

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS
GEORREFERENCIADOS E DE TELEMETRIA PARA
MONITORAMENTO DE PARÂMETROS FÍSICOS EM SISTEMAS DE
IRRIGAÇÃO**

ROGÉRIO ZANARDE BARBOSA

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP –
Câmpus de Botucatu, para obtenção do
título de Mestre em Agronomia - Irrigação
e Drenagem.

BOTUCATU-SP
FEVEREIRO – 2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS
GEORREFERENCIADOS E DE TELEMETRIA PARA
MONITORAMENTO DE PARÂMETROS FÍSICOS EM SISTEMAS DE
IRRIGAÇÃO**

ROGÉRIO ZANARDE BARBOSA

Orientador: Prof. Dr. João Eduardo Machado Perea Martins

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP –
Câmpus de Botucatu, para obtenção do
título de Mestre em Agronomia - Irrigação
e Drenagem.

BOTUCATU-SP
FEVEREIRO – 2012

FICHA CATALOGRAFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO – SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO – UNESP – FCA – LAGEADO – BOTUCATU (SP)

B239d Barbosa, Rogério Zanarde, 1988-
Desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados georreferenciados e de telemetria para monitoramento de parâmetros físicos em sistemas de irrigação / Rogério Zanarde Barbosa . - Botucatu : [s.n.], 2012
xv, 112 f., il., color., tabs.

Dissertação (Mestrado- Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2012
Orientador: João Eduardo Machado Perea Martins
Inclui bibliografia

1. Sensoriamento agrícola. 2. Rádio transmissão. 3. Telemetria. 4. Aquisição de dados. I. Martins, João Eduardo Machado Perea. II. Universidade Estadual Paulista, "Julio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS
GEORREFERENCIADOS E DE TELEMETRIA PARA MONITORAMENTO
DE PARÂMETROS FÍSICOS EM SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO"

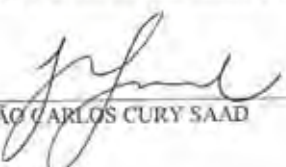
ALUNO: ROGERIO ZANARDE BARBOSA

ORIENTADOR: PROF. DR. JOÃO EDUARDO MACHADO PEREA MARTINS

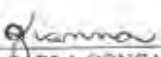
Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. JOÃO EDUARDO MACHADO PEREA MACHADO



PROF. DR. JOÃO CARLOS CURY SAAD



PROF. DR. ANDREA CARLA GONÇALVES VIANNA

Data da Realização: 16 de fevereiro de 2012.

À Deus pelo dom da vida e por estar
sempre ao meu lado nos momentos mais
difíceis.

AGRADECIMENTOS

A toda minha família que contribuiu para a concretização deste grande sonho.

Aos meus pais Luiz Barbosa e Edna Maria Zanarde Barbosa, meu irmão Ronei Zanarde Barbosa e minha namorada Arisa Ferreira de Souza que sempre acreditaram e me apoiaram durante esta etapa da minha vida.

Ao amigo e orientador Prof. Dr. João Eduardo Machado Perea Martins pela inestimável dedicação, determinação, paciência e orientação na condução deste trabalho.

Aos meus grandes amigos Diego Scacalossi Voltan, José Marcio Bassan, Suenom P. Furtado, Luis Vitor C. Sanches, Mario Villas Boas e Silas Franco dos Reis Alves que sempre estiveram ao meu lado e me apoiaram.

A todos os professores, funcionários e amigos, da Faculdade de Ciências Agronômicas - FCA em Botucatu (SP) pelo apoio, convívio e companheirismo durante o mestrado.

Ao Departamento de Computação da Faculdade de Ciências – FC, da UNESP em Bauru (SP) pelo apoio ao desenvolvimento desse trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela concessão da bolsa de estudos.

O Professor Doutor Aloísio Costa Sampaio e a Professora Doutora Inês Cechin pelo empréstimo da estufa localizada no Campus da UNESP de Bauru.

A Professora Dra. Andrea Carla Gonçalves Vianna e ao Prof. Dr. Humberto Ferrasoli Filho, do Departamento de Computação – FC, UNESP, pelo apoio e ensinamentos.

A todos aqueles que de alguma maneira me ajudaram durante o mestrado.

“ *Deus não escolhe os capacitados, ele capacita os escolhidos. Fazer ou não fazer algo só depende de nossa vontade e perseverança.*

(Albert Einstein)

SUMÁRIO

	Página
AGRADECIMENTOS	VI
LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE TABELAS	XV
1 RESUMO	16
2 SUMMARY	18
3 INTRODUÇÃO.....	20
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	24
4.1 Automação em ambientes agrícolas.....	24
4.2 Contribuição da automação na agricultura irrigada	24
4.3 A importância da automação em cultivos protegidos	26
4.4 Telemetria	27
4.5 Sinal analógico e digital.....	27
4.6 Comunicação por meio de cabo elétrico	28
4.7 Comunicação sem fio.....	29
4.8 Representação da informação	29
4.9 Definição de bit e byte	30
4.10 Conversão de valores binários para decimal e vice-versa	31
4.11. Porta de comunicação serial	32
4.12 Sistema de rádio transmissão	33
4.13 Transmissor.....	34
4.14 Receptor	34
4.15 Antena	34
4.16 Atenuação de Sinais de Rádio Frequência.....	35

4.17 Interferência	35
4.18 Ruído.....	35
4.19 Sistema de sensoriamento	36
4.20 Faixa de operação	37
4.21 Escala de saída	37
4.22 Exatidão	38
4.23 Precisão	38
4.24 Sensibilidade	38
4.25 Resolução	39
4.26 Estabilidade.....	39
4.27 Especificidade	39
4.28 Tempo de resposta	40
4.29 Software	40
4.30 Algoritmos	41
4.31 Linguagem de programação.....	41
4.32 Software de comunicação da porta serial.....	41
4.33 Linguagem de programação <i>object pascal</i>	42
4.34 Estudos sobre telemetria em sistemas de irrigação e gerenciamento de recursos hídricos	42
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	50
5.1 Materiais	50
5.1.1 Linguagem de programação	50
5.1.2 Componente serial.....	52
5.2 Métodos	54
5.2.1 Software de comunicação serial.....	54

5.2.2 Software registrador de dados	57
5.2.3 Sistema de hardware e software para telemetria	58
5.2.4 Software de aquisição de dados de georreferenciados	62
5.2.5. Software de Geração de Dados Físicos	63
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	65
6.1 Software de comunicação serial	66
6.2. Software de registrador de dados serial	69
6.3 Sistema de hardware e software para telemetria.....	72
6.3.1 O hardware de telemetria	72
6.3.2 Consumo de energia	74
6.3.3 Custo dos módulos de rádio frequência	75
6.3.4 Software para teste de rádio transmissão	76
6.3.5 Análise e confiabilidade do sistema de rádio transmissão	79
6.3.6 Aplicações do sistema de telemetria em uma casa de vegetação	82
6.4 Software de aquisição de dados de georreferenciados.....	84
6.4.1 O Software.....	85
6.4.2 O formato de dados do GPS	89
6.4.3 Análise de uso do software.....	90
6.5 Software de Geração de Dados Físicos.....	94
6.5.1 Exemplo e análise de aplicações	97
7 CONCLUSÕES	106
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	108

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Exemplo de sinal analógico assumindo valores contínuos e um sinal digital assumindo somente dois valores binários.....	277
Figura 2: Sistema de comunicação via rádio frequência com um transmissor enviando sinal de rádio para um receptor de dados.....	29
Figura 3: Exemplo de conversão de um número binário para um número decimal.	31
Figura 4: Exemplo de conversão de um número decimal para um número binário.	32
Figura 5: Exemplo de uma porta de comunicação serial (A) e sua pinagem (disposição dos pinos de conexão) (B).	32
Figura 6: Exemplo de antena de um sistema de rádio frequência.	35
Figura 7: Sensor de temperatura LM-35 (A) e sensor de nível tipo pontual com movimento magnético (B).	36
Figura 8: Exemplo de um sistema de rede de sensores sem fio.	44
Figura 9: Tela principal do Delphi 2006, com a janela de propriedades (b), a barra de ferramentas (a) e a área destinada a criação de aplicações (c).	51
Figura 10: Habilitando o menu Componente e clicando sobre a opção Install Componente.....	52
Figura 11: Janela Install Component aberta com as opções para seleção do arquivo...	53
Figura 12: Janela Package aberta com os arquivos relacionados ao componente.....	53
Figura 13: Comandos para estabelecer a comunicação do Delphi com a porta serial....	54
Figura 14: Forma de declaração de uma variável global.....	55
Figura 15: Código principal dos eventos OnKeyPress e OnKeyDown.....	57
Figura 16: Código principal para o envio de uma string de inicialização do receptor. ..	58
Figura 17: Esquema de montagem do módulo transmissor de dados por rádio frequência.	59
Figura 18: Esquema de montagem do módulo receptor de rádio frequência.	60

Figura 19: Código fonte utilizado para o envio de dados para o teste de alcance de transmissão.	62
Figura 20: Código fonte utilizado para a leitura do protocolo de comunicação do GPS.	63
Figura 21: Rotina utilizada para abrir o arquivo de texto do software de simulação de geração de dados físicos.	63
Figura 22: Tela principal do software de comunicação serial e as opções de conexão de configuração.	67
Figura 23: Tela principal da configuração da porta serial com as suas respectivas opções de configuração.....	68
Figura 24: Barra de menu do software Registrador de Dados com as funções de controle.	69
Figura 25: Representação do nome no arquivo que será gravado.	70
Figura 26: Tela principal do software de recepção de dados serial (b) e suas características de gravação de dados (a) e apresentação de informações (c).	71
Figura 27: Montagem dos módulos de Transmissão (à esquerda) e Recepção (à direita). Observe que ambos são muito parecidos, sendo que a diferença está apenas na conexão de um dos fios do módulo de rádio.	73
Figura 28: Placa definitiva dos módulos de Transmissão (à esquerda) e Recepção (à direita).....	74
Figura 29: Disposição dos computadores e dos módulos de rádio para utilização do software de teste de alcance de transmissão.	76
Figura 30: Tela principal do software para testes de rádio frequência.	77
Figura 31: Mensagem de finalização impressa pelo software.	78
Figura 32: Dados de temperatura do ar (°C) e umidade relativa (%) de testes com o sistema de telemetria realizado em laboratório num período de 6 horas de coleta.	82
Figura 33: Forma de instalação e disposição do módulo transmissor no interior da casa de vegetação para a aquisição dos dados.	83

Figura 34: Dados de temperatura do ar (°C) e umidade relativa (%) de testes com o sistema de telemetria realizado em casa de vegetação num período de 3 horas de coleta.	84
Figura 35: Forma e disposição que é instalado os dispositivos para a utilização do software, uso do GPS (à esquerda) e o Termohigrômetro (à direita).	85
Figura 36: Barra de menu do software de Aquisição de Dados Georreferenciados com as suas respectivas funções de controle.	86
Figura 37: Tela principal do software de aquisição de dados georreferenciados e suas características de aquisição das informações.	88
Figura 38: Tela principal do software de aquisição de dados georreferenciados e os painéis informativos.	89
Figura 39: Formato de saída em texto do GPS Garmin Etrex Summit.	90
Figura 40: Pontos de coleta dos dados georreferenciados no Campus da Unesp Bauru - SP, imagem realizada através do software Google Earth.	91
Figura 41: Variabilidade espacial da umidade relativa do ar (%) de acordo com a coleta em 16 pontos georreferenciados.	93
Figura 42: Tela principal do software de geração de dados físicos (b), função de informação (c, e) barra de menu (a) e detalhe de gravação dos dados (d).	94
Figura 43: Forma de funcionamento do software de geração de dados físicos.	95
Figura 44: Barra de menu e os botões Selecionar e Enviar do software de geração de dados físicos.	96
Figura 45: Tela de seleção de arquivo, após o botão selecionar ser ativado, onde o usuário seleciona o que deseja gerar.	97
Figura 46: Analisador de gases mede diversos tipos de gases de acordo com sua ponta de amostragem S710.	98
Figura 47: Formato de saída em texto do analisador de gases modelo S710, medindo níveis de O ₂ e CO ₂	99
Figura 48: Decomposição do formato de uma linha de texto do analisador de gases modelo S710.	99
Figura 49: Formato de saída em texto do termohigrômetro HTR-152.	100

Figura 50: Decomposição do formato de uma linha de texto do termohigrômetro modelo HTR-152.....	101
Figura 51: Formato de saída em texto do GPS Garmim eTrex Summit.....	102
Figura 52: Analisador de oxigênio dissolvido e temperatura modelo DO-9709.....	104
Figura 53: Formato de saída em texto do analisador de oxigênio dissolvido DO-9709.	105
Figura 54: Decomposição do formato de uma linha da saída em texto do analisador de oxigênio dissolvido DO-9709.....	105

LISTA DE TABELAS

Página

Tabela 1: Exemplo de representação de alguns dos 256 caracteres possíveis de serem representados pelo código ASCII.	30
Tabela 2: Funções dos pinos presentes na porta de comunicação serial.	33
Tabela 3: Materiais utilizados na confecção do hardware para o sistema de telemetria.	61
Tabela 4: Principais ferramentas utilizadas para a elaboração do hardware para o sistema de telemetria.	61
Tabela 5: Materiais utilizados e os seus respectivos valores utilizados na confecção de um par de módulos de rádio frequência.....	75
Tabela 6: Teste de transmissão de dados numa taxa de transmissão de 4800 bps.	79
Tabela 7: Teste de transmissão de dados numa taxa de transmissão de 9600 bps.	80
Tabela 8: Teste de transmissão de dados numa taxa de transmissão de 14400 bps	80
Tabela 9: Coleta de dados de temperatura do ar (°C) e umidade relativa (%) georreferenciada, realizada no Campus da Unesp Bauru – SP.....	92

1 RESUMO

O objetivo deste projeto foi desenvolver um sistema para aquisição de dados georreferenciados e um sistema de telemetria para monitoramento de parâmetros físicos, aplicados em sistemas de irrigação e gestão de recursos hídricos. O sistema de aquisição de dados georreferenciados consiste em um software que realiza a aquisição de dados e o registro de informações georreferenciadas, a partir das informações recebidas de um dispositivo de sensoriamento escolhido pelo usuário e de um GPS, através da porta de comunicação serial RS-232 do computador. O software faz a aquisição de dados em tempo real, e então forma um único registro de dados com as informações do GPS e do dispositivo de sensoriamento, possibilitando a localização exata com data e hora onde foi realizada a medição da grandeza física. O sistema de telemetria para monitoramento de parâmetros físicos consiste no desenvolvimento de cinco softwares e um sistema de hardware para telemetria, incluindo um módulo transmissor e um receptor de rádio. Os softwares desenvolvidos são chamados de Software de Comunicação Serial, Software Registrador de Dados, Software para Testes de Rádio Transmissão, Software de Aquisição de Dados Georreferenciados e Software de Geração de Dados Físicos. O Software de Comunicação Serial estabelece a conexão serial e a consequente troca de informações entre duas máquinas ligadas por meio de um cabo metálico, através da porta de comunicação RS-232 dos computadores. O Software para Testes de Rádio Transmissão testa o alcance de transmissão de dados por rádio e é utilizado em sistemas de telemetria, permitindo verificar o alcance de transmissão de módulos de rádio frequência e o número de erros durante o processo de transmissão de dados. O Software Registrador de

Dados permite que o computador seja conectado a qualquer instrumento de medição física que tenha uma saída de comunicação serial, então o software passa a gravar os dados em um arquivo no disco do computador. O Software de Aquisição de Dados Georreferenciados realiza a aquisição de dados em pontos georreferenciados, conectando um dispositivo de medição e um GPS em portas seriais do computador. O Software de Geração de Dados Físicos faz a simulação dos dados de sensoriamento que seriam gerados por um instrumento de medição física e envia esses dados para um segundo computador, pela porta de comunicação serial, dispensando o uso de um instrumento real. O hardware foi projetado com o objetivo de desenvolver um sistema de comunicação via rádio de baixo custo e que seja acessível a pequenos produtores. Assim, o trabalho foi baseado em transmissores e receptores de alcance médio e de fácil utilização, adaptando-se a qualquer dispositivo de sensoriamento com saída serial de dados. O sistema de aquisição de dados georreferenciados apresentou grande potencial de aplicação na área de agricultura e irrigação de precisão, permitindo medir uma grandeza e obter imediatamente o seu ponto de referência geográfico, fornecendo medidas espacialmente independentes e aquisição precisa de informações. O sistema de monitoramento de parâmetros físicos apresentou uma grande aplicabilidade como um sistema de baixo custo para telemetria, obtendo um alcance na ordem de 120 metros para sensoriamento via rádio, com uma taxa de erro de dados máxima de 0,8%. Os resultados obtidos permitem afirmar que o projeto atingiu satisfatoriamente todos os objetivos propostos e ainda podendo servir como base para outros projetos futuros.

PALAVRAS-CHAVE: sensoriamento agrícola, rádio transmissão, telemetria, aquisição de dados.

DEVELOPMENT OF A DATA ACQUISITION SYSTEM GEOREFERENCED AND TELEMETRY MONITORING OF PHYSICAL PARAMETERS IN IRRIGATION SYSTEMS. Botucatu, 2012. 108p.

Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP.

Author: ROGÉRIO ZANARDE BARBOSA

Adviser: JOÃO EDUARDO MACHADO PEREA MARTINS

2 SUMMARY

This project goal is the development of a georeferenced data acquisition system and a telemetry system, both for physical parameters monitoring in irrigation and water management areas. The georeferenced data acquisition system is composed by software that perform the data acquisition and record of information received simultaneously through the serial interface RS232 from a sensing device and a GPS device. The software performs data acquisition in real time, and then composes a single data record with both the information, associating directly each physical measurement with its exact location, date and time. The telemetry system for physical parameters monitoring includes five pieces of software and two pieces of hardware for the radio transmitter and the radio receiver modules. The software system is composed by five different pieces of software called Serial Communications Software, Data Logger Software, Software for Radio Module Testing, Georeferenced Data Acquisition Software,

Physical Data Generation Software. The Serial Communication Software establishes the wired serial connection and the subsequent exchange of information between two computers through the RS 232 computer interfaces. The Software for Radio Module Testing is a tool for the data radio transmission distance measurement and computation of the number of errors during the data transmission. The Data Logger Software allows the computer connection to any measuring instrument that has a physical serial communication output, then the software records data in a file on the computer disk. The Georeferenced Data Acquisition Software performs the data acquisition of physical parameters in georeferenced location using a measurement device and a GPS. The Physical Data Generation Software generates data according to the standard of a specific measurement device and sends this data to a second computer by serial communication interface, eliminating the use of a real instrument and providing a system for laboratory tests. The hardware goal is the development of a system for radio telemetry with low cost and, therefore, more economically accessible to small farmers. It was based on the design of a radio receiver and a transmitter easy to use, which allow the connection to any sensing device with output data serial. The telemetry system have sent data into range of 120m, with a maximum data error at 0.8%. The georeferenced data acquisition system has great potential for implementation in the area of agriculture and precision irrigation, allowing the measurement of a physical parameter and obtaining immediately its geographical reference, providing spatially measures and independent data acquisition. The general results of this work were satisfactory and the initial goals were reached.

KEYWORDS: agricultural sensing, radio transmission, telemetry, data acquisition.

3 INTRODUÇÃO

A agricultura irrigada é considerada uma atividade de grande consumo dos recursos hídricos captados de mananciais, pois no processo de produção de alimentos existe um grande consumo de água pelas plantas. Entretanto, a técnica de irrigação é muito importante na produção de alimentos, alcançando produtividades superiores a três vezes à da agricultura convencional ou de sequeiro (ALBUQUERQUE e DURÃES, 2008). Com o crescimento populacional, houve uma maior exigência de produção agrícola, o que não pode ser isolado do quesito sustentabilidade, exigindo uma maior conscientização do profissional envolvido no processo produtivo de maneira a evitar a degradação dos recursos naturais durante a sua produção (BELLEN, 2005). Dentre os recursos naturais mais utilizados na produção agrícola, a água é um dos mais discutidos na atualidade, isso se deve a sua condição de recurso natural finito e limitado (CALHEIROS, 2006).

A história relata que a irrigação é uma antiga técnica e evoluiu com o crescimento e desenvolvimento das civilizações antigas, que cultivavam seu alimento as margens de rios aproveitando as suas “cheias” para formar canais nos quais eram responsáveis por armazenar a água e efetuar a irrigação (BERNARDO et al., 2006; SANTINATO et al., 2008), sendo que atualmente existe uma grande motivação no seu aperfeiçoamento em função dos recursos tecnológicos existentes.

A tecnologia na agricultura irrigada surge como ferramenta de modo a facilitar a aquisição de informações ou dados auxiliando na tomada de decisão e no

gerenciamento do processo produtivo. Diversas tecnologias surgem com o objetivo de auxiliar o agricultor, sendo que, atualmente as tecnologias que mais se destacam neste setor são as de sistemas sem fio e sistemas de geoprocessamento. Ambas as técnicas são utilizadas para maximizar a produção, assegurando a sustentabilidade na economia de água e recursos naturais (ZABELTITS e BAUDOUIN, 1999; MILLAR, 1994).

Segundo Fernandes et al., (2008), o primeiro projeto de irrigação no Brasil surgiu em 1881, no estado do Rio Grande do Sul, por uma iniciativa privada, com a construção do reservatório denominado Cadro, que foi responsável pelo suprimento de água a ser utilizada na lavoura irrigada de arroz. Porém somente em 1903 este projeto iniciou sua fase de operação e chamou a atenção de agricultores de outros estados, como São Paulo, que iniciou projetos de irrigação em lavouras cafeeiras irrigadas, obtendo resultados significativos de aumento de produtividade. Apesar de permitir um aumento de produtividade, a agricultura irrigada costuma ser vista como uma grande consumidora de água, o que exige cuidados e técnicas especiais (CONTE e LEOPOLDO, 1999).

Segundo Azevedo Netto et al. (2000) o que mais preocupa os especialistas da área, não é a utilização da irrigação propriamente dita, e sim a maneira errônea de sua utilização, o que pode trazer prejuízos significativos para os recursos hídricos. Existem produtores que ainda não realizam o correto manejo da irrigação, aplicando a água nas culturas de forma excessiva ou em sub dosagem. A primeira forma provoca sérios problemas ambientais e oneram os custos de produção, pois a água lançada de forma excessiva contamina o lençol freático com resíduos de fertilizantes e defensivos agrícolas, iniciando uma reação em cadeia de degradação dos seres vivos presentes no meio ambiente, além de que aplicar a água desta maneira aumenta os custos relacionados ao consumo de energia elétrica, mão de obra, depreciação de equipamentos, gastos excessivos com fertilizantes, etc. A água aplicada em sub dosagem* causa grandes prejuízos econômicos, estes estão relacionados a baixa resposta produtiva das culturas. Isso é um grande problema, pois as plantas não conseguem expressar todo o seu potencial, devido às limitações fisiológicas como: absorção de nutrientes, processos metabólicos, etc. (AZEVEDO NETTO et al., 2000).

Diante destes problemas associados ao processo de irrigação, diversas pesquisas são realizadas com o objetivo de tornar esta técnica potencialmente mais eficiente e permitir a utilização de recursos naturais de forma correta. Assim, as técnicas de

sensoriamento eletrônico e automação, aplicadas à irrigação, que também envolvem fortes aspectos computacionais, podem ser consideradas de alto potencial para facilitar o processo de gestão de recursos hídricos e manejo da irrigação, como uma possível diminuição da quantidade de água demandada pelo sistema e contribuindo para a conservação do meio ambiente (WEBSTER, 1999; MUKHOPADHYAY e LEUNG, 2010; LAUNG-TERNG et al., 2009).

Quando se trata de tecnologias, a telemetria desperta um grande interesse na área agrícola e de gestão de recursos hídricos. A telemetria consiste na medição de grandezas físicas à distância, sendo na maioria das vezes, em sistemas de rádio transmissão, assim, fatores como, por exemplo, temperatura, pH, oxigênio dissolvido ou umidade podem ser monitorados de forma contínua, sem que seja necessário ao produtor agrícola estar posicionado fisicamente no local da medição (CARDEN et al., 2002).

A telemetria tem capacidade de troca de informações remotamente, via rádio e sem a necessidade de cabos de transmissão, que são difíceis de serem instalados, podem dificultar trânsito de máquinas na lavoura e são mais sujeitos à interferência eletromagnética. Esta particularidade a torna muito útil para aplicações agrícolas, visto que a agricultura é um ambiente hostil onde a presença de cabos e fios elétricos podem ser prejudiciais ao ambiente agrícola (FIORESE, 2005). Os sistemas de telemetria que utilizam rádio transmissão, além de evitar os problemas dos cabos elétricos, tem uma grande vantagem que é a mobilidade, pois o dispositivo de sensoriamento pode ser facilmente instalado e realocado em qualquer ponto dentro da área em que o agricultor tem interesse em fazer o sensoriamento.

Outra tecnologia aplicada na economia e conservação dos recursos hídricos é a agricultura de precisão, que consiste no gerenciamento espacial de um local ou região buscando informações regionalizadas que poderão ser tratadas de forma individualizada, permitindo tomadas de decisões no momento e em quantidades adequadas. Na área de agricultura de precisão destaca-se a irrigação de precisão, que busca a aplicação de água nas culturas de forma regionalizada, de acordo com as características do local, favorecendo a aplicação consciente da água e podendo proporcionar sua economia (RIQUELME et al., 2009).

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de sistemas de telemetria para aplicações na área de irrigação e gestão de recursos hídricos, com ênfase na utilização de recursos tecnológicos de baixo custo, que tornem mais acessível o uso deste sistema ao pequeno produtor rural. Este trabalho também apresenta um sistema de aquisição de dados georreferenciados para aplicações na agricultura ou na irrigação de precisão que pode auxiliar o agricultor em tomada de decisão, onde os dados são vinculados a informações geográficas da área, podendo economizar água, fertilizantes, defensivos agrícolas, etc. Esta dissertação é organizada em Revisão de Literatura, Material e Métodos, Resultados e Discussão, Conclusões e Referências Bibliográficas. A Revisão de Literatura aborda temas como telemetria, sistemas de sensoriamento, aplicações e uso da instrumentação na agricultura, etc. O Material e Métodos abordam a metodologia e a forma de elaboração do trabalho, mostrando os softwares e sua forma de elaboração. Os Resultados e Discussão apresentam os testes e resultados obtidos na condução do trabalho, como, especificações referentes ao software e ao hardware, bem como testes e avaliações a respeito dos mesmos. As conclusões mostram de forma sucinta e clara o trabalho desenvolvido.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta sobre conceitos técnicos associados à área de telemetria e sistemas georreferenciados aplicados na área agrícola, incluindo sensores, formato de dados, transmissão de dados, linguagem de programação, etc.

4.1 Automação em ambientes agrícolas

A automação agrícola vem se tornando cada vez mais presente no cotidiano do produtor rural através de máquinas e ferramentas que facilitam o processo de operação e gestão da atividade. É válido afirmar que a automação teve um grande crescimento nas últimas décadas com o aprimoramento de tecnologias eletrônicas (WEBSTER, 1999). Todavia, esta técnica ainda tem muito a se desenvolver nesta área, pois existem diversas vertentes que podem ser automatizadas.

A seguir serão apresentados alguns exemplos de aplicação da automação em ambientes agrícolas, destacando áreas como a irrigação e o cultivo em ambiente protegido que é tema principal deste trabalho de pesquisa.

4.2 Contribuição da automação na agricultura irrigada

Segundo Cleaver e Ganguly (2005) as tecnologias aplicadas na área de irrigação, como irrigação de precisão, automação, aquisição de dados, etc. vem se tornando cada vez mais frequentes sendo este consumo uma característica irreversível, pois se trata de

uma técnica que auxilia no gerenciamento da água aplicada via irrigação, utilizando este recurso de maneira eficiente e até mesmo proporcionando economia da água aplicada. É válido ressaltar que a aplicação destas novas tecnologias podem facilitar alguns processos, porém essa tecnologia deve ser realizada em conjunto com outras demais técnicas. Por exemplo, de nada adiantaria automatizar o processo de irrigação sendo que o mesmo não está sendo feito de maneira adequada. Por isso é importante que o conjunto como um todo seja realizado de maneira correta, assim a automação deixa de ser um fator de oneração dos custos de produção passando a auxiliar a cadeia produtiva, proporcionando benefícios ao agricultor.

Uma das formas de contribuição da introdução da automação em sistemas irrigados é a capacidade de mensuração de fatores climatológicos, tais como: temperatura, umidade relativa do ar, teor de água no solo, velocidade e direção do vento, etc. Isto porque o fator relacionado ao clima no ambiente de cultivo do vegetal que por sua vez, está diretamente ligado aos processos metabólicos da planta, influenciando de maneira significativa mecanismos fisiológicos, tais como, produção de enzimas, absorção de nutrientes, evapotranspiração, etc. (TAIZ e ZEIGER, 2006). Dentre estes processos fisiológicos, a evapotranspiração é um dos fenômenos de maior relevância, pois esta relacionado a transferência de água para a atmosfera por meio evaporação (solo) e transpiração (vegetal).

Quando se trata do fenômeno de evapotranspiração, a temperatura do ar e a umidade relativa exercem grande influência no seu comportamento, pois estas grandezas estão relacionadas ao ambiente na qual a planta esta cultivada. Por exemplo, em temperaturas do ar mais elevadas podem promover uma maior evapotranspiração, pois o solo e o vegetal estão sujeitos ao comportamento de equilíbrio térmico com o ar atmosférico perdendo água neste processo. Outro fator de grande importância é que a temperatura do ar é diretamente proporcional à radiação solar, portanto quanto maior a radiação maior a temperatura e consequentemente maior será a evapotranspiração. A umidade relativa do ar apresenta comportamento inversamente proporcional ao fenômeno de evapotranspiração, ou seja, quanto maior for a umidade relativa do ar menor será a evapotranspiração, isso ocorre porque o ambiente submetido a elevados valores de umidade tende ao equilíbrio com o vegetal, diminuindo o processo de evapotranspiração. Portanto, a temperatura e a umidade relativa do

ar agem em conjunto influenciando o processo de evapotranspiração (BERNARDO et al., 2006).

4.3 A importância da automação em cultivos protegidos

O cultivo em ambiente protegido consiste em técnicas de produção agrícola onde se tem um controle do processo produtivo através de meios que permite a manipulação do ambiente. Logo, a casa de vegetação é um típico exemplo deste tipo de sistema de cultivo (TERUEL, 2009). Atualmente, a automação neste tipo de cultivo esta sendo uma prática que já faz parte do cotidiano do produtor, pois se tem a necessidade do controle de processos inerentes à produção agrícola, o que possibilita obter maiores índices de produtividade e qualidade, consequentemente uma produção mais eficiente (ZABELTITZ, 2010).

A automação em casas de vegetação busca principalmente o controle dos fatores climáticos, tais como, temperatura, umidade relativa, luminosidade, radiação solar, ventilação, resfriamento, concentração de CO₂, aquecimento, etc. O controle destes fatores é de extrema importância, pois estão diretamente ligados ao processo de produção. Assim, Kittas e Bartzanas (2006) relatou a importância destes fatores e a sua influência na produção das culturas, notou-se, que a ventilação exerce grande influência em processos como a evapotranspiração, que por sua vez, esta diretamente ligada a demanda de água pelas culturas que exerce grande influência no processo de irrigação. Como já foi dito, diversos fatores climáticos podem ser controlados em um casa de vegetação, a exemplo, Kolokotsa et al. (2009) buscaram desenvolver um sistema automatizado com o objetivo de controlar o microclima dentro de uma casa de vegetação, os parâmetros de avaliação mensurados foram, luminosidade, temperatura do ar, umidade relativa e concentração de CO₂, destacando-se também a importância de se mensurar estes fatores no controle produtivo de uma casa de vegetação.

4.4 Telemetria

Telemetria é a união de duas palavras de origem grega em que *tele* significa longe e *meter* que significa medir. Portanto, telemetria significa a medição de alguma grandeza de interesse à distância. No entanto, esta troca de informação deve ser de forma rápida, segura e fácil de realizar (ENDERLEIN, 1994). Por isso, uma das técnicas de telemetria comumente utilizada é a comunicação sem fio. Este processo de troca de informações é bem pertinente a área tecnológica e agrícola, e o seu uso se expande em diversas áreas, como, automobilismo, aviação, indústrias e agricultura (PATRANABIS, 1999).

4.5 Sinal analógico e digital

A Figura 1 exemplifica os sinais do tipo analógicos e digitais.

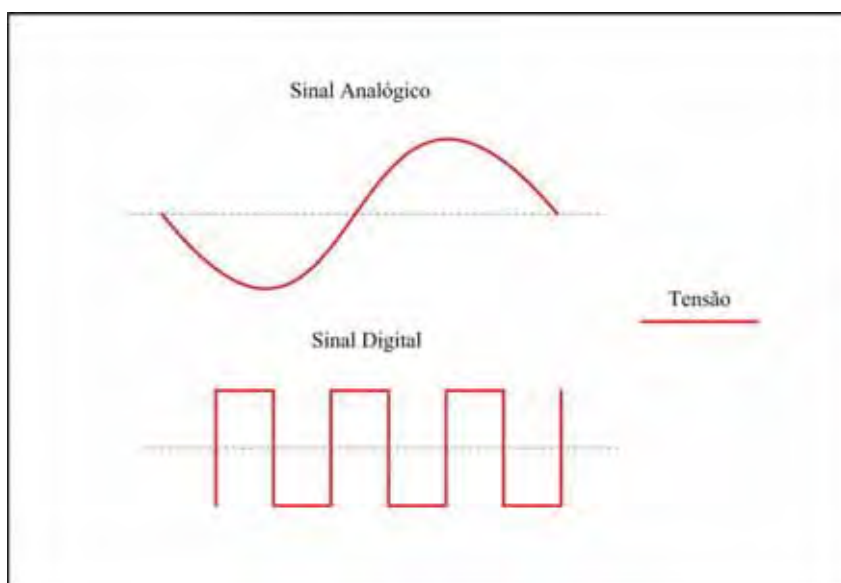


Figura 1: Exemplo de sinal analógico assumindo valores contínuos e um sinal digital assumindo somente dois valores binários.

O sinal analógico possuem valores denominados de análogo ao da propriedade física que o originou, ou seja, este tipo de sinal assume valores contínuos existentes entre dois limites. Um exemplo de sinal analógico é o gerado por um microfone, este é um tipo de sinal contínuo e proporcional assumindo vários valores dentro de um intervalo. Outro exemplo de sinal analógico é do sensor de temperatura LM-35, este sensor emite sinais analógicos num intervalo conforme a temperatura que esta submetido assumindo valores contínuos (LATHI, 2004).

O sinal digital, por sua vez, assume valores que não varia continuamente ao longo do tempo, ou seja, este tipo de sinal pode assumir somente dois valores binários (HUS, 2003). De modo didático este tipo de transmissão pode assumir valores de 0 ou 1. Por exemplo, um sensor de nível ICOS C-35, assumindo somente dois valores, podendo estar ativado (valor 1) ou desativado (valor 0). A importância do conhecimento desses tipos de sinais refere-se ao planejamento de circuitos eletrônicos, visto que é necessário se ter em vista o modo de comunicação dos dispositivos para elaboração de instrumentos de medição.

4.6 Comunicação por meio de cabo elétrico

O sistema de comunicação por meio de cabos consiste na utilização de um cabo condutor que tem como função a transferência dos dados eletricamente, (FONTES, 2003). Apesar da sua popularidade, a utilização de cabos oferece pouca flexibilidade, principalmente em aplicações agrícolas e industriais, devido ao ambiente no qual o sistema é implantado, outra grande limitação em se utilizar este sistema é a necessidade investimentos relacionados a implantação da rede de cabos. Portanto todas estas características tornam este sistema de comunicação limitado para aplicações em ambientes agrícolas, devido sua falta de mobilidade (MATTOS, 2004). Outra limitação da utilização de cabos elétricos é a susceptibilidade a descargas elétricas, isto pode prejudicar a qualidade da informação transmitida e danificar o equipamento de medição causando sérios transtornos ao usuário.

4.7 Comunicação sem fio

Geralmente os sistemas de comunicação sem fio possuem uma configuração padrão, como é ilustrado na Figura 2. Nota-se que a arquitetura inicia-se com o transmissor de dados, este normalmente é dotado de um dispositivo eletrônico que envia um sinal de radio frequência, que pode se sobressair diante de algumas barreiras físicas, encontrando-se o receptor que tem como função receber as informações enviadas pelo transmissor. A partir do receptor, os dados podem ser tratados através de um computador, (MATTOS, 2004). Além destas características, este tipo de comunicação permite uma maior mobilidade do equipamento, permitindo-o sua instalação em diversos pontos dentro do seu raio de alcance.

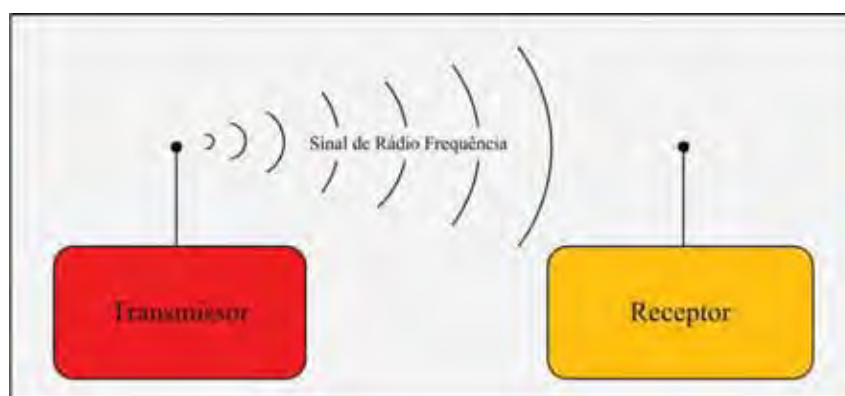


Figura 2: Sistema de comunicação via rádio frequência com um transmissor enviando sinal de rádio para um receptor de dados.

4.8 Representação da informação

As informações manipuladas por um computador são diferentes das do cotidiano do ser humano. Os computadores se comunicam através de valores denominados de códigos *binários*, podendo assumir um valor hipotético de 0 e 1. Cada valor binário (0 ou 1) recebe o nome de *bit*. Esses valores são processados pela máquina, que posteriormente os

imprimem em monitores, *displays*, impressoras, etc. numa linguagem na qual o ser humano está habituado.

4.9 Definição de bit e byte

Como já discutimos no item acima um *bit* é um dígito *binário* podendo assumir o valor de 0 e 1. O conjunto de 8 *bits* é denominado de byte. O valor 8 não é por mero acaso, com este valor pode ser representado todas as informações relacionadas a caracteres alfanuméricos e os símbolos, que fazem parte do cotidiano da humanidade. Assim, fazendo 2^8 obteremos 256, este valor é o suficiente para representar estes caracteres (BROOKSHEAR, 2003). Deste modo, foi criado um padrão de representação, sendo que cada byte, representa uma informação. Este padrão foi estabelecido pela American Standard Code for Information Interchange (ASCII), como é exemplificado na Tabela 1.

Tabela 1: Exemplo de representação de alguns dos 256 caracteres possíveis de serem representados pelo código ASCII.

Símbolo	ASCII	Símbolo	ASCII	Símbolo	ASCII
espaço	00100000	0	00110000	a	01100001
!	00100001	1	00110001	b	01100010
“	00100010	2	00110010	c	01100011
#	00100011	3	00110011	d	01100100
\$	00100100	4	00110100	e	01100101
%	00100101	5	00110101	f	01100110
&	00100110	6	00110110	g	01100111
‘	00100111	7	00110111	h	01101000
(	00101000	8	00111000	i	01101001
)	00101001	9	00111001	j	01101010

Fonte: BROOKSHEAR (2003).

4.10 Conversão de valores binários para decimal e vice-versa

É de fundamental importância interpretar os valores binários, pois estes estão relacionados à forma na qual o computador envia dados a outro computador, ou seja, é a forma de comunicação dos equipamentos eletrônicos e esta compreensão está diretamente ligada ao processo de automação e instrumentação, pois alguns sensores ou medidores se comunicam através de dígitos binários com o processador ou computador.

De acordo com Mattos (2004) para se converter um número binário para um número decimal, deve-se escrever cada número que compõe o bit (0 e 1), o multiplicando pela base 2 (binário) elevando-o a base na qual este número se ocupa iniciando do valor 0 (zero) da direita para a esquerda, como mostra a Figura 3.

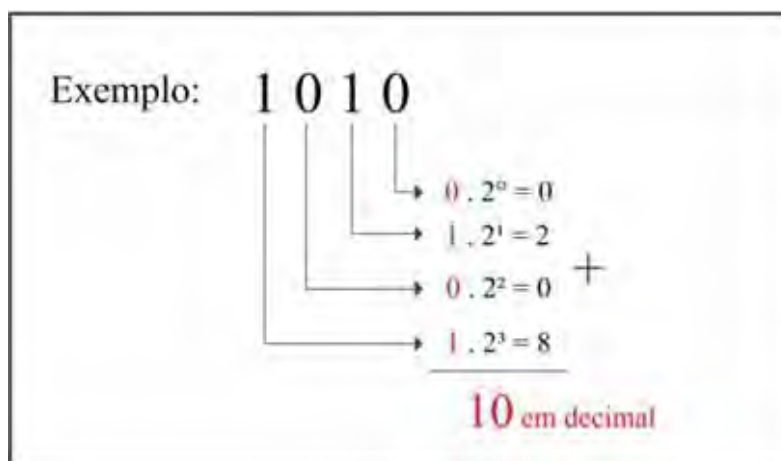


Figura 3: Exemplo de conversão de um número binário para um número decimal.

O oposto, ou seja, quando se pretende realizar a conversão de um número decimal para binário é realizado a decomposição deste número pela base 2 (binário), e obter o resto, como é mostrado na Figura 4.

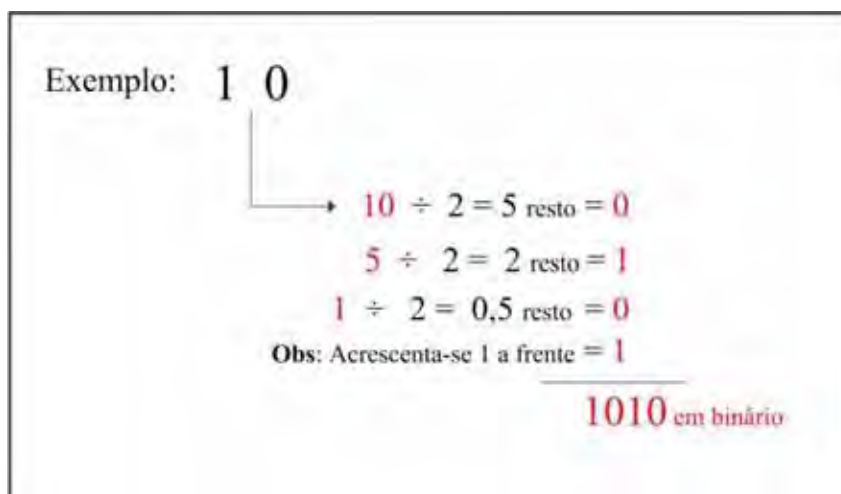


Figura 4: Exemplo de conversão de um número decimal para um número binário.

4.11. Porta de comunicação serial

A porta serial, também conhecida como interface serial, ou no caso de computadores pessoais como interface serial RS-232, é uma porta de comunicação utilizada para conectar dispositivos de hardware tais como, impressoras, modems, mouses, scanners, medidores, etc. Na interface serial, os bits são transferidos em fila, ou seja, um bit de dados de cada vez. O padrão RS-232 define nove pinos para comunicação hardware/computador, como mostra na Figura 5 (SAWAYA, 1999).

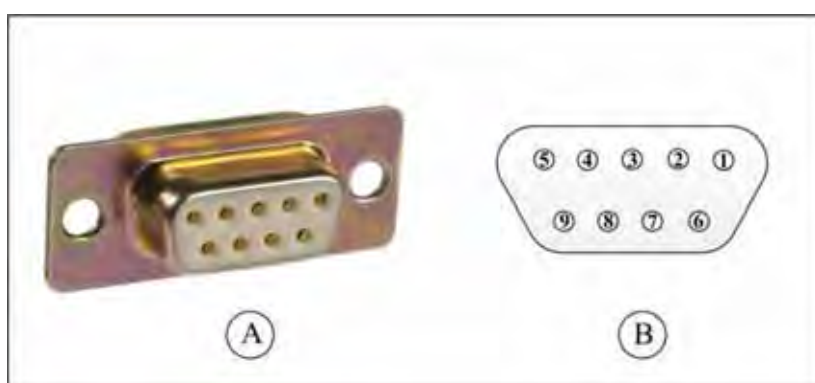


Figura 5: Exemplo de uma porta de comunicação serial (A) e sua pinagem (disposição dos pinos de conexão) (B).

Cada pino desta porta de comunicação possui uma determinada função, como é exemplificado na Tabela 2.

Tabela 2: Funções dos pinos presentes na porta de comunicação serial.

Pino	Nome	Função
1	Data Carrier Detect (DCD)	Usado para a comunicação com o modem
2	Recebe os dados (RxD)	Recebe os dados do equipamento
3	Transmite os dados (TxD)	Transmissão computador/equipamento
4	Data Terminal Ready (DTR)	Controle de fluxo
5	GND	Conexão terra
6	Data Set Ready (DSR)	Controle de fluxo
7	Request To Send (RTS)	Controle de fluxo
8	Clear To Send (CTS)	Controle de fluxo
9	Ring Indicator (RI)	Indicador de chamada

Fonte: Aggarwal e Singh (2006).

O conhecimento das funções dos pinos na porta serial é de fundamental importância, pois se refere a comunicação de um medidor ou sensor com o computador e isto está diretamente ligado a processos de automação e tele controle.

4.12 Sistema de rádio transmissão

Os sistemas de comunicação via rádio frequência (RF) utilizam ondas eletromagnéticas como elemento de comunicação entre transmissor e receptor. Estas ondas eletromagnéticas possuem a capacidade de se propagar pelo espaço, podendo ultrapassar ou transcender algumas barreiras físicas no processo de comunicação. Portanto a implantação de sistemas de comunicação via rádio frequência é facilitada. Evitando custos com a aquisição e instalação de cabos de transmissão (MATTOS, 2004).

Os sistemas de comunicação por meio de rádio frequência possuem as seguintes vantagens quando comparadas ao sistema de comunicação por meio de cabos elétricos: permite uma maior mobilidade do medidor permitindo uma instalação mais fácil dentro do raio de alcance do transmissor, apresentando ótima flexibilidade quando instalado

em meio a barreiras físicas, comuns nas indústrias e na agricultura; outra grande vantagem deste sistema é que evita a compra, instalação e manutenção de cabos elétricos (FONTES, 2003).

4.13 Transmissor

Transmissor é um componente eletrônico que produz sinais de rádio frequência permitindo que os dados da telemetria cheguem ao local de recepção, ou seja, os transmissores têm como função enviar as informações até o receptor por meio de um sistema de rádio frequência (MATOS, 2004).

4.14 Receptor

O receptor é um equipamento que recebe o sinal de rádio frequência pela antena, o qual foi enviado por um transmissor. A partir do momento em que o receptor capta as informações, estas podem ser tratadas por um processador (SOBH et. al., 2008).

4.15 Antena

A antena tem como função converter o sinal de saída do transmissor em sinais de rádio frequência, através da antena é possível a comunicação sem fio entre o receptor e o transmissor como na mostrado na Figura 6. Portanto, a antena emite sinais de rádio frequência e estes sinais são convertidos em sinais elétricos, como os que foram gerados pelo transmissor e enviados para a antena (FIORESE, 2005).



Figura 6: Exemplo de antena de um sistema de rádio frequência.

4.16 Atenuação de Sinais de Rádio Frequência

Os sinais de rádio frequência sofrem atenuação de seu processo de transmissão ou comunicação, este fato ocorre devido a diferentes fatores, como, interferência e ruído. Estes fatores provocam perturbação no sinal de rádio frequência, prejudicando a qualidade do sinal e consequentemente a confiabilidade da informação (BAILEY, 2003).

4.17 Interferência

A interferência é uma perturbação no sinal de rádio, causada por outra emissão de rádio na mesma frequência. Esta perturbação provoca uma irregularidade nas informações recebidas pelo receptor, o que pode comprometer todo o sistema de aquisição dos dados por meio da comunicação em rádio frequência (PATRANABIS, 1999).

4.18 Ruído

O ruído é uma perturbação que ocorre por meio de uma fonte, podendo ser interna ou externa ao circuito eletrônico. Por exemplo, redes de alta tensão próximas ao

sistema de comunicação pode possibilitar a presença de ruídos. No entanto é válido afirmar que a susceptibilidade do sistema ao ruído é dependente do nível do sinal transmitido, a utilização de potências elevadas na transmissão e a redução da distância entre as estações, podem auxiliar a redução de ruídos (MUKHOPADHYAY e LEUNG, 2010).

4.19 Sistema de sensoriamento

Um sensor é um dispositivo que sofre a variação de alguma característica interna, em função da variação de um parâmetro físico externo (SOLOMAN, 2010). Quanto à forma de funcionamento, existem dois tipos básicos de sensores no mercado. Os contínuos, que emitem um sinal elétrico variando sua voltagem de acordo com a intensidade que esta o seu parâmetro de medição externa, como é o exemplo dos sensores de temperatura LM-35 (Figura 7), que para cada grau de temperatura mensurado é emitido uma tensão de saída diferente (ROSÁRIO, 2009). Outro tipo de sensor são os denominados discretos, estes por sua vez, possuem dois níveis lógicos, podendo assumir o nível lógico alto e o nível lógico baixo, representando como saída somente dois tipos de tensão que podem variar de acordo com o sensor, como é o caso dos sensores de nível com movimento magnético (Figura 7) (MUKHOPADHYAY e HUANG, 2008).

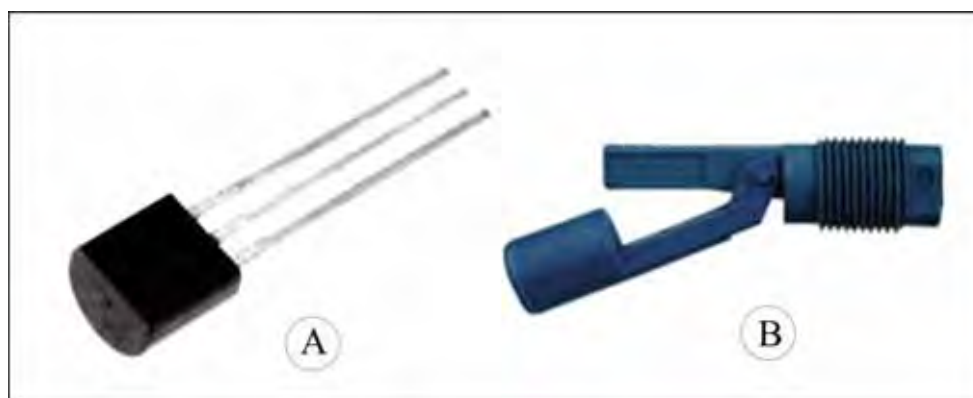


Figura 7: Sensor de temperatura LM-35 (A) e sensor de nível tipo pontual com movimento magnético (B).

O sensor, seja qual for o seu tipo, necessita de um circuito de sensoriamento. Este circuito de sensoriamento quando formando recebe o nome de um sensor integrado ou um dispositivo de sensoriamento, que já se torna um aparelho de medição (MERKER e SCHWARZ, 2001).

Nas próximas seções serão apresentadas as principais características inerentes a um sensor, estas características são de fundamental importância, pois se trata da maneira na qual um sensor opera. Sendo importante na sua escolha e na grandeza na qual se deseja medir.

4.20 Faixa de operação

A faixa de operação de um sensor nada mais é que sua faixa de trabalho, ou seja, é a faixa de grandeza física na qual o sensor opera, por exemplo, um sensor de temperatura opera numa faixa de 0 a 120°C, neste caso, o sensor é indicado para trabalhar somente neste intervalo de valores. A importância de conhecer a faixa de operação esta relacionada a característica do sensor e através dela se conhece qual sensor utilizar naquela determinada condição (SOLOMAN, 2010).

4.21 Escala de saída

A escala de saída esta relacionado a tensão máxima de saída de um sensor. Por exemplo, suponha um sensor de temperatura fictício que opera numa faixa de 0 a 120°C, sendo que para cada grau sua saída é de 10 mV/°C, e que estes valores sejam lineares. Portanto se multiplica os 10 mV por 120° (máxima operação), assim se tem a escala de saída de 1,2V. O valor da escala de saída esta diretamente relacionada a escolha do *Data Logger* (equipamento responsável pelo tratamento dos dados) ou pela montagem do dispositivo de sensoriamento.

Outro fator que a escala de saída exerce importância, é na qualidade dos sinais elétricos, escala de saída muito baixa, o sinal elétrico está mais sujeito a ruídos e interferência eletromagnética dificultando e prejudicando a qualidade na aquisição dos dados. Quando os sinais emitidos estão fora dos padrões para a sua finalidade, este é submetido a um

procedimento denominado condicionamento de sinal, processo no qual o objetivo é tratar o sinal com o auxílio de redutores (quando o sinal está acima do recomendado) ou amplificadores (quando o sinal está abaixo do recomendado) (FOWLER e SCHMALZEL, 2004).

4.22 Exatidão

A exatidão refere-se ao erro que normalmente o sensor possui, ou seja, é a diferença entre o valor real e o valor equivocado (margem de erro) é o quanto que o valor medido se desvia do valor real. A importância de se conhecer a exatidão de um medidor está relacionada à sua aplicação no momento da mensuração, normalmente a exatidão é expressa em porcentagem referente à margem de erro (WEBSTER, 1999).

4.23 Precisão

A precisão é comumente confundida com a exatidão, porém são termos diferentes, a precisão diz respeito à repetitividade do erro encontrado em um sensor. A partir do momento em que um determinado sensor é lançado no mercado são realizadas diversas baterias de testes referentes a sua margem de erro e na medida que o erro de um sensor se repete é válido afirmar que o mesmo apresenta-se uma determinada precisão conforme o seu grau de repetição (MUKHOPADHYAY e HUANG, 2008).

4.24 Sensibilidade

A sensibilidade é a menor variação da grandeza detectada por um sensor, ou seja, são as menores unidades que o sensor realiza a leitura. No entanto esta menor grandeza percebida um sensor pode não ser linear (não é considerada precisa). Por exemplo, o sensor pode medir a temperatura numa sensibilidade menor numa faixa que varia de 0 a 50° e de 50 a 120°C a sua sensibilidade passa a ser maior, pois ele não responde linearmente ao estímulo externo. O ideal é que a sensibilidade de um sensor seja a menor possível, assim os sensores são mais confiáveis (FOWLER e SCHMALZEL, 2004).

4.25 Resolução

Ainda segundo Fowler e Schmalzel (2004) a resolução do sensor é sua eficiência de converter os valores, ou seja, é a relação de entrada e saída dos dados. Por exemplo, o sensor de temperatura que havíamos mencionado no item acima, para cada 1C° de entrada é emitido 10mV de saída. O ideal é que para cada unidade de grandeza mensurada o sensor emita um sinal elétrico de grande dimensão, assim o sensor terá uma resolução menor, aumentando sua qualidade.

4.26 Estabilidade

A estabilidade é o comportamento do sensor ao longo do tempo. Determinados sensores não proporcionam o mesmo desempenho ao longo do tempo, sendo assim, é necessário efetuar a sua calibração em determinados períodos de tempo com o intuito de se ter um dispositivo que forneça determinada confiabilidade. O ideal é que se tenha um sensor estável que sofra o menos possível com a variação do tempo. É válido afirmar que determinados sensores também podem ter suas características alteradas em determinados ambientes considerados hostis, neste caso deve se ter cuidado da disposição dos sensores nestes locais (SOLOMAN, 2010).

4.27 Especificidade

A especificidade diz respeito à imunidade do sensor a outros fatores externos. Alguns sensores que medem determinada grandeza sofrem influência de outra grandeza, e deste modo a grandeza que esta sendo determinada sofre variação. Por exemplo, um sensor de dióxido de carbono (CO₂) pode sofrer influência da temperatura do ambiente em questão. Alguns medidores possuem ambos sensores, e realizam uma relação, como no exemplo, um medidor de CO₂ pode ter embutido um sensor de temperatura, e na medida que a temperatura varia é realizada a correção do erro, assim, os dados são processados de maneira interligada (FOWLER e SCHMALZEL, 2004).

4.28 Tempo de resposta

De acordo com Fraden (2010), o tempo de resposta é o tempo que um sensor leva para obter uma saída em função de uma determinada entrada. Por exemplo, um sensor de umidade relativa onde à medida que ele mantém o contato com a grandeza na qual se deseja medir, ele leva 1 segundo para a saída dos dados, portanto o seu tempo de resposta é de 1 segundo. Em determinadas ocasiões é necessário que o tempo de resposta seja o menor possível, permitindo a avaliação dos dados naquele determinado momento.

4.29 Software

O software é também conhecido como programa computacional, representa uma sequência de instruções a ser executada em um computador ou por outros dispositivos eletrônicos similares tais como, celulares, agendas eletrônicas, etc. (TURNER, 2004). Todo software é composto por uma sequência de instruções. Estas sequências de instruções são denominadas de algoritmo computacional. Os algoritmos resultam em um comportamento desejado, com o objetivo de exercer alguma função para facilitar o cotidiano da população. Estes algoritmos são executados por um processador sendo que estas instruções são realizadas numa linguagem denominada de linguagem da máquina. Atualmente existe uma série de softwares que exercem as mais variadas funções. No ambiente agrícola, o software facilita o gerenciamento das informações, sendo essencial para gestão e até mesmo para auxiliar na automação de alguns procedimentos na agricultura (LAUNG TERNG et. al., 2009).

Os softwares computacionais estão presentes em diversas áreas de atuação como, por exemplo, transportes, siderúrgica, petroquímica, saúde, telecomunicações, etc. Não há dúvida de que os computadores de nada adiantariam se não fossem os programas computacionais presentes neles. Sua função é crucial no que diz respeito à interface homem máquina, permitindo a facilidade de interação entre o usuário e o computador (JANSEN, 2003).

4.30 Algoritmos

Um algoritmo é um conjunto de informações ou procedimentos que define a forma com que uma tarefa é executada. Por exemplo, colocar ervilhas em uma vasilha, com vista neste problema podemos afirmar o seguinte algoritmo: pegar a lata de ervilha; abrir a lata de ervilha; retirá-la e colocá-la no recipiente e jogar a lata vazia fora (BROOKSHEAR, 2003).

É de fundamental importância se ter o conhecimento de algoritmo, pois envolve a essência da programação computacional, geralmente, o software é criado com base em instruções e procedimentos. É válido afirmar que um algoritmo deve ter uma sequência lógica e bem definida, os procedimentos devem ser claros e objetivos (SEBESTA, 2002).

4.31 Linguagem de programação

A linguagem de programação é um conjunto de regras sintáticas que permite que o usuário realize a programação propriamente dita, ou seja, o conhecimento da linguagem de programação permite definir o programa de computador, conhecido também como software computacional (AGGARWAL e SINGH, 2006).

Atualmente existe uma série de linguagens de programação. As principais linguagens de programação são: Java Script; PHP; HTML; Python, Object Pascal; C; Assembly, etc (SAWAYA, 1999).

4.32 Software de comunicação da porta serial

Este tipo de comunicação é realizada com o uso de componentes específicos presentes nos softwares de compilação das linguagens de programação, tornando possível a transferência e a aquisição de dados via porta serial (RS-232). Este tipo de comunicação é de grande importância quando se trata de processos de automação, pois a saída serial se comunica de forma segura com a maioria dos medidores (LEITE, 2006).

4.33 Linguagem de programação *object pascal*

A principal característica desta linguagem é a sua facilidade em programar, assim, o *Object Pascal* envolve estruturas bem definidas e de fácil interface com o usuário (SOMERA, 2007). O software utilizado para programar nesta linguagem é o Delphi, que trabalha com programação orientada a objetos, esta programação é baseada na utilização de ferramentas simples, permitindo uma programação de forma fácil e rápida. Pelo fato do Delphi programar a linguagem *Object Pascal* ele é comumente confundido com a linguagem, embora o termo correto fosse a linguagem *Object Pascal*.

O *Object Pascal*, também possui forma de programação escrita, como acontece com as linguagens de programação convencional, isso possibilita a migração natural de programadores que antes utilizavam as linguagens convencionais, como, o C, Pascal, Basic, etc. (LORENZI e LOPES, 2000).

4.34 Estudos sobre telemetria em sistemas de irrigação e gerenciamento de recursos hídricos

Com o propósito de demonstrar a evolução tecnológica na área em estudo, nesta seção serão apresentadas aplicações e tendências tecnológicas relacionadas à utilização da telemetria em sistemas irrigados bem como, no gerenciamento dos recursos hídricos. Para tanto, foram realizadas análises a partir de artigos relacionados ao tema proposto a fim de abordar o conteúdo através de uma revisão literária.

Com o progresso da área científica e tecnológica, abriu-se fronteiras a evolução da agricultura, e este ambiente esta cada vez mais presente no cotidiano do agricultor, com o uso de ferramentas eletrônicas capazes de facilitar o processo de gestão e controle de produção. Estas ferramentas, além de auxiliarem no gerenciamento agrícola, em muitas das vezes são capazes de proporcionar um melhor uso dos recursos naturais, os utilizando de forma consciente contribuindo para a sustentabilidade da agricultura.

Dentre os recursos naturais utilizados na produção agrícola, a água é o que mais se destaca, pois este setor corresponde pelo uso de aproximadamente 70% do consumo total no planeta (CALHEIROS, 2006). Neste sentido a utilização da telemetria como

ferramenta tecnológica, a fim de mensurar fatores relacionados à produção em áreas irrigadas tem se tornado uma importante e crescente área de estudos. Kim e Evans (2009) mostraram que a utilização de sistema com transmissão de dados no processo de telemetria se torna uma ferramenta muito útil na escolha de procedimentos relacionados à como, quando e quanto irrigar, facilitando o gerenciamento da irrigação e contribuindo significativamente para a produção agrícola com o uso eficiente da água.

Assim, estes autores desenvolveram um sistema de comunicação sem fio que ativava os aspersores de maneira remota, um software computacional realizava o gerenciamento das informações tendo como base de dados proveniente de uma estação meteorológica, realizando o manejo da irrigação. Um sistema como este, não somente beneficia o controle da irrigação e o uso correto da água, mas também permite automatizar aplicação de agroquímicos via água de irrigação, processo no qual se denomina quimigação, destacando a aplicação de fertilizantes químicos via água de irrigação (fertirrigação).

Neste mesmo sentido Riquelme et. al. (2009) apresentaram uma forma de fertirrigação de precisão, medindo os parâmetros químicos do solo através de uma rede de sensores sem fio denominada WSN (*Wireless Sensor Network*). Esta técnica consiste na distribuição de sensores dotados de transmissores que se comunicam através de módulos de radio frequência entre si, realizando uma malha de comunicação que tem como objetivo a transferência de dados de interesse a um computador ou qualquer outro dispositivo eletrônico capaz de tratar estes dados, como ilustra a Figura 8. Assim, foram distribuídos sensores de umidade de solo, temperatura e condutividade elétrica numa área de horticultura na região semiárida de Murcia na Espanha. Notou-se a expressiva variabilidade dos fatores ambientais naquela determinada área de estudo, evidenciando a importância do manejo correto da água e fertilizantes, sendo possível implementar um sistema de controle automático de maneira simples, de baixo custo e altamente viável naquelas determinadas condições.

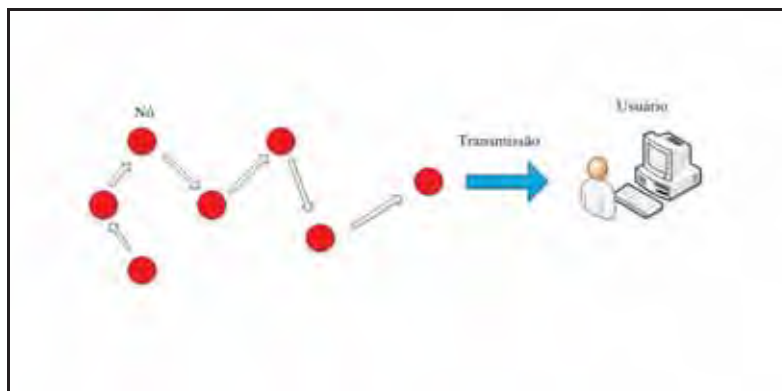


Figura 8: Exemplo de um sistema de rede de sensores sem fio.

Tecnologias de baixo custo são essenciais no cenário agrícola nacional, onde os produtores buscam sistemas eficientes e de baixo custo, com o objetivo de amortizar os custos de inerentes ao processo produtivo, em consequência aumentado o seu lucro, o mantendo na cadeia produtiva, contribuindo para a fixação do homem no campo. Deste modo, Benghanem (2009) desenvolveu uma estação climatológica de baixo custo que utilizava um sistema de transmissão via rádio frequência.

Esta estação realizava a medição de parâmetros como, temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar, velocidade direção do vento, pressão atmosférica e precipitação, neste trabalho utilizou-se um software que realizava a interface dos dados com o usuário que comunicava com o instrumento por meio da porta serial (RS-232), o software foi desenvolvido por meio do programa computacional LabView[®] pertencente a empresa National Instruments.

Neste mesmo sentido, Hedley e Yule (2009) desenvolveram um método para a determinação de umidade de água no solo de baixo custo, com a implantação de sensores de umidade sem fio, distribuídos ao longo de uma determinada área localizada na cidade de Manawatu em Nova Zelândia. A umidade do solo foi mensurada com o uso de um sensor eletromagnético, e verificou-se naquelas condições, variabilidade da umidade no solo em torno de 16%, isto indica que se a irrigação naquele local fosse realizada de maneira convencional o produtor rural estaria aplicando a água de maneira equivocada, ou seja, sub ou superestimando a quantidade real de água necessária ao cultivo. Portanto, este método proporcionou uma maneira eficaz e economicamente viável de irrigar.

Este sistema de sensoriamento aplicado à irrigação permite uma maior confiabilidade a um custo relativamente baixo. Neste mesmo sentido, Pinto et al. (2010) realizaram um trabalho buscando o monitoramento do cultivo em ambientes protegidos, em cultivo de hortaliças, utilizando-se dispositivos eletrônicos de baixo custo, através do uso de uma placa de aquisição de sinais, um microcontrolador, e um software desenvolvido em plataforma LabView[®] para realizar a interface com o usuário. Neste trabalho foi avaliada a temperatura ambiente e a umidade relativa do ar, com o uso de sensores específicos para este fim. Através da análise deste trabalho é possível expandir os estudos climáticos no interior de uma casa de vegetação, por exemplo, pode ser avaliado (além da temperatura e umidade relativa) o teor de água no solo a fim de automatizar o processo de irrigação, ou ainda, utilizar uma plataforma web permitindo o acesso às informações da irrigação via internet, facilitando o gerenciamento.

Assim, é válido ressaltar sobre a importância deste trabalho, pois o mesmo pode estabelecer rumos para diversas pesquisas posteriores. A exemplo, Chávez et al. (2010) apresentaram um estudo sobre o gerenciamento e controle automático de todo o sistema de irrigação através do uso da internet. Neste sentido utilizou-se para o controle do processo de abertura e fechamento de válvulas do tipo solenóide ligadas a linhas de irrigação, permitindo setorizar a irrigação de maneira em que, as regiões que necessitavam de maior quantidade de água pudessem ser irrigadas de maneira única, evitando desperdícios de água. Este sistema estava ligado a redes de conexões sem fio, que por sua vez, estava conectada a um servidor remoto (web), permitindo ao usuário o controle total do sistema em qualquer local do planeta. Este trabalho trata de uma inovação na área agrícola, pois o sistema pode ser controlado remotamente sem a presença de um operário, isto é uma tendência tecnológica com alta aplicabilidade na irrigação e no gerenciamento de recursos hídricos.

Neste mesmo sentido Salor et. al. (2008) desenvolveram uma tecnologia capaz de mensurar uma grandeza de caráter ambiental a distância através de um sistema para aparelhos portáteis, como por exemplo, os celulares, notebooks, etc. Este sistema permite a aquisição de dados de maneira segura e confiável a qualquer lugar do planeta. Beaudette e Geen (2008) realizaram um sistema online com o objetivo de avaliar de maneira remota as características físicas e químicas da superfície do solo em regiões localizadas no estado da Califórnia, Arizona e Nevada nos Estados Unidos. Para tanto, foi desenvolvido uma

página (website) na rede de internet que permitia o usuário realizar o acesso aos dados com maior tranquilidade e rapidez.

Se tratando de tendências tecnológicas associadas à irrigação, uma técnica promissora nos dias atuais é a Rede de Sensores Sem Fio (RSSF) popularmente conhecida como *Wireless Sensor Network* (WSN). Esta tecnologia possibilita a comunicação entre dispositivos eletrônicos, que por sua vez, efetuam a leitura de alguma grandeza físico-química do ambiente em estudo. Isto permite a viabilidade técnica da irrigação de precisão, prática na qual é aplicada a água conforme a necessidade daquele local em específico, para isso a área irrigada é dividida sistematicamente de acordo com suas características climáticas, químicas, topográficas, pedológicas, etc. (WANG et al., 2005).

Lima et al. (2010) utilizaram a tecnologia de redes de sensores sem fio aplicada no monitoramento da irrigação em campos de futebol, espalhando diversos dispositivos eletrônicos, comumente denominados de nós, na área com o objetivo de monitorar a umidade do solo.

Estes nós são capazes de perceber mudanças no ambiente e executar determinadas ações de maneira autônoma quando programados para este fim, possibilitando total controle da área em cultivo. Segundo Vellidis et al. (2007), uma das principais vantagens da utilização desta tecnologia perante as demais é a possibilidade de mensurar parâmetros de interesse a distância, não havendo a necessidade de estar no local, principalmente quando este local é de difícil acesso, como é o caso de se trabalhar com recursos hídricos em geral.

Outra vantagem, também não menos importante, é que a mesma permite mensurar o parâmetro de interesse em tempo real, isto possibilita a aquisição de um dado mais confiável.

Neste contexto, Torre Neto et al. (2007) desenvolveram um sistema de monitoramento de umidade do solo através do uso de rede de sensores sem fio implantados em uma área cultivada com citros no estado de São Paulo, com o objetivo de irrigar em taxa variável, ou seja, de acordo com a necessidade da cultura naquela região em específico. Assim os dispositivos eletrônicos se mostraram confiáveis na mensuração do teor de água no solo.

No entanto, de acordo com Zerger et al. (2010) o grande desafio WSN é possibilitar o aumento da vida útil da bateria do dispositivo eletrônico, conhecido também como “nó”, pois a partir do momento que este dispositivo esgota sua fonte energética se torna

difícil a sua reposição no campo. Outro grande desafio das pesquisas é tornar o sistema de transmissão mais eficiente permitindo o envio de informações a distâncias maiores, com o menor índice de interferência e ruído.

Quando se trata aplicações tecnológicas voltadas à conservação e gestão de recursos hídricos, encontram-se diversos trabalhos a respeito que abordam desde o monitoramento de rios, lagos, oceanos, etc. até processos de captação de água e tratamento de esgoto. Entretanto, estes trabalhos ainda estão se iniciando no nosso país a ponto de que mais pesquisas deverão ser realizadas com o intuito de criar soluções que auxiliam na conservação ambiental, facilitando o gerenciamento da água pelo profissional responsável por este trabalho. Neste contexto, a telemetria é uma tecnologia muito útil, pois permite o monitoramento da água em condições adversas, como por exemplo, monitorar níveis de água em reservatório de difícil acesso, monitoramento da qualidade da água em regiões insalubres, a exemplo de esgoto, água contaminada, etc. monitorar regiões oceânicas ou lagos em locais remotos, entre outras aplicações.

A exemplo, Oliveira et al. (2009) realizaram a implantação de uma série de sensores de nível em diversos reservatórios de abastecimento de água na região urbana em Poços de Caldas no estado de Minas Gerais, com o objetivo de facilitar a gestão e minimizar as perdas que numa estação de tratamento de água. O funcionamento do sistema consistia na instalação de sensores de nível nos reservatórios. Estes sensores, por sua vez, enviavam as informações por meio de sinais de rádio frequência até uma central de controle e operações que tinha como função realizar a aquisição e o tratamento destes dados. Com a utilização deste sistema de tele controle foi possível à aquisição dos dados referentes ao nível de água nos reservatórios em tempo real facilitando a distribuição estratégica da água para a população conforme a demanda daquele setor. Tal experiência permitiu uma melhoria no desempenho dos serviços, otimizando o trabalho e diminuindo os custos, e talvez o mais importante, reduzindo as perdas de água em até 2,68%.

O reuso de água residuária em sistemas agrícolas, principalmente no que diz respeito a cultivos irrigados, vem sendo muito adotado em países desenvolvidos. No entanto, este tipo de água deve ser devidamente tratada para evitar a presença de patógenos e substâncias químicas indesejáveis, o que pode comprometer todo o sistema produtivo. Observando a necessidade de monitorar a qualidade do tratamento de água, Quinn (2008)

implantou um sistema de monitoramento do teor de sais presentes em água residuária, que em grandes quantidades podem comprometer a técnica da fertirrigação com o reuso desta água nas culturas agrícolas. O estudo foi realizado na cidade de San Joaquin no estado da Califórnia nos Estados Unidos, implantou-se sensores de condutividade elétrica (mede o índice de sais na água) em diversos pontos na região de tratamento, estes sensores enviavam sinais de rádio frequência para uma central de controle onde estes dados eram tratados fornecendo informações cruciais para a aplicabilidade desta água residuária. As informações geradas por este processo viabilizou o sistema de fertirrigação oferecendo informações confiáveis ao profissional responsável pelo tratamento da água e facilitou o monitoramento, pois ofereceu maior segurança ao operador que antes estava sujeito ao contato com a água insalubre.

O monitoramento da qualidade da água esta tornando foco de muitas pesquisas científicas, diversos profissionais buscam gerenciar os níveis toxicológicos na água. Com o objetivo de evitar as frequentes poluições presentes neste tipo recurso natural, que está num processo irreversível de contaminação. A exemplo, Meyer e Huey (2005) utilizou um sistema de monitoramento da água por meio da telemetria instalados em diversos pontos da região de amostragem, enviando sinais de rádio frequência para uma central de controle responsável pelo gerenciamento das informações coletadas. O sistema monitorava a qualidade da água no estado do Novo México nos Estados Unidos utilizando sensores de condutividade elétrica, temperatura da água e duração do fluxo da chuva. Este sistema de monitoramento automático poderia ser implantado tanto na zona urbana, no monitoramento de estações de tratamento de água e esgoto, quanto em recursos hídricos naturais, como na agricultura ou em reservas ecológicas. Esta técnica apresentou-se muito eficiente para aquelas condições, a utilização da telecomunicação facilitou o gerenciamento hidrológico no monitoramento da qualidade da água em tempo real. São frequentes as inovações tecnológicas na área de recursos hídricos onde a telemetria esta diretamente relacionada diante destas inovações (QUINN et al., 2009).

É importante destacar que estas tendências tecnológicas são apenas para exemplificar um pouco do grande desenvolvimento associado à área de sensoriamento e telemetria que está tendo um espaço científico cada vez maior e que ainda pode ser considerada uma área nova e, portanto, muito promissora a nível científico e econômico. É

válido afirmar que como toda tecnologia recente são necessários mais estudos envolvidos no setor com o objetivo de explorar mais este tipo de tecnologia auxiliando a humanidade na gestão e conservação dos recursos hídricos naturais.

5 MATERIAL E MÉTODOS

Este capítulo será apresentado em duas partes principais, a primeira trata dos materiais utilizados no trabalho, tais como o software, componente serial e o hardware. A outra parte trata dos métodos e procedimentos realizados no desenvolvimento do trabalho, como a elaboração dos softwares e a elaboração do hardware.

O trabalho foi realizado no Laboratório de Instrumentação Inteligente (Lii), no campus da Faculdade de Ciências pertencente a UNESP, localizado na cidade de Bauru – SP.

5.1 Materiais

Nesta seção serão apresentadas as características da linguagem de programação, bem como a plataforma de programação utilizada no desenvolvimento dos softwares deste trabalho e o componente que deve ser instalado nesta plataforma para a realização da comunicação serial. Serão apresentados também os materiais utilizados para a elaboração do hardware para a telemetria.

5.1.1 Linguagem de programação

A linguagem de programação utilizada neste trabalho foi o *Object Pascal*, utilizando a plataforma de programação Delphi 2006. O Delphi é um software

utilizado em plataforma Windows para a confecção de sistemas de software, buscando facilitar o gerenciamento das informações. Na escolha deste software foi levado em consideração sua facilidade de programação e sua grande utilização da área da computação na criação de sistemas computacionais, por se tratar de uma linguagem de programação de fácil aprendizagem.

A Figura 9 mostra a tela principal do Delphi 2006, bem como as divisões principais desta plataforma. Nota-se na ilustração A a barra de ferramentas, nela estão dispostas as ferramentas necessárias para a criação de uma aplicação em Delphi. Na ilustração B podemos observar a janela de propriedades, onde é possível alterar as propriedades dos componentes que estão dispostos na barra de ferramentas. Na ilustração C podemos notar a área de destinada a criação de aplicações ou de sistemas computacionais, nesta área é inserida os componentes localizados na barra de ferramentas, utilizando um sistema de programação denominado de programação orientada a objeto.

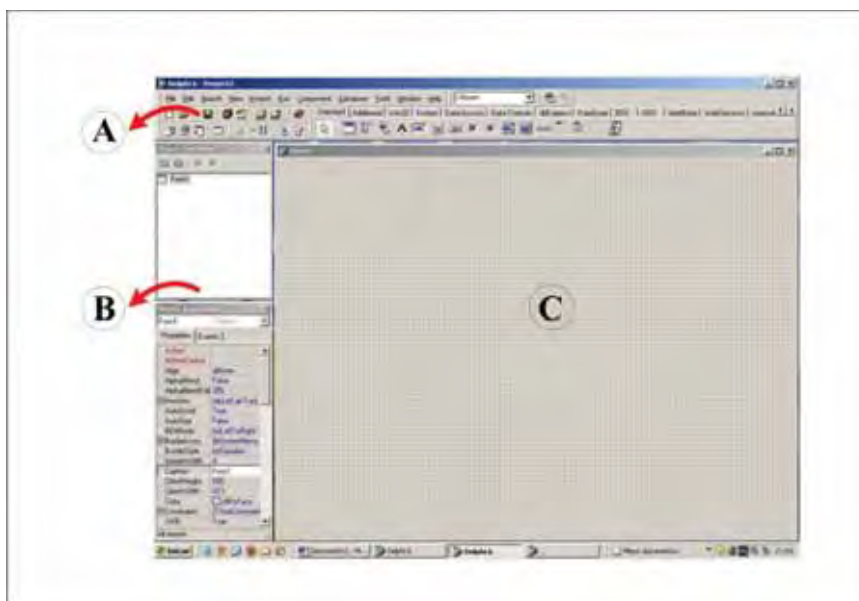


Figura 9: Tela principal do Delphi 2006, com a janela de propriedades (b), a barra de ferramentas (a) e a área destinada a criação de aplicações (c).

5.1.2 Componente serial

No desenvolvimento do software desse trabalho foi utilizado um componente para controle do processo de conexão a porta serial chamado *CommPortDriver*. A sua função é permitir que o software, escrito em linguagem Delphi, controle diretamente o hardware da porta de comunicação serial.

Para realizar esta conexão é necessário instalar um componente denominado de *CommPortDriver*. Este componente deve ser instalado, pois o mesmo não é incluso na biblioteca do Delphi. O procedimento de instalação consiste em abrir o Delphi sem nenhuma aplicação, após este procedimento deve-se clicar no menu *Componente* e na guia *Install Component*, como é ilustrado na Figura 10.

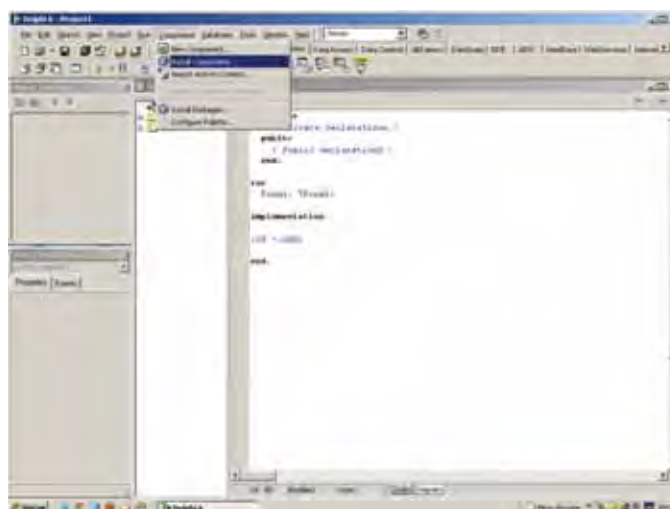


Figura 10: Habilitando o menu Componente e clicando sobre a opção Install Componente.

Em seguida aparecerá a janela *Install Component*, na *Unit File Name* clique no botão *Browse* e selecione o arquivo que represente o componente (*CRDrv*) e abra-o, como mostra a Figura 11.

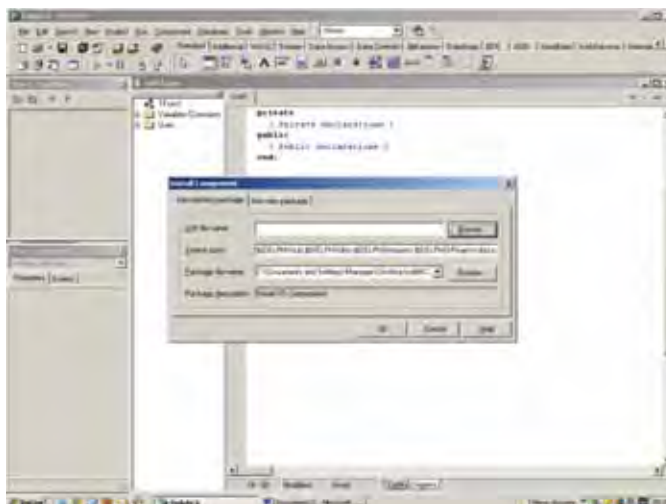


Figura 11: Janela Install Component aberta com as opções para seleção do arquivo.

Em seguida abrirá a *Package* com os arquivos relacionados ao componente, clique sobre o botão *Compile* e feche esta guia, como mostrado na Figura 12. Para finalizar verifique se o componente foi instalado corretamente na guia *System* do Delphi.

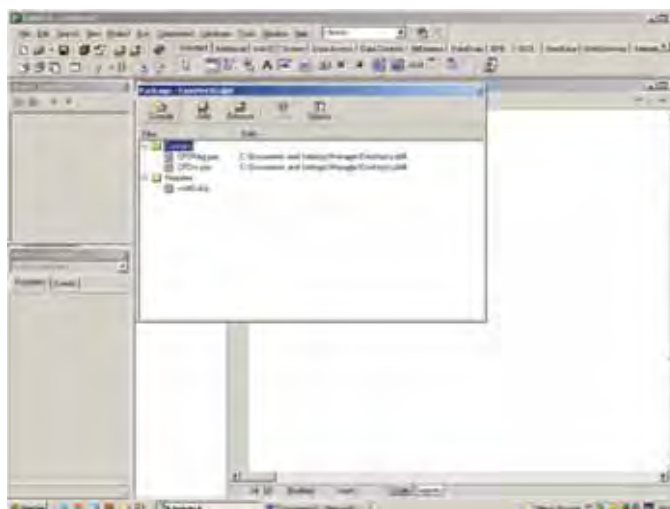


Figura 12: Janela Package aberta com os arquivos relacionados ao componente.

5.2 Métodos

Nesta seção será apresentada a metodologia dos principais algoritmos utilizados na elaboração dos softwares deste trabalho, além disso, será apresentado a forma de confecção dos módulos de rádio frequência utilizados no sistema de telemetria.

5.2.1 Software de comunicação serial

Na elaboração do software de comunicação serial utilizou-se o comando denominado de *OnReceiveData*, cuja função é conectar a porta serial ao computador fazendo com que os dados sejam recebidos pelo computador. Para criar este comando basta dar um duplo click sobre este componente abrindo a tela de comando do Delphi e inserir os comandos, como é mostrado na Figura 13.

As rotinas em Delphi sempre são iniciados com a palavra reservada *Begin* e finalizando com a palavra *End*. Deste modo, pela Figura 13, ao analisar os comandos nota-se que a variável *S* recebe o comando *StringOfChar*, que a função é de receber caracteres replicando os para um espaço na memória denominado de *DataSize*. A partir deste procedimento os dados que antes foram armazenados no *DataSize* são movidos através do comando *Move* para outro espaço reservado na memória do computador denominado de *DataPtr*.

```

procedure TForm1.CommPortDriver1ReceiveData(Sender: TObject;
DataPtr: Pointer; DataSize: Cardinal);

var i, cr: integer;
    s, ss, st: string;

begin
    {Início dos Comandos para Aquisição de Dados}

    s := StringOfChar(' ', DataSize);
    move ( DataPtr^, pchar(s)^, DataSize );

    sg := sg+s;
    cr := pos (#13, sg);
    if cr > 0 then
    begin
        st := copy (sg, 1, cr);
        Memo.Lines.Append ( st );
        Delete (sg, 1, cr);
    end;
end;

```

Figura 13: Comandos para estabelecer a comunicação do Delphi com a porta serial.

Assim, a variável *Sg* foi somada a ela própria com a variável *S* na intenção de concatenar as informações recebidas pela porta serial, que antes eram enviadas de forma particionada. A seguir é executado um comando na qual a variável *Cr* recebe a posição que se encontra o caractere ASCII 13 (#13), que corresponde ao *Enter* do teclado na variável *Sg*.

O próximo comando é denominado de condicional, ou seja, ele é executado caso ocorra determinada condição em específico. Deste modo, se (*If*) a variável *Cr* for maior que o número zero (0), então (*Then*) a variável *St* irá receber a cópia das variáveis *Sg* e *Cr* e do caractere um (1), em seguida a variável *St* será mostrada no componente *Memo* e as variáveis *Sg* e *Cr* serão apagadas com a finalidade de liberar o espaço na memória, como é ilustrado na Figura 13. Portanto, todo o conteúdo transferido via porta serial irá ser mostrado neste componente *Memo* que tem como função mostrar as informações ou dados recebidos.

Como podemos observar na Figura 13, para iniciar os comandos é necessária a declaração de algumas *Variáveis* que farão parte do programa. Variável é um objeto que é armazenado em uma posição na memória do computador que tem como objetivo armazenar um tipo de informação.

Assim este programa possui seis variáveis principais: sendo *I* e *Cr* do tipo inteira (recebem números inteiros); *S*, *Ss* e *St* do tipo String (conjunto de caracteres) e a variável *Sg* do tipo string, porém declarada como variável *Global*, ou seja, ela pode ser identificada em qualquer sub-rotina ou em todo o programa, ou seja, uma variável do tipo global pode ser identificada em qualquer parte do programa desenvolvido. A sua declaração é realizada logo no início do código fonte, onde normalmente aparece a primeira ocorrência da palavra *Var* seguida de *Form1: TForm1;* como é ilustrado na Figura 14.

```
var
Form1: TForm1;
sg:string;  {Variável Global}
implementation
```

Figura 14: Forma de declaração de uma variável global.

A conexão com a porta serial efetuou-se de forma com que os dados obtidos do medidor fossem transferidos para um componente *Memo* do Delphi 2006. Este componente é responsável por receber qualquer dado do tipo alfanumérico, assim, o objetivo é receber os dados por este componente para que a partir dele estes dados fossem posteriormente tratados.

Foram utilizados componentes no Delphi do tipo *Button* que são botões que foram adicionados um evento denominado de *OnClick* que é acionado a medida que o usuário clica sobre o botão. Portanto, adicionaram-se dois botões com a finalidade de estabelecer a conexão e outro com a função de desconectar a porta serial. Para tanto, utilizou-se o comando *Connect*, que verifica se o componente *CommPortDriver* encontra-se conectado ou não.

Para o envio e recepção dos dados, foram adicionados dois componentes *Memo*, um responsável pelo envio e outro responsável pela recepção. No envio é necessária a criação de dois eventos responsável por armazenar os valores (string) e enviá-las à medida que um botão for pressionado, no caso o botão <Enter> do teclado. Portanto, o primeiro evento criado foi o *OnKeyDown*, este evento identifica o byte recebido através da porta serial e imediatamente o envia para um espaço reservado na memória. Assim, todos os valores recebidos são transferidos para o computador sendo posteriormente tratados.

O segundo evento criado foi o *OnKeyPress*, este evento funciona em conjunto com o evento anteriormente citado, sendo que a sua função é de transferir os valores recebidos pela porta serial a medida que o *Enter* do teclado foi acionado, conforme é mostrado na Figura 15.

```

procedure TForm1.Memo1KeyDown(Sender: TObject; var Key: Word;
  Shift: TShiftState);
begin
  if not CommPortDriver1.connected then
  begin
    ToolButton1Click(nil);
    if not CommPortDriver1.connected then
      Key := 0;
    end;
  end;

  procedure TForm1.Memo1KeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
  begin
    if not CommPortDriver1.Connected then
      exit;
    if not CommPortDriver1.SendChar(key) then
      ShowMessage('Erro ao Enviar o Texto!');
    end;
  end;

```

Figura 15: Código principal dos eventos OnKeyPress e OnKeyDown.

5.2.2 Software registrador de dados

O objetivo principal deste software é receber as informações de um dispositivo de sensoriamento pela porta serial e gravá-las em um arquivo do tipo texto. No entanto, para ativar o sistema de recepção de dados, o fabricante do transceptor fez com que fosse necessário o envio de valores de inicialização, com 16 bytes. Os transceptores possuem essa particularidade sempre no início de qualquer tipo de transmissão de dados. Desse modo, o software simula o envio de uma cadeia de informações para efetuar a ativação do sistema de recepção. A Figura 16 demonstra o código fonte realizado para o envio dos valores de inicialização. Para tanto foi utilizado uma cadeia de caracteres, denominado de string variando A até P.

```

procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);

var
  x,n: integer;
  si, texto: string;
  b, y: byte;

begin
  si:= 'ABCDEFGHJKLMNOP'+#13;
  CommPortDriver1.sendstring (si);

  Memo2.Lines.Add('String de Inicialização Enviada');
  Memo2.Lines.Add("");

  n:= (StrToInt(Edit3.Text));
  b:=(StrToInt(Edit2.Text));
  Memo2.Lines.Add('Byte a Ser Transmido: '+ (IntToStr(b)));
  for x:=1 to n do
  begin
    CommPortDriver1.sendbyte (b);
    Memo2.Lines.Add("");
    Memo2.Lines.Add("Transmitindo o Byte Número: "+ (IntToStr(x)));
  end;
end;

```

Figura 16: Código principal para o envio de uma string de inicialização do receptor.

Ainda na Figura 16 podemos observar que o comando *sendstring* efetua o envio de uma cadeia de caracteres, que é armazenada na variável denominada de *si*. Os demais comandos deste programa possuem a função de informar o usuário a variável que esta sendo transmitida.

5.2.3 Sistema de hardware e software para telemetria

Nesta seção é apresentada a metodologia de confecção dos módulos de rádio frequência utilizados na aquisição de dados e o software desenvolvido com o propósito de testar o alcance destes módulos.

5.2.3.1 Sistema de hardware

O sistema de hardware foi dividido em dois módulos, o módulo de transmissão e o módulo de recepção. O módulo de transmissão possui a função de conectar-se

com o instrumento de medição enviando os dados para o módulo de recepção, que por sua vez, estará conectado ao computador com o software instalado.

A Figura 17 mostra a forma com que o módulo foi montado. Nota-se que os principais materiais utilizados para a confecção dos módulos foram os capacitores, o MAX 232 e o transceptor BIM2-433-160.

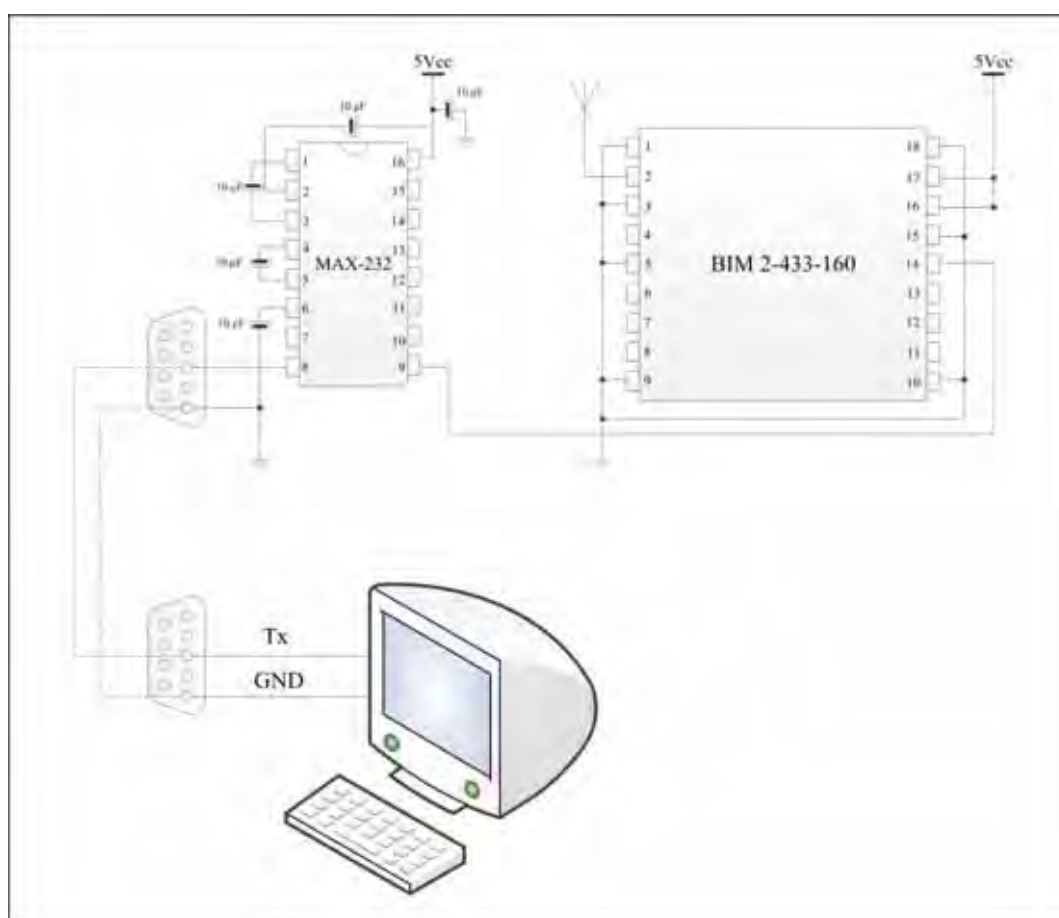


Figura 17: Esquema de montagem do módulo transmissor de dados por rádio frequência.

A Figura 18 mostra a forma esquemática de montagem do módulo de recepção, não há diferença de materiais utilizados para a confecção de ambos os módulos, a única diferença encontrada é na disposição dos pinos.

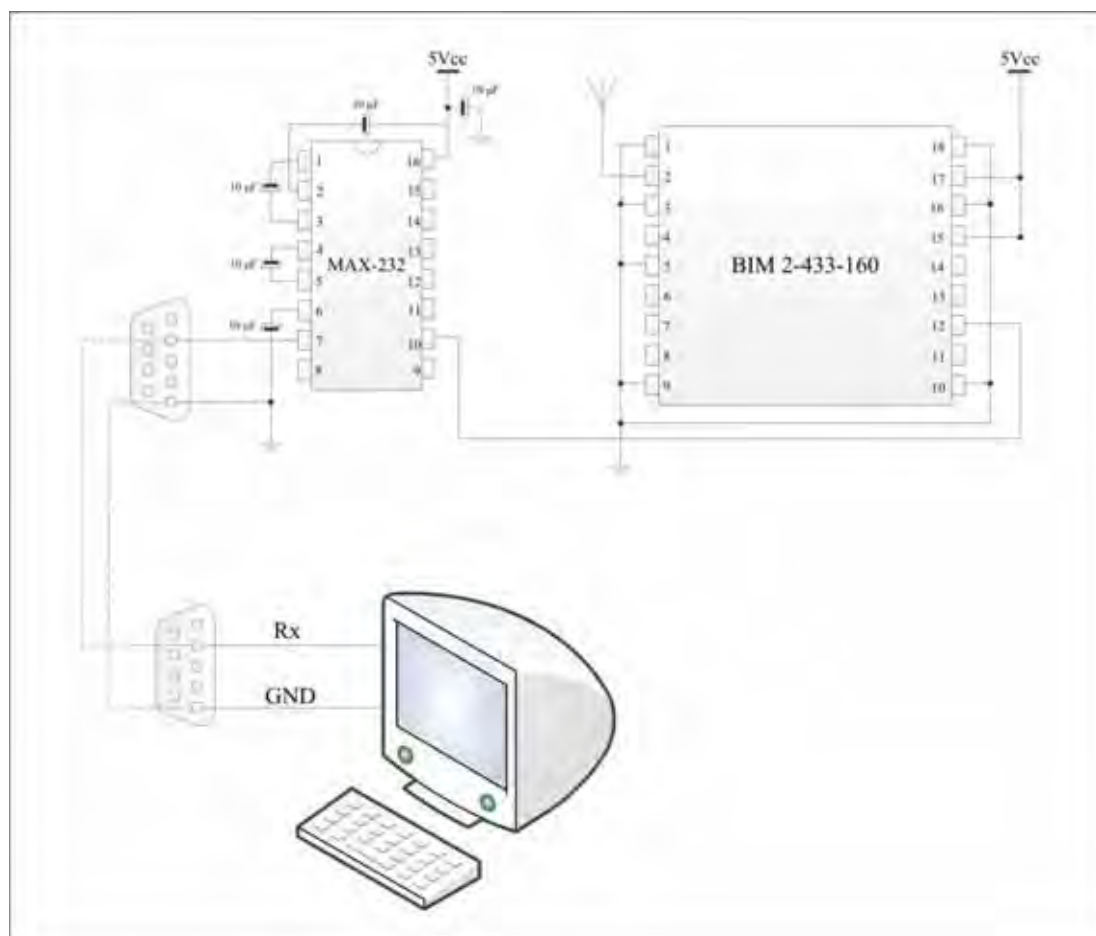


Figura 18: Esquema de montagem do módulo receptor de rádio frequência.

Na elaboração do hardware para o processo de telemetria foram utilizados diversos tipos de materiais, a Tabela 3 apresenta os materiais utilizados na elaboração do hardware para o sistema de telemetria.

Tabela 3: Materiais utilizados na confecção do hardware para o sistema de telemetria.

Item	Descrição	Quantidade
1	Radiometrix - BIM-433-64 S	2
2	Capacitor eletrolítico 10 μ F	10
3	Conector DB-9 – Macho	2
4	Maxim - Max 232 CPE 0005	2
5	LED indicador	2
6	Resistor (especificar)	2
7	Interruptor	2
8	Placa Universal (10X10cm)	2
9	Caixa de Circuito (tipo)	2
10	Regulador de Tensão - 78L05	2
11	Conector para bateria	2

Foram utilizadas várias ferramentas que serviam para auxiliar no trabalho, a Tabela 4 apresenta as principais ferramentas utilizadas no desenvolvimento do trabalho.

Tabela 4: Principais ferramentas utilizadas para a elaboração do hardware para o sistema de telemetria.

Item	Ferramenta
1	Multímetro Digital
2	Ferro de Solda
3	Osciloscópio Digital
4	Computador
5	Cabo de Conexão Serial
6	Cabo Conversor USB/Serial
7	Sugador de Solda
8	Suporte para Placa de Circuitos
9	ProtoBoard
10	Fonte de Alimentação Digital
11	Baterias
12	Alicates
13	Chaves para Eletrônicos Diversas

5.2.3.2 Software para teste de rádio transmissão

Este programa envia 1000 pacotes de dados contendo 38 bytes de informação por pacote. Os dados são enviados de um computador para outro através da interface serial, utilizando o módulo de rádio transmissão desenvolvido nesse trabalho.

Na Figura 19 observa-se que antes do início do teste é realizado o envio de uma *String* de inicialização com o objetivo de preparar o módulo receptor para a chegada de dados, por este motivo observa-se que no *Loop* a variável *X* varia de 1 a 1001.

```
procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
var
  x: integer;
  sb:string;
begin
  sb:= 'ABCDEFGHJKLMNOPQRSTUVWXYZabcdef'+#10+#13;
  for x:=1 to 1001 do begin
    CommPortDriver1.SendString(sb);
    memo1.Lines.Add('Tx: '+ (IntToStr(x)));
  end;
end.
```

Figura 19: Código fonte utilizado para o envio de dados para o teste de alcance de transmissão.

5.2.4 Software de aquisição de dados de georreferenciados

O objetivo deste software é realizar a aquisição de dados oriundos da porta de comunicação serial os georreferenciando através do uso de um GPS que também será conectado a outra porta de comunicação serial.

A Figura 20 apresenta o código principal deste software, onde à medida que o GPS envia seu dados via porta serial é localizado a *string* \$GPGLL e é copiado a partir dela o oitavo caractere até o trigésimo primeiro.

```

sa:= copy(st,1,6);

if sa='$GPGLL' then
begin
sa:= copy (st,8,31);
Memo1.Lines.Append(sa);
end;

```

Figura 20: Código fonte utilizado para a leitura do protocolo de comunicação do GPS.

À medida que a *string* \$GPGLL é localizada, passa a ser impressa a localização a partir dela, e é essa localização junto com os dados vindos de um outro medidor que são responsáveis pela saída dos dados georreferenciados.

5.2.5. Software de Geração de Dados Físicos

O objetivo deste software é simular o uso de um instrumento de medição através de um computador, sem a necessidade de um instrumento real. Para este processo é necessário que o usuário tenha os dados do instrumento em formato de texto, assim, basta o usuário selecionar o arquivo de texto e simulá-lo. A rotina utilizada para abrir o arquivo de texto é apresentada na Figura 21.

```

procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
begin
if OpenFileDialog1.Execute then
begin
Edit3.Text:= OpenFileDialog1.FileName;
Memo2.Lines.Add('Arquivo aberto com
sucesso!');
textglob:= Memo2.Lines.Text;
Memo2.SetFocus;
end;
end;

```

Figura 21: Rotina utilizada para abrir o arquivo de texto do software de simulação de geração de dados físicos.

Nota-se que é utilizado a função *OpenDialog*, que é utilizada para abrir um formulário padronizado, onde o usuário escolhe o arquivo no qual será aberto.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos de forma detalhada, discutindo-os através de análises e aplicações práticas do sistema desenvolvido. Nesse trabalho de mestrado, além do hardware da parte de telemetria também foram desenvolvidos 5 softwares que são:

1. **Software de comunicação serial:** cuja função é estabelecer a comunicação entre duas máquinas conectadas através de um cabo, enviando e recebendo dados via interface serial;
2. **Software registrador de dados (data logger):** sua função é receber os dados através da interface serial e gravar os dados em um arquivo;
3. **Software para testes de rádio transmissão:** cuja função é testar o alcance de transmissores de rádio, analisando a quantidade de erros durante o processo de transmissão;
4. **Software de aquisição de dados georreferenciados:** a função deste software é realizar aquisição de dados em pontos georreferenciados, conectando um instrumento de medição física e um GPS em duas portas seriais do computador;
5. **Software de geração de dados físicos:** cuja função é simular a geração de dados que seria feita por um instrumento de medição física e enviar esses dados, através da porta de comunicação.

6.1 Software de comunicação serial

O objetivo deste software é estabelecer a conexão enviando dados entre duas máquinas por meio de um cabo serial pela porta RS-232, operando como um *chat* de comunicação, onde as informações digitadas são enviadas automaticamente, pela serial, ao outro computador, e vice-versa. Os objetivos específicos deste software é testar as rotinas para a realização da comunicação serial entre dois computadores e permitir que os elementos de hardware, como o cabo de conexão e a interface serial de cada computador fossem testados. Portanto, esse software foi utilizado como uma espécie de ferramenta para o desenvolvimento dos outros softwares do trabalho. A interface homem-máquina foi desenvolvida de forma simples e amigável, facilitando o uso do programa. A Figura 22 mostra a tela do software, dividida em duas partes principais responsáveis por receber e enviar dados via porta serial. Para que o programa funcione, o mesmo deve ser executado em dois computadores simultaneamente, os quais estão fisicamente conectados por um cabo via interface serial.

Na tela principal, os dados que o usuário digita aparecem automaticamente na janela *Enviar* e quando o mesmo pressiona a tecla *Enter*, os caracteres da janela são automaticamente enviados pela interface serial em tempo real e aparecem na janela *Receber* da outra máquina. Esta operação ocorre nos dois sentidos, permitindo a comunicação e transferência de dados entre os usuários de ambas as máquinas.

A Figura 22A mostra que existem duas opções de controle uma chamada *Configurações*, que permite configurar os detalhes de operação da interface serial RS-232 do computador, e a segunda, chamada *Conectar*, que ativa a conexão física da interface serial com o programa.

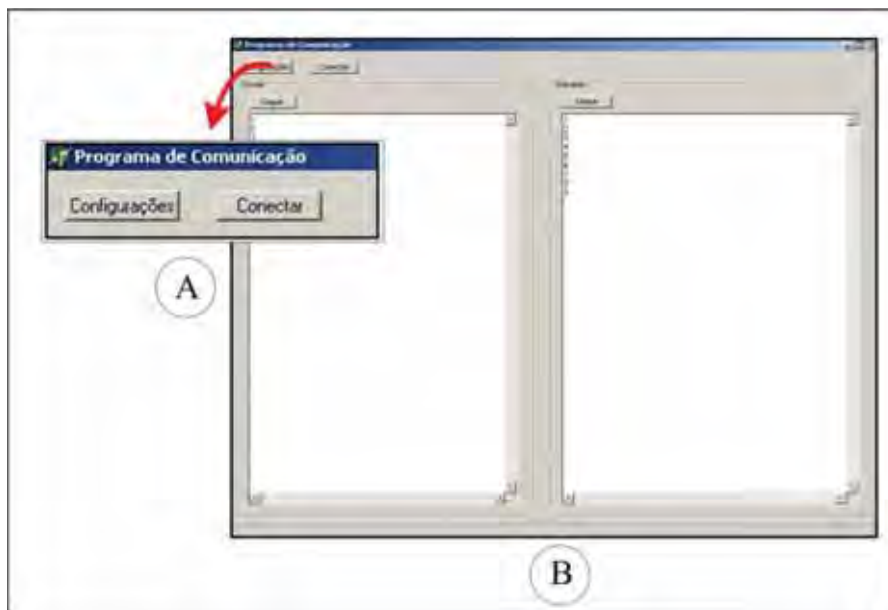


Figura 22: Tela principal do software de comunicação serial e as opções de conexão de configuração.

A Figura 23 mostra que quando é ativada a função *Configurações* aparece uma tela com um menu de opções onde o usuário deverá definir as configurações de operação porta serial. As opções da função Configuração são:

1. Nome da porta: por padrão, este programa define o nome da porta de \\ \COM1, ou seja, a porta que será conectada é a Porta 1, ou COM 1, do computador em questão. O usuário possui a opção de escolher até 16 portas, bastando selecioná-las, de modo que o computador deve possuir estas portas fisicamente (em seu hardware);
2. Baud rate: por padrão foi definido o valor de *baud rate* de 9600bps, visto que a muitos dos instrumentos encontrados no mercado operam nesta taxa de transmissão. O usuário possui a opção de configuração variando de 110 a 256000bps, e é válido ressaltar que a baud rate é configurada de acordo com o medidor, sendo necessário a verificação deste valor no manual deste instrumento;
3. Paridade: a paridade é um item que se refere à verificação de erros de transmissão. O padrão definido para paridade é de *nenhum*, no entanto, caso haja necessidade o usuário poderá optar por configurar a paridade em: par, impar, marca e espaço;

4. Data Bits: data bits é a quantidade de bits de dados que são enviados de cada vez, ou seja, é o tamanho do “pacote” de bits que são enviadas entre um computador e outro de cada vez. Por padrão este valor é de 8 bits neste software, o que equivale a 1 byte, porém o usuário poderá optar em escolher entre: 5, 6, 7 e 8 bits. É importante enfatizar que as opções com menos de 8 bits só são utilizadas em casos muito especiais, e que foram colocadas neste trabalho somente para seguir uma padronização;

5. Stop Bits: o stop bits identifica o momento de finalização de uma informação, ou seja, é o modo que o computador identifica e diferencia uma informação da outra. No final de cada informação (bits) enviada é acrescentado um stop bit podendo variar de: 1; 1,5 e 2. O padrão de configuração do stop bits atribuído para este software é de 1.

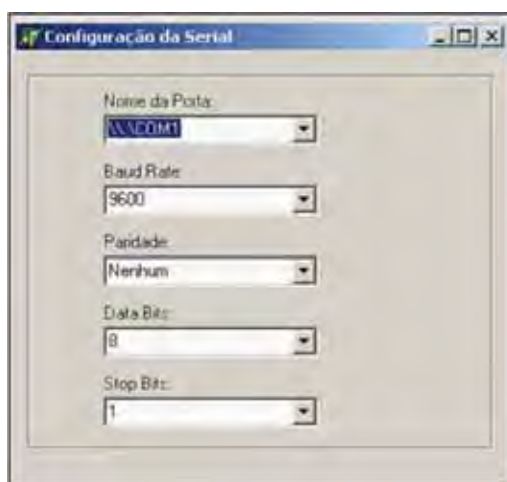


Figura 23: Tela principal da configuração da porta serial com as suas respectivas opções de configuração.

A avaliação desse software permite concluir que este programa atingiu o propósito inicial, que foi realizar testes de comunicação serial entre dois computadores, enviando e recebendo informações pela porta de comunicação RS-232, não apresentando nenhum tipo de problema operacional, restrições, etc. Este software pode funcionar, não só para testar a comunicação entre computadores, mas também em trocas de informações, podendo inclusive ter aplicabilidade em áreas agrícolas onde é necessário a troca de informações entre computadores.

6.2. Software de registrador de dados serial

O objetivo deste software é permitir que o computador seja conectado a qualquer instrumento de medição física (sensoriamento) que tenha uma saída de comunicação serial RS232 e, então o software, além de receber os dados passa a gravá-los em um arquivo no disco do computador. Posteriormente os dados gravados podem ser transferidos para outros softwares de edição de texto ou de processamento estatístico para serem tratados. Resumidamente, esse software faz com que o computador opere como um registrador de dados, ou *DataLogger*. O grande diferencial desse software é que o mesmo pode ser aplicado a qualquer dispositivo de sensoriamento que tenha uma saída serial de dados do tipo RS-232.

A Figura 24 mostra a barra de ferramentas principal do software, onde se pode observar que foram colocadas poucas opções de controle a fim de facilitar a operação do software por parte de usuários menos experientes. A barra de menu localizada na parte superior da tela possui cinco funções que são:

1. Arquivo,
2. Serial,
3. Conexão,
4. Tela e
5. Ajuda.

Essas funções são responsáveis em controlar o software, elas foram divididas com o propósito de facilitar a utilização, bem como, agilizar a busca das opções desejadas pelo usuário.



Figura 24: Barra de menu do software Registrador de Dados com as funções de controle.

Na função *Arquivo*, encontra-se a opção de *Gravar Dados* que permite que todas as informações recebidas pelo software sejam gravadas em um arquivo no formato

txt. O nome do arquivo é formado com a data e hora do sistema relativos ao momento em que o mesmo foi criado, facilitando no momento de busca ou pesquisa do mesmo, sendo que o seu local de gravação será sempre na mesma pasta onde se encontra o software de recepção de dados. A Figura 25 exemplifica a criação do nome do arquivo, sendo que esse processo impede que haja dois documentos com mesmo nome e isso impede que os arquivos sejam sobrepostos e os dados perdidos. O arquivo gerado recebe como nome a data e a hora do sistema, facilitando o gerenciamento das informações. As informações são divididas em pares de caracteres, sendo elas responsáveis pelo: dia, mês, ano, hora, minuto e segundo respectivamente, como mostra a Figura 25.

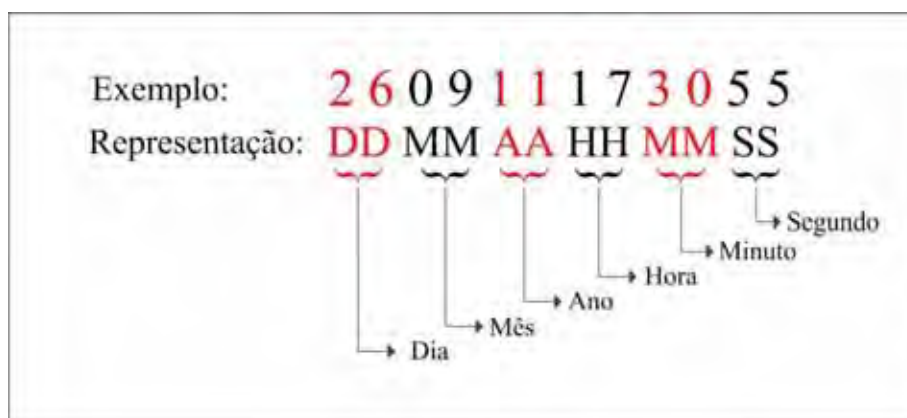


Figura 25: Representação do nome no arquivo que será gravado.

Ainda na função *Arquivo* é encontrada a opção de *Encerrar Arquivo*, que é utilizada quando o usuário deseja finalizar o processo de gravação, mas ainda gostaria de continuar recebendo informações pelo software. Para encerrar a execução do software basta entrar na opção *Sair* do menu *Arquivo*.

Na função *Serial* encontra a opção de *Configuração da Porta*. Ao chamar esta opção, abrirá uma janela de configuração onde o usuário pode configurar a operação da interface serial de acordo com as características do instrumento que será utilizado (Idem Figura 23).

Na função *conexão* encontram-se as opções *Conectar* que estabelece a conexão física com a porta e a opção *Desconectar* que desconecta o software com a porta

serial. Na função *Tela* o usuário pode apagar todo o conteúdo presente na tela referente aos dados.

Na função *Ajuda* são apresentadas duas opções, a *Sobre* na qual o usuário poderá receber informações referentes ao desenvolvimento do software e a opção *Manual de Utilização*, que o auxilia a operação do software.

A Figura 26 apresenta a tela principal do software de registrador de dados e suas características.

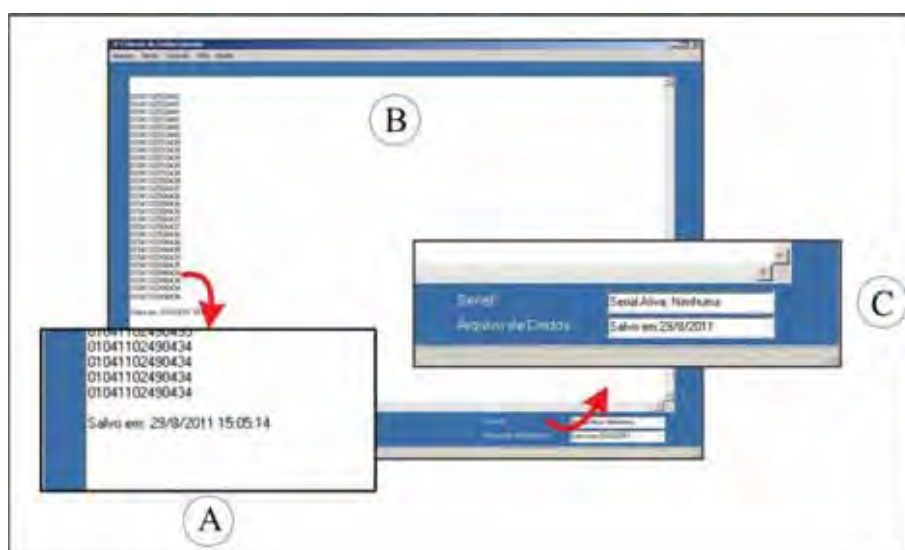


Figura 26: Tela principal do software de recepção de dados serial (b) e suas características de gravação de dados (a) e apresentação de informações (c).

Para utilizar este software o usuário deverá conectar o instrumento de medição ao computador pela porta serial e em seguida ativar a função *Serial* para configurar a porta serial de acordo com as especificações do instrumento. Após configurar a porta, o usuário deve-se ativar função *Conexão* para que a porta serial seja efetivamente ativada em termos de hardware. A partir do momento em que a conexão é estabelecida inicia-se o processo de recepção dos dados na janela de recepção dos dados.

A Figura 26C mostra as duas barras informativas que indicam a serial que se encontra ativa no momento e o nome do arquivo criado em formato texto (*txt*), facilitando a manipulação do software pelo usuário. O arquivo é gerado com o nome da data e

a hora do sistema (computador) e salvo no mesmo diretório onde está alocado o software, facilitando a busca ou procura de um determinado arquivo salvo.

6.3 Sistema de hardware e software para telemetria

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos com base no desenvolvimento do hardware e do software utilizado para a transmissão e recepção de dados de medições físicas por rádio frequência.

6.3.1 O hardware de telemetria

O circuito de hardware de telemetria é baseado no rádio transceptor modelo BiM-433 da Radiometrix®.

A princípio o hardware foi montado em uma placa provisória denominada de *ProtoBoard*, como é mostrado na Figura 27, que tem a função de testar os circuitos temporariamente até ser transferidos para uma placa definitiva. O uso da *ProtoBoard* se torna importante, pois o circuito pode ser montado e testado diversas vezes, sob condições diferentes sem danificar os componentes eletrônicos. Além disso, pode prevenir possíveis danos provocados por erros de montagem, visto que neste dispositivo têm-se uma maior facilidade de correção da montagem.

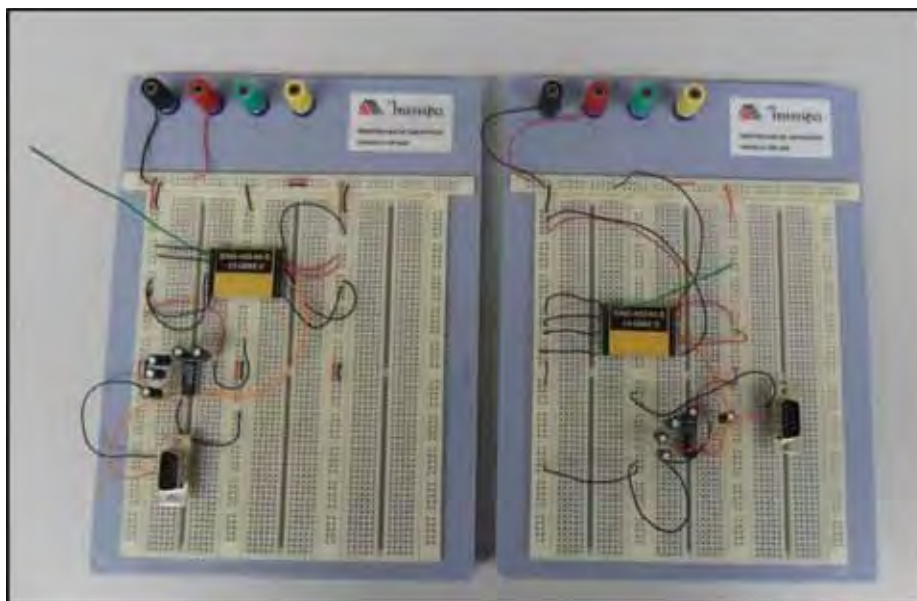


Figura 27: Montagem dos módulos de Transmissão (à esquerda) e Recepção (à direita). Observe que ambos são muito parecidos, sendo que a diferença está apenas na conexão de um dos fios do módulo de rádio.

A partir do momento em que os módulos foram testados, eles foram transferidos para uma placa de circuitos definitiva, sendo que nesta placa que foi realizado os testes de alcance de transmissão do rádio. A Figura 28 mostra essa montagem, onde houve ajustes como o aprimoramento das antenas de ambos os módulos e a utilização de uma fonte de energia com base numa bateria de 9V que é responsável por alimentar todo o circuito.

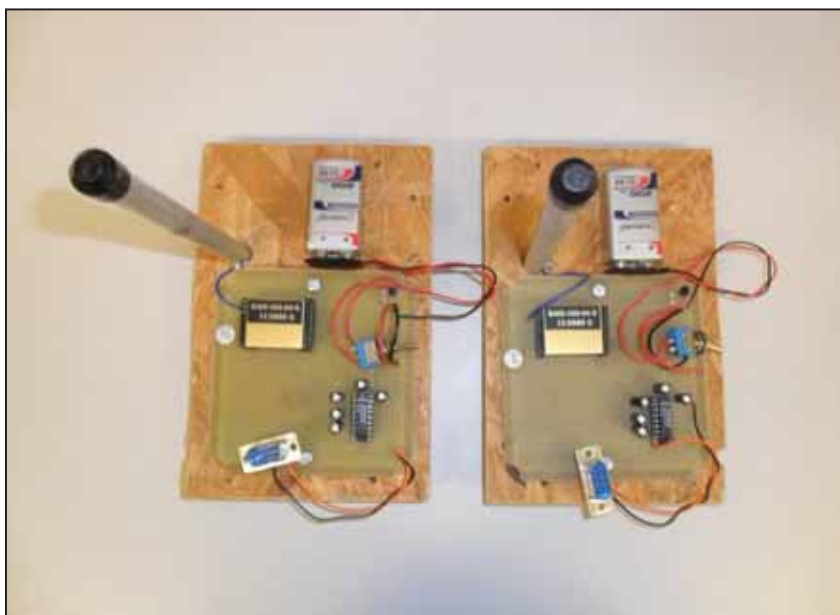


Figura 28: Placa definitiva dos módulos de Transmissão (à esquerda) e Recepção (à direita).

6.3.2 Consumo de energia

Realizou-se testes utilizando um multímetro, equipamento responsável por diversas medidas eletroeletrônicas avaliando o consumo médio dos módulos de rádio frequência, numa tensão média de 5V.

O módulo de transmissão apresentou um consumo médio de 17,5mA. O consumo médio do módulo receptor foi de 28,0mA. Isso mostra que o consumo é variável em função da utilização do módulo. Sendo assim, o módulo de recepção consome mais energia que o módulo de transmissão. Isso significa que, com o uso de baterias, a bateria de o receptor irá acabar antes da do transmissor. Para uma abordagem prática, um sistema de alimentação formado por uma bateria de 2500mA/h seria capaz de alimentar o transmissor por 6 dias e o receptor por 4 dias, enquanto que uma bateria com capacidade de 7A/h, como as baterias de moto, poderiam alimentar o mesmo transmissor por 17 dias e o receptor por 10 dias, com operação ininterrupta. Em locais com energia elétrica é possível a utilização de fontes de alimentação, dessa forma, deixando de onerar os custos com baterias.

6.3.3 Custo dos módulos de rádio frequência

Foi realizada uma pesquisa de mercado com o objetivo de estabelecer o custo total referente a compra de materiais para a montagem do sistema de telemetria, o que foi de R\$ 340,00 para a montagem de um módulo transmissor e um receptor, como mostrado na Tabela 5.

Tabela 5: Materiais utilizados e os seus respectivos valores utilizados na confecção de um par de módulos de rádio frequência.

Item	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Radiometrix - BIM-433-64 S	2	99,53	199,06
Capacitor eletrolítico 10 μ F	10	1,00	10,00
Conector DB-9 - Macho	2	2,40	4,80
Maxim - Max 232 CPE 0005	2	10,00	20,00
LED indicador	2	0,35	0,70
Resistor (especificar)	2	0,50	1,00
Interruptor	2	3,00	6,00
Placa Universal (10X10cm)	2	14,90	29,80
Caixa de Circuito (tipo)	2	15,00	30,00
Regulador de Tensão - 78L05	2	10,00	20,00
Conector para bateria	2	5,00	10,00
Diversos (fios, estanho, cabos.)	-	-	5,00

O preço da bateria não foi computado, pois vai depender do tipo de fonte de alimentação que será disponível pelo proprietário, podendo variar muito com relação a tipos e valores.

O valor total de dois módulos é de R\$340,00. Nota-se que este valor é pouco significativo quando relacionado ao benefício que este sistema pode trazer, quanto à facilidade de gerenciamento e aquisição de dados ambientais. Assim a relação custo/benefício se mostra bastante favorável com relação à aquisição deste sistema, visto aos pontos positivos que ele pode trazer.

6.3.4 Software para teste de rádio transmissão

O objetivo deste software é testar sistemas de hardware de telemetria explicado na seção anterior, permitindo verificar o alcance de transmissão de módulos de rádio frequência e o número de erros durante o processo de transmissão de dados. Portanto o mesmo pode ser definido como uma ferramenta fundamental no processo de projeto de sistemas de telemetria par aplicações na área agrícola.

Para utilizá-lo, são necessários dois computadores, um conectado com o Módulo Transmissor de Rádio (Tx) e a outra conectada com o Módulo Receptor de Rádio (Rx), conforme exemplifica a Figura 29, sendo que os módulos são conectados ao computador pela porta serial RS-232. Os módulos de rádio transmissão e recepção são descritos na seção Sistema de Hardware e Software para Telemetria do capítulo Material e Métodos.

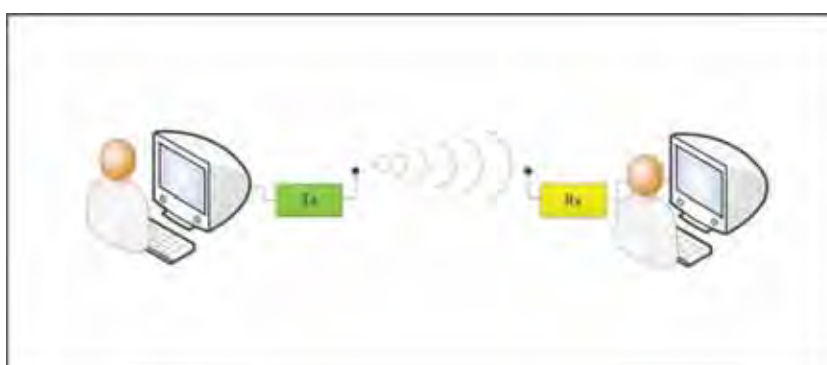


Figura 29: Disposição dos computadores e dos módulos de rádio para utilização do software de teste de alcance de transmissão.

O usuário deve primeiramente conectar os módulos de rádio, ligando primeiro o sistema de transmissão (para evitar ruídos indesejados no sistema de recepção). Posteriormente ele executa o programa de testes, cuja tela principal é mostrada na Figura 30, o qual tenta se conectar o automaticamente a porta serial COM1 , caso não consiga, aparecerá uma mensagem ao usuário que poderá escolher outra porta de comunicação através do botão *Configurações*.

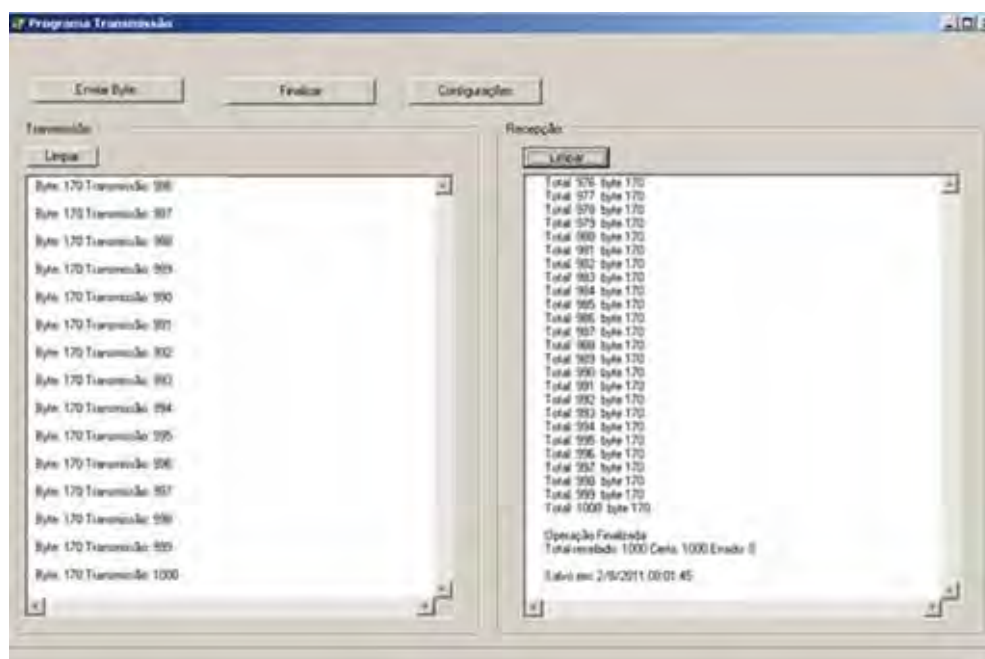


Figura 30: Tela principal do software para testes de rádio frequência.

O usuário deve ativar o botão *Enviar Bytes* no computador transmissor e o software envia automaticamente 1000 pacotes de dados pela interface serial, via rádio. Cada pacote tem 38 bytes de informações. Optou-se por enviar pacotes de dados, pois os instrumentos de medição existentes no mercado operam usualmente enviando pacotes de informações, portanto, este software opera no mesmo padrão desses equipamentos comerciais de medições físicas. O tamanho do pacote foi definido de forma que os 38 bytes seriam suficientes para compor uma informação com data e hora da medição e com alguns valores numéricos relativos a medição de valores de grandezas físicas, como temperatura, umidade, etc. Cada byte do pacote corresponde ao caractere “a” que é representado pelo número 170 da Tabela ASCII, escolheu-se este número, pois sua representação binária é 10101010, ou seja, é um valor intercalado de 1 e 0.

Este software é de simples operação facilitando testes em campo com transmissores e receptores de rádio frequência. No computador que recebe os dados via rádio,

as informações geradas por este programa são salvas no final do teste em formato *txt*, como é mostrado na Figura 31, imprimindo os seguintes valores:

1. Total de Dados Recebidos;
2. Total de Dados Corretos;
3. Total de Dados Errados.

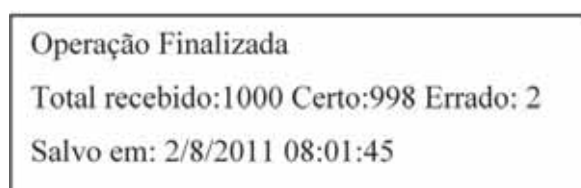
Posteriormente essas informações podem ser processadas por outros programas responsáveis pelo tratamento estatístico destes dados, avaliando a qualidade da transmissão das informações.

É válido ressaltar que no sistema de transmissão será utilizada somente à primeira janela do software (transmissão) e no sistema de recepção será habilitado somente à janela de recepção.

Assim que o sistema enviar ao receptor todos os pacotes de dados, será salvo o nome do arquivo em formato *txt*, aparecendo uma mensagem de finalização apresentando as seguintes informações:

1. O total de bytes recebidos;
2. O total de dados corretos;
3. O total de dados errados.

A Figura 31 exemplifica como seriam mostradas essas informações na tela do computador.



```
Operação Finalizada
Total recebido:1000 Certo:998 Errado: 2
Salvo em: 2/8/2011 08:01:45
```

Figura 31: Mensagem de finalização impressa pelo software.

6.3.5 Análise e confiabilidade do sistema de rádio transmissão*

Esta seção apresentam os resultados obtidos através do teste de alcance de transmissão e quantidade de erros nas mesmas. Utilizaram-se três taxas de transmissão de dados, sendo a 4800bps, 9600bps e 14400bps, cada taxa de transmissão foram repetidas por 10 vezes a fim de se obter valores estatísticos. A Tabela 6 apresenta os valores do teste de 4800bps.

Tabela 6: Teste de transmissão de dados numa taxa de transmissão de 4800 bps.

Repetições	Total Pacotes	Total Certos	Total Errados
1	1000	1000	0
2	1000	1000	0
3	1000	1000	0
4	1000	994	6
5	1000	999	1
6	1000	1000	0
7	1000	1000	0
8	1000	999	1
9	1000	999	1
10	1000	1000	0
Média		999,10	0,90
Desvio Padrão		1,76	1,76

Pela Tabela 6 podemos observar que a quantidade de erro foi insignificante não ultrapassando na média 0,01%.

A Tabela 7 apresenta os testes realizados numa taxa de transmissão de 9600bps.

Tabela 7: Teste de transmissão de dados numa taxa de transmissão de 9600 bps.

Repetições	Total Pacotes	Total Certos	Total Errados
1	1000	1000	0
2	1000	1000	0
3	1000	1000	0
4	1000	1000	0
5	1000	1000	0
6	1000	1000	0
7	1000	1000	0
8	1000	1000	0
9	1000	1000	0
10	1000	1000	0
Média		1000,00	0,00
Desvio Padrão		0,00	0,00

Neste teste não ocorreu nenhum tipo de erro de transmissão comprovando a confiabilidade do sistema desenvolvido.

A Tabela 8 apresenta os valores referentes ao teste de transmissão numa taxa de 14400bps.

Tabela 8: Teste de transmissão de dados numa taxa de transmissão de 14400 bps.

Repetições	Total Pacotes	Total Certos	Total Errados
1	1000	995	5
2	1000	994	6
3	1000	992	8
4	1000	997	3
5	1000	996	4
6	1000	995	5
7	1000	998	3
8	1000	992	8
9	1000	999	1
10	1000	993	7
Média		995,10	5,00
Desvio Padrão		2,30	2,19

Nota-se pela Tabela 8 que mesmo numa taxa de transmissão elevada o sistema assegurou uma quantidade de erros baixa, sendo que em 1000 pacotes de dados

enviados o erro foi de 5, isso equivale a 0,05%, sendo que o erro máximo ocorrido neste teste foi de 0,08%.

Neste trabalho realizou testes de alcance de transmissão em diferentes taxas (*baud rate*), utilizaram-se três taxas de transmissão assumindo os valores de 4800, 9600 e 14400bps, numa distância de transmissão máxima de 120 metros. Os valores estabelecidos foram escolhidos com base na maioria dos instrumentos existentes no mercado apresentarem uma taxa de transmissão fixa de 9600bps. Portanto, além de estabelecer o teste com esta taxa de transmissão, utilizou-se um valor superior (14400bps) e inferior (4800bps) a essa taxa padrão.

Nas Tabelas 6, 7 e 8 podemos observar os testes de alcance de transmissão. Nota-se na Tabela 6 que numa distância de 120 metros o número de erros ocorridos no processo de transmissão foi insignificante, assumindo um valor inferior a 0,01%. Esse erro é considerado normal em sistemas de rádio comunicação, visto que existem diversos fatores que podem interferir na onda eletromagnética e, consequentemente, provocando erros durante o processo de transmissão.

Pela Tabela 7 podemos perceber que numa taxa de transmissão de 9600bps não foi possível encontrar erros durante o processo de transmissão, isso pode ser explicado pelo fato de que a onda eletromagnética não sofreu influência do ambiente durante o período de amostragem, proporcionando uma transmissão sem a ocorrência de interferências externas.

Na Tabela 8 observa-se que numa taxa de transmissão de 14400bps a quantidade de erros médios em consequência da transmissão de dados foi de 0,05%, pois em taxa de transmissão superior é comum ocorrer erros devido ao processo de recepção de dados.

Armino et al. (2011) realizaram um trabalho visando o desenvolvimento de um dispositivo eletrônico para medir a vazão de água em dutos, esse sistema utilizava a transferência de dados por meio de rádio frequência, no entanto, não obteve-se dados referentes ao alcance de transmissão do sinal de rádio frequência.

Ferrasa (2008) realizou um trabalho buscando o monitoramento da temperatura e umidade relativa do ar em silos graneleiros por meio de sistemas de rádio frequência. Em seu estudo, utilizou transmissores e receptores com frequência de 433,9 MHz, modelo RT4 e RR3 do fabricante Tellecontrolli®. Foram monitorados em tempo real dados

oriundos de 16 sensores, numa distância variando de 1 a 30 metros. O sistema operou sem erros em uma distância de até 15 metros, sendo que em 30 metros a quantidade de erros durante a transmissão foi de 35%.

Arce (2008) e Monteiro et al. (2007) também utilizaram módulos de rádio frequência da Radiometrix modelo BiM-433, em ambos os trabalhos buscavam aprimorar aspectos eletrônicos para a obtenção de um alcance maior de rádio do sistema de rádio transmissão, o qual, mesmo assim, ficou na ordem de 60 metros em campo aberto e linha de visada.

6.3.6 Aplicações do sistema de telemetria em uma casa de vegetação

Realizou-se dois testes utilizando o sistema de telemetria, os testes foram realizados com o propósito de testar os módulos de comunicação durante um período pré-estabelecido. Um dos testes foi realizado em laboratório durante um período de 6 horas avaliando a temperatura e a umidade relativa do ar, conforme é apresentado na Figura 32.

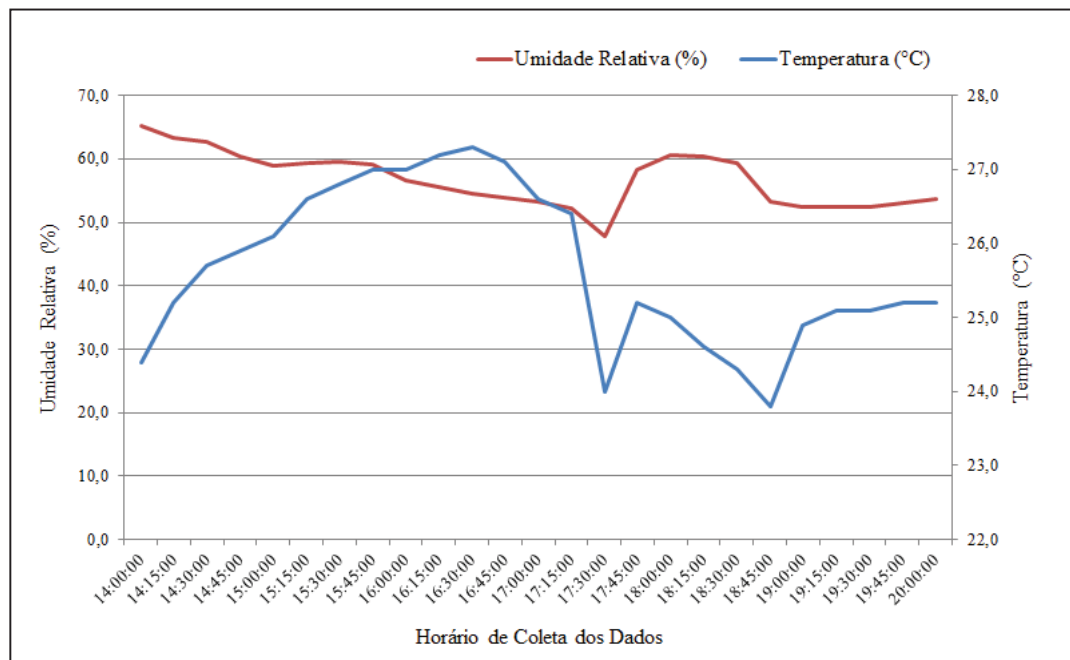


Figura 32: Dados de temperatura do ar (°C) e umidade relativa (%) de testes com o sistema de telemetria realizado em laboratório num período de 6 horas de coleta.

O teste em casa de vegetação foi realizado com o propósito de testar os módulos de transmissão e recepção, para tanto, foi instalado o módulo transmissor na casa de vegetação e realizou-se a aquisição dos dados pelo receptor com o uso de um notebook. A Figura 33 apresenta a forma com que foi instalado o módulo de transmissão de dados no interior da casa de vegetação.



Figura 33: Forma de instalação e disposição do módulo transmissor no interior da casa de vegetação para a aquisição dos dados.

A Figura 34 apresenta a coleta dos dados de temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) e umidade relativa do ar (%) no interior da casa de vegetação num período de 3 horas.

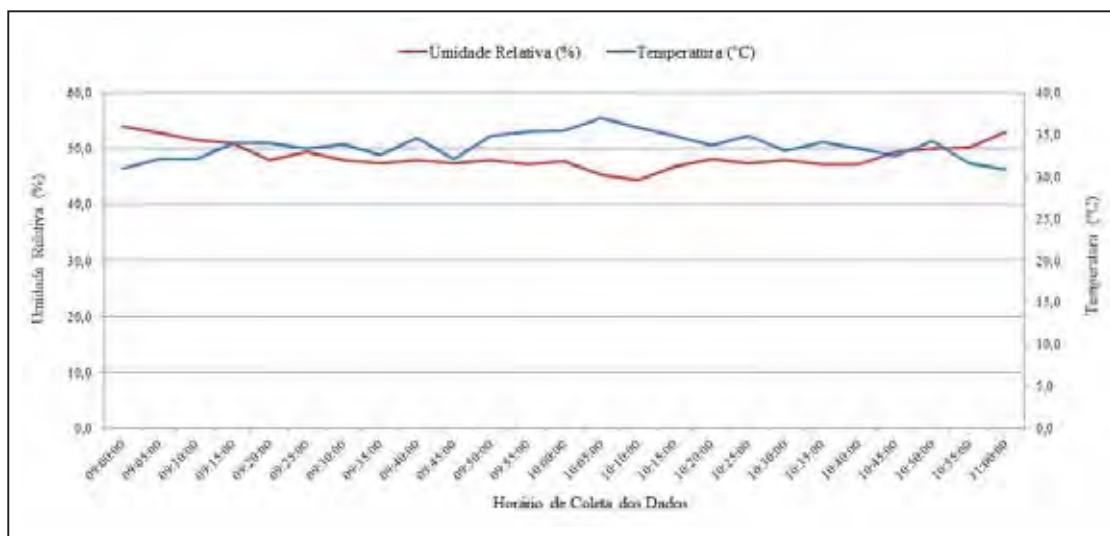


Figura 34: Dados de temperatura do ar (°C) e umidade relativa (%) de testes com o sistema de telemetria realizado em casa de vegetação num período de 3 horas de coleta.

6.4 Software de aquisição de dados de georreferenciados

O objetivo deste software é fazer a aquisição de dados e registro de informações georreferenciadas. Para isto, o computador é conectado a um instrumento de medição física que tenha interface de comunicação serial e também a um GPS, como é mostrado na Figura 35. Cada equipamento é conectado a uma interface serial diferente do computador. Os dados são coletados em tempo real e salvos em um arquivo em formato do tipo texto (*txt*) para que sejam posteriormente processados por softwares específicos de processamento matemático ou geostatístico.



Figura 35: Forma e disposição que é instalado os dispositivos para a utilização do software, uso do GPS (à esquerda) e o Termohigrômetro (à direita).

O software recebe em tempo real as informações originárias do dispositivo de sensoriamento e do GPS e, então forma um único registro de dados com essas informações, possibilitando assim que o usuário tenha um arquivo com os dados do sensor e localização exata de onde foi realizada a medição. Além disso, o software também inclui em cada registro a data e horário da medição.

6.4.1 O Software

Este software possui grande aplicação na área de agricultura de precisão permitindo medir uma grandeza e obter o seu ponto de referência geográfico, obtendo medidas espacialmente independentes, que posteriormente poderão ser tratadas de forma individualizada, possibilitando o controle de todo o sistema produtivo permitindo a aquisição precisa de informações, auxiliando na agricultura e na irrigação de precisão.

Utilizando uma tela simples e amigável, este software é de fácil utilização. A barra de menu localizada na parte superior da tela fornece todas as opções de controle, podendo ser facilmente acessada pelo usuário. A Figura 36 mostra menu do software de Aquisição de Dados Georreferenciados.

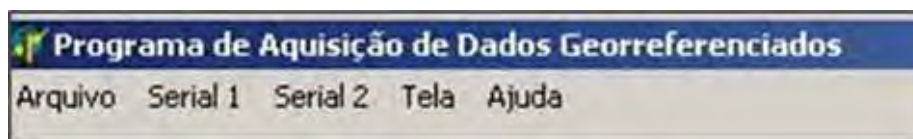


Figura 36: Barra de menu do software de Aquisição de Dados Georreferenciados com as suas respectivas funções de controle.

A barra de menu mostrada no software de Aquisição de Dados Georreferenciados possui cinco funções que são chamadas de:

1. Arquivo;
2. Serial 1;
3. Serial 2;
4. Tela;
5. Ajuda.

A função *Arquivo*, esta localizada a opção de *Gravar Dados*, onde todas as informações recebidas pela tela final do software sejam gravadas em um arquivo no formato de texto com o nome do arquivo recebendo os valores de data e hora naquele instante de acordo com o sistema (computador). Ainda na função *Arquivo* é encontrada a opção de *Encerrar Arquivo*, que é utilizada para finalizar o processo de gravação, porém continuar recebendo informações pelo software. A opção *Sair* da função *Arquivo* tem a função de encerrar a execução do software, finalizando a aplicação.

Nas funções *Serial 1* e *Serial 2* encontram as opções da *Configuração da Porta* que estão relacionadas a configuração da porta serial RS-232 um e dois respectivamente, que irão funcionar de forma simultânea. Ao chamar esta opção, instantaneamente abrirá uma janela de configuração onde a porta poderá ser configurada de acordo com as características do instrumento que será utilizado (Idem Figura 23). Ainda nestas funções está disponíveis as opções *Conectar*, que estabelece a conexão com a porta e a opção *Desconectar* que desconecta o software com a porta serial correspondente (*Serial 1* ou *Serial 2*).

Na função *Tela* o usuário pode apagar todo o conteúdo presente na tela referente aos dados (*Tela 1*, *Tela 2* ou *Tela Final*).

Na função *Ajuda* são apresentadas duas opções, a *Sobre* que representa informações referentes aos responsáveis pelo software e a opção *Manual de Utilização*, que o auxilia a operação ou utilização do software.

O software possui duas opções de configuração da porta serial, uma referente à conexão do dispositivo de sensoriamento e outra referente ao GPS, portanto, neste software são utilizadas duas portas seriais simultaneamente. Portanto, foi necessário elaborar três telas principais:

Tela 1: Esta tela é responsável por receber informações provenientes de um dispositivo de medição ou de um GPS, dependendo do dispositivo que será conectado a *Tela 2*. Todavia, o dispositivo que será conectado em uma tela não devera ser conectado a outra, assim, os dispositivos deverão ser diferentes, mas obrigatoriamente devera ter a presença de um GPS conectado a porta RS-232, pois este será o responsável pelo georreferenciamento dos valores oriundos do segundo dispositivo.

Tela 2: Esta tela é responsável por receber as informações, sendo estas vindas de um GPS ou de um dispositivo de medição com seus critérios, conforme já mencionado no parágrafo acima.

Tela Final: A *Tela Final* representa os valores concatenados de um termohigrômetro, bem como a data e hora em que foram coletadas as informações referentes a este medidor e os dados de localização com a Latitude e Longitude local e a data e a hora em que foram coletadas as informações do GPS. É importante coletar as informações de data e hora de cada instrumento, pois o usuário poderá avaliar se houve discrepância entre os valores, pois existe uma variação na taxa de envio de dados entre instrumentos. Assim, é possível descartar valores de avaliações, caso haja uma variação que comprometerá a amostragem.

A Figura 37 mostra a tela principal do Software de Aquisição de Dados Georreferenciados, observa-se que esta tela é subdividida em três janelas. A primeira janela, no topo é chamada de *Tela 1*. A janela intermediária é denominada de *Tela 2* e a última janela é denominada de *Tela Final*.

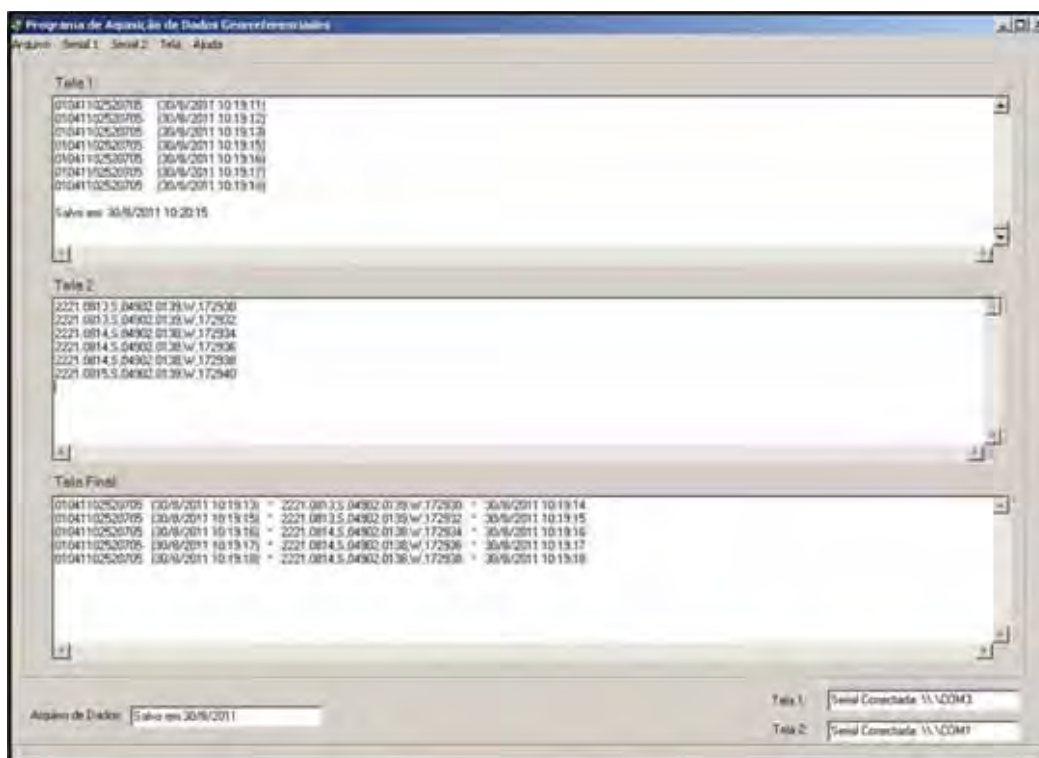


Figura 37: Tela principal do software de aquisição de dados georreferenciados e suas características de aquisição das informações.

A Figura 37 (Tela 1) mostra os dados recebidos de um Termohigrômetro com medições de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) do ar e umidade relativa do ar (%), bem como a data e a hora de aquisição. Deste modo, na Figura 37 na *Tela 2* representa os dados recebidos pelo GPS.

Na Figura 37 representa a *Tela Final* onde são apresentadas as informações juntas do dispositivo (Termohigrômetro) e do GPS (coordenadas geográficas), as informações contidas nesta tela são salvas em um arquivo de texto (*txt*) a medida que o usuário grava os dados na função *Arquivo*. Posteriormente essas informações poderão ser tratadas através de softwares geoestatísticos, realizando mapas de distribuição de frequências, que são de grande utilidade para tomadas de decisão na agricultura.

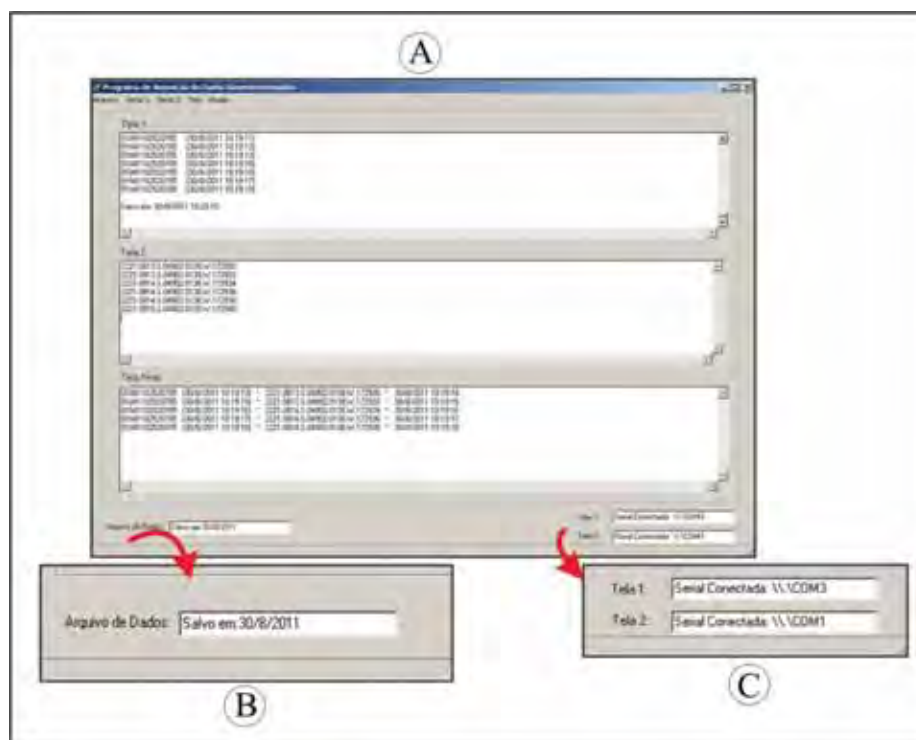


Figura 38: Tela principal do software de aquisição de dados georreferenciados e os painéis informativos.

Para informar as operações realizadas nestes softwares, na Figura 38B foi criado um painel que mostra o nome no qual o arquivo foi salvo, referente a data e a hora do sistema (computador). Outra utilidade informativa, apresentada na Figura 38C, são as telas referentes ao *status* de uso da porta serial da *Tela 1* e *Tela 2*.

6.4.2 O formato de dados do GPS

O GPS utilizado em estudo apresentava uma saída específica, onde a padronização das informações era mantida as mesmas, como mostrado na Figura 39. O protocolo do GPS é o “\$GPGLL” que é responsável pela localização, imprimindo as coordenadas do local, explicado com maiores detalhes na seção 6.5.1.3.

Para título de programação utilizou-se para adquirir as informações um protocolo específico na qual identificava-se a *string* “\$GPGLL” e a partir destas informações copiava-se toda a linha restante, que é responsável pela localização do GPS.

```
$GPRMB,A,,,,,,,,,A,A*0B
$GPGGA,172754,2221.0824,S,04902.0147,W,1,04,4.8,612.0,M,-3.2,M,,*5E
$GPGSA,A,3,,,14,,19,,22,,24,,,6.7,4.8,1.0*35
$GPGSV,3,1,10,03,42,333,00,06,35,353,00,14,48,142,37,16,01,346,00*74
$GPGSV,3,2,10,19,58,284,33,20,08,266,00,21,00,055,00,22,27,129,40*72
$GPGSV,3,3,10,23,02,322,00,24,17,222,00*7A
$GPGLL,2221.0824,S,04902.0147,W,172754,A,A*4A
$GPBOD,,T,,M,,*47
$PGRME,25.0,M,33.1,M,41.5,M*18
$PGRMZ,1991,f*34
$HCHDG,343.6,,,18.7,W*07
$GPRTE,1,1,c,*37
$GPRMC,172756,A,2221.0824,S,04902.0147,W,0.0,0.0,150711,18.7,W,A*3B
$GPRMB,A,,,,,,,,,A,A*0B
```

Figura 39: Formato de saída em texto do GPS Garmin Etrex Summit.

6.4.3 Análise de uso do software

Realizou a análise do software de aquisição de dados georreferenciados percorrendo o Campus da Unesp em Bauru , coletando valores de temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%) em 16 pontos, com o auxílio de um termohigrômetro modelo HTR-152. Para o georreferenciamento, utilizou-se um GPS modelo Garmin Etrex Summit. Assim, utilizou-se um computador portátil com o software instalado, conectou via porta serial o GPS e o termohigrômetro, adquirindo os dados georreferenciados.

A Figura 40 mostra os pontos de coleta dos dados em torno do Campus da Unesp em Bauru – SP, num total de 16 pontos de amostragem. Os dados foram coletados e transferidos para o software Google Earth para Georreferenciá-los de acordo com a imagem.



Figura 40: Pontos de coleta dos dados georreferenciados no Campus da Unesp Bauru - SP, imagem realizada através do software Google Earth.

A Tabela 9 apresenta os valores da coleta dos dados georreferenciados de temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) e de umidade relativa (%) no Campus da Unesp em Bauru – SP.

Tabela 9: Coleta de dados de temperatura do ar (°C) e umidade relativa (%) georreferenciada, realizada no Campus da Unesp Bauru – SP.

Ponto	Latitude (Sul)	Longitude (Oeste)	Elevação (m)
1	22° 21' 04"	49° 02' 00"	629
2	22° 21' 02"	49° 02' 00"	627
3	22° 21' 00"	49° 02' 00"	626
4	22° 20' 58"	49° 02' 00"	624
5	22° 20' 57"	49° 01' 58"	621
6	22° 20' 56"	49° 01' 57"	619
7	22° 20' 56"	49° 01' 56"	618
8	22° 20' 56"	49° 01' 55"	623
9	22° 20' 55"	49° 01' 53"	621
10	22° 20' 55"	49° 01' 51"	616
11	22° 20' 56"	49° 01' 51"	616
12	22° 20' 58"	49° 01' 50"	615
13	22° 20' 58"	49° 01' 53"	618
14	22° 20' 59"	49° 01' 54"	622
15	22° 21' 00"	49° 01' 55"	621
16	22° 21' 01"	49° 01' 57"	623

A Figura 41 mostra a variabilidade espacial da temperatura do ar (°C) coletadas com relação aos pontos de coleta georreferenciados no Campus da Unesp em Bauru – SP.

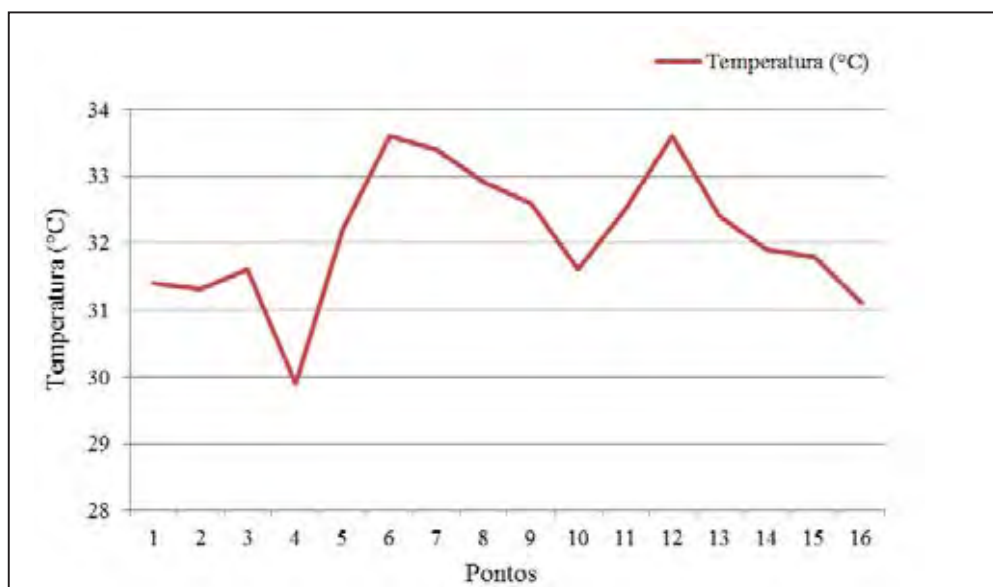


Figura 41: Variabilidade espacial da temperatura do ar (°C) relacionada aos pontos de coleta de dados Georreferenciados.

A Figura 42 mostra a variabilidade espacial da umidade relativa do ar (%) de acordo com a coleta em 16 pontos georreferenciados, coletados no Campus da Unesp em Bauru – SP.

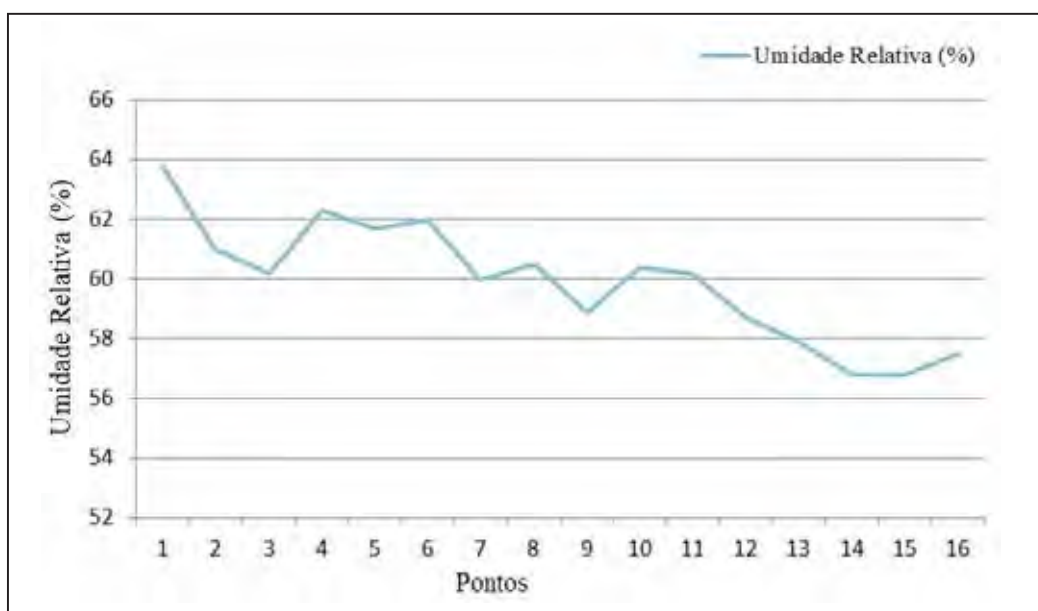


Figura 41: Variabilidade espacial da umidade relativa do ar (%) de acordo com a coleta em 16 pontos georreferenciados.

6.5 Software de Geração de Dados Físicos

O objetivo deste software é simular o envio de dados originários de um dispositivo de medição através do uso de um computador pela porta serial RS-232, dispensando o uso de um instrumento real para este fim. Para efetuar esta simulação é necessário o uso de um computador auxiliar onde o software será instalado, sendo responsável por substituir o dispositivo de medição. A Figura 42 mostra a tela principal do software e suas principais funções.

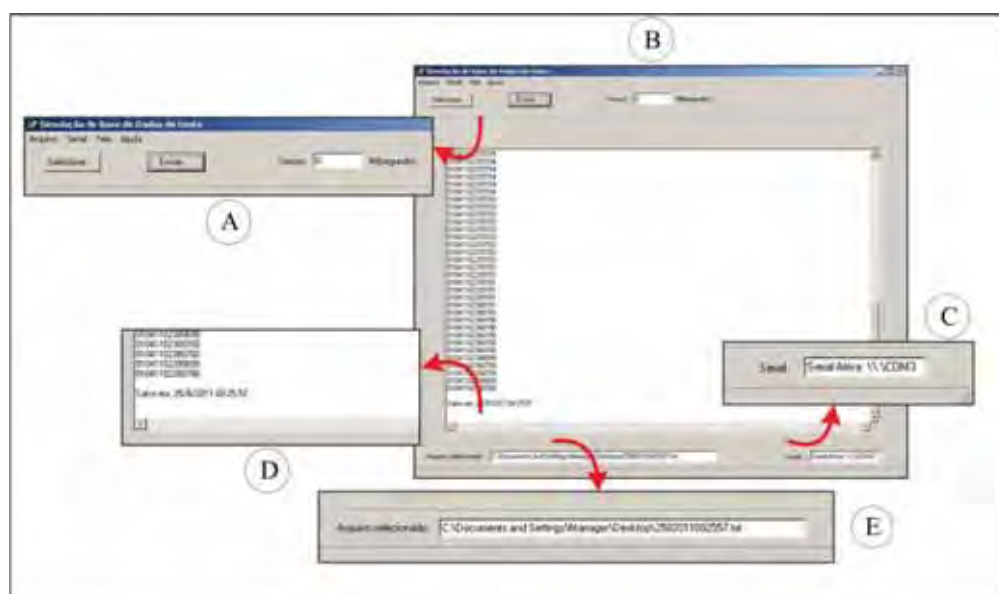


Figura 42: Tela principal do software de geração de dados físicos (b), função de informação (c, e) barra de menu (a) e detalhe de gravação dos dados (d).

A utilização deste software torna-se importante em ocasiões onde há falta de um dispositivo de medição real ou em casos onde a própria medição possa ser complexa, como em ambientes hostis, com custo elevado ou dificuldades de locomoção. Assim basta o usuário possuir este software e o arquivo formato de texto (*txt*) do dispositivo de medição e um computador, e esta plataforma pode simular estes dados para possíveis projetos.

É muito importante enfatizar que esse software foi desenvolvido nesse trabalho de mestrado para ser utilizado como uma ferramenta auxiliar, porém os programas aqui desenvolvidos também foram testados com o uso dos instrumentos reais, como o termohigrômetro modelo HTR-152 e o GPS Garmin Etrex Summit, o que permitiu validar o desempenho do sistema proposta de simulação de geração de dados.

Os dados são simulados através da seleção de um arquivo *txt* no qual apresenta valores referentes à saída via porta serial de um instrumento qualquer. A grande maioria dos instrumentos encontrados no mercado possui saída serial dos valores medidos por eles, assim basta o usuário tomar posse destas informações, que geralmente se apresentam em formato de texto (*txt*) e simulá-las, não havendo a necessidade física deste instrumento de medição.

Para utilizar este software de simulação de dados é necessário o uso de dois computadores um responsável por abrigar o software e o outro responsável por receber as informações simuladas para posterior análise ou tratamento das mesmas, como é mostrado na Figura 43.



Figura 43: Forma de funcionamento do software de geração de dados físicos.

Na Figura 44 podemos observar a forma com que foi desenvolvida a barra de menu e os botões *Selecionar* e *Enviar*. Nota-se que a disposição destas opções de controle estão dispostas na parte superior do software, isso facilita localização destas ferramentas e consequentemente a sua utilização pelo usuário. Na barra de menu estão

localizadas as funções *Arquivo* com a opção *Sair*, responsável pelo encerramento do software. A função *Serial* possui as opções de *Configuração da Porta* que após ser selecionada abrirá uma janela de configuração onde o usuário tem as opções de controle sobre a configuração da porta RS-232 (Idem Figura 23). Ainda na função *Serial* existe a opção *Conectar* e *Desconectar* que quando ativada irá estabelecer a conexão ou a desconexão respectivamente. Na função *Tela* o usuário poderá limpar toda a tela onde as informações são disponíveis, bastando ativar a opção *Limpar*. A função *Ajuda* é responsável por informar a respeito dos responsáveis pelo desenvolvimento do software no momento em que é ativada a opção *Sobre*. Ainda na função *Ajuda* têm-se a opção *Manual do Usuário*, que quando ativada abrirá uma tela onde o usuário poderá solucionar possíveis dúvidas decorrentes da utilização do software.



Figura 44: Barra de menu e os botões Selecionar e Enviar do software de geração de dados físicos.

Para utilização deste programa obrigatoriamente o computador com o gerador deverá ter o arquivo em *txt* dos dados de um dispositivo de medição. Posteriormente o usuário deve efetuar a conexão com a porta serial RS-232 através da opção *Configuração da Porta* presente na função *Serial*, a porta deverá ser configurada de acordo com o computador receptor. Após a configuração da porta o usuário deverá selecionar o arquivo clicando no botão *Selecionar* e logo em seguida será aberta a janela para selecionar o arquivo em *txt* no qual se deseja gerar, como é apresentado na Figura 45.



Figura 45: Tela de seleção de arquivo, após o botão selecionar ser ativado, onde o usuário seleciona o que deseja gerar.

Logo em seguida o usuário informa manualmente o tempo no qual se deseja que o seus dados sejam enviados em milissegundos (taxa de transmissão) através da opção *Tempo* localizada na parte superior da tela e posteriormente clicar sobre o botão *Enviar*, e aguardar a execução do software. Algumas janelas são responsáveis por informar o usuário do *status* de execução do programa.

6.5.1 Exemplo e análise de aplicações

Esta seção apresenta exemplos de aplicação do software de geração de dados físicos. Esse software, conforme já explicado anteriormente, pode ser aplicado para simular a geração de dados originários de diversos tipos de instrumentos de medições físicas. Abaixo são exemplificadas algumas possíveis aplicações de uso deste sistema de simulação de geração de dados para sistemas de medição de gases, GPS, e medidor de oxigênio dissolvido em água.

6.5.1.1 Analisador de gases S710

Este instrumento é fabricado pela SICK e pode fazer a análise de diversos tipos de gases, enviando estes dados por meio da interface serial de comunicação no formato de caracteres alfanuméricos (*string*) que posteriormente poderão ser gravados em formato de texto em um computador ao qual o S710 pode estar conectado via interface serial. A Figura 46 mostra uma foto do equipamento que está na UNESP de Bauru-SP, onde o mesmo é utilizado para medição de níveis de CO₂ e O₂ no ar dentro de um reator para compostagem por processo respiratório.



Figura 46: Analisador de gases mede diversos tipos de gases de acordo com sua ponta de amostragem S710.

Na Figura 47 é apresentada a forma na qual é gravado o arquivo em txt de um analisador de gases modelo S710.

```
#MS 28.01.09 16:09:54 0.485 Vol% CO2 20.130 Vol% O2
#MS 28.01.09 16:10:55 0.267 Vol% CO2 20.345 Vol% O2
#MS 28.01.09 16:11:55 0.179 Vol% CO2 20.429 Vol% O2
#MS 28.01.09 16:12:55 0.243 Vol% CO2 20.416 Vol% O2
#MS 28.01.09 16:13:55 0.327 Vol% CO2 20.345 Vol% O2
#MS 28.01.09 16:14:55 0.338 Vol% CO2 20.351 Vol% O2
#MS 28.01.09 16:15:55 0.363 Vol% CO2 20.341 Vol% O2
#MS 28.01.09 16:16:55 0.383 Vol% CO2 20.322 Vol% O2
#MS 28.01.09 16:17:55 0.404 Vol% CO2 20.325 Vol% O2
#MS 28.01.09 16:18:55 0.425 Vol% CO2 20.274 Vol% O2
#MS 28.01.09 16:19:55 0.428 Vol% CO2 20.286 Vol% O2
#MS 28.01.09 16:20:55 0.435 Vol% CO2 20.284 Vol% O2
#MS 28.01.09 16:21:56 0.446 Vol% CO2 20.249 Vol% O2
#MS 28.01.09 16:22:56 0.459 Vol% CO2 20.264 Vol% O2
#MS 28.01.09 16:23:56 0.474 Vol% CO2 20.219 Vol% O2
#MS 28.01.09 16:24:56 0.491 Vol% CO2 20.223 Vol% O2
#MS 28.01.09 16:25:56 0.528 Vol% CO2 20.192 Vol% O2
```

Figura 47: Formato de saída em texto do analisador de gases modelo S710, medindo níveis de O₂ e CO₂.

Decompondo a *string* enviada, observamos que ela possui um padrão que se repete a cada linha de texto. Pela Figura 48 podemos analisar a forma com que estes dados são caracterizados.

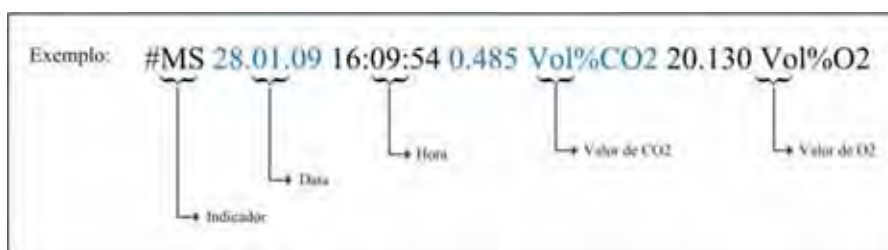


Figura 48: Decomposição do formato de uma linha de texto do analisador de gases modelo S710.

Em que:

- **#MS:** Indica o início de uma *string* de dados;
- **28.01.09:** Representa a data de coleta dos dados;
- **16:09:54:** É o horário de coleta dos dados;
- **0.485 Vol%CO₂:** Representa o valor de CO₂ analisado;

- **20.130 Vol%O2:** Representa o valor de O₂ analisado.

6.5.1.2 Termohigrômetro HTR-152

O termohigrômetro é um instrumento responsável por medir a temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%) de forma simultânea. Este modelo possui uma saída serial de dados, onde os dados coletados pelo instrumento podem ser salvos em formato de texto (*txt*). Na Figura 49 é apresentado o formato de saída dos dados em *txt* do termohigrômetro modelo HTR-152 utilizado no projeto.

```
01041102520442
01041102520441
01041102520441
01041102510441
01041102520440
01041102510440
01041102510439
01041102510439
01041102510439
```

Figura 49: Formato de saída em texto do termohigrômetro HTR-152.

Como é mostrado na Figura 50, nota-se uma padronização na *string* enviada pelo termohigrômetro modelo HTR-152, desta forma, decompõe uma linha de texto para analisar a forma com que os dados estão dispostos. Os sete primeiros caracteres representam o indicador, ou seja, representa o início de dados, do oitavo ao décimo primeiro caractere representa a temperatura do ar, que como indicado na figura é de 25,20°C, do décimo segundo ao décimo quarto caractere representa a umidade relativa, neste exemplo a umidade relativa é de 44,2%.

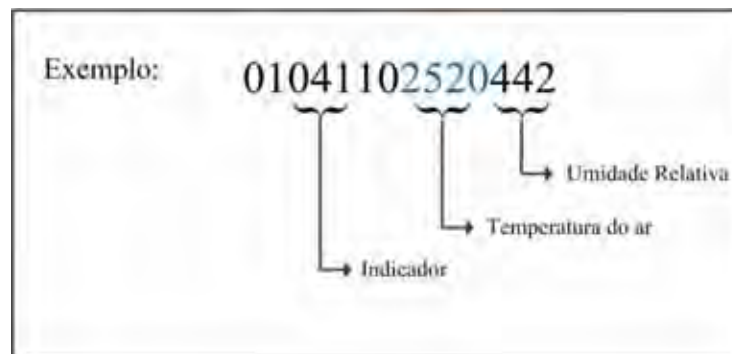


Figura 50: Decomposição do formato de uma linha de texto do termohigrômetro modelo HTR-152.

6.5.1.3 GPS Garmim eTrex Summit

O GPS é um instrumento de posicionamento global que utiliza um receptor de sinal de satélite, sendo que este sinal representa a localização do GPS em qualquer local do globo terrestre, desde que este instrumento obtenha uma quantidade mínima de sinal de pelo menos quatro satélites. Este modelo de GPS possui uma saída serial de dados que podem ser salvo em formato de texto, esses dados obedecem a uma padronização de acordo com um protocolo de comunicação que é configurado no GPS, neste trabalho utilizou o padrão denominado *NMEA* que é geralmente utilizado na maioria destes instrumentos. A Figura 51 mostra o formato de saída do GPS utilizado neste trabalho.

```

$GPRMB,A,,,,,,,,,A,A*0B
$GPGGA,172754,2221.0824,S,04902.0147,W,1,04,4.8,612.0,M,-3.2,M,,*5E
$GPGSA,A,3,,,14,,19,,22,,24,,,6.7,4.8,1.0*35
$GPGSV,3,1,10,03,42,333,00,06,35,353,00,14,48,142,37,16,01,346,00*74
$GPGSV,3,2,10,19,58,284,33,20,08,266,00,21,00,055,00,22,27,129,40*72
$GPGSV,3,3,10,23,02,322,00,24,17,222,00*7A
$GPGLL,2221.0824,S,04902.0147,W,172754,A,A*4A
$GPBOD,,T,,M,,*47
$PGRME,25.0,M,33.1,M,41.5,M*18
$PGRMZ,1991,f*34
$HCHDG,343.6,,,18.7,W*07
$GPRTE,1,1,c,*37
$GPRMC,172756,A,2221.0824,S,04902.0147,W,0.0,0.0,150711,18.7,W,A*3B
$GPRMB,A,,,,,,,,,A,A*0B

```

Figura 51: Formato de saída em texto do GPS Garmim eTrex Summit.

Nota-se que o padrão *NMEA* possui especificações relacionadas a saída dos dados, cada linha de texto possui um protocolo específico, tratando as informações recebidas de forma individual. O GPS envia informações durante um determinado tempo, cada informação enviada representa treze linhas, nota-se na Figura 51 que na décima quarta linha o protocolo inicial (\$GPRMB) volta a se repetir, indicando que uma sequência de informações estarão chegando.

Abaixo é especificado cada protocolo enviado em formato de texto pelo GPS:

- **\$GPRMB:** Este protocolo é utilizado quando o GPS entra em um sistema de rota, apresentando os valores mínimos recomendados para essa função. É valido ressaltar que a função de rota não foi utilizada, por isso os valores deste protocolo não são apresentados;
- **\$GPGGA:** Este protocolo apresenta uma linha de texto contendo a hora universal, a latitude do local (Sul), a longitude do local (Oeste), altitude (metros) e o erro estipulado (metros);
- **\$GPGSA:** Neste protocolo estão às informações referentes aos satélites utilizados pelo GPS na sua localização atual;

- **\$GPGSV:** Semelhante ao protocolo acima, porem neste protocolo as informações referentes aos satélites utilizados são mais detalhadas;
- **\$GPGLL:** Este protocolo apresenta a localização atual do GPS, apresentando os valores de latitude do local (Sul), a longitude do local (Oeste) e o horário universal;
- **\$GPBOD:** Este protocolo esta relacionado a movimentação do GPS que esta diretamente ligado ao sistema de rotas, que por sua vez, não esta sendo utilizado neste trabalho;
- **\$PGRME:** Este protocolo refere-se a estimativa de erro decorrente do GPS, esta estimativa esta relacionada ao erro horizontal, vertical e esférico que podem ocorrer durante a recepção do sinal;
- **\$PGRMZ:** Este protocolo relaciona-se a altitude (em pés) do local do GPS, esta altitude é calculada através da distância em que o satélite esta do GPS;
- **\$HCHDG:** Neste protocolo é apresentado informações referentes à localização magnética, ou seja, é como uma bússola interna, onde as informações se referem a distância no norte magnético;
- **\$GPRTE:** É um protocolo utilizado em trajetos ou rotas, onde é medido o deslocamento do GPS, deste modo este tipo de função não é utilizado neste trabalho;
- **\$GPRMC:** Neste protocolo são apresentadas informações semelhantes ao protocolo \$GPGGA, apresentando informações referentes a hora universal, a latitude do local (Sul), a longitude do local (Oeste).

6.5.1.4 Analisador de Oxigênio Dissolvido DO-9709

O analisador de oxigênio dissolvido é um instrumento de medição muito utilizado na análise da quantidade de oxigênio presente em líquidos em geral, apresentando diversas aplicabilidades em estações de tratamento de água, indústrias, agricultura e irrigação. A Figura 52 apresenta o analisador de oxigênio dissolvido modelo DO-9709, utilizado para elaboração de testes referentes ao software.



Figura 52: Analisador de oxigênio dissolvido e temperatura modelo DO-9709.

Este instrumento possui uma saída serial de dados, estes dados podem ser transferidos para um arquivo em formato de texto que posteriormente poderão ser utilizados no software de simulação de dados. Na Figura 53 é apresentado um exemplo de saída de texto do analisador de oxigênio dissolvido.

01-01-00	00:11:20	32,5 mg/l	515 %	36.9 °C	953 mbar
01-01-00	00:11:20	32,5 mg/l	515 %	36.9 °C	953 mbar
01-01-00	00:11:20	32,5 mg/l	515 %	36.9 °C	953 mbar
01-01-00	00:11:20	32,5 mg/l	515 %	36.9 °C	953 mbar
01-01-00	00:11:20	32,5 mg/l	515 %	36.9 °C	953 mbar
01-01-00	00:11:20	32,5 mg/l	515 %	36.9 °C	953 mbar
01-01-00	00:11:20	32,5 mg/l	515 %	36.9 °C	953 mbar
01-01-00	00:11:20	32,5 mg/l	515 %	36.9 °C	953 mbar

Figura 53: Formato de saída em texto do analisador de oxigênio dissolvido DO-9709.

As linhas do texto apresentam um padrão de informações que são mantidas a cada aquisição de dados. A Figura 54 mostra esta padronização ou forma na qual são divididas as informações coletadas pelo instrumento.

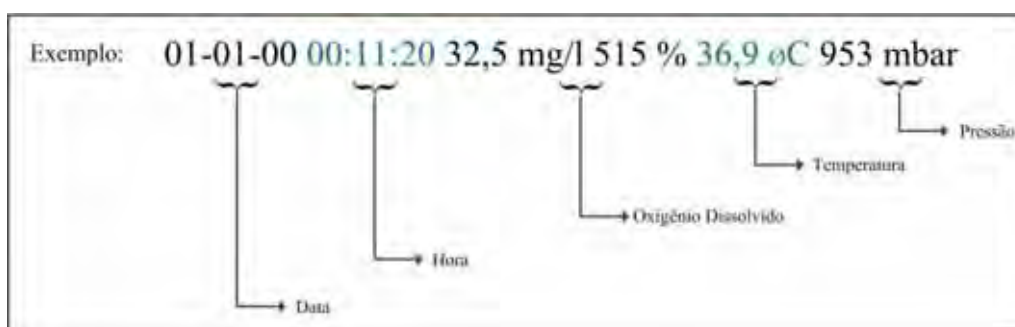


Figura 54: Decomposição do formato de uma linha da saída em texto do analisador de oxigênio dissolvido DO-9709.

Observa-se que o primeiro conjunto de informações refere-se a data de coleta dos dados, o segundo conjunto de informações é a hora de coleta dos dados, sendo que o oxigênio dissolvido, a temperatura e a pressão do meio em que foi avaliado foram o terceiro, quarto e quinto conjunto de informações respectivamente.

7 CONCLUSÕES

De acordo com os testes implementados e resultados obtidos nesse trabalho, conclui-se que:

- Em relação ao sistema de aquisição de dados georreferenciados, os testes realizados nesse trabalho, com um dispositivo de sensoramento de temperatura e umidade, modelo HTR-152, e com um GPS modelo eTrex Summit, percorrendo a área de cerrado dentro do Campus a UNESP em Bauru-SP, mostraram que o sistema desenvolvido realiza a aquisição de dados originários de ambos os dispositivos e gera uma base de dados, operando sem erros. Além disso, o sistema gera informações em um formato que pode ser facilmente manipulado posteriormente em outros softwares aplicativos, como editores de textos ou planilhas. Assim, o software de aquisição de dados georreferenciados evidenciou uma elevada aplicabilidade na área de agrícola, obtendo medidas espacialmente independentes e permitindo a aquisição precisa de informações, o que auxilia diretamente a agricultura e irrigação de precisão.

- O sistema de telemetria para monitoramento de parâmetros físicos na área agrícola apresentou baixo custo, na ordem de R\$340,00, sendo uma opção de ferramenta tecnológica para pequenos produtores agrícolas. Nos testes realizados obteve-se um alcance máximo de 120 metros com uma taxa máxima de erro de 0,8%. Esse alcance é considerado bastante significativo para diversas aplicações na área agrícola e, além disso, o sistema é altamente confiável, pois em vários testes o sistema operou sem nenhum erro, o que lhe dá a confiabilidade para operar no monitoramento e controle a distância. O sistema apresenta

flexibilidade para ser diretamente conectado a diversos instrumentos de medição física que possuam saída serial de dados e também pode ser facilmente mudado de local (mobilidade) dentro do raio de alcance do transmissor;

- O software de comunicação atingiu a proposta inicial, funcionando como uma ferramenta para testar as rotinas de comunicação serial entre dois computadores, permitindo o teste dos elementos de hardware (cabos, interface serial, computador, transceptores, etc.);

- O software para testar o alcance do transmissor de rádio apresentou um bom desempenho, atendendo o seu propósito principal que foi de avaliar a quantidade de erros no processo de telemetria, buscando assegurar uma maior confiabilidade no processo de troca de informações;

- O software de simulação de dados de sensoriamento possui grande aplicação no desenvolvimento de aplicações onde é necessário simular os dados transferidos pela serial de um instrumento de medição. Esse software gerou informações nos padrões do termohigrômetro HTR-152; do GPS eTrex Summit; do analisador de gases S-710 e do instrumento de medição de oxigênio dissolvido DO-9709 em testes realizados em laboratório, este software atingiu seus objetivos iniciais, apresentando um desempenho satisfatório.

- O módulo de hardware do sistema de telemetria é de fácil montagem e os materiais são facilmente encontrados no país, o que facilita a sua montagem, inclusive a nível industrial, a sua comercialização e a sua manutenção. O mesmo teve um consumo de energia na ordem de 17 mA para o transmissão e 28 mA para o receptor com 5V, possibilitando sua alimentação com baterias;

- Este trabalho possibilita uma continuidade de pesquisas na qual se envolve a utilização de rede de sensores sem fio, abrangendo mais módulos de sensoriamento. Além disso, este trabalho permite a utilização de módulos com um maior alcance de transmissão, que pode ser utilizado em diversas aplicações.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGGARWAL, K. K.; SINGH, Y. **Software engineering**: programs, documentation, operating procedures. New Delhi: New Age International Publishers, 2006. 480 p.

ALBUQUERQUE, P. E. P.; DURÃES, F. O. M. **Uso e manejo de irrigação**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 528 p.

ARCE, A. I. C. **Rede de sensores sem fio na coleta de dados fisiológicos de bovinos para aplicações na zootecnia de precisão**. 2008. 86 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia)- Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2008.

ARMINDO, R. A. et al. Desenvolvimento e avaliação de um sistema de aquisição de dados para medição de vazão, “auto-venturi”. **Bioscience**, Uberlândia, v. 27, n. 5, p. 764-774, set./out. 2011.

AZEVEDO NETTO, J. M. et al. **Manual de hidráulica**. São Paulo: Edgard Blucher, 2000. 669 p.

BAILEY, D. **Practical radio engineering and telemetry for industry**. Mumbai: Vivek Mehra, 2003. 284 p.

BEAUDETTE, D. E.; GEEN, A. T. Soil-Web: An online soil survey for California, Arizona, and Nevada. **Computers & Geosciences**, Oxford, v. 35, n. 1, p. 2119-2128, 2008.

BELLEN, H. M. V. **Indicadores de sustentabilidade**: uma análise comparativa. Rio de Janeiro: FGV, 2005. 251 p.

BENGHANEM, M. A low cost wireless data acquisition system for weather station monitoring. **Journal of Renewable Energy**, New York, v. 35, n. 1, p. 862-872, Ago. 2009.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 625 p.

BROOKSHEAR, J. G. **Ciência da computação**: uma visão abrangente. 7. ed. São Paulo: Artmed, 2003. 508 p.

CALHEIROS, R. O. **Preservação e recuperação de nascentes**. 5. ed. Piracicaba: CBH -PCJ, 2006. 53 p.

CARDEN, F.; JEDLICKA, R.; HENRY, R. **Telemetry systems engineering**. Norwood: Artech House, 2002. 558 p.

CHÁVEZ, J. L. et al. A remote irrigation monitoring and control system for continuous move systems. **Journal of Precision Agriculture**, New York, v. 11, n. 1, p. 1-10, Feb. 2010.

CLEAVER, K.; GANGULY, S. **Shaping the future of water for agriculture**: a sourcebook for investment in agricultural water management. Washington, DC: World Bank, 2005. 334 p.

CONTE, M. L.; LEOPOLDO, P. R. **Avaliação de recursos hídricos**: Rio Pardo, um exemplo. São Paulo: UNESP, 1999. 114 p.

ENDERLEIN, R. **Microeletrônica**: uma introdução ao universo dos microchips, seu funcionamento, fabricação e aplicações. São Paulo: Edusp, 1994. 226 p.

FERNANDES, C. et al. **A irrigação no Brasil**: situações e diretrizes. Brasília, DF: Ministério da Integração Nacional, 2008. 133 p.

FERRASA, M. **Sistema de monitoramento de temperatura e umidade em silos graneleiros via rádio**. 2008. 121 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.

FIGLIARESE, V. **Wireless**: introdução às redes de telecomunicação móveis celulares. Rio de Janeiro: Brasport, 2005. 327 p.

FONTES, I. R. **Sistema de supervisão e controle de irrigação utilizando técnicas de inteligência artificial**. 2003. 226f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

FOWLER, K.; SCHMALZEL, J. L. Sensors: the first stage in the measurement chain. **Journal IEEE Instrumentation & Measurement Magazine**, New York, v. 1, n. 1, p. 60-66, 2004.

FRADEN, J. **Handbook of modern sensors**: physics, designs, and applications. 4. ed. New York: Springer, 2010. 653 p.

HEDLEY, C. B.; YULE, I. J. A method for spatial prediction of daily soil water status for precise irrigation scheduling. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 96, n. 1, p. 1737-1745, Aug. 2009.

HUS, H. P. **Comunicação analógica e digital**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2003. 336 p.

JANSEN, D. **The electronic design automation handbook**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. 656 p.

KIM, Y.; EVANS, R. G. Software design for wireless sensor-based site-specific irrigation. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 66, n. 1, p. 159-165, Jan. 2009.

KITTAS, C.; BARTZANAS, T. Greenhouse microclimate and dehumidification effectiveness under different ventilator configurations. **Building and Environment**, Oxford, v. 42, n. 1, p. 3774-3784, Jun. 2006.

KOLOKOTSA, D. et al. Development of an intelligent indoor environment and energy management system for greenhouses. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 51, n. 1, p. 155-168, Oct. 2009.

LATHI, B. P. **Sinais e sistemas lineares**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 835 p.

LAUNG-TERNG, W.; YAO-WEN, C.; KWANG-TING, C. **Electronic design automation: synthesis, verification, and test**. Burlington: Elsevier, 2009. 934 p.

LEITE, M. **Técnicas de programação: uma abordagem moderna**. Rio de Janeiro: Brasport, 2006. 405 p.

LIMA, G. H. E. L.; SILVA, L. C.; RIBEIRO NETO, P. F. WSN as a tool for supporting agriculture in the precision irrigation. In: INTERNACIONAL CONFERENCE ON NETWORKING AND SERVICES, 6., 2010, Cancun. **Abstracts books...** Rolla: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2010. p. 137-142.

LORENZI, F.; LOPES, A. V. **Linguagem de programação Pascal**. Canoas: ULBRA, 2000. 124 p.

MATTOS, A. N. **Telemetria e conceitos relacionados: uma visão geral dos sistemas de telemetria com ênfase em aplicações aeroespaciais**. São José dos Campos: Creative Commos, 2004. 383 p.

MERKER, R.; SCHWARZ, W. **System design automation: fundamental, principles, methods, examples**. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2001. 259 p.

MEYER, M.; HUEY, G. M. Telemetric system for hydrology and water quality monitoring in watersheds of northern New Mexico, USA. **Environmental Monitoring and Assessment**, New York, v. 116, n. 1, p. 9-19, Mai. 2005.

MILLAR, A. A. **O gerenciamento dos recursos hídricos e o mercado de águas**. Brasília, DF: Secretaria de Irrigação, 1994. 177 p.

MONTEIRO, T. H. W. et al. Controle sem fio de uma esteira transportadora através de computador. In: CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA, 2., 2007, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa, 2007. 1 CD-ROM.

MUKHOPADHYAY, S. C.; HUANG, Y. M. **Sensors**: advancements in modeling, design issues, fabrication and practical applications. Heidelberg: Springer, 2008. 424p.

MUKHOPADHYAY, S. C.; LEUNG, H. **Advances in wireless sensors and sensor networks**. Heidelberg: Springer, 2010. 231 p.

OLIVEIRA, F. G. R. et al. Controle de perdas em sistema de abastecimento de água: o caso do município de Poços de Caldas (MG). **Revista Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 1, p. 309-320, jan/abr. 2009.

PATRANABIS, D. **Telemetry principles**. New Delhi: McGraw-Hill, 1999. 434 p.

PINTO, G. S. et al. Sistema de monitoramento para cultivo em áreas cobertas. **Revista Engenharia de Computação**, Belém, v. 1, n. 1, p. 154-164, fev. 2010.

QUINN, N. W. T. Environmental decision support system development for seasonal wetland salt management in a river basin subjected to water quality regulation. **Water Management**, London, v. 96, n. 1, p. 247-254, Sept. 2008.

QUINN, N. W. T. et al. Use of environmental sensors and sensor network to develop water and salinity budgets for seasonal wetland real-time water quality management. **Environmental Modelling & Software**. Oxford, v. 25, n. 1, p. 1045-1058, Nov. 2009.

RIQUELME, J. A. L. et al. Wireless sensor networks for precision horticulture in Southern Spain. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 68, n. 1, p. 25-35, Apr. 2009.

ROSÁRIO, J. M. **Automação industrial**. São Paulo: Baraúna, 2009. 514 p.

SALOR, O. et al. Mobile monitoring system to take nationwide PQ measurements on electricity transmission systems. **Measurement**, Amsterdam, v. 42, n. 1, p. 501-515, Sept. 2008.

SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T.; FERNANDES, D. R. **Irrigação na cultura do café**. 2. ed. Uberaba: Lutador, 2008. 474 p.

SAWAYA, M. R. **Dicionário de informática & internet: inglês/português**. 3. ed. São Paulo: Nobel, 1999. 541 p.

SEBESTA, R. W. **Conceitos de linguagem de programação**. 5. ed. São Paulo: Artmed, 2002. 634 p.

SOBH, T. et al. **Novel algorithms and techniques in telecommunications, automation and industrial electronics**. London: Springer, 2008. 581 p.

SOLOMAN, S. **Sensors handbook**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 2010. 1097 p.

SOMERA, G. **Treinamento profissional em Delphi: aprenda a construir sofisticados banco de dados**. São Paulo: Digerati Books, 2007. 143 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. São Paulo: Artmed, 2006. 719p.

TERUEL, B. J. Controle automatizado de casas de vegetação variáveis climáticas e fertigação, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 3, p. 237-245, set. 2009.

TORRE NETO, A. et al. Rede de sensoressemfio para irrigação com taxa variada em citricultura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 36., 2007, Bonito. **Resumos...** Jaboticabal: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2007. 1 CD-ROM.

TURNER, L. W. **Eletrônica aplicada**. London: Hemus, 2004. 223 p.

VELLIDIS, G. et al. A real-time wireless smart sensor array for scheduling irrigation, **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 61, n. 1, p. 44-50, Mai. 2007.

WANG, N.; ZHANG, N.; WANG, M. Wireless sensors in agriculture and food industry: recent development and future perspective. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 50, n. 1, p. 1-14, set. 2005.

WEBSTER, J. G. **The measurement, instrumentation and sensors handbook**. Heidelberg: Springer, 1999. 156 p.

ZABELTITZ, C. V. **Integrated greenhouse systems for mild climates**: climate conditions, design, construction, maintenance, climate control. London: Springer, 2010. 362 p.

ZABELTITZ, C. V.; BAUDOIN, W. O. **Greenhouses and shelter structures for tropical regions**. Roma: FAO, 1999. 125 p.

ZERGER, A. et al. Environmental sensor networks for vegetation, animal and soil sciences. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Amsterdam, v. 12, n. 1, p. 303-316, May 2010.