteiro para próxima localização.
DECB Decrementa valor de contagem.
BNE C1 Se contagem $\neq$ de 0, volta para C1.

Esta parte do programa inicializa o registrador do conversor A/D, introduz um tempo para a conversão A/D, faz a leitura de temperatura da porta E1, multiplica o dado de entrada digital por EB hex (0,235 graus por bit), e armazena o resultado em um buffer rotulado de HEXBUF.

METEMP: LDAA #21 Palavra de controle do registrador ADCTL.
STAA ADCTL Inicializa o registrador do conversor A/D.
LDAB #26 Inicia o tempo para conversão A/D.
DELAY: DECB Decrementa a contagem.
BNE DELAY Se contagem $\neq$ de 0, volta para DELAY.



	LDAA	ADR1	Lê registrador A/D 1.
	STAA	ADBUFF	Armazena o dado digital no buffer A/D.
	LDAB	#\$EB	Carrega a constante EB hex.
	MUL		Multiplica A x B, transfere resultado para D
	ADDD	ADBUFF+1	Adiciona valor em ADBUFF.
STORE:	STD	HEXBUF+1	Armazena acumulador D.
	ROL	HEXBUF	Salva (carry flag).

Esta parte do programa converte o número de 24 bits armazenado em HEXBUF para um valor BCD de 8 bytes. Este valor BCD é armazenado em um buffer rotulado de BCDBUF.

HEXBCD:	LDY	#BCDBUF	Inicializa registrador Y.
	LDX	#CON10M	Inicializa registrador X.
NEXDGT:	CLRB		
LOOP1:	INCB		Incrementa para subtração.
	LDAA	HEXBUF+2	\Carrega, subtrai,
	SUBA	2,X	e atualiza
	STAA	HEXBUF+2	/byte baixo.
	LDAA	HEXBUF+1	\Carrega, subtrai,
	SBCA	1,X	e atualiza
	STAA	HEXBUF+1	/byte médio.
	LDAA	HEXBUF	\Carrega, subtrai,
	SBCA	0,X	e atualiza
	STAA	HEXBUF	/byte alto.
	BCC	LOOP1	

ADD:	LDAA	HEXBUF+2	\Carrega, adiciona,
	ADDA	2,X	restaura o último
	STAA	HEXBUF+2	/byte baixo.
	LDAA	HEXBUF+1	\Carrega, adiciona,
	ADCA	1,X	restaura o último
	STAA	HEXBUF+1	/byte médio.



LDAA	HEXBUF	\Carrega, adiciona,
ADCA	0,X	restaura o último
STAA	HEXBUF	/byte alto.
SUBB	#1	
STAB	0,Y	Armazena valor BCD
INY		Increment. ponteiro Y para próxima localização
INX		\
INX		Increment. ponteiro X para próxima conversão.
INX		/
CPX	#CONEND	Verifica se a conversão está completa.
BNE	NEXDGT	Se conversão não completa, volta em NEXDGT.
LDAB	HEXBUF+2	\Armazena valor
STAB	0,Y	/menos significativo.

Esta rotina determina o valor significativo. Se o algarismo menos significativo for igual ou maior que 5 ocorre um acréscimo de 1/10 de grau no próximo algarismo a esquerda. Senão, não ocorre o acréscimo.

RNDOFF:	LDX	#BCDBUF+6	\
	LDAA	00,X	Verifica se o valor de BCDBUF+6.
	CMPA	#5	Se acumulador A < 5, salta para OUTPUT.
	BLT	OUTPUT	/

RNDUP:	DEX		Muda ponteiro X.
	LDAA	00,X	Carrega acumulador A.
	SEC		Inicia (carry flag) (C=1).
	ADCA	#0	Adiciona acumulador A + carry + 0.
	DAA		Ajuste decimal.
	CMPA	#\$10	\Salta para R1 se valor ajustado
	BLT	R1	/for menor que 10.
	SUBA	#\$10	Subtrai 10 do acumulador A.
	STAA	00,X	Armazena resultado.



	JMP	RNDUPS	Salta para RNDUP.
R1:	STAA	00,X	Armazena resultado.

Esta parte do programa mostra a mensagem de temperatura armazenado em
BCDBUF.

OUTPUT:	LDX	#MSTEMP	Inicializa registrador X.
	JSR	OUTSTRG	Mostra mensagem de temperatura.
	LDX	#BCDBUF+2	Inicializa registrador X.
	LDAA	00,X	\
	CMPA	#0	
	BEQ	OUT1	
	JSR	OUTRHLF	
	INX		Verifica os zeros e
	LDAA	00,X	mostra centena,
	JSR	OUTRHLF	dezena e unidade.
	JMP	OUT2	
OUT1:	INX		
	LDAA	00,X	
	CMPA	#0	
	BEQ	OUT2	
	JSR	OUTRHLF	
OUT2:	INX		
	LDAA	00,X	
	JSR	OUTRHLF	/
	LDAA	#\$2E	\Insere ponto decimal.
	JSR	OUTA	/
	INX		\
	LDAA	00,X	Mostra valor de 1/10
	JSR	OUTRHLF	/
	LDX	#MSDEG	\Inicializa registrador X.
	JSR	OUTSTRGO	/Mostra mensagem de MSDEG (Graus Celsius).



Esta parte do programa inicializa o registrador do conversor A/D, introduz um tempo para a conversão A/D, faz a leitura de umidade da porta E2, multiplica o dado de entrada digital por 188 hex (0,392% por bit), e armazena o resultado em um buffer rotulado de HEXBUF.

MEUMID:	LDAA	#\$22	Palavra de controle do registrador ADCTL.
	STAA	ADCTL	Inicializa o registrador do conversor A/D.
	LDAB	#26	Inicia o tempo para a conversão A/D.
DELAY2:	DECB		Decrementa contagem.
	BNE	DELAY2	Se contagem $\neq$ de 0, volta para DELAY 2.
	LDAA	ADR2	Lê registrador A/D 2.
	STAA	ADBUFF	Armazena o dado digital no buffer A/D.
	LDAB	#\$88	Carrega a constante 88 hex.
	MUL		Multiplica A x B, transfere resultado para D
	ADDD	ADBUFF	Adiciona valor em ADBUFF.
STORE2:	STD	HEXBUF+1	Armazena acumulador D.
	ROL	HEXBUF	Salva (carry flag).

Esta parte do programa converte o número de 24 bits armazenado em HEXBUF para um valor BCD de 8 bytes. Este valor BCD é armazenado em um buffer rotulado de BCDBUF.

HEXBCD2:	LDY	#BCDBUF	Inicializa registrador Y.
	LDX	#CON10M	Inicializa registrador X.
NEXDGT2:	CLRB		
LOOP2:	INCB		Incrementa para subtração.
	LDAA	HEXBUF+2	\Carrega, subtrai,
	SUBA	2,X	e atualiza
	STAA	HEXBUF+2	/byte baixo.



	LDA	HEXBUF+1	\Carrega, subtrai,
	SBC	1,X	e atualiza
	STA	HEXBUF+1	/byte médio.
	LDA	HEXBUF	\Carrega, subtrai,
	SBC	0,X	e atualiza
	STA	HEXBUF	/byte alto.
	BCC	LOOP2	
ADD2:	LDA	HEXBUF+2	\Carrega, adiciona,
	ADD	2,X	restaura o último
	STA	HEXBUF+2	/byte baixo.
	LDA	HEXBUF+1	\Carrega, adiciona,
	ADC	1,X	restaura o último
	STA	HEXBUF+1	/byte médio.
	LDA	HEXBUF	\Carrega, adiciona,
	ADC	0,X	restaura o último
	STA	HEXBUF	/byte alto.
	SUBB	#1	
	STAB	0,Y	Armazena valor BCD
	INY		Increment. ponteiro Y para próxima localização
	INX		\
	INX		Increment. ponteiro X para próxima conversão.
	INX		/
	CPX	#CONEND	Verifica se a conversão está completa.
	BNE	NEXDGT2	Se conversão não completa, volta em NEXDGT2
	LDAB	HEXBUF+2	\Armazena valor
	STAB	0,Y	/menos significativo.



Esta rotina determina o valor significativo. Se o algarismo menos significativo for igual ou maior que 5 ocorre um acréscimo de 1/10 de grau no próximo algarismo a esquerda. Senão, não ocorre o acréscimo.

```
RNDOFF2:  LDX    #BCDBUF+6    \
          LDAA   00,X          |Verifica se o valor de BCDBUF+6.
          CMPA   #5            |Se acumulador A < 5, salta para OUTPUT2.
          BLT    OUTPUT2      /
```

```
RNDUP2:   DEX                Muda ponteiro X.
          LDAA   00,X          Carrega acumulador A.
          SEC                      Inicia (carry flag) (C=1).
          ADCA   #0            Adiciona acumulador A + carry + 0.
          DAA                      Ajuste decimal.
          CMPA   #$10          \Salta para R2 se valor ajustado
          BLT    R2            /for menor que 10.
          SUBA   #$10          Subtrai 10 do acumulador A.
          STAA   00,X          Armazena resultado.
          JMP    RNDUP2        Salta para RNDUP2.
R2:        STAA   00,X          Armazena resultado.
```

Esta parte do programa mostra a mensagem de umidade armazenado em BCDBUF.

```
OUTPUT2:  LDX    #MSUMID      Inicializa registrador X.
          JSR    OUTSTRG      Mostra mensagem de umidade.
          LDX    #BCDBUF+2    Inicializa registrador X.
          LDAA   00,X          \
          CMPA   #0            |
          BEQ    OUT3          |
          JSR    OUTRHLF      |
          INX                      |Verifica os zeros e
          LDAA   00,X          |mostra centena,
```



```

        JSR   OUTRHLF      |dezena e unidade.
        JMP   OUT4         |

OUT3:    INX              |
        LDAA  00,X        |
        CMPA  #0          |
        BEQ   OUT4        |
        JSR   OUTRHLF     |
OUT4:    INX              |
        LDAA  00,X        |
        JSR   OUTRHLF     /
        LDAA  #$2E        \Insere ponto decimal.
        JSR   OUTA        /
        INX              \
        LDAA  00,X        |Mostra valor de 1/10
        JSR   OUTRHLF     /
        LDX   #MSPORC     \Inicializa registrador X.
        JSR   OUTSTRGO    /Mostra mensagem de MSPORC (Porcentagem).

```

Esta parte do programa inicializa o registrador do conversor A/D, introduz um tempo para a conversão A/D, faz a leitura de direção do vento na porta E3, multiplica o dado de entrada digital por 8D hex (1,412° por bit), e armazena o resultado em um buffer rotulado de HEXBUF.

```

MEDIR:   LDAA  #$33        Palavra de controle do registrador ADCTL.
        STAA  ADCTL       Inicializa o registrador do conversor A/D.

        LDAB  #26         Inicia o tempo para conversão A/D.
DELAY3:  DECB              Decrementa a contagem.
        BNE   DELAY3      Se contagem != de 0, volta para DELAY3.

        LDAA  ADR4        Lê registrador A/D 4.
        STAA  ADBUFF       Armazena o dado digital no buffer A/D.
        LDAB  #$8D        Carrega a constante 8D hex.
        MUL              Multiplica A x B, transfere resultado para D

```



	ADDD	ADBUFF+1	Adiciona valor em ADBUFF.
STORE3:	STD	HEXBUF+1	Armazena acumulador D.
	ROL	HEXBUF	Salva (carry flag).

Esta parte do programa converte o número de 24 bits armazenado em HEXBUF para um valor BCD de 8 bytes. Este valor BCD é armazenado em um buffer rotulado de BCDBUF.

HEXBCD3:	LDY	#BCDBUF	Inicializa registrador Y.
	LDX	#CON10M	Inicializa registrador X.
NEXDGT3:	CLRB		
LOOP3:	INCB		Incrementa para subtração.
	LDAA	HEXBUF+2	\Carrega, subtrai,
	SUBA	2,X	e atualiza
	STAA	HEXBUF+2	/byte baixo.
	LDAA	HEXBUF+1	\Carrega, subtrai,
	SBCA	1,X	e atualiza
	STAA	HEXBUF+1	/byte médio.
	LDAA	HEXBUF	\Carrega, subtrai,
	SBCA	0,X	e atualiza
	STAA	HEXBUF	/byte alto.
	BCC	LOOP3	
ADD3:	LDAA	HEXBUF+2	\Carrega, adiciona,
	ADDA	2,X	restaura o último
	STAA	HEXBUF+2	/byte baixo.
	LDAA	HEXBUF+1	\Carrega, adiciona,
	ADCA	1,X	restaura o último
	STAA	HEXBUF+1	/byte médio.
	LDAA	HEXBUF	\Carrega, adiciona,
	ADCA	0,X	restaura o último
	STAA	HEXBUF	/byte alto.



SUBB	#1	
STAB	0,Y	Armazena valor BCD
INY		Increment. ponteiro Y para próxima localização
INX		\
INX		Increment. ponteiro X para próxima conversão.
INX		/
CPX	#CONEND	Verifica se a conversão está completa.
BNE	NEXDGT3	Se conversão não completa, volta em NEXDGT3
LDAB	HEXBUF+2	\Armazena valor
STAB	0,Y	/menos significativo.

Esta rotina determina o valor significativo. Se o algarismo menos significativo for igual ou maior que 5 ocorre um acréscimo de 1/10 de grau no próximo algarismo a esquerda. Senão, não ocorre o acréscimo.

RNDOFF3:	LDX	#BCDBUF+6	\
	LDAA	00,X	Verifica se o valor de BCDBUF+6.
	CMPA	#5	Se acumulador A < 5, salta para OUTPUT3.
	BLT	OUTPUT3	/
RNDUP3:	DEX		Muda ponteiro X.
	LDAA	00,X	Carrega acumulador A.
	SEC		Inicia (carry flag) (C=1).
	ADCA	#0	Adiciona acumulador A + carry + 0.
	DAA		Ajuste decimal.
	CMPA	#\$10	\Salta para R3 se valor ajustado
	BLT	R3	/for menor que 10.
	SUBA	#\$10	Subtrai 10 do acumulador A.
	STAA	00,X	Armazena resultado.
	JMP	RNDUP3	Salta para RNDUP3.
R3:	STAA	00,X	Armazena resultado.



Esta parte do programa mostra a mensagem de direção do vento armazenada em
BCDBUF.

```
OUTPUT3:  LDX    #MSDIR      Inicializa registrador X.
          JSR    OUTSTRG     Mostra mensagem de direção do vento.
          LDX    #BCDBUF+2   Inicializa registrador X.
          LDAA   00,X        \
          CMPA   #0          |
          BEQ    OUT5        |
          JSR    OUTRHLF     |
          INX                      |Verifica os zeros e
          LDAA   00,X        |mostra centena,
          JSR    OUTRHLF     |dezena e unidade.
          JMP    OUT6        |

OUT5:      INX              |
          LDAA   00,X        |
          CMPA   #0          |
          BEQ    OUT6        |
          JSR    OUTRHLF     |

OUT6:      INX              |
          LDAA   00,X        |
          JSR    OUTRHLF     /

          INX              \
          LDAA   00,X        |Mostra valor de 1/10
          JSR    OUTRHLF     /
          LDX    #MSGRAU     \Inicializa registrador X.
          JSR    OUTSTRGO    /Mostra mensagem de MSGRAU (Graus).
```



Esta parte do programa inicializa o registrador do conversor A/D, introduz um tempo para a conversão A/D, faz a leitura de Velocidade na porta E5, multiplica o dado de entrada digital por EB hex (0,235 m/s por bit), e armazena o resultado em um buffer rotulado de HEXBUF.

MEVEL:	LDAA	#\$36	Palavra de controle do registrador ADCTL.
	STAA	ADCTL	Inicializa o registrador do conversor A/D.
	LDAB	#26	Inicia o tempo para conversão A/D.
DELAY4:	DECB		Decrementa a contagem.
	BNE	DELAY4	Se contagem $\neq$ de 0, volta para DELAY4.
	LDAA	ADR3	Lê registrador A/D 3.
	STAA	ADBUFF	Armazena o dado digital no buffer A/D.
	LDAB	#\$EB	Carrega a constante EB hex.
	MUL		Multiplica A x B, transfere resultado para D
	ADDD	ADBUFF+1	Adiciona valor em ADBUFF.
STORE4:	STD	HEXBUF+1	Armazena acumulador D.
	ROL	HEXBUF	Salva (carry flag).

Esta parte do programa converte o número de 24 bits armazenado em HEXBUF para um valor BCD de 8 bytes. Este valor BCD é armazenado em um buffer rotulado de BCDBUF.

HEXBCD4:	LDY	#BCDBUF	Inicializa registrador Y.
	LDX	#CON10M	Inicializa registrador X.
NEXDGT4:	CLRB		
LOOP4:	INCB		Incrementa para subtração.
	LDAA	HEXBUF+2	\Carrega, subtrai,
	SUBA	2,X	e atualiza
	STAA	HEXBUF+2	/byte baixo.
	LDAA	HEXBUF+1	\Carrega, subtrai,



	SBCA	1,X	e atualiza
	STAA	HEXBUF+1	/byte médio.
	LDAA	HEXBUF	\Carrega, subtrai,
	SBCA	0,X	e atualiza
	STAA	HEXBUF	/byte alto.
	BCC	LOOP4	
ADD4:	LDAA	HEXBUF+2	\Carrega, adiciona,
	ADDA	2,X	restaura o último
	STAA	HEXBUF+2	/byte baixo.
	LDAA	HEXBUF+1	\Carrega, adiciona,
	ADCA	1,X	restaura o último
	STAA	HEXBUF+1	/byte médio.
	LDAA	HEXBUF	\Carrega, adiciona,
	ADCA	0,X	restaura o último
	STAA	HEXBUF	/byte alto.
	SUBB	#1	
	STAB	0,Y	Armazena valor BCD
	INY		Increment. ponteiro Y para próxima localização
	INX		\
	INX		Increment. ponteiro X para próxima conversão.
	INX		/
	CPX	#CONEND	Verifica se a conversão está completa.
	BNE	NEXDGT4	Se conversão não completa, volta em NEXDGT4
	LDAB	HEXBUF+2	\Armazena valor
	STAB	0,Y	/menos significativo.



Esta rotina determina o valor significativo. Se o algarismo menos significativo for igual ou maior que 5 ocorre um acréscimo de 1/10 de grau no próximo algarismo a esquerda. Senão, não ocorre o acréscimo.

```
RNDOFF4:  LDX    #BCDBUF+6    \
          LDAA   00,X          |Verifica se o valor de BCDBUF+6.
          CMPA   #5            |Se acumulador A < 5, salta para OUTPUT4.
          BLT    OUTPUT4      /
```

```
RNDUP4:   DEX                Muda ponteiro X.
          LDAA   00,X          Carrega acumulador A.
          SEC                      Inicia (carry flag) (C=1).
          ADCA   #0            Adiciona acumulador A + carry + 0.
          DAA                      Ajuste decimal.
          CMPA   #$10          \Salta para R4 se valor ajustado
          BLT    R4            /for menor que 10.
          SUBA   #$10          Subtrai 10 do acumulador A.
          STAA   00,X          Armazena resultado.
          JMP    RNDUP4        Salta para RNDUP4.
R4:        STAA   00,X          Armazena resultado.
```

Esta parte do programa mostra a mensagem de velocidade armazenada em BCDBUF.

```
OUTPUT4:  JSR    OUTCRLF
          LDX    #MSVEL        Inicializa registrador X.
          JSR    OUTSTRG       Mostra mensagem de velocidade.
          LDX    #BCDBUF+2     Inicializa registrador X.
          LDAA   00,X          \
          CMPA   #0            |
          BEQ    OUT7          |
          JSR    OUTRHLF       |
          INX                      |Verifica os zeros e
```



	LDAA	00,X	mostra centena,
	JSR	OUTRHLF	dezena e unidade.
	JMP	OUT8	
OUT7:	INX		
	LDAA	00,X	
	CMPA	#0	
	BEQ	OUT8	
	JSR	OUTRHLF	
OUT8:	INX		
	LDAA	00,X	
	JSR	OUTRHLF	/
	INX		\
	LDAA	00,X	Mostra valor de 1/10
	JSR	OUTRHLF	/
	LDX	#MSMSEG	\Inicializa registrador X.
	JSR	OUTSTRGO	/Mostra mensagem de MSMSEG (m/s).

Esta parte do programa inicializa o registrador do conversor A/D, introduz um tempo para a conversão A/D, faz a leitura de radiação na porta E5, multiplica o dado de entrada digital por 4E hex (7,843 μ moles/s.m² por bit), e armazena o resultado em um buffer rotulado de HEXBUF.

MERAD:	LDAA	#\$37	Palavra de controle do registrador ADCTL.
	STAA	ADCTL	Inicializa o registrador do conversor A/D.
	LDAB	#26	Inicia o tempo para conversão A/D.
DELAY5:	DECB		Decrementa a contagem.
	BNE	DELAY5	Se contagem $\neq$ de 0, volta para DELAY4.
	LDAA	ADR4	Lê registrador A/D 3.
	STAA	ADBUFF	Armazena o dado digital no buffer A/D.
	LDAB	#\$4E	Carrega a constante 4E hex.
	MUL		Multiplica A x B, transfere resultado para D
	ADDD	ADBUFF+1	Adiciona valor em ADBUFF.



```
STORE5:  STD  HEXBUF+1  Armazena acumulador D.
        ROL  HEXBUF     Salva (carry flag).
```

Esta parte do programa converte o número de 24 bits armazenado em HEXBUF para um valor BCD de 8 bytes. Este valor BCD é armazenado em um buffer rotulado de BCDBUF.

```
HEXBCD5: LDY  #BCDBUF      Inicializa registrador Y.
        LDX  #CON10M      Inicializa registrador X.
NEXDGT5: CLRB
LOOP5:   INCB              Incrementa para subtração.
        LDAA HEXBUF+2      \Carrega, subtrai,
        SUBA 2,X           |e atualiza
        STAA HEXBUF+2      /byte baixo.
        LDAA HEXBUF+1      \Carrega, subtrai,
        SBCA 1,X           |e atualiza
        STAA HEXBUF+1      /byte médio.
        LDAA HEXBUF        \Carrega, subtrai,
        SBCA 0,X           |e atualiza
        STAA HEXBUF        /byte alto.

        BCC  LOOP5

ADD5:   LDAA HEXBUF+2      \Carrega, adiciona,
        ADDA 2,X           |restaura o último
        STAA HEXBUF+2      /byte baixo.
        LDAA HEXBUF+1      \Carrega, adiciona,
        ADCA 1,X           |restaura o último
        STAA HEXBUF+1      /byte médio.
        LDAA HEXBUF        \Carrega, adiciona,
        ADCA 0,X           |restaura o último
        STAA HEXBUF        /byte alto.

        SUBB #1
        STAB 0,Y          Armazena valor BCD
```



INY		Increment. ponteiro Y para próxima localização
INX		\
INX		Increment. ponteiro X para próxima conversão.
INX		/
CPX	#CONEND	Verifica se a conversão está completa.
BNE	NEXDGT5	Se conversão não completa, volta em NEXDGT4
LDAB	HEXBUF+2	\Armazena valor
STAB	0,Y	/menos significativo.

Esta rotina determina o valor significativo. Se o algarismo menos significativo for igual ou maior que 5 ocorre um acréscimo de 1/10 de grau no próximo algarismo a esquerda. Senão, não ocorre o acréscimo.

RNDOFF5:	LDX	#BCDBUF+6	\
	LDAA	00,X	Verifica se o valor de BCDBUF+6.
	CMPA	#5	Se acumulador A < 5, salta para OUTPUT4.
	BLT	OUTPUT5	/

RNDUP5:	DEX		Muda ponteiro X.
	LDAA	00,X	Carrega acumulador A.
	SEC		Inicia (carry flag) (C=1).
	ADCA	#0	Adiciona acumulador A + carry + 0.
	DAA		Ajuste decimal.
	CMPA	#\$10	\Salta para R4 se valor ajustado
	BLT	R5	/for menor que 10.
	SUBA	#\$10	Subtrai 10 do acumulador A.
	STAA	00,X	Armazena resultado.
	JMP	RNDUP5	Salta para RNDUP4.
R5:	STAA	00,X	Armazena resultado.



Esta parte do programa mostra a mensagem de radiação solar armazenada em
BCDBUF.

```
OUTPUT5:  LDX    #MSRAD      Inicializa registrador X.
          JSR    OUTSTRG     Mostra mensagem de radiação solar.
          LDX    #BCDBUF+2   Inicializa registrador X.
          LDAA   00,X        \
          CMPA   #0          |
          BEQ    OUT9        |
          JSR    OUTRHLF     |
          INX                     |Verifica os zeros e
          LDAA   00,X        |mostra centena,
          JSR    OUTRHLF     |dezena e unidade.
          JMP    OUT10       |

OUT9:      INX              |
          LDAA   00,X        |
          CMPA   #0          |
          BEQ    OUT10       |
          JSR    OUTRHLF     |

OUT10:     INX              |
          LDAA   00,X        |
          JSR    OUTRHLF     /
          INX                     \
          LDAA   00,X        |Mostra valor de 1/10
          JSR    OUTRHLF     /
          LDX    #MSMMOL     \Inicializa registrador X.
          JSR    OUTSTRGO    /Mostra mensagem de MSMMOL ( $\mu\text{mole/s.m}^2$ ).
```



Esta rotina introduz um tempo de espera de 60s (1 minuto) para que as leituras de todos os sensores sejam mostradas. Após este tempo o programa realiza as leituras novamente e mostra no monitor por mais 60s e assim sucessivamente.

```
TATRASO: LDAA  #$7E      \Inicializa o "falso" vetor
          STAA  RTIVEC    |de endereço no EVB para função
          LDD   #CONT     |de interrupção em tempo real
          STD   RTIVEC+1  /

          LDAA  #$03      \Seta os bits RTRI e RTR0
          STAA  PACTL     /para uma divisão por 8

          LDAA  #$40      \Seta o bit RTII e
          STAA  TMSK2     |limpa o bit RTIF
          STAA  TFLG2     /

          LDD   #1828     \Armazena o valor de contagem em um local
          STD   TDREG     /chamado TDREG (Time Delay Register)

          CLI          \Limpa bit de interrupção
WAIT:     BRA   WAIT      A CPU aguarda por uma interrupção

CONT:     LDD   TDREG     \
          SUBD  #1        |Checa se a rotina realizou um loop de 1828
          STD   TDREG     |para um tempo de espera de aproximadamente
          CPD   #0        |60s (1 minuto)
          BNE   CLRFLG    /

          LDS   #$004A    \Reseta o apontador de pilha no EVB
          DEC   INTCNT    \Decrementa o valor de contagem
          BEQ   T1        \Se contagem = 0, volta para T1
          JMP   START     \Salta para o começo do programa

T1:       JMP   START     \Salta para o inicio do programa
```



```

CLRFLG:  LDAA  #$40          \Limpa o bit RTIF no
          STAA  TFLG2        /registrador TFLG2
          RTI                Retorna da interrupção

```

Esta subrotina mostra a mensagem de apresentação da estação meteorológica

```

DISPLAY: JSR  OUTCRLF        Insere linha extra
          LDX  #APRES        Inicializa o registrador X.
          JSR  OUTSTRG       Mostra mensagem de apresentação da estação
          JSR  OUTCRLF        Insere linha extra
          LDX  #LOCAL        Inicializa registrador X.
          JSR  OUTSTRG       Mostra mensagem de localização da estação
          LDX  #DATA          Inicializa registrador X.
          JSR  OUTSTRG       Mostra mensagem de data
          LDX  #HORA          Inicializa registrador X.
          JSR  OUTSTRG       Mostra mensagem de hora
          JSR  OUTCRLF        Insere linha extra
          RTS                Retorna da subrotina

```

Esta subrotina limpa a tela do monitor e move o cursor para o canto superior esquerdo

```

CLEAN:   LDX  #CLRSCR        Inicializa o registrado X como um ponteiro
          LDAB #07           Inicializa o acumulador B como um contador
REPEAT:  LDAA 00,X           Carrega o caractere ASCII no acumulador A
          JSR  OUTA          Mostra caractere ASCII
          INX                Incrementa ponteiro
          DECB               Decrementa contagem
          BNE  REPEAT        Se /= 0, volta para REPEAT
          RTS                Retorna da subrotina

          END                Finaliza programa

```





UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

Câmpus de Ilha Solteira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica
Av. Brasil Centro, 56
15385-000 Ilha Solteira - SP
www.dee.feis.unesp.br

