

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

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA COMPUTACIONAL PARA
MONITORAMENTO DE PARÂMETROS FÍSICOS NA ÁREA DE
IRRIGAÇÃO, COM BASE NA PLATAFORMA *LabVIEW*.**

DIEGO SCACALOSSI VOLTAN

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
CÂMPUS DE BOTUCATU

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA COMPUTACIONAL PARA
MONITORAMENTO DE PARÂMETROS FÍSICOS NA ÁREA DE
IRRIGAÇÃO, COM BASE NA PLATAFORMA *LABVIEW*.**

DIEGO SCACALOSI VOLTAN

Orientador: 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 CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

V935d Voltan, Diego Scacalossi, 1985-
Desenvolvimento de um sistema computacional para monitoramento de parâmetros físicos na área de irrigação, com base na plataforma Labview / Diego Scacalossi Voltan. - Botucatu : [s.n.], 2012
xii, 127 f. : il., color., gráfs., tabs.

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

1. Sensoriamento. 2. LabVIEW. 3. Irrigação. 4. Monitoramento ambiental. 5. Instrumentação Virtual, I. Martins, João Eduardo Machado Perea. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio 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 COMPUTACIONAL PARA
MONITORAMENTO DE PARÂMETROS FÍSICOS NA ÁREA DE
IRRIGAÇÃO, COM BASE NA PLATAFORMA *LABVIEW*"

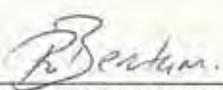
ALUNO: DIEGO SCACALOSI VOLTAN

ORIENTADOR: PROF. DR. JOAO EDUARDO MACHADO PEREA MARTINS

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. JOAO EDUARDO MACHADO PEREA MARTINS



PROFª DRª ROSEMARY MARQUES DE A. BERTANI



PROF. DR. MARCO ANTONIO GANDOLFO

Data da Realização: 17 de fevereiro de 2012.

Agradecimentos

A realização desse trabalho foi possível devido a um conjunto de esforços que contribuíram incontestavelmente para o êxito obtido e que aqui serão lembrados.

Em primeiro lugar agradeço toda a minha família e aos meus pais Nivaldo Aparecido Voltan e Valéria Scacalossi Voltan que sem medirem esforços ajudaram em toda essa caminhada.

Agradeço ao professor Dr. João Eduardo Machado Perea Martins pela orientação, ensinamentos, amizade e compreensão durante todo o trabalho desenvolvido.

Agradeço ao professor Dr. Marco Antônio Gandolfo por todo o ensinamento e orientação durante o período de graduação e incentivo a realização do mestrado.

Agradeço a Suzan Martins Pereira pelo companheirismo, compreensão e principalmente paciência durante todo o período da pós-graduação.

Agradeço aos amigos de Bauru Maria Lúcia Mortari, Gabriel Mortari Baffi, Rafael Ortensi dos Santos, Paulo Kenji Nagayama e Raphael de Oliveira pela amizade sincera e incentivo.

Agradeço aos amigos da equipe de trabalho de laboratório Rogério Zanarde Barbosa e José Marcio Bassan pelo companheirismo e conselhos durante o desenvolvimento dos trabalhos.

Ao Departamento de Computação da FC e, em particular, aos professores Andrea Carla Gonçalves Vianna e Humberto Ferasoli Filho pelos ensinamentos essenciais para a realização desse trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Computação da Faculdade de Ciências da Unesp de Bauru pela atenção durante o desenvolvimento desse trabalho.

Aos colegas de classe, professores, funcionários da biblioteca e às secretárias da Seção de Pós Graduação da Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, pela atenção e dedicação.

A CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – pelo apoio financeiro do mestrado.

SUMÁRIO

| | Página |
|---|--------|
| Lista de ilustrações..... | VII |
| Lista de tabelas..... | XI |
| RESUMO..... | 1 |
| SUMMARY..... | 3 |
| 1 INTRODUÇÃO..... | 5 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 8 |
| 2.1 Medições de Parâmetros Físicos..... | 8 |
| 2.1.1 Erros de medições..... | 9 |
| 2.2 Sensores e transdutores..... | 11 |
| 2.3 Análise de Sensores..... | 12 |
| 2.4 Sensores utilizados neste trabalho..... | 13 |
| 2.4.1 Sensores de temperatura..... | 13 |
| 2.4.1.1 Sensor LM 35..... | 14 |
| 2.4.1.2 Termopares..... | 15 |
| 2.4.2 Sensores de umidade relativa do ar..... | 16 |
| 2.4.3 Medidores Pluviométricos..... | 17 |
| 2.5 Sistemas de aquisição de dados analógicos e digitais..... | 19 |
| 2.5.1 Conversores analógico-digitais..... | 20 |
| 2.6 Transmissão serial de dados..... | 23 |
| 2.6.1 Placas de aquisição de dados USB..... | 25 |
| 2.7 Instrumentação Virtual..... | 26 |
| 2.8 <i>LabVIEW</i> | 28 |

| | | |
|---------|--|----|
| 2.9 | Implementação de software para aquisição, visualização e armazenamento de dados de parâmetros físicos ambientais | 30 |
| 2.10 | Instrumentação eletrônica na área agrícola | 32 |
| 2.10.1 | Instrumentação virtual na agricultura irrigada..... | 33 |
| 3 | MATERIAL E MÉTODOS | 38 |
| 3.1 | <i>LabVIEW</i> (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench)..... | 38 |
| 3.1.1 | Sensor de Temperatura LM35 | 41 |
| 3.1.2 | Conexão do sensor LM35 na placa de aquisição de dados | 45 |
| 3.2 | Sensor de umidade | 47 |
| 3.2.1 | Sensor de umidade capacitivo..... | 48 |
| 3.2.2 | Conexão dos sensores de umidade na placa de aquisição de dados | 50 |
| 3.2.2.1 | Sensor de umidade capacitivo..... | 51 |
| 3.3 | Pluviômetro..... | 54 |
| 3.4 | Termo-higrômetro..... | 57 |
| 3.5 | Placa de aquisição de dados | 58 |
| 3.6 | Estabelecimento das conexões dos componentes sensores no <i>LabVIEW</i> | 62 |
| 3.6.1 | Sensor de temperatura..... | 64 |
| 3.6.2 | Pluviômetro..... | 66 |
| 3.6.3 | Sensor de umidade capacitivo..... | 66 |
| 3.7 | Comunicação serial | 66 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 68 |
| 4.1 | Software de monitoramento e gravação de dados de temperatura..... | 68 |
| 4.1.1 | Resultados do software de monitoramento e gravação de dados de temperatura | |
| | 74 | |
| 4.1.2 | Análise do sensor de temperatura LM35 | 76 |

| | |
|---|-----|
| 4.1.3 Software de Avaliação do Interfaceamento do LM35 com resistor de carga ... | 76 |
| 4.1.4 Software de Verificação da Exatidão do Sensor LM35..... | 83 |
| 4.1.4.1 Resultados Software de Verificação da Exatidão do Sensor LM35 | 86 |
| 4.2 Software de aquisição de dados de umidade relativa do ar..... | 90 |
| 4.2.1 Resultados do software de aquisição de dados de umidade relativa do ar..... | 92 |
| 4.3 Coletor de dados pluviométricos..... | 94 |
| 4.3.1 Resultados obtidos do coletor de dados pluviométricos | 96 |
| 4.4 Instrumento Virtual de Conexão Serial..... | 98 |
| 4.4.1 Resultados do recebimento de dados pelo software de conexão serial..... | 101 |
| 4.5 Desenvolvimento da Interface Homem-Máquina Para Integração dos softwares . | 103 |
| 5 CONCLUSÕES | 107 |
| 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 109 |

Lista de ilustrações

| | Página |
|--|--------|
| Figura 1. Representação sistemática de um processo de medição em diagrama de blocos. | 9 |
| Figura 2. (a) Sensor de temperatura LM35 que possui uma saída analógica de 10mV/°C. (b) Dispositivo com três terminas (alimentação, tensão de saída e terra (neutro))..... | 14 |
| Figura 3. Pluviômetro basculante. Na porção inferior da foto está localizado a báscula sua chave magnética posicionada nas extremidade de cada cuba da báscula. O suporte cilíndrico, atrás do dispositivo, é para proteção contra detritos e animais..... | 19 |
| Figura 4. Diagrama do funcionamento do processo de conversão analógico-digital. | 20 |
| Figura 5. Recebimento de um sinal analógico pelo conversor A/D e a conversão para a forma digital. | 21 |
| Figura 6. Processo de como é feita a conversão A/D com base na resolução da placa de aquisição de dados. | 22 |
| Figura 7. (a) Conector DB-9 com os pinos identificados. (b) Foto do conector DB-9. | 24 |
| Figura 8. Arquitetura de um instrumento virtual. | 27 |
| Figura 9. Estrutura organizacional do software <i>LabVIEW</i> . (1) Project Explorer, (2) Painel Frontal e (3) Diagrama de blocos..... | 30 |
| Figura 10. Exemplo de painel de controle frontal com indicadores (temperatura, nível de reservatório, mostrador analógico), botões liga/desliga e <i>leds</i> indicadores. | 31 |
| Figura 11. Conjunto de paletas no <i>LabVIEW</i> . (A) Paleta de funções. (B) Paleta de controle. (C) Paleta de ferramentas. | 40 |
| Figura 12. Relação entre o painel frontal e o diagrama de blocos durante a programação. No painel frontal (lado esquerdo) temos um indicador gráfico e no diagrama de blocos a representação gráfica do seu terminal. | 41 |
| Figura 13. Gráfico que representa o erro da leitura da temperatura pelo sensor LM35 na faixa de operação entre -55°C a 150°C (NATIONAL SEMICONDUCTOR, 2000). | 42 |
| Figura 14. Sensor LM35 (a) Ampliação do encapsulamento do sensor LM35. (b) Vista frontal dos terminais de saída do sensor LM35. | 43 |
| Figura 15. Gráfico que mostra o tempo de estabilização do sensor LM35 em ambientes sem ventilação (NATIONAL SEMICONDUCTOR, 2000). | 44 |

| | |
|---|----|
| Figura 16. Período de tempo relativo à estabilização do sensor antes de iniciar a medição de temperatura (NATIONAL SEMICONDUCTOR, 2000)..... | 44 |
| Figura 17. Esquema de conexão do sensor LM35 no terminal de parafusos da placa de aquisição de dados USB-6221. | 45 |
| Figura 18. Conexões dos sensores LM35 pelo intermédio de uma placa <i>Protoboard</i> | 46 |
| Figura 19. Sensores acondicionados dentro de um recipiente com propriedades de isolamento térmica..... | 47 |
| Figura 20. Sensor de umidade relativa do ar Philips H1. | 48 |
| Figura 21. Capacitância típica em função da umidade relativa para o sensor de umidade Philips H1 (PHILIPS COMPONENTS, 1997). | 49 |
| Figura 22. Sensor capacitivo de umidade HS-1101. | 50 |
| Figura 23. Circuito integrado 555..... | 51 |
| Figura 24. Esquema do circuito eletrônico de sensoriamento baseado no circuito integrado 555..... | 52 |
| Figura 25. Foto do circuito montado como sensor de umidade relativa do ar no lugar do capacitor. | 53 |
| Figura 26. Componentes internos do pluviômetro 7852M da Davis Instruments (DAVIS INSTRUMENTS, 2007). | 55 |
| Figura 27. (a) Sistema montado de verificação da calibração em pluviômetros basculantes. (b) Estação pluviométrica utilizada para receber dados de chuva. | 57 |
| Figura 28. Medidor de temperatura e umidade, modelo HRT-152, que tem uma saída serial de dados que pode ser conectado diretamente a uma entrada de comunicação serial no computador. | 58 |
| Figura 29. Placa de aquisição de dados modelo USB-6221 da série M. | 59 |
| Figura 30. Vista posterior da placa de aquisição de dados. (1) Botão Liga/Desliga. (2) Conector do cabo de alimentação. (3) Entrada de conexão para o cabo USB. | 59 |
| Figura 31. Vista frontal da placa de aquisição de dados. (1) Parafuso que prende a tampa de acesso ao terminal de parafusos. (2) <i>Led</i> indicador de atividade da placa de aquisição de dados. (3) <i>Led</i> indicador de estado. (4) Abertura frontal para acesso de cabos. (5) Modelo da placa de aquisição de dados. | 60 |
| Figura 32. Terminal de parafusos no interior da placa de aquisição de dados. | 61 |

| | |
|---|----|
| Figura 33. Terminal de parafusos identificando a função de cada canal..... | 62 |
| Figura 34. Ícone do DAQ Assistant na paleta de funções do <i>LabVIEW</i> | 63 |
| Figura 35. Janela de configuração para criar uma nova tarefa utilizando o assistente de aquisição de dados (<i>DAQ Assistant</i>). | 64 |
| Figura 36. Janela de configurações do <i>DAQ Assistant</i> | 65 |
| Figura 37. Componentes para realizar comunicação com instrumento com saída de comunicação serial. | 67 |
| Figura 38. Interface gráfica do <i>software</i> de aquisição de dados de temperatura. | 69 |
| Figura 39. Botão executar. (a) Indica que o <i>software</i> está pronto para ser executado. (b) Indica que o <i>software</i> está em execução. | 70 |
| Figura 40. Caixa de diálogo aberta após ser pressionado o botão “Gravar”. 1- Tipo do arquivo que será gravado (Arquivo de texto). 2- Nome sugerido para o arquivo de texto. 3- Botão cancelar. 4- Botão “Ok” para confirmar operação. | 72 |
| Figura 41. Variação da tensão de saída do sensor LM35. | 74 |
| Figura 42. Circuito para conexão do LM35 com resistor de desacoplamento para cargas capacitivas (NATIONAL SEMICONDUCTOR, 2000). | 77 |
| Figura 43. Interface homem-máquina do software de avaliação da aquisição de dados do sensor LM35. | 78 |
| Figura 44. Gráfico gerado pelo instrumento virtual após o término de uma análise..... | 79 |
| Figura 45. Arquivo de texto gerado pelo instrumento virtual. (a) Relatório da aquisição de dados com todas as amostras. (b) Dados estatísticos gerados pelo software. | 80 |
| Figura 46. Gráficos das análises de temperatura gerados pelo instrumento virtual para o circuito com resistor. | 81 |
| Figura 47. Gráficos das análises de temperatura gerados pelo instrumento virtual para o circuito sem resistor. | 83 |
| Figura 48. Interface homem-máquina do software de verificação de estabilidade do sensor LM35. (1) Tela do gráfico gerado pelos valores do V_{in} pelo tempo (s). (2) Valor da média dos valores de tensão adquiridos. (3) Desvio padrão do conjunto das amostras. (4) Identificação por cores dos sensores na tela do gráfico. | 84 |

| | |
|--|-----|
| Figura 49. Exemplo da tela do software de verificação da exatidão do sensor LM35 para aquisição de dados de temperatura com mais de um sensor LM35 em medições de curto período de tempo. | 85 |
| Figura 50. Exemplo de arquivo de imagem gerado pelo software de verificação da exatidão do sensor LM35 após as aquisições de dados. | 86 |
| Figura 51. Resultados da análise para o tempo de 1 minuto (60 segundos). | 87 |
| Figura 52. Resultados da análise para o tempo de 10 minutos (600 segundos). | 89 |
| Figura 53. Resultados da análise para o tempo de 1 hora (3600 segundos). | 90 |
| Figura 54. Tela do software de aquisição de dados de umidade relativa do ar. | 91 |
| Figura 55. Variação da capacitância do sensor de umidade relativa do ar (UR%). | 93 |
| Figura 56. Interface gráfica do coletor de dados pluviométricos. (A) Módulo de registro de intensidade de chuva. (B) Módulo de contagem de eventos pluviométricos. | 95 |
| Figura 57. Resultados das medições da simulação de eventos com ocorrência de 1 evento por minuto, aproximadamente. | 97 |
| Figura 58. Resultados das medições da simulação de eventos com ocorrência de 2 a 3 eventos por minuto. | 97 |
| Figura 59. Interface gráfica do software de aquisição de dados serial. | 99 |
| Figura 60. Resultados da aquisição de dados da temperatura e umidade relativa do ar pelo software de comunicação serial. | 102 |
| Figura 61. Interface homem-máquina do software de monitoramento agrometeorológico. A- Visualizadores analógicos e mostradores digitais dos valores de temperatura, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica. B- Na parte superior é mostrado um gráfico do comportamento diário da temperatura e umidade relativa do ar e, na parte inferior, são mostrados valores da precipitação acumulada no mês. C- Módulo de comunicação serial. | 106 |

Lista de tabelas

| | Página |
|--|--------|
| Tabela 1. Faixa de trabalho de temperatura para cada tipo de termopar em relação ao tipo de liga metálica em que são construídos..... | 15 |
| Tabela 2. Tabela de conversão dos dados digitalizados. | 23 |
| Tabela 3. Nomes das funções dos pinos que compõe o conector DB-9..... | 24 |
| Tabela 4. Relação entre a capacitância (Faraday) e a umidade relativa do ar (UR%), em valores aproximados. | 54 |
| Tabela 5. Valores estatísticos de 10 amostragens, com 600 amostras cada, da tensão de saída do sinal do sensor de circuito integrado LM35..... | 75 |
| Tabela 6. Dados da análise estatística do circuito com resistor..... | 81 |
| Tabela 7. Tabela com os dados estatísticos do circuito sem resistor..... | 82 |
| Tabela 8. Valores da média aritmética obtidos pelo software de verificação da estabilidade do sensor LM35, no total de 10 análises. | 88 |
| Tabela 9. Valores do desvio padrão obtidos pelo software de verificação da estabilidade do sensor LM35, no total de 10 análises. | 88 |

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de um sistema computacional para o sensoriamento, aquisição de dados e visualização de parâmetros físicos, fundamentais para a área de irrigação. O trabalho incluiu aspectos de hardware e software, e foi desenvolvido utilizando a plataforma de instrumentação virtual chamada *LabVIEW*, composta por uma placa de hardware padrão para aquisição de dados e de um ambiente para desenvolvimento de softwares. Durante o desenvolvimento, sensores foram conectados ao hardware do *LabVIEW* para a medição de três parâmetros físicos importantes para a irrigação, que são temperatura ambiente, umidade relativa do ar e índice pluviométrico. Paralelamente, foram desenvolvidos os softwares, em ambiente *LabVIEW*, responsáveis pela aquisição de dados dos sensores e pela interface homem-máquina de comunicação com o usuário, permitindo a visualização e interpretação dos dados agrometeorológicos em tempo-real e de forma simples, a fim de que possam ser eficientemente analisados por um usuário sem treinamentos prévios. O trabalho também incluiu o desenvolvimento de mecanismos de hardware para a análise das características físicas dos sensores de temperatura, umidade e de precipitação, permitindo a verificação de parâmetros como precisão, exatidão, ruído elétrico, etc. Isto representou um tópico adicional ao trabalho, o qual apresenta um produto para a análise de confiabilidade e desempenho dos sensores para aplicações agrícolas. Além disso, nesse trabalho foi desenvolvido um software genérico que permite a aquisição de dados de qualquer dispositivo de sensoriamento que tenha saída de dados no padrão de comunicação serial RS-232, os quais são atualmente muito utilizados em diversos dispositivos de

sensoriamento. Na análise dos resultados, o trabalho permitiu o desenvolvimento de um sistema eficiente de análise dos parâmetros dos sensores utilizados, realizando com precisão a aquisição de dados dos sensores e também permitindo uma interação visual e amigável com o usuário. Assim, concluí-se que os objetivos foram alcançados, sendo que o trabalho permitiu o desenvolvimento de técnicas avançadas de hardware e software no *LabVIEW*, as quais têm potencial para diversas aplicações futuras que exijam funções de sensoriamento, aquisição de dados e controle na área de irrigação.

Palavras-chave: Sensoriamento, *LabVIEW*, Irrigação, Instrumentação Virtual, Monitoramento Ambiental

DEVELOPMENT OF A COMPUTER SYSTEM FOR MONITORING OF PHYSICAL PARAMETERS IN IRRIGATION AREA BASED ON LABVIEW.

Botucatu, 2011. 127p. Dissertation (Master in Agronomy / Irrigation and Drainage) – Faculty of Agronomic Sciences, São Paulo State University.

Author: DIEGO SCACALOSSO VOLTAN

Adviser: JOÃO EDUARDO MACHADO PEREA MARTINS

SUMMARY

The aim of this study was to develop a computer system for sensing, data acquisition and visualization of physical parameters that are fundamental to the irrigation area. The work included aspects of hardware and software, thus it was developed using the virtual instrumentation platform called LabVIEW that consisting of a standard hardware interface for data acquisition and a software development environment. During development, the sensors were connected to the LabVIEW hardware for measurement of three main physical parameters for irrigation, which are temperature, relative humidity and rainfall. In parallel, four pieces of software were developed in the LabVIEW environment, which were responsible for data acquisition from sensors and for the human-machine interface, allowing the visualization and interpretation of agrometeorological data in real-time and with a friendly environment that can be efficiently analyzed by a user without prior training. The work also included the development of hardware mechanisms for the analysis of physical characteristics of temperature sensors, humidity and precipitation, allowing verification of parameters such as precision, accuracy, noise, etc. This represented an additional topic to the work, introducing a product for the reliability and performance analyses of the sensors in agricultural applications. In addition, to this work was developed generic software that allows data acquisition of any sensing device which outputs data in the standard RS 232 serial communication, which are widely used in various sensing devices. The result includes a system that allows efficient sensor parameters analysis, performs the data acquisition and also allows a friendly visual interaction with user. Thus, we conclude that the initial objectives were achieved, which it is important to note that the work has enabled the development of advanced hardware and

software in *LabVIEW*, which have a high potential for future development of various applications requiring sensing functions, data acquisition and control in the irrigation area.

Keywords: Sensoring, *LabVIEW*, Irrigation, Virtual Instrumentation, Environment Monitoring

1 INTRODUÇÃO

O aumento da produtividade agrícola é uma necessidade mundial que, ao mesmo tempo, exige um cultivo sustentável para a preservação do ambiente. Desta forma, umas das alternativas para atender a essa exigência é a utilização de técnicas eficientes do manejo da irrigação, baseadas em recursos tecnológicos, para evitar desperdícios com água, incrementar a produção e realizar agricultura sustentável.

Neste enfoque, a agricultura está evoluindo para a modernização e utilização de instrumentos cada vez mais precisos e pontuais para elaborar estratégias de ação e auxiliar na tomada de decisão no gerenciamento agrícola. Para isso, o uso de tecnologias eletrônicas e computacionais utilizadas na agricultura permite compor uma base de dados que, quando interpretados e analisados dentro do contexto agrícola auxiliam na tomada de decisão.

Com a evolução dos recursos eletrônicos, baseados principalmente na miniaturização dos componentes eletrônicos, surgiram os microprocessadores e microcontroladores, que passaram a integrar os instrumentos de medições, dando-lhes a capacidade de executar tarefas automatizadas, incluindo o processamento dos dados. Posteriormente os computadores como um todo foram se tornando parte integrante da instrumentação funcionando em conjunto com os instrumentos, surgindo o conceito de Instrumentação Virtual.

O instrumento virtual é composto por um computador, o software de instrumentação e o hardware do instrumento (DESJARDIN, 1995). O controle destes dispositivos é via software que podem ser criados de acordo com as necessidades dos

pesquisadores, agrônomos e engenheiros. Eles podem definir como e quando a aplicação adquire dados do dispositivo, como ela processa, manipula e armazena os dados e como os resultados são apresentados ao usuário (NATIONAL INSTRUMENTS, 2009).

A análise de sensores é fundamental em medições de parâmetros meteorológicos e entre suas principais características deve-se considerar parâmetros como sensibilidade, precisão, exatidão, faixa de atuação, tempo de resposta, entre outras características que permitem a leitura dos dados de forma confiável. Por exemplo, em ambientes agrícolas o monitoramento dessas variáveis, como temperatura e umidade, são importantes para a tomada de decisão do controle de pragas e doenças. Em ambientes controlados o monitoramento é ainda mais rígido com necessidade de medições em intervalos de tempo muito curtos e com grande volume de dados, o que torna o trabalho de um observador exaustivo e monótono, conduzindo a erros (HELFRICK E COOPER, 1994). Com isso, dispositivos de sensoriamento são ferramentas básicas para o monitoramento de variáveis ambientais, que devem ser tecnicamente analisados, e podem ser aplicados em áreas como a irrigação de sistemas agrícolas.

O adequado manejo da irrigação envolve técnicas para saber quando e quanto irrigar. Muitos métodos são empregados para determinar a quantidade de água a ser aplicada e isto envolve fatores como clima, equipamento de irrigação, o tipo de solo e planta a ser irrigados, etc. Dentre estes fatores, os climáticos são determinantes no consumo de água pelas plantas e estão diretamente relacionados à evaporação da água e a transpiração das plantas.

Outro aspecto considerado, em locais com alta frequência de precipitação pluviométrica, onde a irrigação suplementa o regime de chuvas, adota-se a estratégia de irrigar o suficiente para suprir as necessidades da cultura até a próxima chuva (HEZARJARIBI, 2008), para isso são usados pluviômetros para medir a quantidade de água da chuva por metro quadrado. No Brasil, a Embrapa Cerrado utiliza desta estratégia monitorando as chuvas próximo a área irrigada para calcular a lâmina de água necessária a ser aplicada no ciclo de culturas anuais e da cultura do café (EMBRAPA, 2011).

Considerando a importância do monitoramento de parâmetros físicos em sistemas agrícolas, o objetivo desse trabalho foi realizar um estudo preliminar de técnicas de sensoriamento e desenvolvimento de softwares de aquisição de dados de temperatura,

umidade, precipitação pluviométrica e um software genérico de comunicação serial na plataforma de programação gráfica do *LabVIEW* como ferramenta para o monitoramento e manejo da irrigação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo descreve conceitos básicos sobre sensoriamento aplicado a área agrícola, apresentando também, as técnicas empregadas neste trabalho, que incluem medição e controle, tipos de sensores utilizados, princípios de sistemas de aquisição de dados, o conceito e vantagens da instrumentação virtual na agricultura e uma abordagem sistemática sobre o software de programação *LabVIEW*.

2.1 Medições de Parâmetros Físicos

Na agricultura muitas são as variáveis físicas que podem ser mensuradas, como o índice pluviométrico, o tempo de exposição das plantas a radiação solar, os níveis de danos provocados por pragas e doenças, infestações por plantas daninhas, análises físico-químicas do solo, entre outros inúmeros fatores, que o produtor rural utiliza como ferramenta para aumentar a produtividade da unidade agrícola.

O conhecimento dos parâmetros físicos é o primeiro passo para controlar um processo agrícola, sendo assim, com o conhecimento destes parâmetros e por meio de medições, é possível gerenciar e otimizar todo o processo a ser controlado.

Segundo Fowler e Schmalzel (2004b) as medições devem ter significado, para isso os instrumentos devem ser projetados para que as interações homem-máquina sejam de fácil entendimento no processo de medição. Os instrumentos são construídos com mostradores (displays) que facilitam a leitura da medição e o entendimento

pelos operadores. Desta forma, sua interface gráfica deve ser intuitiva levando o usuário a entender o processo básico envolvido neste sistema de medição, sem a necessidade de conhecer a complexidade do sistema por trás do visor do instrumento.

Em contrapartida, em pesquisas científicas, pode ser necessário que o técnico compreenda todo o processo controlado, como pode ser observado no diagrama de blocos de um processo de medição na Figura 1, mostrando que, desde o princípio da medição é necessário entender o fenômeno físico envolvido, amostrar e transformar os sinais das medições (dados amostrados), manipular os dados e garantir o resultado final.



Figura 1. Representação sistemática de um processo de medição em diagrama de blocos.

2.1.1 Erros de medições

As medições não retornam valores exatos, muitas vezes ocasionados por erros do instrumento, erros na calibração do instrumento ou até erros provocados pelo manuseio inadequado dos equipamentos. Estas variáveis, entre outras, ocasionam o aparecimento de erros nas medições em experimentações agrícola. O erro (ε), por definição, é a diferença algébrica entre a quantidade de um valor medido do valor verdadeiro de uma grandeza física (INMETRO, 2000), representado pela Equação 1:

$$\varepsilon = y - y_v \quad (1)$$

Onde:

y = valor medido

y_v = valor verdadeiro

Há muitos tipos de erros, e de modo geral, são classificados em duas grandes categorias, erros sistemáticos e aleatórios. Desta classificação podemos eliminar os erros humanos, que são cometidos por erros de leitura, ajustes inadequados e aplicações incorretas dos instrumentos. Muitas vezes esses são erros originados da falta de conhecimento ou desatenção do operador que está executando a medição.

Os erros sistemáticos estão presentes em todas as medições e não são eliminados, somente há meios de reduzi-los e para isso é necessário quantificar esses erros para corrigir o erro que se repetirá em todas as medições. Segundo Helfrick e Cooper (1994) os erros instrumentais e os erros ambientais influenciam nas medições e se enquadram dentro da categoria dos erros sistemáticos. Os erros instrumentais são próprios do instrumento, especialmente variações na parte mecânica. Isto pode ocorrer com o desgaste das peças pelo uso contínuo do instrumento e por movimentos e atritos provocados pelo próprio funcionamento inadequado das partes internas do instrumento, influenciando nas aferições de maneira significativa. Os erros ambientais são provenientes das condições externas aos equipamentos de medição. Estes podem ocorrer devido à variação de temperatura, umidade, pressão e dos campos magnéticos e dos campos elétricos.

Em sistemas de medições, alguns erros aparecem sem que haja o conhecimento de causa no momento das medições e são chamados de erros aleatórios. As causas podem ser por diversos fatores como atritos, vibrações, folgas, flutuações de rede, instabilidade interna, interferência eletromagnética, condições ambientais, etc. Alguns autores denominam os erros aleatórios de erros estatísticos, isto devido às medições serem realizadas em condições de repetitividade. Assim, os valores medidos são subtraídos da média dos valores totais da medição. Deste modo, é possível realizar análises estatísticas do número de leituras das medições para estimar o valor mais próximo do valor real.

Nesse contexto é interessante destacar o conceito de “incerteza de medição”, o qual, em metrologia está associado à qualidade da medição e garante um intervalo de segurança nas medidas para que o resultado torne-se confiável. Segundo a definição do vocabulário internacional de metrologia (VIM, 2008) a incerteza de medição são parâmetros, comparados entre os resultados de um número conhecido de medidas, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser fundamentalmente atribuídas a uma grandeza física.

2.2 Sensores e transdutores

Sensores e transdutores, de modo abrangente, são dispositivos capazes de receber e responder a estímulos ou sinais de algum ambiente em estudo. Em processos de controle são responsáveis por iniciarem a detecção dos parâmetros físicos do ambiente e assim desencadearem as ações sucessoras do processo controlado.

Os sensores são dispositivos que sofrem uma variação de suas características em função de um parâmetro externo, como temperatura ou umidade. Independente do sinal de entrada (estímulo), os sensores reproduzem um sinal elétrico de saída (FOWLER, 2004a), isto é, os sensores transformam qualquer tipo de energia em sinal elétrico. Os sinais de saída dos sensores podem ser na forma de tensão (V), corrente (A) ou resistência (FRADEN, 2010).

Os transdutores possuem a propriedade de receber um estímulo e convertê-lo em qualquer outro tipo de energia. Por exemplo, eles traduzem uma informação não elétrica, como temperatura, pressão, pH em uma grandeza elétrica (corrente ou tensão). Balbinot e Brusamarello (2006) definem transdutor como um complemento de sensores com a finalidade de viabilizar medições de parâmetros físicos ou mesmo melhorar as condições de medição de um sensor. Ainda, transdutores podem trabalhar como atuadores nos sistemas de controle. Ao contrário dos sensores, os atuadores convertem um sinal elétrico em energia não elétrica (FRADEN, 2010). Um exemplo são os motores elétricos que convertem energia elétrica em força mecânica.

Escolher entre os variados modelos de sensores é uma tarefa imprescindível para usá-los corretamente nos projetos de medições agrícolas. A escolha de sensores é fundamental para garantir medições confiáveis, redução do consumo de energia, maior tempo de vida útil, entre outras características desejáveis para viabilizar um projeto.

Após a definição de qual variável será mensurada e as necessidades de cada sistema controlado, já é possível levantar o conjunto de sensores disponíveis e capazes de atender a proposta de trabalho. Entre as principais características que devemos considerar são os parâmetros que estão intimamente ligados com as características de entrada (estímulo) e saída do sensor denominado Função de Transferência (*Transfer Function*).

2.3 Análise de Sensores

A função de transferência de um sensor é melhor observada por um gráfico que representa pelos eixos da abscissa (x) e das coordenadas (y) sendo, respectivamente, a relação entre o sinal de entrada de uma medição e o sinal de saída. Schmalzel e Rauth (2005) sugere o uso de uma função matemática para melhor interpretar o comportamento da função de transferência pela Equação 2:

$$T_{(s)} = \frac{V_{o(s)}}{V_{i(s)}} \quad (2)$$

Onde $T_{(s)}$ é a razão entre a função de saída $V_{o(s)}$ e a função de entrada $V_{i(s)}$, sendo (s) a frequência da variável.

Entre estas características estão:

- Exatidão (*accuracy*) indica o quão próximo a medida mensurada pelo sensor está da medida real;
- Precisão (*precision*) é a repetitividade do erro medido pelo sensor;
- Resolução (*resolution*) representa o menor valor que o sensor consegue medir de um estímulo;
- Linearidade (*linearity*), relação entre a resposta de saída de um sensor com o sinal de entrada de um parâmetro físico;
- Sensibilidade (*sensitivity*), relação entre a amplitude de saída do sensor pela amplitude de entrada, o que permite estabelecer a eficiência de conversão do sensor;
- Faixa de atuação (*span* ou *range*) são os maiores e menores valores em que os estímulos são recebidos pelo sensor;
- Tempo de resposta, é a periodicidade em que um sensor pode fazer a leitura de um valor e disponibilizá-lo, por exemplo, em um display de um instrumento e;
- Escala cheia de saída (*full scale output*), mostra o valor máximo de saída de um sinal elétrico que pode ser calculado pela diferença entre

a saída mínima para o menor estímulo de entrada e/ou a saída máxima para o maior estímulo de entrada.

2.4 Sensores utilizados neste trabalho

Apesar de existirem inúmeros tipos de sensores este trabalho é concentrado no uso de sensoriamento de temperatura do ar, da umidade relativa e do índice pluviométrico, pois estas grandezas são consideradas fundamentais para viabilização de projetos de irrigação baseados na evapotranspiração para reposição da lâmina de água no solo.

2.4.1 Sensores de temperatura

As medições de temperatura nas áreas meteorológica e médica foram as primeiras aplicações para os termômetros, e, assim como para a maioria dos sensores, as tecnologias eletrônicas e computacionais contribuíram para o surgimento de um grande número de sensores de temperatura entre outros tipos de sensores (BALBINOT e BRUSAMARELLO, 2006), além de permitirem a miniaturização destes sensores e seu controle por computadores. Na agricultura, principalmente em ambientes protegidos, como no caso das casas de vegetação, os sistemas de medição e controle de temperatura estão sendo amplamente empregados devido a fundamental importância que a temperatura exerce no metabolismo das plantas (TERUEL, 2010).

A escolha ideal dos sensores envolve o conhecimento das diversas características inerentes ao sensor. Steidle Neto e Zolnier (2006) destacam que, para o uso de sensores com a finalidade de monitorar automaticamente a temperatura, os sensores mais adequados são os dotados de saídas elétricas (tensão ou corrente) podendo ter transmissão de sinais na forma analógica ou digital.

2.4.1.1 Sensor LM 35

Um exemplo de sensor de temperatura de alta precisão é o LM 35, representado na Figura 2, fabricado em circuito integrado pela National Semiconductor com três terminais, um de alimentação, um para a tensão de saída e um terminal neutro.

Este sensor sai de fábrica calibrado para temperatura em graus Celsius, conferindo uma vantagem sobre os outros sensores de temperatura que são calibrados na escala Kelvin, pois o usuário não precisa subtrair uma constante da tensão de saída para converter o valor da temperatura para a escala Celsius (NATIONAL SEMICONDUCTOR, 2000).

A tensão de saída produzida é linear e proporcional a escala Celsius, sendo a resolução ajustada a tensão de saída, assim, por padrão do sensor LM 35, a cada 10 mV de tensão de saída a temperatura será de 1°C, e assim por diante. Então, por exemplo, para um valor de tensão de 250 mV a temperatura será 25°C e para 1000 mV, 100°C. Em temperatura ambiente o LM 35 apresenta exatidão de 0,25 °C e exatidão de no máximo 0,75 °C dentro da faixa de temperatura de -55°C à 150°C.

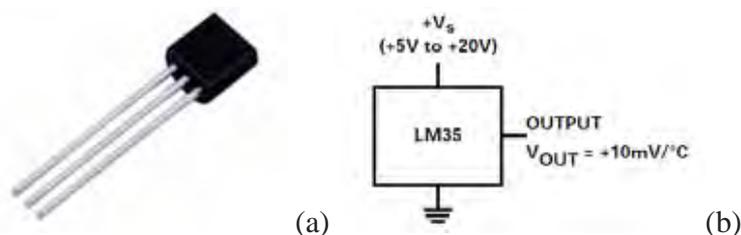


Figura 2. (a) Sensor de temperatura LM35 que possui uma saída analógica de 10mV/°C. (b) Dispositivo com três terminas (alimentação, tensão de saída e terra (neutro)).

O LM 35 é utilizado amplamente em pesquisas por apresentar um custo inferior a U\$3,00 no varejo, precisão e linearidade, podendo ser empregado em diversas atividades onde é necessário o uso de termômetros para o controle de temperatura, como em câmeras frias e/ou ambientes controlados para criação de animais, controle de temperatura de máquinas e aquisição de dados para pesquisas.

2.4.1.2 Termopares

Sua composição física consiste em dois fios de materiais diferentes em contato nas suas extremidades, formando uma junção. Os termopares convertem a temperatura para uma corrente ou voltagem contínua DC muito pequena. A voltagem de saída varia linearmente com a diferença de temperatura entre as junções, assim, quanto maior a diferença de temperatura maior a voltagem na saída.

As pontas de prova dos termopares são de materiais que incluem cobre/constantan (Type T), ferro/constantan (Type J) e cromo/alumínio (Type K) (AUSTERLITZ, 2003). A Tabela 1 mostra a relação de materiais que são construídos os diversos tipos de termopares e a faixa de temperatura que eles trabalham.

A maioria dos equipamentos projetados para medição de temperatura possuem opções para serem conectados a mais de um tipo de termopar (AUSTERLITZ, 2003). Ao utilizar a ponta de prova do tipo K, por exemplo, o operador deve dar entrada referente à ponta de prova que irá usar no aparelho, para que o equipamento eletrônico seja calibrado apropriadamente antes de iniciar o processo de medição.

Tabela 1. Faixa de trabalho de temperatura para cada tipo de termopar em relação ao tipo de liga metálica em que são construídos.

| Tipo do Termopar | Faixa de temperatura | Condutores Positivos | Condutores Negativos |
|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| B | 0 – 1820°C | Platina-30% ródio | Platina-6% ródio |
| E | -270 – 1000°C | Liga Níquel-Cromo | Liga Cobre-Níquel |
| J | -210 – 1200°C | Ferro | Liga Cobre-Níquel |
| K | -270 – 1372°C | Liga Níquel-Cromo | Liga Níquel-Alumínio |
| N | | Liga Níquel-Cromo-Silício | Liga Níquel-Silício-Magnésio |
| R | -50 – 1768°C | Platina-13% ródio | Platina |
| S | -50 – 1768°C | Platina-10% ródio | Platina |
| T | -270 – 400°C | Cobre | Liga Cobre-Níquel |

Fonte: Balbinot e Brusamarello, 2006.

2.4.2 Sensores de umidade relativa do ar

A umidade relativa do ar é determinada pelo conteúdo de água presente no ar comparado pelo ar completamente saturado, ou seja, a quantidade de umidade que o ar consegue suportar. Desta relação, a umidade relativa é expressa em porcentagem, calculada pela Equação 3:

$$UR = \frac{p(H_2O)}{p^*(H_2O)} \times 100\% \quad (3)$$

Onde:

$p(H_2O)$ é a pressão parcial de vapor de água do ar;

$p^*(H_2O)$ é a pressão de vapor em condições de equilíbrio;

UR é a umidade relativa do ar.

Os aparelhos mais comuns para medir a umidade relativa do ar são os higrômetros. O uso de higrômetros é possível por eles absorverem vapor de água e alterar as características físicas internas passíveis de serem medidas, como a resistividade e a capacitância. Destes dividimos em higrômetros resistivos e capacitivos, devido à diferença entre eles no princípio de funcionamento para se obter o valor da umidade relativa do ar.

Os higrômetros resistivos possuem elementos resistivos que ao entrar em contato com a pressão de vapor de água presente na atmosfera ocorre uma variação na resistência. Eles são compostos por um filme higroscópico (apresenta a função de absorver água), como o Cloreto de Lítio (*Lithium*), que se ioniza na água e é condutor de resistência, sendo esta variável, mensurável para encontrar o valor da umidade. Estes dispositivos são pequenos, robustos, confiáveis e apresentam alta longevidade (DUNN, 2006), no entanto, estes aparelhos devem ser calibrados periodicamente, devido sua resistência variar com o passar do tempo causado pela ação de agentes contaminantes.

Os higrômetros capacitivos são construídos com filme higroscópico que em contato com a umidade promove uma variação na constante dielétrica que é

responsável pela mudança na capacitância do dispositivo. Alguns destes dispositivos podem ser mais estáveis em relação aos higrômetros resistivos (AUSTERLITZ, 2003).

2.4.3 Medidores Pluviométricos

As chuvas exercem função importante na sociedade, principalmente na agricultura, onde é exigido um consumo alto dos recursos hídricos pelas culturas. Por outro lado, é a grande causadora de desastres ambientais como deslizamentos em encostas e alagamentos de regiões planas e próximas aos rios que são ocasionados por um grande volume de água de chuva em um curto espaço de tempo.

A precipitação, entre as variáveis meteorológicas, apresenta alta variabilidade temporal e espacial dificultando sua previsão (PINHEIRO, DEREZYNSKI e DA HORA, 2009). Aliado a esta desvantagem, existe outra que é a instalação de pluviômetros em uma região para prever a quantidade de chuva. Isto ocasiona um significativo aumento nos custos, devido ao grande número de pluviômetros que devem ser instalados.

No mercado são encontrados vários modelos de medidores de chuva que se diferenciam entre recipientes de coleta, com características de serem muito simples e de baixo custo até sistemas mais sofisticados que se utilizam de satélites, radares e sistemas de sensoriamento remoto (SILVA, FERREIRA e FISCH, 2010).

Com o objetivo de diminuir os custos de um pluviômetro e aumentar sua eficiência de coleta e armazenamento de dados Perea Martins (2009) desenvolveu um coletor de dados pluviométricos de baixo custo que são acoplados a pluviômetros basculantes, conferindo porte reduzido e aumentando a mobilidade dos pluviômetros, sendo possível atender a demanda para a construção de uma rede de pluviômetros.

Os pluviômetros com características de pequeno tamanho físico e acoplados a sistemas de aquisição de dados microprocessados se adaptaram as tendências da portabilidade dos instrumentos de medição, assim, medidores equipados com dispositivos eletrônicos são alternativas viáveis para o registro de variáveis meteorológicas para agregar alta capacidade de processamento e armazenamento dos dados em dispositivos muito pequenos e com baixo consumo de energia.

O índice pluviométrico de uma determinada localidade é expressa em milímetros, para representar uma lâmina de água de chuva que se distribuiu uniformemente em 1 metro quadrado de superfície durante a chuva. Desta maneira, 1 milímetro de chuva são equivalentes a 1 litro de água por metro quadrado. Por meio dessa medida, é calculado também, a intensidade de chuva expressa em mm.h^{-1} , caracterizando uma medida linear pela unidade de tempo.

Existem diversos tipos de pluviômetros, desde os mais simples construídos artesanalmente até aos pluviômetros fabricados com alto rigor científico. Entre os modelos disponíveis estão os utilizados em institutos oficiais de pesquisa, como o Ville de Paris, os pluviômetros basculantes utilizados principalmente em estações meteorológicas automáticas, e os pluviômetros do tipo cunha modelo mais simples que são utilizados por agricultores.

O funcionamento de um pluviômetro basculante é iniciado com a incidência das gotas da chuva no interior do cone do coletor. As gotas são depositadas em uma das câmaras da balança que está posicionada no interior do cone. Conforme a primeira câmara se enche, a balança se move sobre seu eixo em movimento descendente para escoar a água. No mesmo instante a segunda câmara fica posicionada para receber a água da chuva, assim sucessivamente.

O movimento, similar de uma gangorra, permite que o instrumento faça a medição da precipitação pluviométrica fechando um contato eletromagnético instalado em cada uma das bases da balança. Assim, quando a chave magnética é acionada, um sinal elétrico é emitido sendo registrado uma precipitação de 0,1 a 0,2 mm (por movimento) no banco de dados do aparelho, que podem ser descarregados em um computador. A Figura 3 mostra um pluviômetro basculante, fabricado pela empresa Davis.



Figura 3. Pluviômetro basculante. Na porção inferior da foto está localizado a báscula sua chave magnética posicionada nas extremidade de cada cuba da báscula. O suporte cilíndrico, atrás do dispositivo,  para proteo contra detritos e animais.

2.5 Sistemas de aquisição de dados analógicos e digitais

A aquisição de dados é o conjunto de operações aliados a dispositivos eletrônicos que, trabalhando em conjunto, são capazes de reunir informações de um determinado processo. Braga (2008) define aquisição de dados como a obtenção de informações de algum processo físico através da medição de suas grandezas. Taylor (1997) citado por Steidle Neto e Zolnier (2006) diz que a estrutura de um sistema de aquisição de dados é o conjunto de condicionadores de sinais, conversores analógico-digitais, interface de comunicação para a transferncia das informações digitais e de um programa computacional de gerenciamento e processamento de dados, ou seja, um sistema gerenciador de banco de dados (SGBD).

Segundo Cunha (2006), um sistema de aquisição de dados deve ser capaz de receber sinais de diversos tipos de sensores de acordo com as características de cada componente. Balbinot e Brusamarello (2006) numera entre estas características a resolução do conversor analógico-digital, o tempo de conversão (de um sinal até a saída digital), taxa de

conversão, sendo a maior taxa em que o ADC (Conversor Analógico-Digital) realizará as conversões e estabilidade à temperatura, que verifica se houve ou não mudanças nas características citadas anteriormente relacionadas a variação de temperatura.

Os dados analógicos provenientes de alguma medição recebem o primeiro tratamento pelos condicionadores de sinais, que exercem a função de amplificar os sinais para se ajustarem a recepção dos conversores analógico-digital (ADC - Analogic/Digital Converter), que consequentemente estão posicionados antes desses conversores.

Os conversores analógico-digitais tem a função de codificar o sinal elétrico da saída do circuito condicionador para dígitos binários (0 e 1) que desta maneira poderão se comunicar com computadores dotados de processadores digitais. O processo inverso, também ocorre, e são chamados de conversores digital-analógico (DAC) e, são usualmente utilizados em sistemas de controle e em geração de sinais.

2.5.1 Conversores analógico-digitais

Os instrumentos digitais modernos são equipados com conversores analógico-digitais ou conversores A/D, que contribuem para o interfaceamento eletrônico entre as grandezas físicas medidas analogicamente, que muitas vezes são sinais provenientes do ambiente, para representar sua forma digital na tela do computador. Ou seja, o ADC é capaz de quantificar as amostras analógicas e representá-las em dados numéricos tornando-as compatíveis aos microcomputadores, Figura 4.

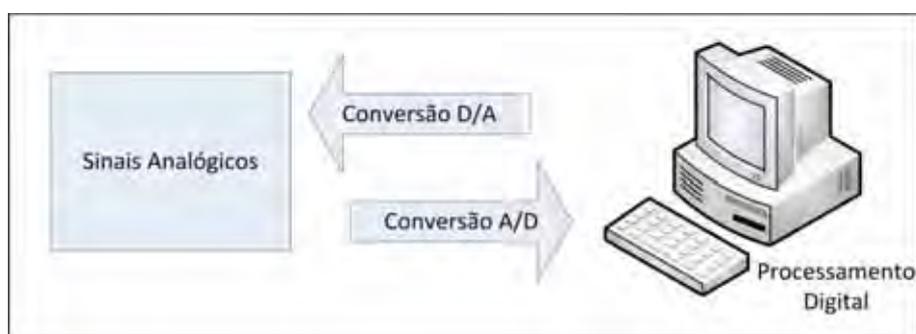


Figura 4. Diagrama do funcionamento do processo de conversão analógico-digital.

Usualmente, os sinais recebidos do ambiente são repassados pelos sensores na sua forma analógica, isto é, o dispositivo de sensoriamento reagindo a um estímulo produz uma tensão de saída que será equiparada com a grandeza que está sendo medida. Nos sensores lineares de temperatura modelo LM35, esta analogia é feita da seguinte forma, a cada 10 mV de saída do sensor equivale a um grau na escala de temperatura. Ainda segundo Braga (2006), pode-se converter outras grandezas que variam continuamente, como é o caso das medições de pressão e nível de reservatório.

Na maioria das aplicações de sensoriamento agrícola as variáveis medidas retornam um sinal analógico e, neste caso, a utilização de instrumentos que possuem conversores analógico-digitais é vantajoso, ou mesmo, dependendo dos custos e o grau de otimização do sistema, pode-se utilizar placas de aquisição de dados no intermédio entre os instrumentos e o computador. Estes dispositivos eletrônicos são responsáveis pelo entendimento dos sinais externos (analógico) pelo computador (digital) que, por exemplo, os sinais provenientes de um sensor de temperatura ao serem recebidos por uma placa de aquisição de dados são convertidos para a forma digital pelo conversor A/D.

Posteriormente, o microcomputador irá realizar o processamento desses dados e disponibilizá-los ao usuário. A partir deste momento os dados podem ser armazenados e serem utilizados pelo operador, como mostrado na Figura 5. Existem muitas maneiras de trabalhar com esses dados e isto auxiliará na tomada de decisão para executar comandos ao meio externo, ou seja, a execução de um controle.

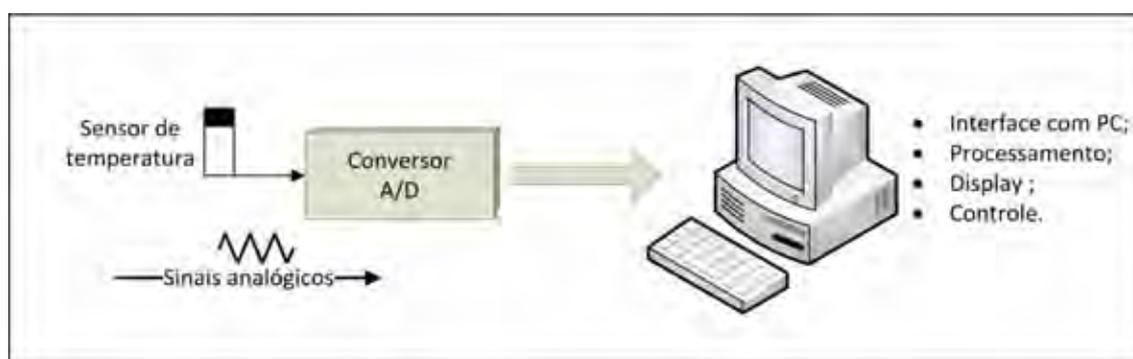


Figura 5. Recebimento de um sinal analógico pelo conversor A/D e a conversão para a forma digital.

No processo de aquisição de dados, inicialmente o sinal analógico é amostrado e os valores registrados são quantificados e referenciados com base em uma tensão (V) de saída, conforme a exemplificado na Figura 6. Neste processo são feitos arredondamentos e truncamentos de acordo com a resolução do seu conversor A/D, assim quanto mais valores de saída seu conversor é capaz de fornecer ao usuário, maior sua precisão. Por exemplo, se o seu conversor for de 8 bits, a sua tensão amostrada será dividida em 2^8 valores, ou seja, 256 valores. Assim, se sua tensão de referência for 5 volts, o seu conversor será capaz de fornecer medidas na ordem de miliVolts (mV).

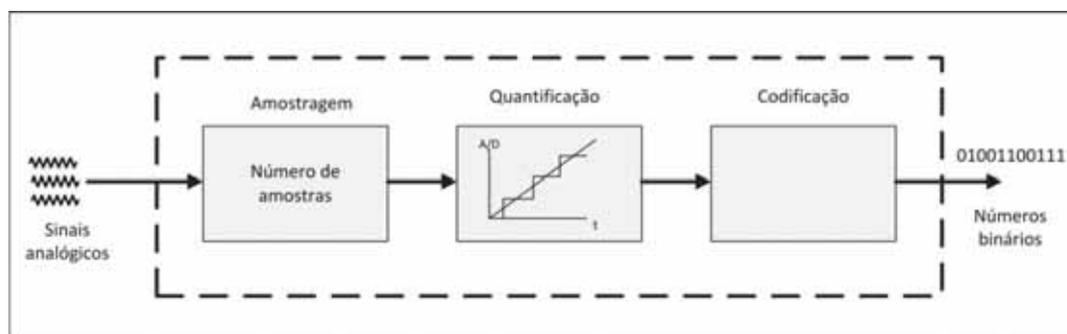


Figura 6. Processo de como é feita a conversão A/D com base na resolução da placa de aquisição de dados.

A resolução do conversor A/D pode ser calculado pela Equação 4:

$$\text{Resolução} = \frac{V_{ref}}{2^n} \quad (4)$$

Onde:

V_{ref} = Tensão de referência

n = número de *bits* do conversor A/D

Na próxima etapa, com os valores da resolução encontrados, são atribuídos a eles números decimais, de acordo com o número de *bits* de saída do seu conversor ou da sua placa de aquisição de dados. Posteriormente estes valores decimais serão

convertidos em números binários para o entendimento do microcomputador. Note na Tabela 2 de conversão de valores abaixo como são quantificados todos os valores analógicos para o nosso exemplo onde a tensão de referência equivale a 5 *volts*. Assim, para os valores entre 0 a 5 *volts* serão gerados um número limitado de números binários, sendo que cada número gerado representa uma fração dos sinais analógicos de entrada.

Tabela 2. Tabela de conversão dos dados digitalizados.

| Volts | Decimal | Binário |
|---------------|----------------|----------------|
| 0,0195 | 1 | 00000001 |
| 0,0390 | 2 | 00000010 |
| 0,0585 | 3 | 00000011 |
| 0,0780 | 4 | 00000100 |
| . | . | . |
| . | . | . |
| 4,9920 | 255 | 11111111 |

Ao final deste processo, são apresentados ao microcomputador os dados das variáveis em formato de números binários. O microcomputador por sua vez, processa os números binários para o nosso entendimento, no formato decimal. Ainda, pode-se dar continuidade e ir além da aquisição de dados. O computador pode ter a função de controle e para isso é realizado o caminho inverso, convertendo os comandos enviados na forma digital pelo computador para a forma analógica. Neste processo são utilizados conversores digitais-analógicos (D/A).

2.6 Transmissão serial de dados

O padrão de comunicação serial, chamado de RS-232, é o resultado da necessidade de equipamentos eletrônicos estabelecerem conexão um com o outro mesmo sendo fabricado por empresas diferentes. A conexão entre o computador e a interface serial é feita paralelamente, no entanto, a comunicação com outra interface de comunicação serial é realizado serialmente. O envio dos dados é bit a bit em alta velocidade, podendo opera na ordem de até 128 Kb/s.

A maioria dos instrumentos de medição se comunicam por meio da porta serial disponível nos computadores pela facilidade de comunicação, baixo custo e confiabilidade na transmissão dos dados. O conector utilizado para estabelecer a conexão entre dois dispositivos é o DB-9.

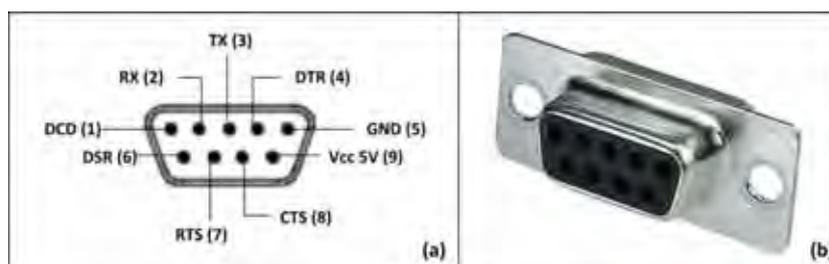


Figura 7. (a) Conector DB-9 com os pinos identificados. (b) Foto do conector DB-9.

O conector DB-9 é dotado de nove pinos, como mostra a Figura 7., que desempenham funções específicas. Na Tabela 3 são mostrados os nomes de cada função dos pinos do conector.

Tabela 3. Nomes das funções dos pinos que compõe o conector DB-9.

| Pino | Função | Abreviação |
|------|---------------------|------------|
| 1 | Data Carrier Detect | DCD |
| 2 | Receive Data | RX |
| 3 | Transmitted Data | TX |
| 4 | Data Terminal Ready | DTR |
| 5 | Signal Ground | GND |
| 6 | Data Set Ready | DSR |
| 7 | Request To Send | RTS |
| 8 | Clear To Send | CTS |
| 9 | +5V | Vcc |

Apesar de todas as funções apresentadas, com apenas os pinos RX (2), TX (3) e o terra (GND)(5) é possível estabelecer comunicação entre dois dispositivos. Essa redução no uso de pinos, conseqüentemente, diminui o número de fios a ser utilizado reduzindo problemas com interferência e facilitando a montagem dos cabos, tornando-os mais leves, baratos e de fácil manipulação.

Na transmissão, os dados enviados são quebrados em tamanhos menores, usualmente em pacotes de 8 bits e enviados bit a bit. Ao chegar ao destino final, esses bits são organizados de modo a recompor a mensagem original. Cada pacote de transmissão é composto pela mensagem, geralmente de 8 bits, um start bit, um stop bit e algumas vezes é utilizado o bit de paridade.

O start bit está no início de cada caractere que será enviado para identificar o começo da transmissão do caractere. No final de cada caractere é localizado o stop bit, que fica responsável por apontar o final do caractere e assim evitar que os dados sejam misturados. O bit de paridade é uma técnica para checar erros durante a transmissão de dados.

A transmissão dos dados externamente aos dispositivos eletrônicos é realizada por cabos que variam o comprimento entre 15 a 30 metros. Para a transmissão de dados nesses cabos o nível lógico “1” é representado por um nível de tensão entre -3V a -25V e o nível lógico “0” é representado por tensões entre +3V a +25V. Internamente aos computadores, onde a transmissão dos dados não percorrem longas distâncias os níveis lógicos são representados por tensões entre 0 e 5V.

2.6.1 Placas de aquisição de dados USB

A conexão USB (Universal Serial Bus) é um padrão de conexão largamente utilizado para conexões entre computadores e equipamentos eletrônicos (máquinas fotográficas, hard drives externos, pen drives, mouses, teclados, etc.). Os conectores USB surgiram da necessidade de padronizar as conexões entre computadores e equipamentos, para evitar que pessoas leigas não utilizassem todo o potencial de seus computadores pessoais. Entre outras vantagens, as conexões USB permitem ligar até 127 dispositivos em uma única porta de entrada USB do computador, mas para isso são necessários a utilização de HUBs para ramificar as portas USBs.

A diferença entre os conectores do padrão RS-232 com conector DB-9 para o USB, é a existência de uma redução dos pinos para quatro fios internos dentro do conector, sendo o primeiro denominado VBus (VCC), responsável pela alimentação elétrica, o

segundo e o terceiro de D+ e D-, respectivamente são utilizados na transmissão de dados e o quarto GND que é o fio neutro.

O barramento USB conta com o fornecimento de energia elétrica a determinados dispositivos eletrônicos e apresenta velocidade de transmissão de dados superiores ao padrão RS-232, transmitindo dados a uma velocidade de 1,5 Mb/s.

Em sistemas de aquisição de dados baseados em PC (computador pessoal) são utilizados circuitos eletrônicos para desempenharem a atividade de coletar dados chamados placas de aquisição de dados.

Estas placas são responsáveis por toda capacidade computacional de um sistema de aquisição de dados (FERREIRA, 2010) devido ao tratamento dos dados. Elas são conectadas tanto internas como externamente a um computador, um exemplo, é a conexão interna de uma placa de aquisição de dados por meio de um *slot* PCI disponível na placa mãe de um computador desktop.

Com a necessidade de aumentar a portabilidade dos equipamentos utilizados em pesquisas de campo, as placas estão sendo equipadas com saídas USB, sendo este padrão de conexão presente em todos os computadores atuais, inclusive computadores portáteis como os notebooks.

Deste modo, pesquisadores aliam-se a outras tecnologias, tal como redes wireless, microcontroladores e assim, conseguem desenvolver pesquisas a distância em lugares de difícil acesso.

2.7 Instrumentação Virtual

No contexto desse trabalho, os instrumentos, em geral, são dispositivos projetados para coletar dados de um ambiente e disponibilizar essas informações para um usuário e estas ações são baseadas na necessidade da coleta de dados.

Com a evolução dos recursos eletrônicos, houve a miniaturização dos componentes eletrônicos, surgindo os microprocessadores e microcontroladores que passaram a integrar os instrumentos de medições, dando-lhes a capacidade de executar tarefas automatizadas, incluindo o tratamento e processamento dos dados. Posteriormente os computadores como um todo foram se tornando parte integrante da instrumentação

funcionando em conjunto com os instrumentos, surgindo o conceito de Instrumentação Virtual.

Em uma definição simples e direta, um instrumento virtual é composto por um computador, o software de instrumentação, uma estrutura de barramento e o hardware do instrumento (DESJARDIN, 1995). Sumathi (2007) define sistema de instrumentação virtual como sendo o desenvolvimento de um software pelo usuário programador para realizar testes computacionais e sistemas de medições para o controle de uma placa de aquisição de dados externa a um computador desktop e disponibilizar os dados dos testes ou das medições no painel de controle que será mostrado na tela do computador. Na Figura 8 é mostrada a configuração em diagrama de blocos da arquitetura dos componentes necessários para construir um instrumento virtual.

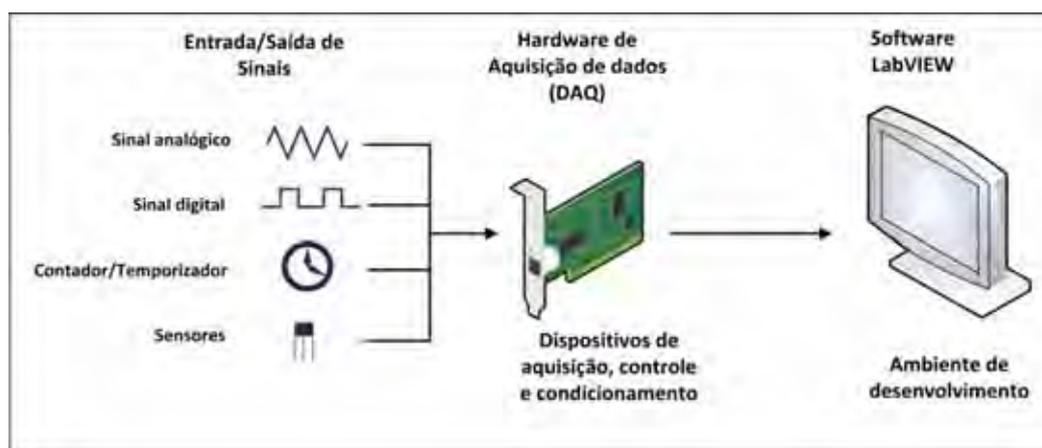


Figura 8. Arquitetura de um instrumento virtual.

O surgimento dos microprocessadores foram os responsáveis pela criação da instrumentação virtual no final dos anos 70 (SUMATHI, 2007) devido à facilidade em que as funções dos computadores eram modificadas pelos softwares. A instrumentação virtual seguiu este conceito aliando instrumentos, sensores e tecnologias de hardware e software em um único instrumento de controle, o computador.

Atualmente, a grande maioria dos instrumentos utilizam microcontroladores ou computadores pessoais (PCs) como plataforma para as medições,

unindo-se aos componentes de hardwares de aquisição de dados e equipamentos de medição com a flexibilidade dos softwares de desenvolvimento de instrumentos virtuais. Sendo o computador a base para todo o desenvolvimento dos instrumentos virtuais, o custo total de um projeto pode ser muito reduzido devido ao fato do desenvolvimento de um ou mais instrumento virtual de medição, redução do tempo de desenvolvimento, maior qualidade dos produtos desenvolvidos e redução dos custos dos projetos.

Esta personalização que o software permite traz muitas vantagens nas aplicações de engenharia e pesquisas pela possibilidade de formular os projetos sem se preocupar com as limitações que os instrumentos tradicionais trazem ao sair da fábrica. Eles podem definir como e quando a aplicação adquire dados do dispositivo, como ela processa, manipula e armazena os dados e como os resultados são apresentados ao usuário (NATIONAL INSTRUMENTS, 2009).

Com a introdução do software gráfico *LabVIEW* pela National Instruments (2010), este programa inovador aumentou a capacidade dos computadores com uma metodologia nova de trabalho. Ao usuário era apresentada uma interface gráfica de trabalho intuitiva e fácil de manusear. Aos programadores permitiam a redução do tempo de desenvolvimento de um programa pela utilização da linguagem gráfica semelhante a um diagrama de blocos.

2.8 *LabVIEW*

O *LabVIEW* (acrônimo para *Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*), desenvolvido pela empresa National Instruments, é uma plataforma que inclui um software de programação e placas de hardware para aquisição de dados e automação, possibilitando ao usuário criar seus próprios softwares aplicativos a partir de representações gráficas (NATIONAL INSTRUMENTS, 2010).

As representações gráficas são ícones com diferentes funções que se interligam formando um fluxo de dados ou diagrama de blocos semelhante a um fluxograma. Sendo assim, esse fluxo de dados determina a execução do programa, obedecendo à lógica de programação em blocos, diferentemente da programação em textos que a execução é feita por linhas de comando.

Os softwares elaborados com a linguagem de programação gráfica “G”, incorporada ao *LabVIEW*, trazem algumas vantagens nas áreas científicas e de engenharia desenvolvendo aplicativos para teste e medição, aquisição de dados, controle de instrumento, registro de dados, análise de medição e geração de relatório.

O software *LabVIEW* é basicamente estruturado em três janelas principais: *project explorer*, painel frontal (*front panel*) e diagrama de blocos (*block diagram*), mostrados na Figura 9.

A janela *Project Explorer* é o local onde o usuário organiza o projeto inicial ou mesmo em andamento. A disposição dos elementos das pastas no menu é em árvore e, por meio deste menu é mostrado onde o projeto está localizado no computador clicando no tópico *my computer*, abrirá novas opções, assim clicando em *dependencies* será mostrado todos os *VIs* e *sub-VIs* do projeto que são organizados e apresentados hierarquicamente sendo possível adicioná-los toda vez que um *VI* for inserido no projeto.

O Painel Frontal é o ambiente de comunicação com o usuário. É o local onde são inseridos os controles e os indicadores de funcionamento. A Interação do operador com o painel frontal é por meio dos controles que são os botões, mostradores e outros mecanismos de entrada de valores, fornecendo ao diagrama de blocos dados de simulação do controle do instrumento. Os indicadores são os gráficos, *leds* e outros visualizadores de saída que mostram o comportamento do instrumento durante as medições, mostrando os valores medidos, as informações nos gráficos, alertas entre outras funções.

O Diagrama de blocos é a plataforma onde serão programados os objetos do painel frontal para que o conjunto dos controles e indicadores tenham sentido e funcionalidade. No diagrama de blocos, os controles e indicadores definidos pelo usuário são mostrados como terminais, ou seja, são mostrados quais os tipos de dados que os controles e indicadores escolhidos suportam. A partir dessas características o programador faz a ligação entre o painel frontal e o diagrama de blocos.

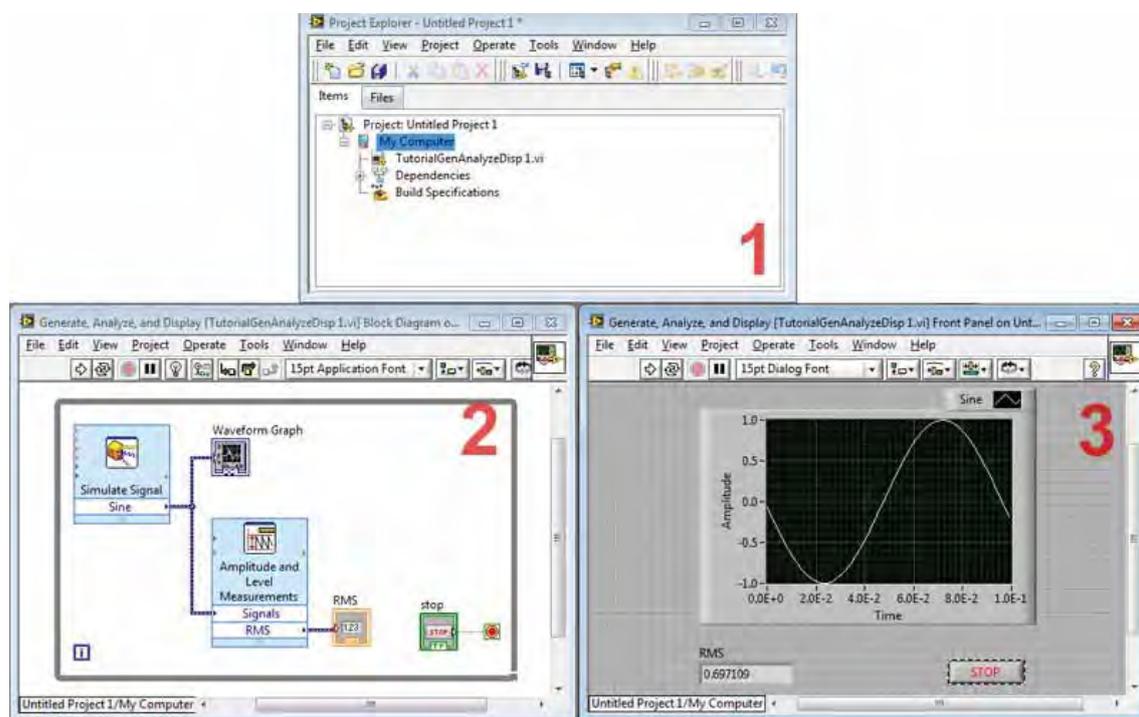


Figura 9. Estrutura organizacional do software *LabVIEW*. (1) Project Explorer, (2) Painel Frontal e (3) Diagrama de blocos.

O *LabVIEW* conta com um acervo de funções e sub-rotinas (programas prontos que podem ser utilizados dentro de outros programas) para a maioria das tarefas de programação (RIVERA, 2009). Essas aplicações criadas com no *LabVIEW* são chamados de *instrumentos virtuais*, mesmo quando um programa desenvolvido não tem a função de um instrumento. A biblioteca de funções, rotinas e controles ficam organizadas em paletas (*palettes*), sendo para o digrama de blocos a paleta de funções e para o painel frontal a paleta de controle.

2.9 Implementação de software para aquisição, visualização e armazenamento de dados de parâmetros físicos ambientais

O uso da instrumentação virtual por pesquisadores faz com que seja possível o desenvolvimento de instrumentos virtuais de acordo com a exigência da pesquisa ou mesmo aproveitar os instrumentos tradicionais adaptando a eles novas funções de acordo

com as necessidades. Isto traz uma versatilidade maior ao pesquisador que não fica restrito as condições de trabalho do instrumento, especificado pelos fabricantes.

A plataforma *LabVIEW* possui uma biblioteca de elementos visuais semelhantes aos visualizadores analógicos dos instrumentos convencionais que fazem a interface com o usuário ser amigável. Este ambiente gráfico facilita a tomada de decisão por operadores que visualizam facilmente os mostradores (*displays*), alertas, entre outras funções. A Figura 10 mostra alguns exemplos de como pode ser configurado um painel frontal de um instrumento virtual.

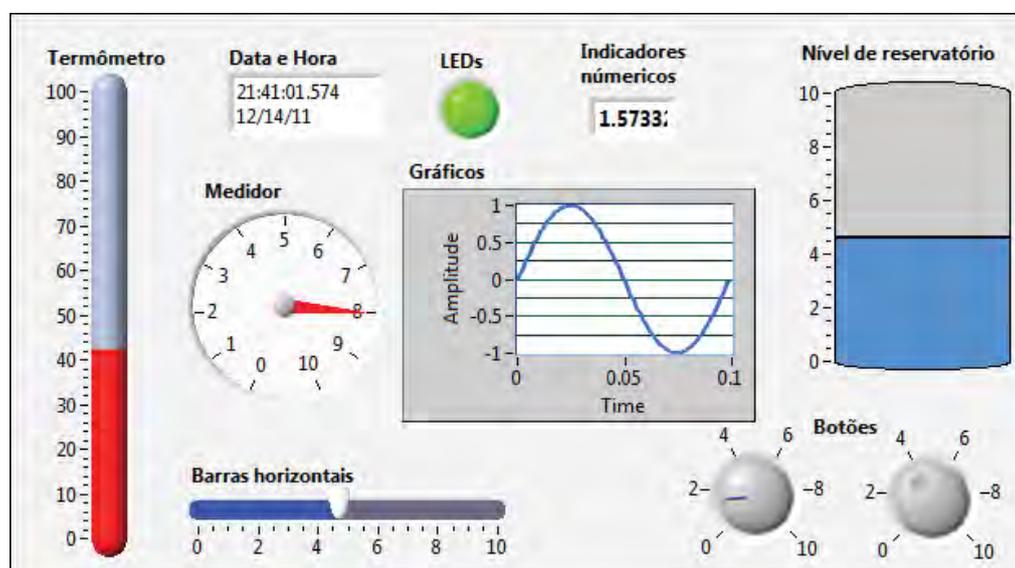


Figura 10. Exemplo de painel de controle frontal com indicadores (temperatura, nível de reservatório, mostrador analógico), botões liga/desliga e *leds* indicadores.

O software *LabVIEW* conta ainda com pacotes de ferramentas de armazenamento de dados. Com isso, é possível armazenar dados históricos de uma determinada variável em um banco de dados. Por exemplo, pode-se utilizar um gerenciador de banco de dados gratuito como o *MySQL* em conjunto com o instrumento virtual, que estas ferramentas darão suporte a linguagem *SQL* utilizada para consultar o banco de dados.

Os dados também podem ser exportados para outros programas usando funções de geração de relatórios e exportar os dados para o *MS Office Excel*®, ou criando

suas próprias funções matemáticas para o tratamento dos dados fazendo a interface com ferramentas como o MtaLab® da MathWorks Inc.

Apesar deste trabalho ser exclusivamente de aquisição de dados, é interessante destacar que o *LabVIEW* também pode ser usado em operações de controle. Os sistemas de controle de automação e processos seguem etapas, normalmente controladas individualmente para atender um objetivo, no caso da agricultura, alcançar alta produtividade com maximização dos lucros e diminuição das degradações ambientais. Esta tecnologia de controlar uma série de eventos para transformar um material no produto final desejado é chamada de controle do processo (DUNN, 2006).

O controle do processo é dividido em duas categorias básicas: controle do processo sequencial e controle do processo contínuo. O controle sequencial é uma sequência de eventos em que o término de um evento desencadeia o início de outro evento, e assim por diante, até que todo processo seja completado.

O controle contínuo divide-se em duas categorias: (a) ação de controle discreto (On/Off) e (b) ação de controle contínuo. O controle discreto (On/Off) é usado em sistemas que apresentam inatividade por um longo período de tempo e não possuem ciclo de curta duração. O controle contínuo é usado para controlar continuamente a saída de parâmetros físicos de um material. O parâmetro é medido por um instrumento ou um sensor e comparado com um valor pré-estabelecido, qualquer variação entre os dois valores é gerado um sinal de erro e este sinal é emitido para ajustar o sinal de entrada do processo, até que o valor desejado seja atingido.

2.10 Instrumentação eletrônica na área agrícola

As novas tecnologias desenvolvidas nas áreas da informática e eletrônica são aplicadas nos processos produtivos para modernizar os diferentes campos envolvidos na produção agrícola, viabilizando significativos avanços para essa área. Torre-Neto e Cruvinel (1997) destacam a contribuição na automação da medição dos parâmetros agrometeorológicos entre outros avanços na área agrícola, com o uso de microcontroladores, sistemas de aquisição de dados, rede de sensores e da geoestatística.

Na área de mecanização e engenharia agrícola, Garcia et al.(2003) desenvolveram instrumentos virtuais para diversos sensores instalados em máquinas agrícolas para aquisição automática de dados, a fim de verificar o desempenho dessas máquinas pela comparação dos dados informados pelos fabricantes com os dados coletados pelo software desenvolvido. Em outra aplicação, Garcia et al. (2005) utilizou de equipamentos de aquisição de dados e instrumentação virtual para avaliar o desempenho operacional de um trator-colhedora de feijão para observar a rotação da tomada de potência, torque e a velocidade de deslocamento.

Em instalações agrícolas, Steidle Neto e Zolnier (2006) através da porta paralela do computador avaliaram sistemas de aquisição de dados para medições de temperatura. Wang (2011) realizou o monitoramento de uma casa de vegetação com sensores sem fio para a visualização, armazenamento dos dados de temperatura e controle dessa variável no interior do ambiente protegido.

A análise desses trabalhos permite concluir que esse é um ramo em contínua evolução e que tem um alto potencial para contribuir com o setor agrícola. Esses são apenas alguns exemplos de trabalhos existentes nessa área, o que permite assumir que existe um alto potencial para pesquisa e desenvolvimento de produtos nessa área.

2.10.1 Instrumentação virtual na agricultura irrigada

Ao longo de 20 anos, desde a primeira versão do *LabVIEW*, esta ferramenta tornou-se importante em projetos pela flexibilidade que proporciona aos pesquisadores e engenheiros em implementar soluções rápidas e práticas nos laboratórios de pesquisa, principalmente nas áreas de instrumentação, aquisição de dados e automação.

Na agricultura a economia de água e de energia pode ser alcançada de maneira expressiva com a automação dos processos agrícolas. Sistemas automáticos de aquisição de dados podem proporcionar uma tomada de decisão eficiente, por exemplo, detectando a quantidade necessária de água para uma determinada cultura e assim, fornecer a quantia exata de água a estas plantas, evitando desperdícios.

A irrigação de precisão compõe-se de recursos tecnológicos que segundo Zhao, Bai e Zhao (2007) são necessários para desenvolver sistemas eficientes

aplicados a recursos hídricos para diminuir o consumo de energia e economizar água. O sistema de irrigação proposto por eles foi construído com o uso de tecnologia *wireless*, controle remoto, controle distribuído, sensores de umidade do ar e de umidade do solo. A comunicação entre os componentes eletrônicos e o computador é pela porta serial RS-485, sendo a interface com o usuário um instrumento virtual desenvolvido no *LabVIEW 7.0* da National Instruments. O controle do sistema de irrigação pode ser feito de forma automática ou por instruções de um operador. Incluso a este sistema estão algoritmos para dar sentido aos comandos do programa que serão executados repetidamente por um loop, que em programação significa cumprir uma série de tarefas até que seja alcançado o objetivo desejado. Estes algoritmos executam comandos de liga/desliga a comandos mais complexos no qual interagem com as respostas (feedbacks) dos sensores, assim, quando o valor desejado é encontrado termina-se o ciclo e, está pronto para iniciar novamente. Ainda o sistema diminui a quantidade de fios elétricos por conta da tecnologia *wireless*, reduzindo o custo do projeto final.

Capraro et al. (2008) desenvolveram um instrumento virtual de monitoramento contínuo da umidade do solo com sensores de umidade capacitivo instalados na zona radicular das plantas cultivadas. O programa foi desenvolvido em linguagem gráfica, sendo o painel frontal apresentando de forma amigável ao operador de irrigação ou mesmo ao agrônomo responsável facilitando, assim, a configuração do sistema de acordo com as necessidades exigidas por cada cultura. A partir destas configurações o instrumento faz a aquisição dos dados que simultaneamente faz o monitoramento da umidade do solo. Com o perfil do solo sendo monitorado, este sistema por ser de circuito fechado, é capaz de realizar decisões frente a alterações no ambiente monitorado. Deste modo, o controlador efetua a programação da irrigação de maneira a suprir as necessidades de água da cultura de acordo com a quantidade de água disponível no solo, sem que haja perdas excessivas de água.

Minirejad et al. (2008) projetaram um programa de simulação para automação de uma casa de vegetação usando o *LabVIEW*. O programa é composto por um sistema principal e subdivide-se em sistemas menores, neste caso, em um subsistema de Irrigação e Fertilização, Temperatura e Umidade, Intensidade de Luz e Concentração de CO₂, sendo estes monitorados pelas principais variáveis passíveis de controle em ambientes protegidos, mostrando a importância do monitoramento automático da umidade do solo em

anular os erros humanos na aquisição desses dados. Os subsistemas interagem com nove entradas destinadas aos sensores, que se comunicam serialmente com o computador, e estão responsáveis pelo monitoramento do ambiente e, onze saídas que são controladas pelo painel frontal do programa, sendo estes responsáveis pelo controle das válvulas solenóides, aquecedores, ventiladores, luminosidade, umidificadores e concentração de CO₂. No subsistema de fertirrigação é feito também o controle em tempo real da quantidade de nutrientes, como fosfatos, nitratos, sulfatos e cálcio que devem ser aplicados. Estes nutrientes são aplicados pelo sistema principal de irrigação, que automaticamente calcula a quantidade de água necessária e isto é feito pelos resultados do monitoramento da umidade do solo. Este painel conta também com *leds* indicadores que alertam a abertura e fechamento das válvulas de controle de fluxo. Os painéis de controle de temperatura e umidade permitem o controle de acionamento liga/desliga dos componentes reguladores dessas variáveis no ambiente, que também, podem ser totalmente configuradas de acordo com as necessidades.

Koontz (1995) destaca a facilidade com que pessoas não técnicas na área tecnológica são capazes de desenvolver programas na plataforma *LabVIEW*. Com este software foi elaborado um programa com uma interface amigável de fácil entendimento ao agricultor. No painel de controle e monitoramento são mostrados os parâmetros monitorados como o nível do tanque, status da bomba, posição das válvulas, temperatura, umidade do solo e as propriedades de segurança (alerta de danos no sistema, etc.). A partir dos dados obtidos dos sensores de umidade do solo, os valores desta variável, assim como a quantidade de água aplicada em um determinado mês, são mostrados em gráficos. Deste modo, o responsável pelo manejo da irrigação sempre acompanhará as mudanças no sistema, tornando-se a base para a tomada de decisão das ações seguintes. O AgriMate dispõe de recursos extras para o monitoramento de tensiômetros identificando regiões onde são necessários aplicações de água e de tensiômetros possivelmente danificados. Conta também, com recurso de retrolavagem do sistema de irrigação programado para ocorrer todos os dias por um período de 10 minutos, para prevenir entupimentos no sistema.

Molina-Martínez e Ruiz-Canales (2009) desenvolveram um software para dispositivos móveis, como celulares *smartphones* e computadores portáteis, para que engenheiros e técnicos realizem cálculos do diâmetro comercial das linhas laterais de um sistema de irrigação por gotejamento. O software foi desenvolvido na plataforma *LabVIEW*

utilizando-se de um componente para a criação de programas para dispositivos móveis. O aplicativo *LabVIEW PDA*[®] é instalado no computador e fornece ao *LabVIEW* recursos extras de programação, como no caso, a possibilidade de desenvolver aplicativos para celulares. Após o término do programa, é gerado um executável que deverá ser instalado no aparelho do usuário sem que o usuário final tenha a necessidade de ter em seu equipamento os programas *LabVIEW* e *LabVIEW PDA*[®] instalados. Este software traz algumas vantagens como a flexibilidade em que o engenheiro tem de fazer os cálculos dos possíveis diâmetros comerciais para cada situação, isto permite que os cálculos sejam realizados no local de instalação das tubulações sem precisar se deslocar para o escritório, economizando tempo na solução dos problemas. No entanto, os desenvolvedores alertam que para o uso do software devem ser obedecidas algumas condições: o sistema de irrigação deverá ser instalado em terreno plano; as linhas gotejadoras laterais devem ser alimentadas por uma linha principal, sendo os emissores on-line (emissores acoplados externamente aos tubos), dispostos de modo que os espaçamentos entre os emissores sejam iguais, inclusive do primeiro emissor em relação à linha principal; e com todas as conexões dos emissores iguais.

Além das pesquisas em irrigação e drenagem, onde o uso do programa *LabVIEW* para pesquisas ainda é incipiente, existem outras linhas de pesquisa na área agrícola que utilizam a plataforma de programação gráfica para desenvolverem softwares. Muitas dessas aplicações são indiretamente ligadas a parâmetros físicos utilizados para o manejo da irrigação, como por exemplo, para o monitoramento climático de ambientes protegidos.

Neste sentido, Pinto et al. (2008) criaram um sistema de monitoramento da temperatura e umidade relativa do ar no interior de casas de vegetação de baixo custo. O software *LabVIEW* trabalha com placas de aquisição de dados exclusivamente em conjunto com os produtos da National Instruments, aumentando assim, os custos de implantação destes sistemas. Uma alternativa encontrada foi substituir uma placa de aquisição de dados (DAQ) da NI por uma placa de aquisição de dados com processamento microcontrolado. Atualmente, os microcontroladores estão sendo produzidos em larga escala industrial reduzindo os preços destes microcontroladores no mercado, viabilizando muitos projetos que envolvem aquisição de dados.

Benghanem (2010) com componentes de sistemas de aquisição de dados e o software *LabVIEW* criou uma arquitetura de transmissão de dados sem fio entre um

computador e uma estação meteorológica. Na estação meteorológica foram instalados sensores para medir radiação solar, temperatura, umidade, velocidade e direção do vento e índice pluviométrico. Por meio de circuitos eletrônicos estes sensores se comunicam com um microcontrolador PIC16F877 e por comunicação serial (RS-232) os dados coletados são enviados para a estação base, onde são processados e analisados por um instrumento virtual desenvolvido em *LabVIEW* e armazenados em uma central de banco de dados que se comunica por protocolo TCP/IP com o computador. A criação de instrumentos virtuais com o *LabVIEW* permitiu o desenvolvimento rápido, por parte dos programadores, para desenvolver os sistemas de aquisição de dados e ainda permitiu criar interfaces gráficas de acesso e configuração fácil para o operador coletar os dados do monitoramento ambiental. A arquitetura proposta traz vantagens devido ao fácil desenvolvimento, a flexibilidade em que os componentes interagem dentro de um sistema de aquisição de dados, instalação rápida, modularidade, dispensabilidade e redução da quantidade de dados processados.

Gao e Lin (2007) desenvolveram um controlador de nível de água de dois reservatórios em tempo real monitorado via web. Este projeto foi desenvolvido utilizando a plataforma gráfica *LabVIEW*. O software faz a comunicação entre o computador e os elementos a serem controlados via porta serial, neste caso, das bombas hidráulicas e dos sensores de peso instalados nos reservatórios. Assim, o usuário acessando a rede mundial de computadores pode monitorar os reservatórios.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento deste trabalho foi dividido em duas partes, sendo que, na primeira parte foi realizado um estudo preliminar sobre o estado-da-arte na área de desenvolvimento de sistemas com *LabVIEW* aplicados na área agrícola e de recursos hídricos, e na segunda parte foram desenvolvidos softwares para aquisição, visualização e armazenamento de dados baseados em sistemas de sensoriamento e instrumentação virtual.

Os materiais utilizados foram sensores, computador, interface de aquisição de dados (*hardware*) e o software *LabVIEW*. Todos os materiais utilizados foram do Laboratório de Instrumentação Inteligente (Lii) do Departamento de Computação da Faculdade de Ciências, da UNESP, do Campus de Bauru – SP, assim como todo o desenvolvimento do software e dos testes de aquisição, visualização e armazenamento de dados.

3.1 *LabVIEW* (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench)

A plataforma de programação gráfica *LabVIEW* foi utilizada para desenvolver os softwares ou os instrumentos virtuais, como são chamados os programas desenvolvidos na plataforma, sendo nesse trabalho utilizado os recursos disponíveis na biblioteca de funções e controle da versão 8.6.

Os *VI*s (Instrumentos Virtuais) são constituídos pelo painel frontal, diagrama de blocos e os ícones gráficos. O painel frontal é responsável pela interface comunicação visual com o usuário, sendo o diagrama de blocos o código fonte, que neste caso

é o código gráfico do software. E, os ícones, que são representações gráficas dos VIs que podem ser ligados uns aos outros para desempenhar uma função.

Dentre os componentes utilizados, além dos *VIs*, foram utilizados os “*Express*” *VIs*. Os ícones gráficos denominados *Express VIs* apresentam vantagens sobre os *VIs* comuns por reduzir alguns passos, como por exemplo, ao invés de utilizar um conjunto de *VIs* para compor um programa de registro de dados em um arquivo de texto é possível utilizar apenas um *Express VI* para realizar essa função e que, de modo simples, pode ser configurado por meio de uma janela que o usuário escolhe as funções desejadas como o local em que o arquivo será gravado e o tipo de arquivo (.txt, .lvm, etc.).

No painel de controle foram utilizados elementos gráficos de comunicação visual para a construção da interface homem-máquina do software. Estes elementos foram fornecidos pela paleta de controles (*Controls Pallette*) que é disponibilizada ao acessar o painel frontal, caso ela não esteja visível, para disponibilizá-la é necessário acessar na barra de menus e clicar na opção “*View*” e depois clicar na opção “*Controls Pallette*”.

A paleta de controle (*Control Pallette*), como visto na Figura 11, pode ser posicionada em qualquer lugar da tela. Nessa paleta estão contidos controles e indicadores para dados numéricos, booleanos, *strings*, tabelas, entre outras funções. Da mesma forma, no diagrama de blocos é mostrado a paleta de funções, para selecioná-la basta acessar “*View*”» “*Functions pallette*”. Nessa paleta estão inseridos os ícones gráficos referentes às funções booleanas, aritméticas, *strings*, estruturas de controle, entre outras.

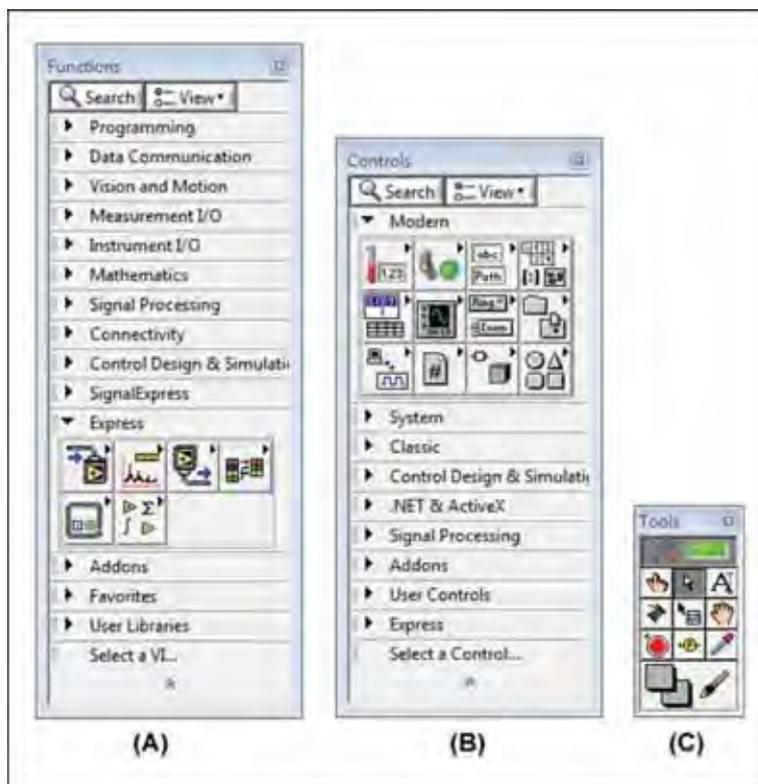


Figura 11. Conjunto de paletas no *LabVIEW*. (A) Paleta de funções. (B) Paleta de controle. (C) Paleta de ferramentas.

A Figura 11C, mostra também, a paleta de ferramentas (*Tools palette*) que foi utilizada para trabalhar tanto no painel frontal quanto no diagrama de blocos. Cada ferramenta é representada por uma figura, que ao selecionar a ferramenta desejada, o cursor do mouse é alterado para a figura que representa aquela ferramenta. Dentre estas ferramentas estão a de operação (*operation*), posicionamento (*positioning*), texto (*labeling*), atalho para opções e um objeto (*Object Shortcut Menu*), rolagem (*scrolling*), ponto de interrupção (*breakpoint*), *probe*, copiar cor (*color copy*) e de cores (*coloring*). Ainda existe a opção de utilizar a opção de escolha automática da ferramenta que será utilizada, o que promove maior velocidade de programação quando o usuário está acostumado a utilizar este recurso.

À medida que o painel frontal foi se compondo, por meio dos mostradores digitais, gráficos, barras de rolagem, botões, *leds* indicadores, data e hora, no diagrama de blocos eram colocados automaticamente terminais referentes a esses controles. Assim, os terminais eram organizados e ligados por meio de “fios” (“*wires*”) uns aos outros

para que o código gráfico no diagrama de blocos tornasse executável, de modo que fossem adicionadas funcionalidades aos elementos do painel frontal.

A Figura 12 mostra um exemplo de como é feita a interação entre o painel frontal e o diagrama de blocos. Observe que no diagrama de blocos o terminal do indicador gráfico possui uma entrada que está conectada por um fio até um *Express VI* de simulação de sinais (*Simulate Signal*) que está enviando informações que serão representadas na forma de uma onda senoidal no indicador gráfico no painel frontal.

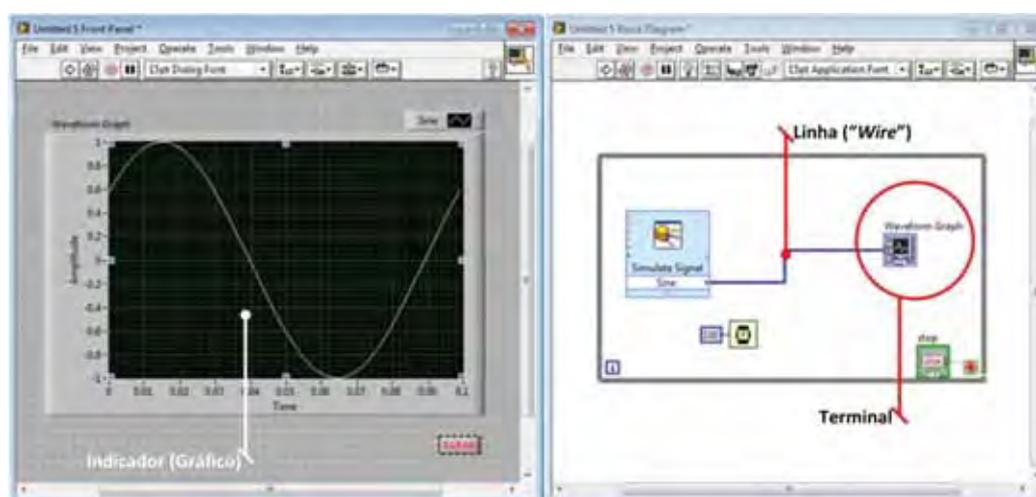


Figura 12. Relação entre o painel frontal e o diagrama de blocos durante a programação. No painel frontal (lado esquerdo) temos um indicador gráfico e no diagrama de blocos a representação gráfica do seu terminal.

3.1.1 Sensor de Temperatura LM35

Conforme já foi mencionado anteriormente, na seção 2.4.1.1, o LM 35 é um sensor de temperatura que opera como um circuito integrado, fabricado pela National Semiconductor, cujas principais características são:

- Baixo custo;
- Linearidade;
- Precisão nas medidas.

A Figura 13 (NATIONAL SEMICONDUCTOR, 2000) mostra um gráfico do comportamento do erro de leitura do sensor LM 35 dentro da sua faixa de operação. O gráfico mostra que o sensor em condições onde a temperatura varia em uma faixa de -50°C a $+75^{\circ}\text{C}$ o erro da leitura do sensor pode ser de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ da medida verdadeira. Para exemplificação, no Brasil, segundo o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2011), a maior temperatura registrada no país foi na cidade do Bom Jesus do Piauí, em 21 de Novembro de 2005, chegando a $44,7^{\circ}\text{C}$. A temperatura mínima foi na cidade de Xanxerê, Estado de Santa Catarina, chegando a $-11,1^{\circ}\text{C}$, em 20 de Julho de 1953. Isto quer dizer que, dentro da faixa de temperatura máxima e mínima que ocorreram no Brasil em condições extremas, o sensor LM35 apresenta um erro menor que $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

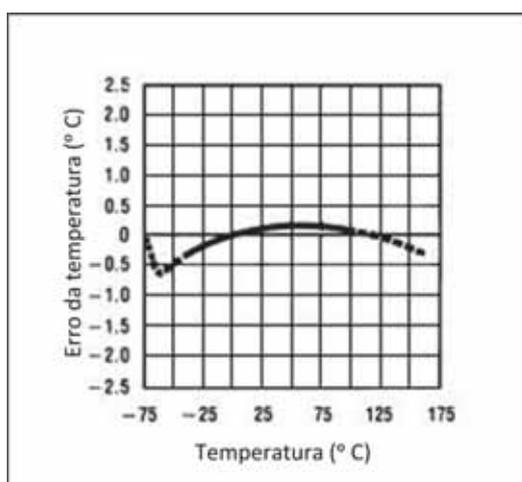


Figura 13. Gráfico que representa o erro da leitura da temperatura pelo sensor LM35 na faixa de operação entre -55°C a 150°C (NATIONAL SEMICONDUCTOR, 2000).

O sensor LM 35 conta com três terminais, sendo um para a tensão de entrada (V_{cc}), um para o terra e um terminal para tensão de saída (V_{out}), como pode ser observado na Figura 14. O circuito integrado LM 35 pode operar com tensões de alimentação entre 4 e 30 volts, assim, o sensor pode ser alimentado independente de outros circuitos por uma bateria de 9 volts, ou mesmo, conectá-lo a saída +5v da placa de aquisição de dados sem que haja variações na tensão de saída para uma mesma temperatura.

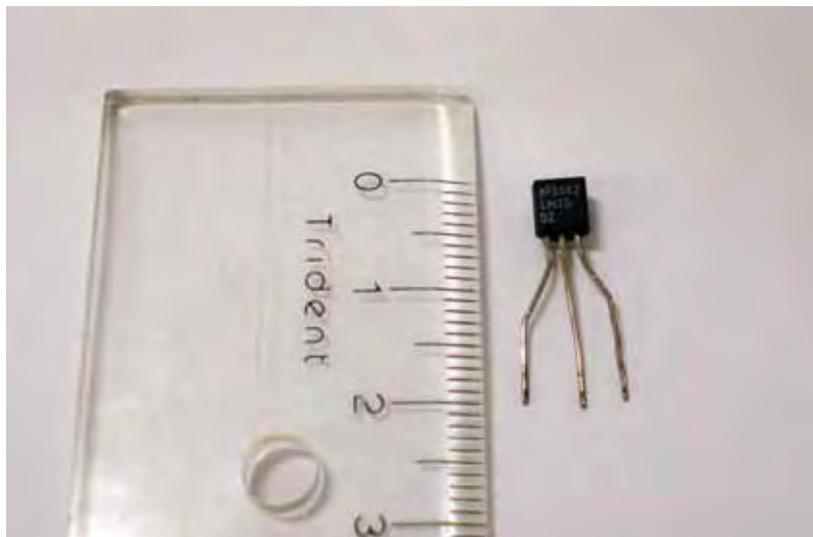


Figura 14. Sensor LM35 (a) Ampliação do encapsulamento do sensor LM35. (b) Vista frontal dos terminais de saída do sensor LM35.

O encapsulamento em que o circuito do sensor é montado, modelo TO-92, que, apesar de ser de plástico, possui as mesmas características de precisão dos outros tipos de sensores da mesma linha, fabricados com outros materiais, conferindo um menor custo de fabricação. Neste modelo de montagem o sensor não apresenta partes móveis, com isso não há desgaste dos componentes, o que faz desse sensor muito confiável sem a necessidade da calibração, após sua fabricação.

O sensor LM35 consome da fonte de alimentação do circuito $60 \mu\text{A}$ de corrente elétrica e isto confere ao circuito um aquecimento inferior a $0,1^\circ \text{C}$, quando o sensor está em ambiente que não há movimentação do ar. Antes do início das medições, o circuito passa naturalmente por este aquecimento, devido a corrente fornecida para o sensor circular pelos fios de cobre no seu interior, e com isto, este tempo, que leva aproximadamente 3 minutos, que pode ser observado no gráfico da Figura 15, é necessário antes de realizar as medições.

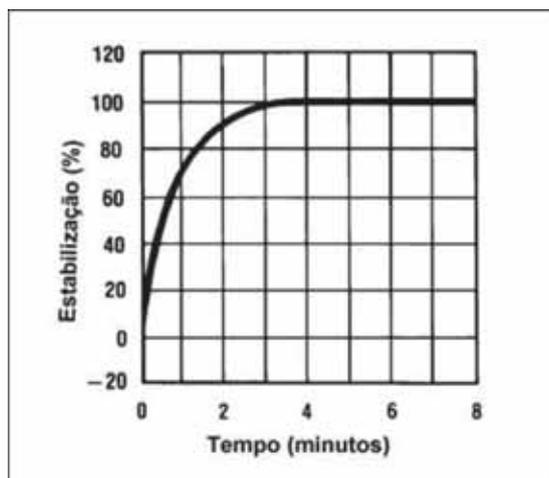


Figura 15. Gráfico que mostra o tempo de estabilização do sensor LM35 em ambientes sem ventilação (NATIONAL SEMICONDUCTOR, 2000).

A Figura 16 mostra o gráfico da constante térmica do tempo para o sensor LM35 com o encapsulamento TO-92. Esta constante é o período de tempo que o circuito leva para aquecer todos os componentes do interior da cápsula da ponta de prova. Neste caso, com o encapsulamento TO-92, o sensor demora aproximadamente 16 segundos para se aquecer.

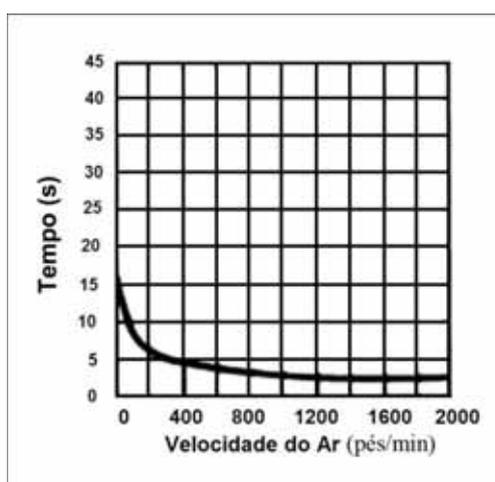


Figura 16. Período de tempo relativo à estabilização do sensor antes de iniciar a medição de temperatura (NATIONAL SEMICONDUCTOR, 2000).

3.1.2 Conexão do sensor LM35 na placa de aquisição de dados

Seis sensores de temperatura LM35, foram conectados nos canais AI 0, AI 1, AI 2, AI 3, AI 4 e AI 5 da placa USB-6221. Na Figura 17 é mostrado o esquema elétrico de como foram conectados os sensores no terminal de parafusos.

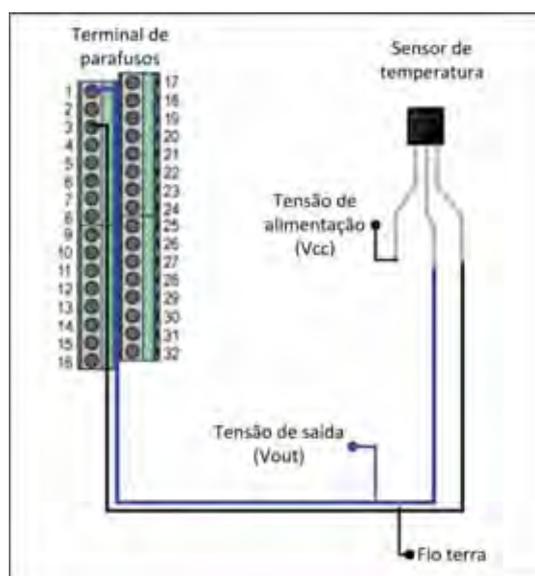


Figura 17. Esquema de conexão do sensor LM35 no terminal de parafusos da placa de aquisição de dados USB-6221.

As conexões foram realizadas pelo intermédio de uma *protoboard* ou placa para ensaios experimentais de circuitos elétricos. O modelo utilizado foi o MSB-300 fabricado pela ICEL com 1680 furos. Esta placa é composta por material isolante ABS UL94HB sobre uma base de alumínio para evitar interferências eletro-magnética, suportando uma tensão de no máximo 250 Volts.

A Figura 18 mostra o esquema elétrico entre os sensores, a *protoboard* e a placa de aquisição de dados. Os sensores conectados na *protoboard* recebiam uma tensão de +5V fornecidos por uma fonte de alimentação que foi conectada na *protoboard* pelos terminais superiores que estão apontados na Figura 18, sendo o terminal na cor vermelha pra a tensão de +5V e o preto para o terra.

Deste modo, utilizando-se da *protoboard*, cada sensor foi aterrado e receberam a mesma tensão de entrada fornecida pela fonte de alimentação. O terminal V_{out} dos LM35 pelo intermédio da *protoboard* foram conectados a placa de aquisição de dados conforme o esquema apresentado na Figura 17.

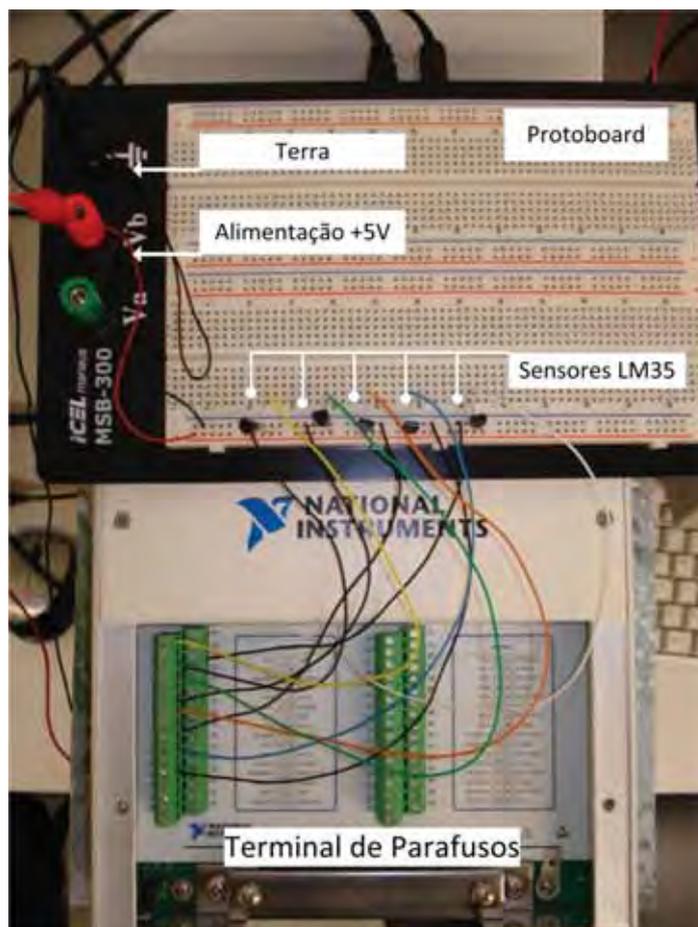


Figura 18. Conexões dos sensores LM35 pelo intermédio de uma placa *Protoboard*.

Após todas as conexões serem realizadas foi verificado se os sensores foram reconhecidos pela placa de aquisição de dados e se houve comunicação entre os dispositivos de *hardware* com plataforma de programação gráfica *LabVIEW* instalada no computador.

Em seguida os sensores LM35, para as análises, foram acondicionados em um ambiente construído em material isolante de poliestireno expandido, conhecido como

“isopor”, mostrado na Figura 19. Este material apresenta características de baixa condutibilidade e estabilidade térmica que, mesmo ocorrendo alterações bruscas nas condições térmicas do ambiente evita que ocorram oscilações indesejáveis nas condições térmicas no interior do ambiente isolado.

Na parte superior do recipiente isolante foi feito uma passagem circular, com diâmetro de aproximadamente 2 mm, para apenas passarem os fios de conexões entre a placa e o sensor LM35 e evitar que os fatores do ambiente externo, como movimentação de pessoas ou fluxo de ar, exercessem influência no ambiente de medição.

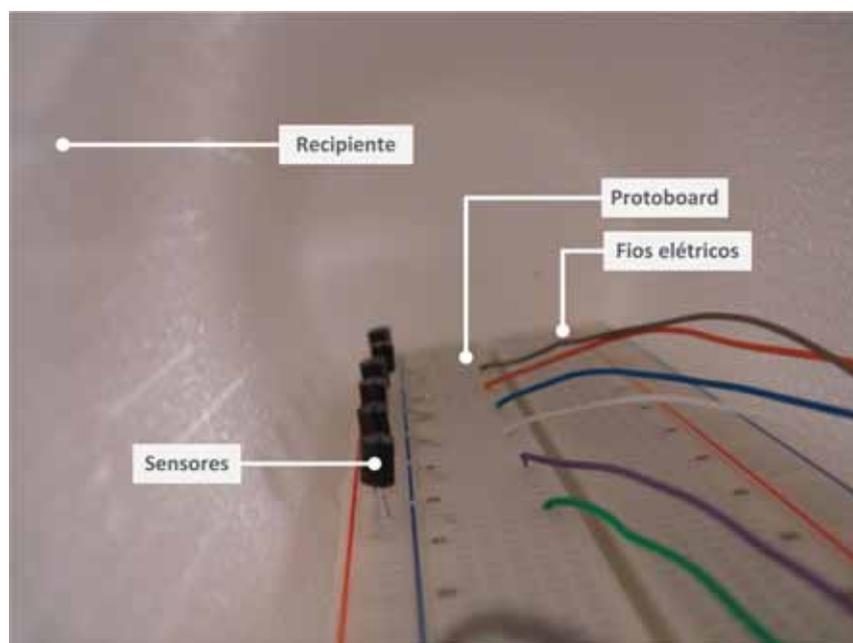


Figura 19. Sensores acondicionados dentro de um recipiente com propriedades de isolamento térmica.

3.2 Sensor de umidade

Neste trabalho foi analisado o sensor de umidade do tipo capacitivo, descrito abaixo. O sensor capacitivo foi escolhido para a implementação prática, pois, apesar de exigir um interfaceamento mais complexo, apresenta melhor viabilidade econômica em relação a outros tipos de sensores de umidade.

3.2.1 Sensor de umidade capacitivo

O sensor de umidade capacitivo utilizado para as medições da umidade relativa do ar foi o modelo H1 fabricado pela Philips, mostrado na Figura 20. Seu funcionamento é baseado na detecção da alteração da capacitância de uma fina película de metal que cobre um polímero ao receber a umidade do ambiente. Este sensor conta com características interessantes em projetos voltados ao uso agrícola tais como a confiabilidade das medições a longo prazo, alta sensibilidade, resposta rápida, alta imunidade contra agentes contaminantes e opera com um circuito de medição simples (PHILIPS COMPONENTS, 1997).



Figura 20. Sensor de umidade relativa do ar Philips H1.

Este sensor foi projetado para realizar medições entre 10% a 90% de umidade relativa do ar, seu peso é de aproximadamente 1.3 g e pode ser armazenado em locais onde a temperatura esteja entre -25 a $+85^{\circ}$ C e umidade relativa do ar entre 0 e 100%, sendo que a faixa de temperatura de operação recomendada é entre 0 a 85° C. Apresenta capacitância de 122 pF (picoFarad) $\pm 15\%$ a 25° C, 43 UR% e a 100 kHz. A sua sensibilidade é de 0.4 pF/UR% ± 0.05 na faixa de umidade entre 12 a 75 UR%.

Dentre as operações em que o sensor H1 já foi testado, o controle climático para diversas finalidades é o principal, inclusive no uso agrícola no monitoramento de casas de vegetação e, também, nos processos de controle industriais, sistemas de aquecimento, ventilação e resfriamento, etc. O H1 trabalha tanto com fonte de alimentação DC quanto AC, suportando tensões de até 15V.

O sensor de umidade capacitivo gera um valor de capacitância de acordo com a pressão de vapor que entra em contato com um polímero coberto por uma base

metálica, sendo que esta base metálica é revestida com uma camada porosa muito fina de ouro. Esta camada de ouro é permeável ao ar atmosférico e suscetível a uma mudança na capacidade dielétrica, fenômeno que ocorre na camada entre os metais, que conseqüentemente leva o sensor a alterar sua capacitância. Ao alterar a capacitância, é enviado a placa de aquisição de dados pulsos, que são interpretados pelo conversor analógico-digital para que a leitura da umidade relativa do ar seja possível no computador.

O comportamento da capacitância desse sensor está muito próximo de ser linear, como pode ser observado na Figura 21, e devido a esta característica é possível seu uso em diversas operações, simplificando o modo com que o sensor é integrado aos circuitos elétricos.

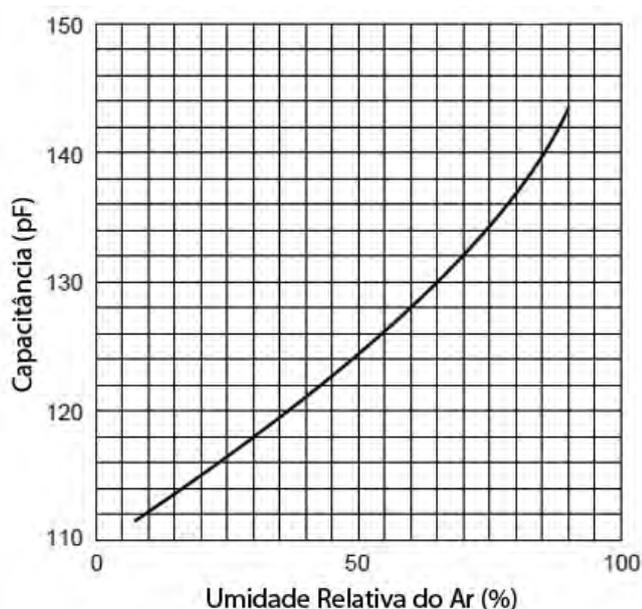


Figura 21. Capacitância típica em função da umidade relativa para o sensor de umidade Philips H1 (PHILIPS COMPONENTS, 1997).

Outro modelo de sensor de umidade capacitivo que pode ser utilizado é o HS1101, que é mostrado na Figura 22.



Figura 22. Sensor capacitivo de umidade HS-1101.

Este sensor mede a umidade relativa do ar em uma faixa que vai de 1 a 99%, possuindo características desejáveis como tempo de resposta rápido, de aproximadamente 5 segundos, alta confiabilidade e estabilidade em longo prazo, apresentando erros que podem variar em 0,5% da umidade relativa do ar a cada ano de uso do sensor. Outra característica desejável é a tensão de saída linear, o que fornece medidas muito próximas do valor real. A alimentação de entrada requerida é de 5 volts, no entanto suporta uma tensão máxima de entrada de 10 volts. Ainda, o sensor apresenta na curva de resposta uma precisão de $\pm 2\%$ (UR) operando numa faixa de umidade relativa do entre 10 a 90% (HONEYWELL, 2007). É importante enfatizar que esse sensor tem uma curva característica diferente do Philips H1, o que exige uma pequena adaptação do sistema de medição, porém o princípio é exatamente o mesmo.

3.2.2 Conexão dos sensores de umidade capacitivo na placa de aquisição de dados

A seguir serão mostrados os procedimentos adotados para a montagem dos circuitos que os sensores de umidade relativa do ar foram montados para que fossem estabelecido as conexões com a placa de aquisição de dados.

3.2.2.1 Sensor de umidade capacitivo

O sensor de umidade capacitivo foi conectado a uma *protoboard* a fim de montar o circuito eletrônico de sensoriamento que é conectado a placa de aquisição de dados. A Figura 23 mostra o circuito integrado 555 para a montagem de um multivibrador astável, que será responsável pela emissão de um sinal digital de acordo com a variação da capacitância do sensor de umidade relativa do ar.



Figura 23. Circuito integrado 555.

O circuito integrado 555 é alimentado com uma tensão que pode variar de 5 a 15 V (TEXAS INSTRUMENTS, 2010) e geralmente é encontrado com o encapsulamento DIP (Dual In Line Package), como mostrado na Figura 23. Na protoboard, o circuito eletrônico de sensoriamento, baseado no circuito integrado 555, foi montado conforme as especificações mostrada na Figura 24, sendo que no lugar do capacitor foi conectado o sensor de umidade relativa do ar capacitivo, que pode ser visto na Figura 25.

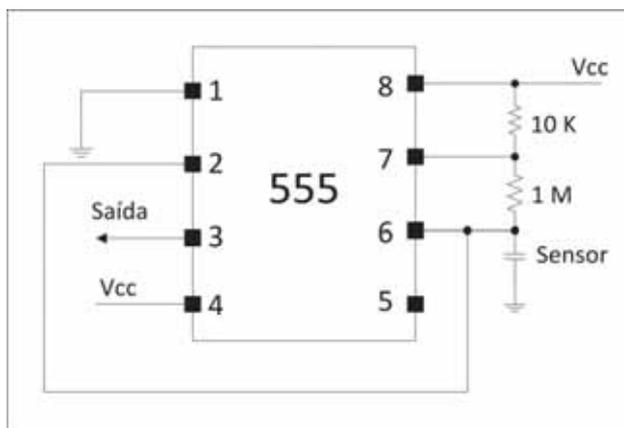


Figura 24. Esquema do circuito eletrônico de sensoriamento baseado no circuito integrado 555.

Neste circuito, o sinal de saída do circuito integrado 555 é determinado por meio de dois resistores e um capacitor. Desta forma, o valor da capacitância gerado pelo sensor de umidade capacitivo, que está montado no mesmo circuito que o circuito integrado 555, é transformado em pulsos. Assim, esses pulsos ao serem recebidos pela placa de aquisição de dados são medidos a largura do nível alto ou baixo de cada pulso, em microssegundos. Os pulsos gerados na saída do pino 3 do circuito da figura 24 são expressos pelas Equações 5 e 6:

$$T_a = 0.693 \times (R_1 + R_2) \times C \quad (5)$$

$$T_b = 0.693 \times R_2 \times C \quad (6)$$

Onde:

T_a = Tempo do nível alto (s);

T_b = Tempo do nível baixo (s);

R_1 = Resistor 1;

R_2 = Resistor 2;

C = Valor da capacitância (F).

Os valores de R_1 e R_2 para esse circuito são, respectivamente, $10\text{ K}\Omega$ e $1\text{ M}\Omega$, o que, usando uma capacitância variando entre 110 pF a 145 pF são gerados pulsos com períodos entre $0,00077$ e $0,001$ segundos.

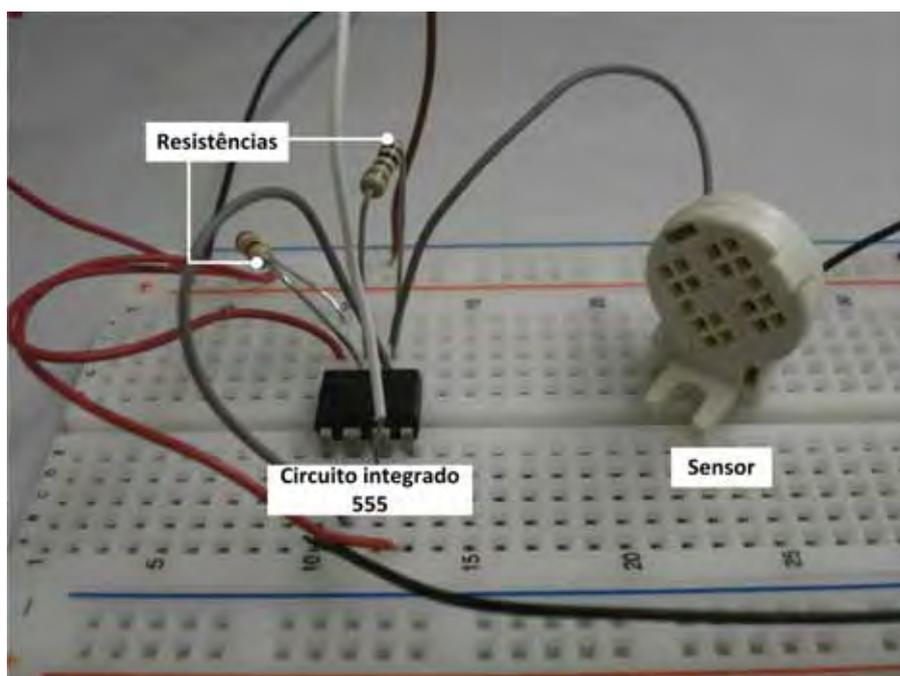


Figura 25. Foto do circuito montado como sensor de umidade relativa do ar no lugar do capacitor.

A partir dos valores da largura dos pulsos do nível lógico alto é calculado o valor da capacitância do sensor de umidade utilizando a equação 5 e, a partir daí, é relacionado o valor da capacitância com a o valor da umidade relativa do ar, que pode ser observado no gráfico da Figura 21.

Como a relação entre a capacitância e a umidade do ar não é linear, os valores das variáveis os valores foram relacionados através de uma tabela de consulta que, nesse caso, pode ser eficientemente utilizada pelo fato do gráfico ser quase linear. Na Tabela 4 são mostrados os valores da umidade relativa do ar em relação à capacitância do sensor.

Tabela 4. Relação entre a capacitância (Faraday) e a umidade relativa do ar (UR%), em valores aproximados.

| Capacitância | Umidade relativa do ar (UR%) |
|---------------------|-------------------------------------|
| 112 pF | 10% |
| 115 pF | 20% |
| 118 pF | 30% |
| 121 pF | 40% |
| 124 pF | 50% |
| 128 pF | 60% |
| 132 pF | 70% |
| 137 pF | 80% |
| 144 pF | 90% |

3.3 Pluviômetro

O pluviômetro utilizado nesse trabalho é do tipo basculante fabricado pela empresa Davis Instruments Corp, localizada nos EUA, sendo projetado para atender as especificações da Organização Mundial de Meteorologia (OMM).

O coletor de precipitação, tanto a base quanto o cone coletor, são construído em material plástico resistente a raios ultravioletas. O cone coletor possui 16,5 cm de diâmetro, 24 cm de altura e área coletora com 214 cm². O mecanismo de funcionamento desse sensor é baseado no fechamento de um contato elétrico por uma chave magnética guiada pelo movimento de uma balança.

A balança posicionada internamente ao cone coletor, como pode ser observado na Figura 26, possui resolução de 0,2 mm. Isso significa que, a balança ao ser preenchida totalmente com a água proveniente da chuva captada pelo pluviômetro, sofre um tombamento devido ao peso exercido pelo volume da água coletada, resultando no fechamento de uma chave magnética momentaneamente, que por consequência, envia um pulso elétrico registrando a ocorrência de um evento de 0,2mm, isto para cada tombamento que ocorrer.

O sensor pluviométrico sai calibrado de fábrica com exatidão nas medidas de $\pm 4\% \pm 1$ para ocorrências de chuva entre 0,2mm e 50,0 mm por hora. Em casos de chuva com incidências entre 50,0 mm a 100,0 mm por hora, este valor aumenta para $\pm 5\% \pm 1$ (DAVIS INSTRUMENTS, 2007).



Figura 26. Componentes internos do pluviômetro 7852M da Davis Instruments (DAVIS INSTRUMENTS, 2007).

Os dados são enviados por um cabo que está conectado na base do pluviômetro e por uma passagem é levado para fora do conjunto base-cone do coletor. O comprimento recomendado para este cabo é de no máximo 270 m, sendo que nesse trabalho a extensão total do cabo utilizado foi de 15 m de comprimento. Este cabo foi conectado a placa de aquisição de dados sem a necessidade de nenhum componente elétrico adicional.

Os dados do pluviômetro são transferidos para a placa de aquisição de dados cada vez que a balsa instalada no seu interior faz uma leitura de 0,2 mm de água precipitada. Ou seja, a cada tombamento da balsa pelo acúmulo de água um ímã posicionado por uma haste no centro da balsa passa por uma chave magnética fechando um contato e, neste momento é enviado um pulso. O pulso discreto é recebido pela placa de aquisição de dados que constantemente está checando a chegada de pulsos. No algoritmo do instrumento virtual, foi implementado, um filtro digital para evitar ruídos provenientes do

meio externo, devido à ocorrência de distúrbios na rede elétrica, como uma eventual queda de tensão, o *software* não registrará esses eventos.

Nesse trabalho, a intensidade de chuva foi simulada por um gotejador de vazão controlada utilizado em sistemas de irrigação agrícola. Os dados foram coletados utilizando duas vazões diferentes, sendo uma simulando a ocorrência de um evento por minuto e uma simulando 3 eventos por minuto.

O volume de água utilizado foi calculado pela equação proposta por Tubelis e Nascimento (1992), onde a altura da chuva acumulada sobre uma superfície, em milímetros (mm), é calculada pela divisão do volume de água coletada pela área de captação do pluviômetro, conforme a Equação 7:

$$h = 10 \times \frac{V}{A} \quad (7)$$

Onde:

h = Precipitação (mm)

V = Volume de água captada (ml)

A = Área da superfície coletora (cm²)

Sendo a área de captação do pluviômetro conhecida, medindo 314 cm² e resolução de 0,2 mm, foi calculado a quantidade de água necessária para completar uma cavidade da balança para que ocorresse o tombamento e registrasse um evento. Deste modo, foram necessários 4,27 ml para preencher a cavidade e registrar um evento, assim, para avaliar uma intensidade de chuva que gerasse uma quantidade significativa de eventos foi utilizado um volume de água de 22,04 ml que, de acordo com as características do pluviômetro e devidamente calibrado, deveria gerar um total de 52 eventos. Antes das medições, o pluviômetro foi nivelado e submetido a duas intensidades de chuva, conforme recomendações da Organização Mundial de Meteorologia (WMO, 2008).

A estação pluviométrica utilizada foi montado no laboratório de Instrumentação Inteligente que está localizado na UNESP de Bauru no Departamento de

Computação da Faculdade de Ciências. A Figura 27 mostra a estrutura onde o pluviômetro foi instalado.

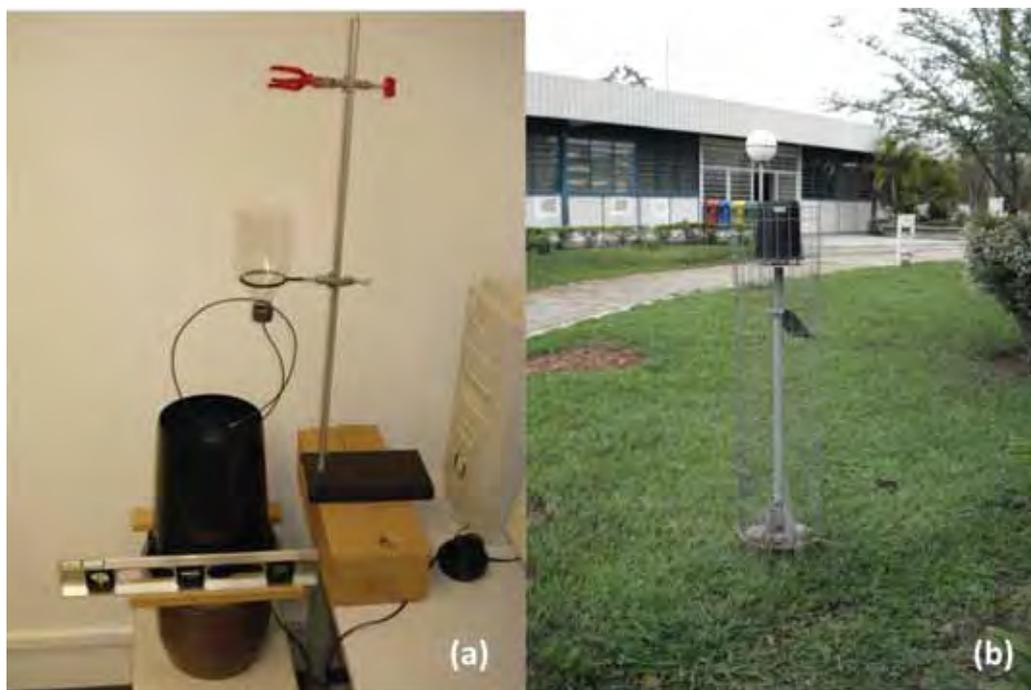


Figura 27. (a) Sistema montado de verificação da calibração em pluviômetros basculantes. (b) Estação pluviométrica utilizada para receber dados de chuva.

3.4 Termo-higrômetro

As medições de temperatura e umidade também foram realizadas com um termo-higrômetro modelo HTR-152, mostrado na Figura 28, cujo sensor de umidade e o sensor de temperatura do tipo K são fisicamente combinados em uma única ponta de prova, permitindo à medição simultânea de ambas as grandezas em um ponto específico.

A taxa de amostragem desse sensor é de 0,8 segundos, isto é, a cada 0,8 segundos o sensor faz uma nova medição da temperatura e umidade do ar. O sensor possui resolução de 0,1 °C para a leitura da temperatura do ar, sendo assim, no display de saída, os valores de temperatura do ar amostrados são mostrados com uma casa decimal após a

vírgula, com precisão de $\pm 0,8$ °C e permite a medição da umidade relativa do ar entre 10 e 95%, com resolução de 0,1%.



Figura 28. Medidor de temperatura e umidade, modelo HRT-152, que tem uma saída serial de dados que pode ser conectado diretamente a uma entrada de comunicação serial no computador.

Este instrumento possui uma saída de comunicação serial padrão RS-232 que pode ser monitorado por meio de uma porta serial de um computador. A conexão do termo-higrômetro foi por meio de um cabo conversor USB/Serial da Leardership que converte o padrão serial para o USB.

3.5 Placa de aquisição de dados

A interface de hardware que fez a comunicação com os softwares desenvolvidos no *LabVIEW* e com o computador foi a placa de aquisição de dados modelo USB-6221 da National Instruments (NATIONAL INSTRUMENTS, 2008), mostrada na Figura 29. Esta placa foi responsável por adquirir os dados dos instrumentos e converter os dados de analógico para digital a fim de que esses dados fossem interpretados pelo computador.



Figura 29. Placa de aquisição de dados modelo USB-6221 da série M.

A placa de aquisição de dados possui conexão USB 2.0 (*Universal Serial Bus*) de alta velocidade que pode ser facilmente conectado a computadores de mesa ou portáteis. Os cabos de alimentação e de conexão USB ficam posicionados na parte traseira da placa juntamente com o botão responsável por ligar e desligar a placa, como pode ser visto na Figura 30.

A vantagem de utilização de conexões USB é o fornecimento de condições de alta precisão em taxas de transmissão de alta velocidade, permitindo assim, alto desempenho nas aplicações de aquisição de dados com baixo custo e a facilidade *plug-and-play* (conecte e opere) do USB.

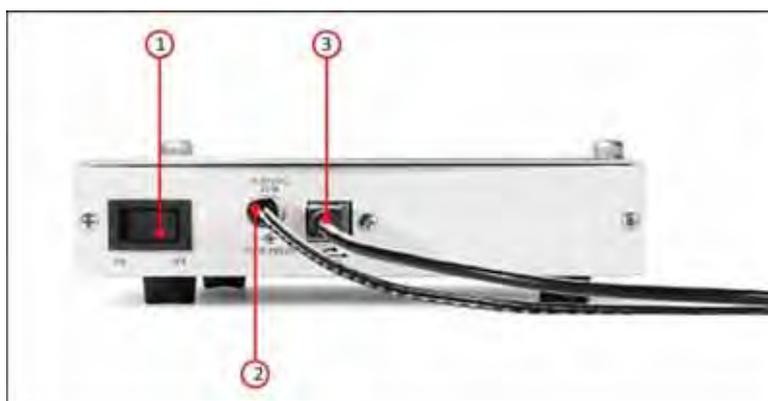


Figura 30. Vista posterior da placa de aquisição de dados. (1) Botão Liga/Desliga. (2) Conector do cabo de alimentação. (3) Entrada de conexão para o cabo USB.

No item 1 da Figura 31 é indicado onde ficam posicionados os parafusos que prendem a tampa de acesso ao terminal de parafusos onde estão localizadas as entradas analógicas, digitais, contadores e um terminal responsável por uma fonte de alimentação de +5V.

Na parte frontal da placa de aquisição de dados estão posicionados os *leds* indicadores que notificam ao usuário quando a placa de aquisição de dados está ligada (item 3) e outro *led* notificando que a placa está em atividade (item 2), como podem ser vistos na Figura 31. No item 4 é mostrado a abertura frontal destinada a passagem dos cabos relativos aos componentes que estão conectados a placa; e o item 5 indica o local de referencia apontando o modelo da placa de aquisição de dados.

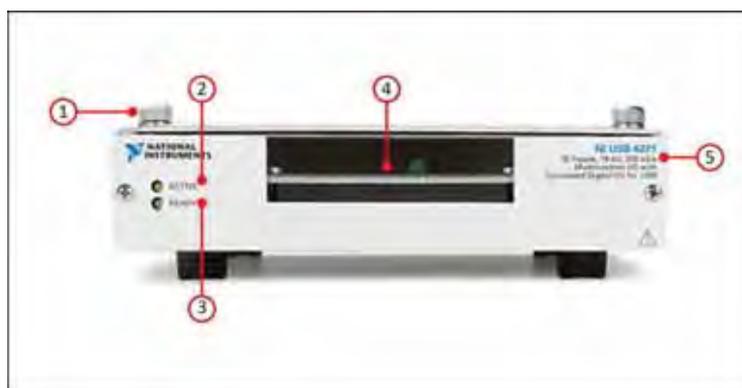


Figura 31. Vista frontal da placa de aquisição de dados. (1) Parafuso que prende a tampa de acesso ao terminal de parafusos. (2) *Led* indicador de atividade da placa de aquisição de dados. (3) *Led* indicador de estado. (4) Abertura frontal para acesso de cabos. (5) Modelo da placa de aquisição de dados.

O acesso ao terminal de parafusos, que está localizado no interior da placa de aquisição de dados, é pela da tampa de acesso fixada por dois parafusos que devem ser retirados para removê-la. Na Figura 32 é mostrado a localização do terminal de parafusos na placa. Nesse terminal são encontrados os canais responsáveis pela comunicação da placa de aquisição de dados com o meio externo.



Figura 32. Terminal de parafusos no interior da placa de aquisição de dados.

No terminal de parafusos estão todos os canais disponibilizados pela placa USB-6221 sendo no total 16 entradas analógicas operando nas faixas de ± 10 V, ± 5 V, ± 1 V, $\pm 0,2$ V e 2 saídas analógicas, sendo que com apenas um canal operando a taxa de transmissão máxima é de 833 kS/s e os dois canais ao mesmo tempo esta taxa cai para 740 kS/s para cada canal. A placa também possui suporte a conexões digitais na qual é dotada de 24 entradas digitais com taxa de transmissão de 250 kS/s.

A placa de aquisição de dados ainda conta com dois contadores/temporizadores de propósito geral, com resolução de 32 *bits* que podem ser configurados de acordo com as necessidades do usuário. Na Figura 33 é mostrado a representação de todos os canais de conexão numerados e identificados sendo o significado de AI = entrada analógica, GND=terra, AI SENSE= Ponto de referência para alguns terminais, AO=Saída analógica, P0= Port 0, PFI=Interface de função programável, +5V= Tensão contínua de 5 volts.

| | | | | | |
|----------|----|-----------|------------|----|----------------|
| AI 0 | 1 | 17 AI 4 | P0.0 | 65 | 81 PFI 8/P2.0 |
| AI 8 | 2 | 18 AI 12 | P0.1 | 66 | 82 D GND |
| AI GND | 3 | 19 AI GND | P0.2 | 67 | 83 PFI 9/P2.1 |
| AI 1 | 4 | 20 AI 5 | P0.3 | 68 | 84 D GND |
| AI 9 | 5 | 21 AI 13 | P0.4 | 69 | 85 PFI 10/P2.2 |
| AI GND | 6 | 22 AI GND | P0.5 | 70 | 86 D GND |
| AI 2 | 7 | 23 AI 6 | P0.6 | 71 | 87 PFI 11/P2.3 |
| AI 10 | 8 | 24 AI 14 | P0.7 | 72 | 88 D GND |
| AI GND | 9 | 25 AI GND | PFI 0/P1.0 | 73 | 89 PFI 12/P2.4 |
| AI 3 | 10 | 26 AI 7 | PFI 1/P1.1 | 74 | 90 D GND |
| AI 11 | 11 | 27 AI 15 | PFI 2/P1.2 | 75 | 91 PFI 13/P2.5 |
| AI GND | 12 | 28 AI GND | PFI 3/P1.3 | 76 | 92 D GND |
| AI SENSE | 13 | 29 NC | PFI 4/P1.4 | 77 | 93 PFI 14/P2.6 |
| AI GND | 14 | 30 AI GND | PFI 5/P1.5 | 78 | 94 D GND |
| AO 0 | 15 | 31 AO 1 | PFI 6/P1.6 | 79 | 95 PFI 15/P2.7 |
| AO GND | 16 | 32 AO GND | PFI 7/P1.7 | 80 | 96 +5 V |

Figura 33. Terminal de parafusos identificando a função de cada canal.

A conversão analógico/digital da placa trabalha com uma resolução de 16 *bits*, isto é, o quanto o conversor analógico-digital consegue converter dentro de uma faixa dinâmica de operação que pode ser, por exemplo, entre 0 e 5 volts. Para uma tensão de referencia de 5 volts a placa USB-6221 a menor amplitude resolvida é de 0,07 mV (miliVolts).

3.6 Estabelecimento das conexões dos componentes sensores no *LabVIEW*

Na plataforma do *LabVIEW* as conexões com os sensores de temperatura, umidade e com o contador da placa foram estabelecidas utilizando o componente DAQ Assistant. Este componente que está inserido na plataforma gráfica é chamado de Express VI ou instrumento virtual expresso, o que quer dizer, que este ícone contém todos os códigos de baixo nível necessários para estabelecer conexão entre os elementos sensores e a placa de aquisição de dados com o computador.

O acesso a esse ícone é pela paleta de funções do *LabVIEW* na aba “Express” no item “Input” que pode ser visto na Figura 34.



Figura 34. Ícone do DAQ Assistant na paleta de funções do *LabVIEW*.

Após escolher o ícone do DAQ Assistant na paleta de funções, ao arrastá-lo para o diagrama de blocos, automaticamente será inicializada uma janela para configurar uma nova tarefa de aquisição de dados. Nesta janela, denominada “Create New Express Task”, deve-se escolher entre qual opção se deseja trabalhar, aquisição (*Acquire signals*) ou geração de sinais (*Generate signals*), que pode ser visto na Figura 35. Em seguida deve-se escolher qual parâmetro elétrico utilizado.

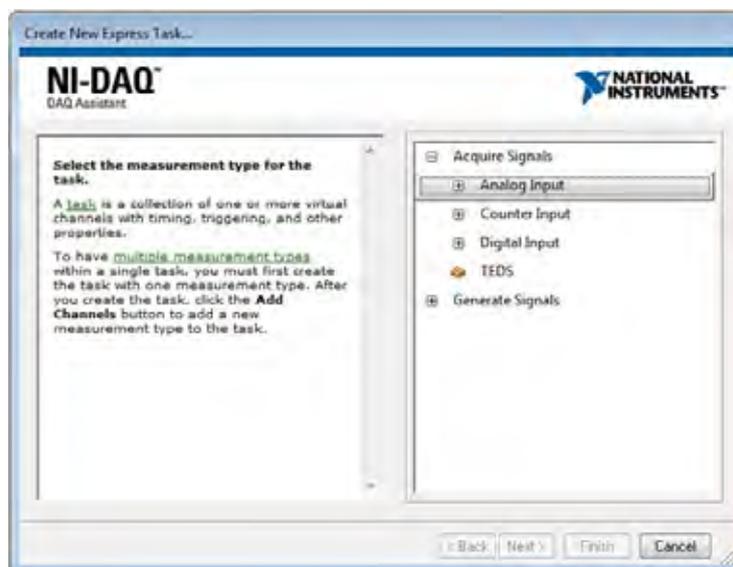


Figura 35. Janela de configuração para criar uma nova tarefa utilizando o assistente de aquisição de dados (*DAQ Assistant*).

Em alguns casos como no desenvolvimento do software de aquisição de dados pluviométricos, onde foi necessário utilizar de funções específicas não fornecidas pelo *DAQ Assistant*, foi utilizado o recurso de converter o *DAQ Assistant* para gerar os códigos relativos “*DAQmx – Data Acquisition*” localizado na paleta “*Measurement I/O*” no menu de funções do diagrama de blocos. A conversão do *DAQ Assistant* foi realizada clicando com o botão direito do *mouse* sobre o ícone do *DAQ Assistant* e em seguida clicando sobre a opção “*Convert to NI-DAQmx Task*”.

3.6.1 Sensor de temperatura

No caso dos sensores de temperatura linear, onde os valores da tensão de saída foram utilizados para expressar os valores de temperatura e umidade, foram escolhidos, ao inicializar o *DAQ Assistant*, as opções na janela “*Create New Express Task...*” a opção de adquirir sinais, em seguida a opção entrada analógica (“*Analog Input*”) e por fim o parâmetro tensão (“*Voltage*”). Ainda nessa janela, após serem selecionadas as opções para medição de parâmetros analógicos de entrada, foram escolhidos os canais físicos analógicos

AI0, AI1, AI2, AI3, AI4 e AI5 para os sensores LM35 e os canais AI6 para o sensor de umidade.

Após a criação da tarefa foi necessário configurá-la. A configuração foi realizada por meio de uma nova janela de configuração, mostrada na Figura 36, que foi executada após a finalização da etapa anterior. Nessa janela, na aba Configuração (*Configuration*) é necessário especificar as configurações da tensão de entrada ajustando a faixa em que os sinais vão operar e a unidade que foi utilizada, no nosso caso em *Volts*.

Outras configurações realizadas, nessa mesma janela, foi o tipo do terminal utilizado, sendo selecionado o RSE, tanto para o sensor de temperatura quanto para o sensor integrado de umidade. Também foi configurado. Na seção “*Timing Setting*”, o modo de aquisição dos dados, número de amostras que seria lido por amostragem e a taxa de amostragem em Hertz.

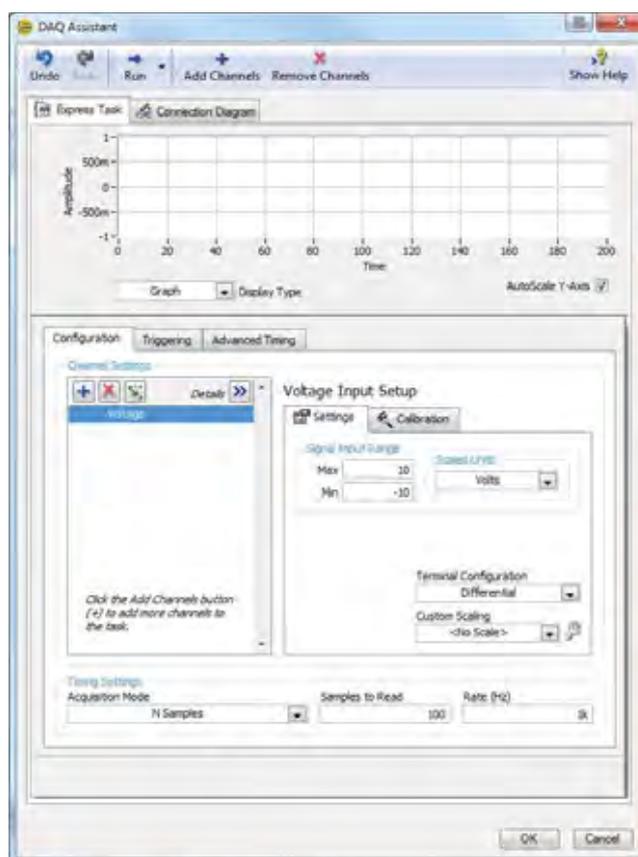


Figura 36. Janela de configurações do *DAQ Assistant*.

3.6.2 Pluviômetro

Este mesmo procedimento foi realizado para configurar a comunicação da placa de aquisição de dados para receber os pulsos provenientes do pluviômetro. Assim, foi inicializado o *DAQ Assistant*, na janela “*Create New Express Task...*” foi selecionado “*Acquire signals*”, em seguida “*Counter input*” e por fim “*Edge count*”. O canal físico escolhido para esta aplicação foi o “ctr0”.

3.6.3 Sensor de umidade capacitivo

Da mesma forma foi configurado o *DAQ Assistant* para estabelecer comunicação com o sensor de umidade capacitivo. Ao executar o *DAQ Assistant*, na janela “*Create New Express Task...*” foi selecionado “*Acquire signals*”, em seguida “*Counter input*” e por fim “*Pulse Width*”. O canal escolhido para esta aplicação foi o “ctr1”.

3.7 Comunicação serial

A programação do software no *LabVIEW* para estabelecer comunicação com instrumentos equipados com saída serial foi por meio de componentes disponíveis na plataforma do *LabVIEW* especificamente para este fim, além da utilização dos outros recursos de programação. Os componentes foram selecionados na paleta de funções e na seção “*Instrument I/O*” foi selecionado o ícone “*Serial*” para acessar os componentes de comunicação serial, conforme mostrado na Figura 37.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão descritos os softwares desenvolvidos, suas funcionalidades e os testes de validação dos softwares.

4.1 Software de monitoramento e gravação de dados de temperatura

Este *software* foi desenvolvido para o monitoramento e aquisição de dados de temperatura, sendo projetado para trabalhar com sensores lineares de temperatura com diferentes tensões de saída.

O *software* é apresentado ao usuário com uma interface homem-máquina intuitiva e amigável para melhor familiarizar o usuário com as técnicas de medição em instrumentação virtual, assim a Figura 38 mostra uma imagem da interface homem-máquina do *software*, onde as suas funções encontram-se numeradas.

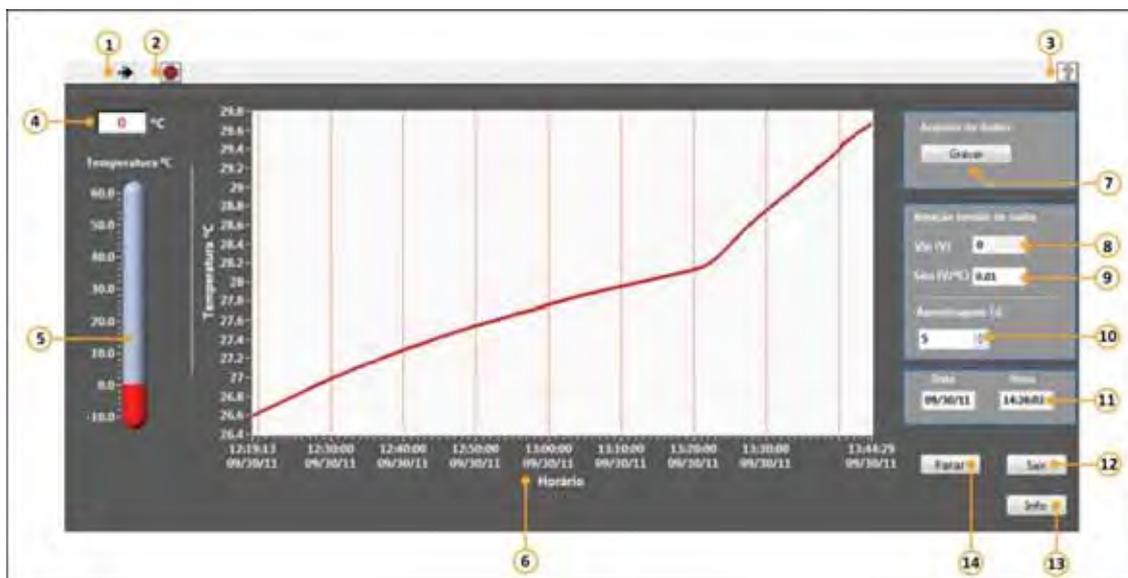


Figura 38. Interface gráfica do *software* de aquisição de dados de temperatura.

O software desenvolvido tem diversas funções específicas, que pode ser descritas em função dos números da Figura 38, da seguinte forma:

1. Botão executar, para iniciar o programa;
2. Botão Abortar;
3. Botão Ajuda;
4. Mostrador digital (display), com precisão de duas casas decimais, do valor da temperatura ambiente do ar;
5. Representação gráfica do termômetro que mostra a temperatura atual, medida pelo sensor;
6. Gráfico da temperatura atualizado a cada aquisição dos dados;
7. Botão “Gravar”;
8. Valor da tensão de entrada (V_{in}), em volts;
9. Janela de entrada da sensibilidade do sensor ($V/^{\circ}C$);
10. Controle da amostragem, em segundos, da aquisição de dados;
11. Data e Hora atuais;
12. Botão Sair;
13. Botão Informações;
14. Botão Parar;

O *software* ao ser executado, ao clicar no botão indicado pelo número 1, começará a aquisição de dados de temperatura se a placa de aquisição de dados estiver ligada e conectada ao computador. A Figura 39 mostra um ícone chamado “Botão Executar”, que fica na parte superior da tela do software, o qual ativa a execução do software.

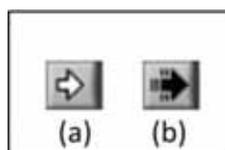


Figura 39. Botão executar. (a) Indica que o *software* está pronto para ser executado. (b) Indica que o *software* está em execução.

Ainda na parte superior do software existem mais dois botões, numerados em 2 e 3 na Figura 38, sendo o item 2 o botão “Abortar”, que é utilizado para parar e abortar a execução do software. O que é útil quando ocorrem situações imprevistas, sendo recomendado utilizar esta opção quando se está adquirindo dados em intervalos de tempo muito espaçados, como por exemplo, em intervalos de 1 hora. Deste modo, a aquisição de dados é interrompida bruscamente parando imediatamente a aquisição dos dados, evitando o termino do ciclo completo no tempo desejado.

O botão “Ajuda”, item número 3, auxilia o usuário fornecendo-lhe informações sobre as funções do programa. Ao clicar neste botão é aberta uma janela que mostra informações à medida que o usuário posiciona o ponteiro do mouse em uma determinada região do software em execução. Por exemplo, essas regiões podem ser uma caixa de controle, uma janela de informações, etc.

A visualização do valor da temperatura medida é mostrado em três diferentes formatos, simultaneamente nos itens 4, 5 e 6 da Figura 38. No item 5, o valor da temperatura é apresentado por uma representação gráfica de um termômetro, como utilizado em abrigos meteorológicos.

A variação de temperatura representada no item 5 é marcada pelo preenchimento na cor vermelha da barra vertical, chamado de coluna termométrica, que está graduada na escala Celsius. A ideia é simular a expansão do mercúrio dentro do tubo de vidro dos termômetros convencionais, desta forma a leitura é feita pela dilatação da coluna

termométrica até o encontro do limite superior desta coluna (menisco) com a linha da escala graduada marcada no tubo, fornecendo uma precisão de 0,1 °C.

Acima do termômetro, item 4, está posicionado uma janela que mostra a temperatura em graus Celsius, no formato digital e com precisão de duas casas decimais. Esta janela por mostrar um número decimal, é a opção que oferece o menor erro de leitura, sendo assim recomendado utilizá-la para realizar leituras quando se deseja conhecer o valor da temperatura em um determinado instante durante o registro dos dados.

O item número 6 indica um gráfico que ocupa a porção central da tela do software. O gráfico mostra o registro da temperatura ao longo do tempo de monitoramento, assim, após cada medição é registrado o valor medido no gráfico.

Na abscissa do gráfico (item 6), no ponto de origem é fixado a data e a hora do início da aquisição dos dados de temperatura e na outra extremidade, no eixo das ordenadas, é mostrado a data e a hora da última aquisição. Deste modo, com o programa em execução estes valores serão atualizados constantemente de modo automático, de acordo com o ajuste da taxa de amostragem. A diferença entre os intervalos de tempo da abscissa irá aumentar à medida que o tempo de aquisição de dados aumentarem, no final quando finalizada a aquisição de dados, o gráfico mostrado terá na sua origem o registro do início e do final da aquisição de dados.

No eixo das ordenadas (item 6), os valores da temperatura, em graus Celsius, são automaticamente ajustados a escala conforme a temperatura sofre variação entre os valores de máxima e mínima. Desta forma toda vez que a temperatura ultrapassar esses limites, o eixo das ordenadas é ajustado novamente, caso contrário, a temperatura será registrada utilizando os valores de temperatura máxima e de mínima registrados anteriormente.

A leitura do gráfico é feita pela linha vermelha formada pelo encontro da temperatura atual do ambiente com o horário registrado. Para facilitar a leitura, existem linhas de fundo no gráfico, com uma cor mais clara que a linha da temperatura, que marcam exatamente os intervalos de tempo entre as leituras de temperatura realizadas.

O software conta com o botão “Gravar”, item 7, que ao ser acionado, abre uma caixa de diálogo, sugerindo um nome para o arquivo de texto que armazenará os dados adquiridos, conforme mostra a Figura 40.

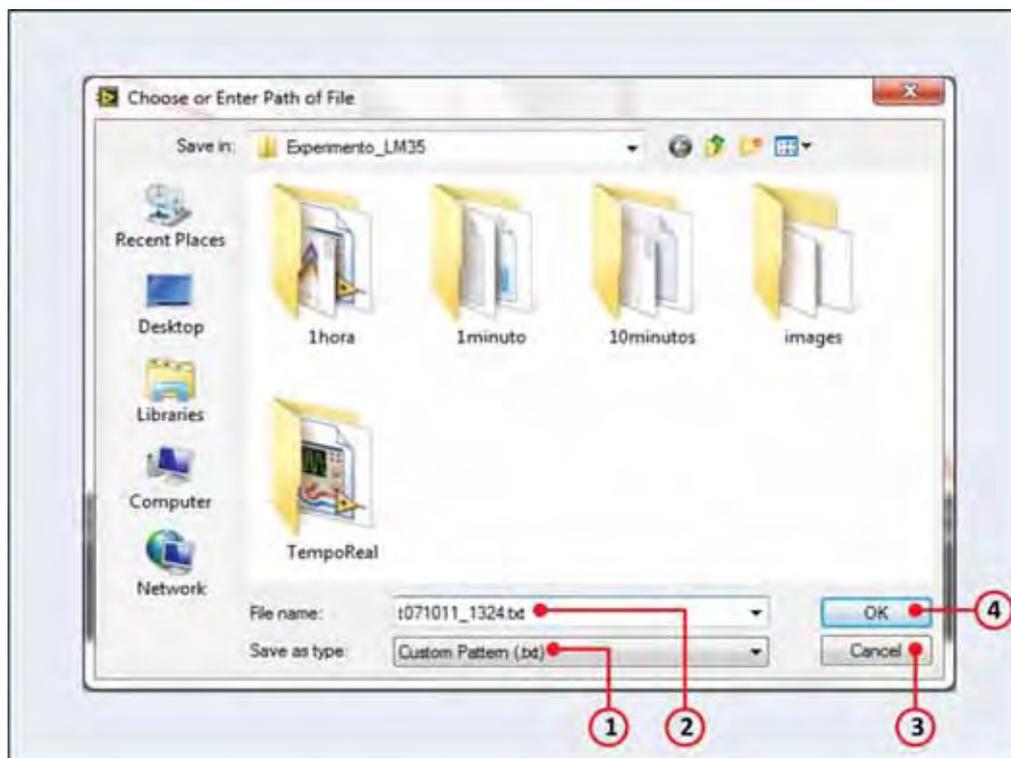


Figura 40. Caixa de diálogo aberta após ser pressionado o botão “Gravar”. 1- Tipo do arquivo que será gravado (Arquivo de texto). 2- Nome sugerido para o arquivo de texto. 3- Botão cancelar. 4- Botão “Ok” para confirmar operação.

O nome sugerido pelo software para o arquivo de dados é iniciado com a letra “t” em minúsculo seguido da data e da hora do momento em que o botão foi acionado, por exemplo, se o botão for acionado às 13 horas, 24 minutos do dia 07/10/2011 o nome do arquivo será “t071011_1324.txt”. A letra “t”, que significa temperatura, é para diferenciar o arquivo de texto de outros arquivos de textos resultantes de registro de dados, caso houver coincidência de diretório.

O item número 8 da Figura 38 mostra uma caixa de texto chamada de V_{in} onde é mostrado ao usuário a tensão de entrada, em volts, que o sensor está transmitindo a placa de aquisição de dados. Este valor é atualizado constantemente com base nos valores amostrados pela placa de aquisição de dados do sensor. A placa está configurada para executar as aquisições em 1000 Hz, ou seja, a placa é capaz de coletar 1000 amostras de dados por segundo, assim a cada milissegundo é realizado uma amostragem. No entanto, este valor será mostrado de acordo com a configuração da taxa de amostragem, o que quer dizer que, se a

taxa de amostragem estiver configurada para realizar a amostragem a cada 1 segundo este valor será apresentado a cada um segundo e não um valor a cada milissegundo.

No item número 9 da Figura 38 é mostrado uma caixa de controle onde deve ser inserido a resolução do sensor com qual irá trabalhar. Com base na tensão de entrada (V_{in}) do sensor o usuário determina a sensibilidade ($V/^{\circ}C$) para converter a tensão em temperatura. Para o sensor LM 35 este valor é de 0,01 Volts, ou 1 mV (miliVolts) para cada grau centígrado, isto quer dizer que o sensor irá fornecer 1 miliVolt cada vez que a temperatura aumentar 1 grau centígrado.

Na Figura 38, o item 10 mostra a caixa de controle “Amostragem”, que permite ao usuário ajustar o período de tempo da aquisição de dados de temperatura de acordo com as suas necessidades. Este controle está na unidade de tempo de segundos, e vem programado para adquirir os dados a cada 1 segundo. Assim, para adquirir dados com intervalo de 1 minuto entre as amostras, o valor inserido na caixa de controle será de 60 segundos, para dois minutos, 120 segundos, e assim por diante.

O item 11 representa as janelas da data e da hora mostrados no programa. Estas informações são retiradas do sistema computacional em que o software está instalado, por isso, é importante a verificação e atualização da data e da hora do sistema toda vez que iniciar uma operação de aquisição de dados.

Os itens 12 e 14 são botões de controle do software, respectivamente, “Sair” e “Parar”. O botão “Parar” deixa o software em estado inativo, não adquirindo dados e sem fechar o programa. Para fechar o programa deve-se clicar no botão “Sair”, deste modo o programa será fechado de dentro do sistema operacional que está em uso. Antes de clicar nos botões “Parar” e “Sair” é recomendado que primeiramente pare a gravação dos dados, para que o arquivo de texto seja fechado adequadamente.

O botão “Info”, item 13, apresenta ao usuário iniciante ou mesmo quem está executando o software pela primeira vez, informações básicas do propósito do software de monitoramento e aquisição de dados de temperatura, além dos dados da instituição onde o software foi desenvolvido e informações de contato.

4.1.1 Resultados do software de monitoramento e gravação de dados de temperatura

A técnica de interfaceamento da placa de aquisição de dados do *LabVIEW* com um LM35 foi o primeiro item avaliado nesta etapa de trabalho, cujo resultado mostrou que este interfaceamento é plenamente factível. Os testes foram realizados totalizando 10 amostragens com 600 medições de temperatura em cada uma, com intervalo de 10 ms entre cada medição. A Figura 41 mostra o gráfico da variação da tensão de saída da primeira amostragem realizada do sensor LM35.

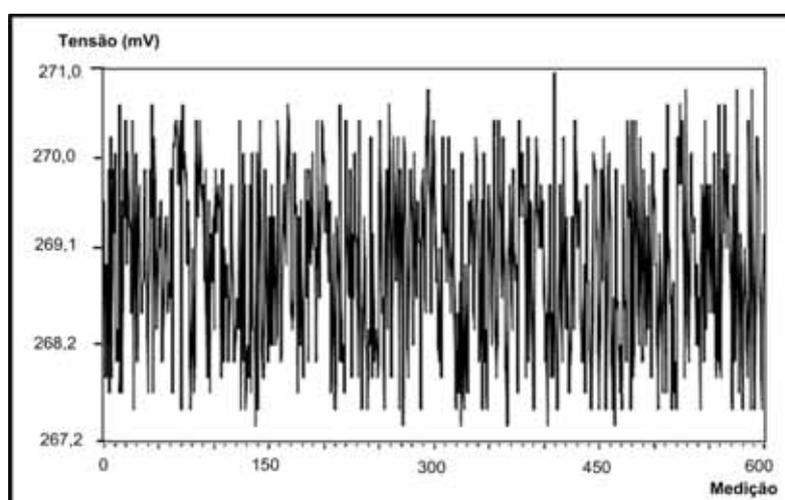


Figura 41. Variação da tensão de saída do sensor LM35.

Estas medições foram realizadas através de um programa de aquisição de dados desenvolvido para este fim no *LabVIEW*. A Tabela 5 mostra os resultados obtidos nas 10 amostragens, onde se pode verificar que os valores das médias e de desvio padrão das amostragens são bastante próximos, comprovando a estabilidade do sensor e precisão nas amostragens pela placa de aquisição de dados. Na Figura 41, o valor de cada média amostral é representado na forma de tensão, sendo os dados da tabela permitem calcular a média das médias das tensões de saída em 269,7mV, com um desvio padrão de 0,264 e com um

coeficiente de variação de 0,098% e primeiro intervalo de confiança entre 269,436 e 269,964mV.

Tabela 5. Valores estatísticos de 10 amostragens, com 600 amostras cada, da tensão de saída do sinal do sensor de circuito integrado LM35.

| Amostragem | Média Amostral (milivolts) | Desvio Padrão | Coeficiente de Variação (%) |
|------------|----------------------------|---------------|-----------------------------|
| 1 | 269,039 | 0,931 | 0,346 |
| 2 | 269,462 | 0,944 | 0,350 |
| 3 | 269,571 | 0,910 | 0,337 |
| 4 | 269,654 | 0,894 | 0,331 |
| 5 | 269,744 | 0,902 | 0,334 |
| 6 | 269,737 | 0,943 | 0,349 |
| 7 | 269,744 | 0,920 | 0,341 |
| 8 | 269,747 | 0,937 | 0,347 |
| 9 | 269,941 | 0,883 | 0,327 |
| 10 | 269,961 | 0,921 | 0,341 |

Na plataforma *LabVIEW* o próprio usuário é quem desenvolve os softwares aplicativos aderindo desta forma maior funcionalidade ao software que será desenvolvido e ajustado de acordo com a necessidade do usuário. Um diferencial adicionado aos softwares desenvolvidos nesse trabalho é a opção de configuração do software, podendo assim, ser utilizados para diversos fins, sem a necessidade de criar um software para cada aplicação.

Outro fator relevante é o fato que os softwares desenvolvidos não executam apenas a função de coletar dados, mas também realizam o processamento dos dados em tempo real, bem como, o armazenamento deles no computador. Estes recursos foram utilizados por Speetiens et al. (2008) que concluíram que o uso da ferramenta *LabVIEW* é viável para mediar e controlar sistemas em ambientes protegidos.

O uso de ferramentas adequadas para criar um sistema de aquisição de dados é essencial para a obtenção de medidas precisas, o que segundo Cunha (2003), pode ser uma vantagem para o uso dos dados coletados em modelos climáticos, que por sua vez podem ser utilizados para alimentar modelos de controle de variáveis climáticas. Sendo importante

ressaltar a opção de configurar a taxa de amostragem para realizar a aquisição de dados em intervalos de um segundo entre as medidas de temperatura.

Ainda, o software de monitoramento e gravação de dados de temperatura é compatível com outros sensores de temperatura, desde que o terminal de saída destes sensores seja na forma de tensão e que se relacionem linearmente com os valores de temperatura em graus Celsius.

4.1.2 Análise do sensor de temperatura LM35

As análises dos sensores LM35 para verificação das características referentes às especificações técnicas fornecidas pelo fabricante foram realizadas com o desenvolvimento de softwares específicos para cada teste.

No total foram desenvolvidos dois softwares independentes para testes do LM35, que são o Software de Avaliação do Interfaceamento do LM35 e o Software de Verificação da Exatidão do Sensor LM35, sendo o segundo software desenvolvido em três versões diferentes de acordo com o tempo de execução. Esses softwares são descritos a seguir.

4.1.3 Software de avaliação do interfaceamento do LM35 com resistor de carga

O LM35, em alguns casos específicos, pode exigir a conexão de um resistor em série para permitir o seu interfaceamento com circuitos de aquisição de que tenham carga capacitiva superior 50 pF, como pode ser visto na Figura 42. Para fins experimentais, foi feito um programa e o LM35 foi testado com e sem resistor de desacoplamento para interfaceamento com o hardware do *LabVIEW*.

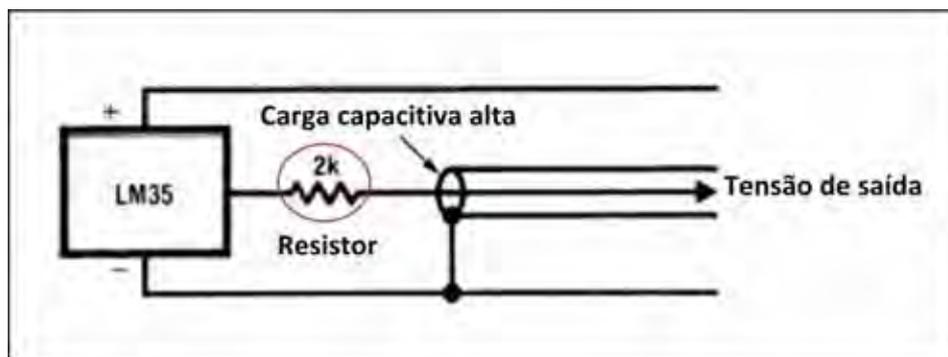


Figura 42. Circuito para conexão do LM35 com resistor de desacoplamento para cargas capacitivas (NATIONAL SEMICONDUCTOR, 2000).

De acordo com as características dos manuais do *LabVIEW*, o resistor não seria necessário, porém esse teste foi academicamente importante para o desenvolvimento de um processo técnico que permitisse a análise e verificação da necessidade do uso de resistores de desacoplamento de cargas. Além disso, independentemente das informações teóricas dos manuais, esta análise foi muito importante para validar de forma mais realista a eficiência do interfaceamento do LM35 e a técnica de aquisição de dados desenvolvida.

A Figura 43 mostra a interface do software desenvolvido para os testes.

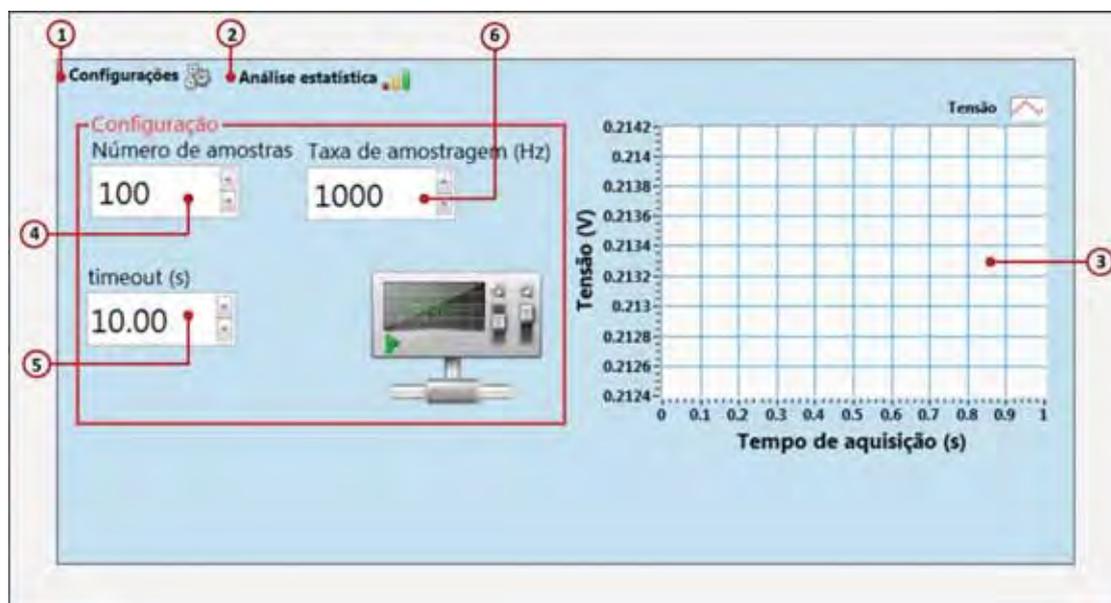


Figura 43. Interface homem-máquina do software de avaliação da aquisição de dados do sensor LM35.

O software foi configurado para coletar 1000 amostras a uma taxa de amostragem de 1000 Hz. A configuração foi feita na aba “Configurações” do software, item número 1 da Figura 43. Nesta opção é preciso entrar com dados do número de amostras, item 4 da Figura 43, que se deseja coletar e a taxa de amostragem em Hertz, item 6 Figura 43. A taxa de amostragem define a velocidade com o qual o usuário irá coletar os dados de acordo com a seguinte relação da Equação 8:

$$P = \frac{1}{f} \quad (8)$$

Onde:

P= período, em segundos;

f=frequência (Hz)

Assim, se o usuário entrar com uma taxa de amostragem de 1000 Hz o programa entenderá que a cada 1 ms ou 0,001 segundo será registrado uma medida de temperatura. No exemplo da Figura 43 o tempo total da aquisição de dados de 1000 amostras equivale a 1 segundo.

Na opção *timeout*, item número 5, o usuário deve entrar com o tempo, em segundos, em que a placa de aquisição de dados leva para iniciar a coleta dos dados. Por padrão, esta opção vem configurada em 10 segundos, no entanto, em operações que exigem intervalos de tempo maiores, deve-se alterar este valor. Por exemplo, para uma aquisição de dados de 1 minuto o *timeout* deve ser 60 segundos e para uma hora, 3600 segundos.

Após o software ter realizado as aquisições é mostrado ao usuário, no item 3 da Figura 43, um gráfico da relação entre o tempo de aquisição dos dados com os dados adquiridos e uma análise estatística desta amostragem. Para acessar a análise estatística o usuário deve clicar na aba “Análise estatística”, item número 2 da Figura 43, e deste modo terá acesso aos resultados das temperaturas máxima e mínima, média do total das amostras adquiridas, a variância e o desvio padrão. Automaticamente, também é gerado ao usuário um relatório dividido em três arquivos diferentes. Um arquivo de imagem, no formato *bitmap*, denominado de *grafico.bmp*, para ilustrar o gráfico gerado, como mostrado na Figura 44.

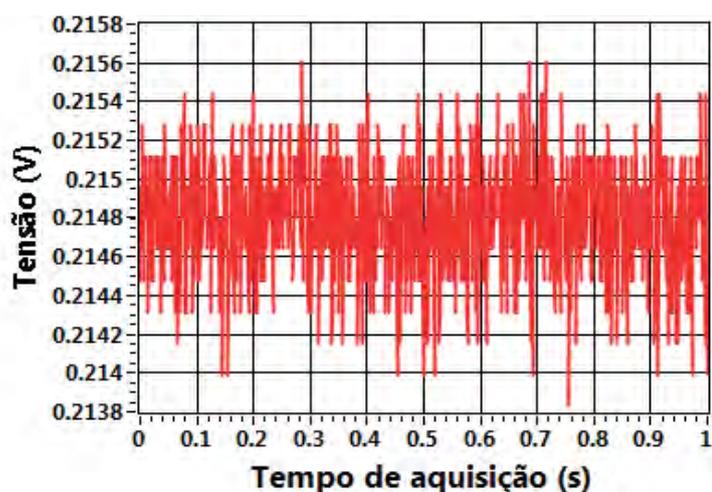


Figura 44. Gráfico gerado pelo instrumento virtual após o término de uma análise.

Os arquivos de texto gerados, que são facilmente abertos por um editor de textos como o bloco de notas do *Windows*, mostram o relatório de todas as aquisições, o horário e a data. O último arquivo apresentado ao usuário é um relatório contendo os dados estatísticos de desvio padrão, variância, os valores máximo e mínimo, a média, a data e o horário das aquisições. Na Figura 45 mostra um exemplo de dois arquivos de textos sendo visualizado no bloco de notas do *Windows*.

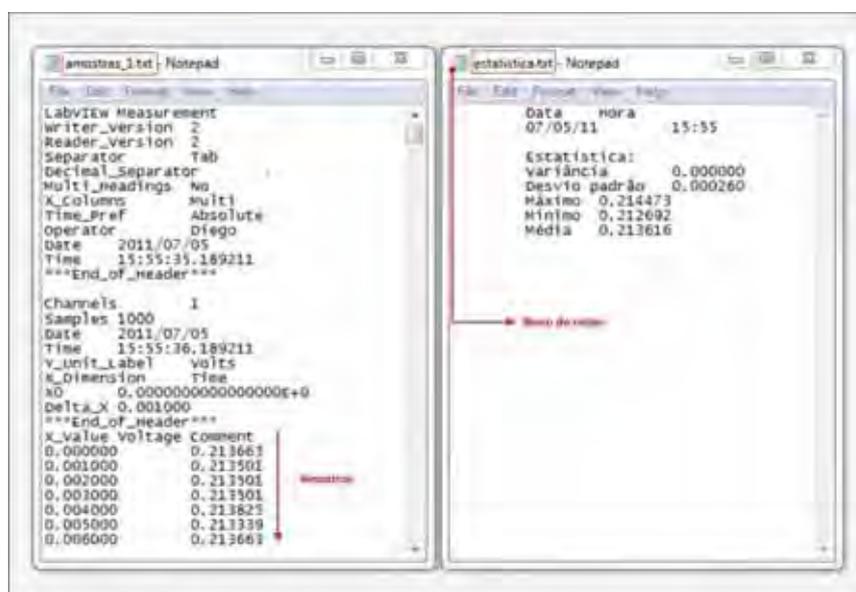


Figura 45. Arquivo de texto gerado pelo instrumento virtual. (a) Relatório da aquisição de dados com todas as amostras. (b) Dados estatísticos gerados pelo software.

Sendo assim, os testes com o primeiro software foram realizados em dois circuitos distintos em que o LM 35 foi montado, sendo um circuito com resistor, recomendado pelo fabricante, e outro circuito sem resistor.

Os dados estatísticos dos resultados das análises foram retirados do arquivo de texto gerado pelo software de cada análise para compor a Tabela 6 e a Tabela 7 como forma de avaliação dos dados adquiridos nos testes.

As quatro análises realizadas com o circuito do LM35 montado com resistor apresentaram resultados satisfatórios com as variâncias entre os dados tendendo a zero, como observado na Tabela 6. Outro fator importante é o desvio padrão, do total das 1000

amostras coletadas em cada análise. Na Tabela 6, nota-se que este valor foi na ordem da quarta potência para todas as análises, o que comprova a alta precisão do sensor LM35 para medir a temperatura ambiente.

Tabela 6. Dados da análise estatística do circuito com resistor.

| Estatística | 1ª análise | 2ª análise | 3ª análise | 4ª análise |
|---------------|------------|------------|------------|------------|
| Média | 0,213835 | 0,212479 | 0,211961 | 0,212398 |
| Desvio padrão | 0,000336 | 0,000308 | 0,000323 | 0,000325 |
| Máximo | 0,214959 | 0,213339 | 0,213016 | 0,213663 |
| Mínimo | 0,212854 | 0,211396 | 0,211072 | 0,211234 |

Na Figura 46 estão todos os gráficos gerados pelo software para as quatro análises. Deste modo, pela visualização dos gráficos, nota-se a precisão com que o sensor de temperatura faz as medições, ou seja, a repetibilidade das medidas é muito alta mostrando que estas medidas estão muito próximas da média.

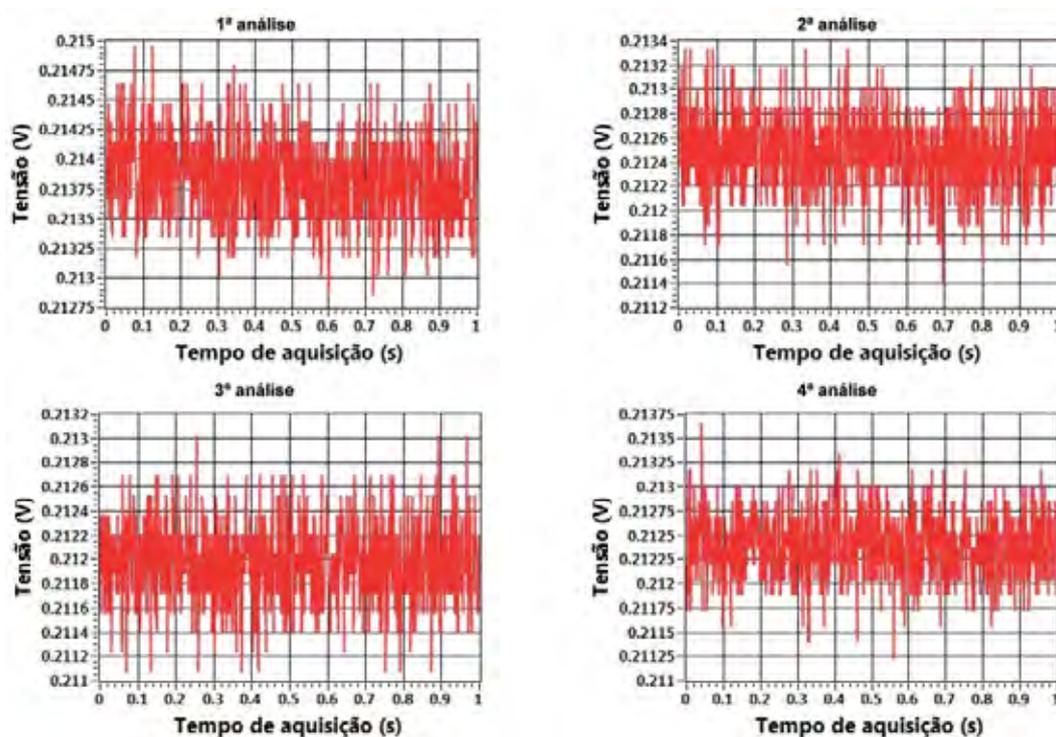


Figura 46. Gráficos das análises de temperatura gerados pelo instrumento virtual para o circuito com resistor.

Após a aquisição dos dados do circuito com o resistor foi avaliado o circuito sem resistor. Na Tabela 7 observa-se que a variância das amostras tendeu a zero como observado na análise do circuito com resistor, mostrando também um desvio padrão entre as análises satisfatório e na mesma ordem de grandeza como mostrado na Tabela 6.

Todavia, numericamente os dados de desvio padrão para o circuito sem resistor apresentaram valores menores para todas as análises revelando que para medições em ambiente agrícola não se faz necessário acrescentar um resistor no circuito para obtenção de medidas precisas.

Tabela 7. Tabela com os dados estatísticos do circuito sem resistor

| Estatística | 1ª análise | 2ª análise | 3ª análise | 4ª análise |
|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Média | 0,216085 | 0,214809 | 0,213740 | 0,213616 |
| Desvio padrão | 0,000259 | 0,000287 | 0,000271 | 0,000260 |
| Máximo | 0,216903 | 0,215607 | 0,214797 | 0,214473 |
| Mínimo | 0,215283 | 0,213825 | 0,212854 | 0,212692 |

Nota-se na Figura 47 que para todas as análises realizadas o sensor apresentou precisão satisfatória em torno da média do total de mil amostras de temperatura coletada em cada análise. Este comportamento mostra que conhecendo as características particulares do sensor de temperatura empregado em uma determinada operação, como por exemplo, o desvio padrão do total das amostras, apesar das análises mostrarem que este valor é muito baixo, é possível fazer a correção dos dados obtidos.

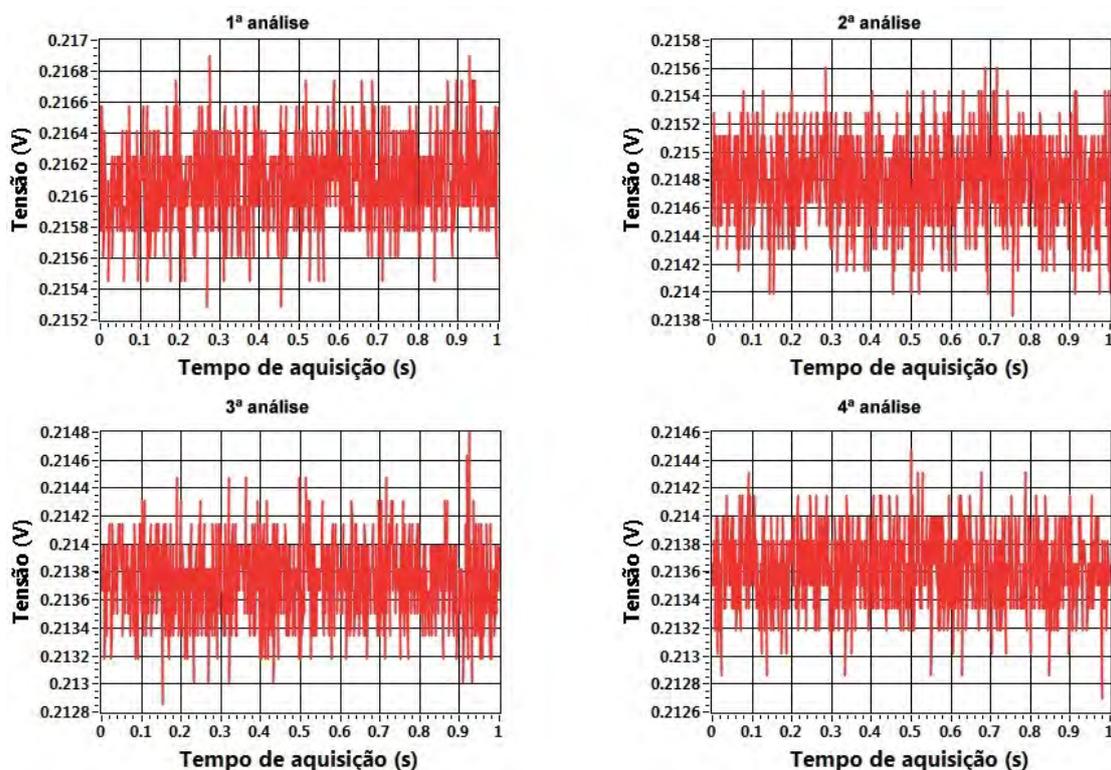


Figura 47. Gráficos das análises de temperatura gerados pelo instrumento virtual para o circuito sem resistor.

Assim, conforme o esperado, não é necessário a inserção de um resistor de carga extra no circuito para evitar problema de acoplamento entre o LM35 e a placa de aquisição de dados do *LabVIEW*. Além disso, esta análise também permitiu comprovar tecnicamente que o LM35 tem um desempenho altamente satisfatório.

Além dos testes dessa seção, é importante analisar o desempenho do LM35 em períodos maiores de tempo e comparando também o desempenho de mais de um sensor, o que é apresentado na próxima seção.

4.1.4 Software de verificação da exatidão do sensor LM35

O objetivo desse software foi testar a exatidão do sensor LM35 e para isso foi desenvolvido para um mesmo software três versões diferentes para testes, sendo uma versão para avaliar no tempo de 1 minuto e as outras nos tempos de 10 minutos e 1 hora. A

Figura 48 mostra a tela do software de verificação da exatidão do sensor LM35 desenvolvido especificamente para analisar a estabilidade dos sensores de temperatura.

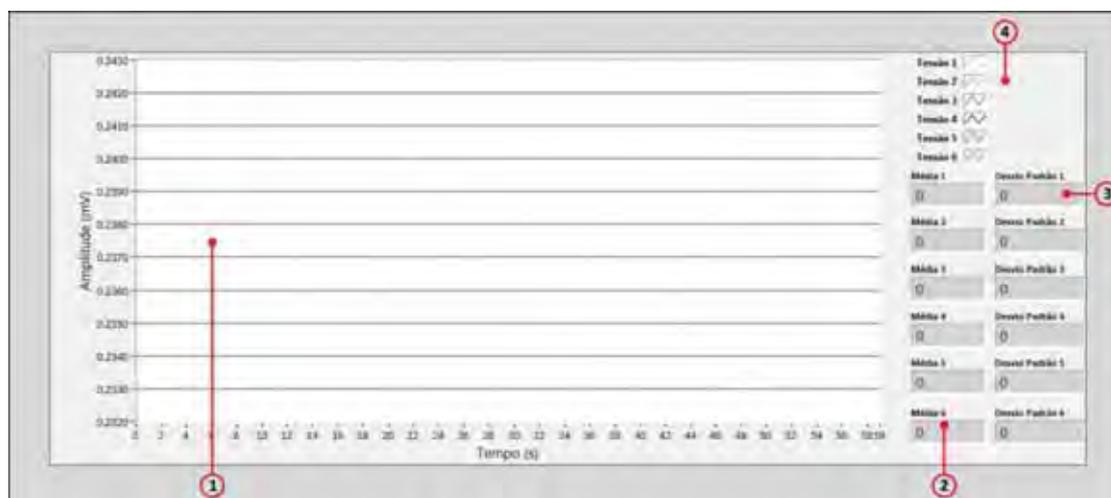


Figura 48. Interface homem-máquina do software de verificação de estabilidade do sensor LM35. (1) Tela do gráfico gerado pelos valores do V_{in} pelo tempo (s). (2) Valor da média dos valores de tensão adquiridos. (3) Desvio padrão do conjunto das amostras. (4) Identificação por cores dos sensores na tela do gráfico.

As funções do software estão numeradas na Figura 48, sendo o item 1, o gráfico gerado pela relação da amplitude em mV (miliVolts) das leituras dos sensores pelo tempo. O gráfico mostrado na tela é armazenado em um arquivo de imagem para análises posteriores. Além do arquivo de imagem é gerado um arquivo de texto com todas as amostras coletadas de todos os sensores e estes arquivos são armazenados na pasta onde o software está instalado.

Após a aquisição de dados são fornecidos ao usuário a média e o desvio padrão das amostras de cada sensor na própria tela do software, como mostrados nos itens 2 e 3 da Figura 48. No item 4 é mostrado a legenda que identifica os sensores por cores para diferenciar as linhas que representa cada sensor na tela do gráfico e sua relação com a média e o desvio padrão. Por exemplo, a legenda número 3 (Tensão 3), possui coloração azul, assim os dados representados para este sensor que está conectado na entrada referente a esta cor na placa de aquisição de dados, no gráfico terá uma linha na cor azul representando os

dados deste sensor e aos valores na janela “Média 3” e “Desvio Padrão 3” serão referentes ao sensor número 3.

O software foi desenvolvido para operar com mais de um sensor de temperatura LM 35 a título de comparação dos valores de exatidão e precisão expressos por cada um dos sensores conectados na placa de aquisição de dados. Os testes para este trabalho foi pela comparação de 6 sensores LM35 transmitindo dados de temperatura simultaneamente. As avaliações totalizaram 10 aquisições de dados em um período de 60 segundos cada uma, uma aquisição de dados de 10 minutos e uma aquisição de 1 hora para os mesmos sensores em teste.

Este software foi desenvolvido em quatro versões diferentes para operar em análises distintas de verificação dos sensores de temperatura. Uma versão destes softwares é para acompanhar a aquisição de dados, não fornecendo ao usuário qualquer tipo de análise estatística, apenas análise gráfica para cada sensor que é mostrado instantaneamente após as aquisições, na tela do programa, como mostrado na Figura 49.

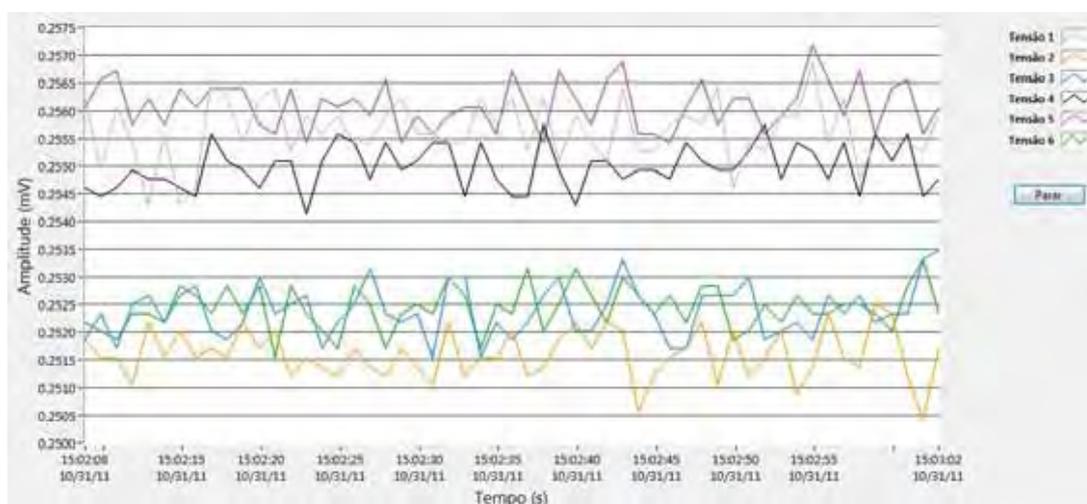


Figura 49. Exemplo da tela do software de verificação da exatidão do sensor LM35 para aquisição de dados de temperatura com mais de um sensor LM35 em medições de curto período de tempo.

As outras versões são para atender as verificações em tempos diferentes, respectivamente, definidos em 1 minuto, 10 minutos e 1 hora. Estas versões

fornece ao usuário a média e o desvio padrão para cada intervalo de tempo para cada software. Estes valores são apresentados na tela do software no término de cada análise e uma cópia da tela é gravada em um arquivo de imagem, como mostrado na Figura 50. Também é gerado um arquivo de texto com todas as amostras coletadas, horário e data.

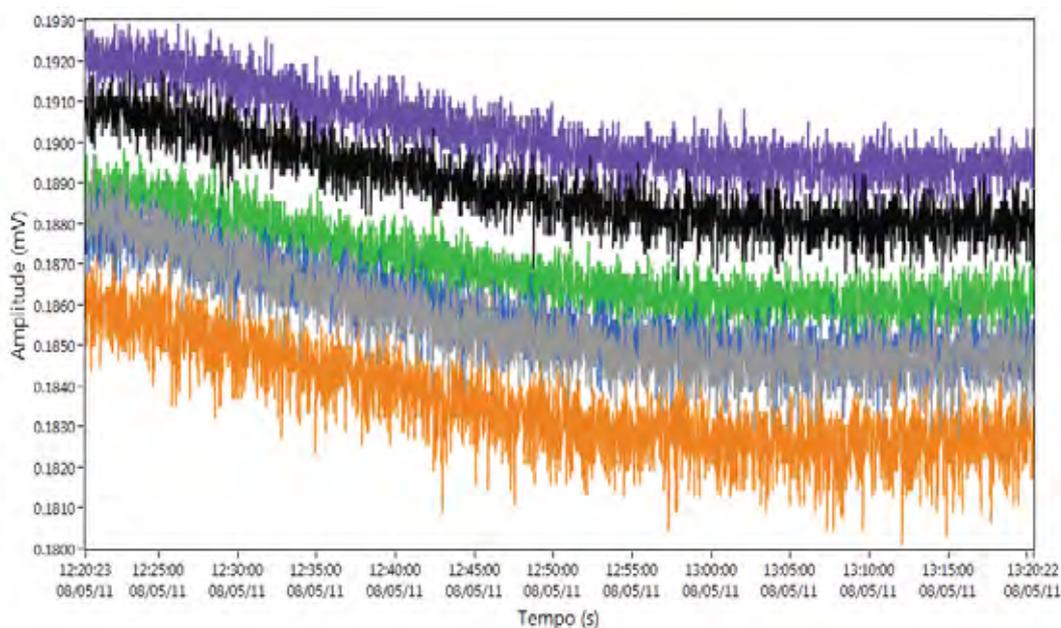


Figura 50. Exemplo de arquivo de imagem gerado pelo software de verificação da exatidão do sensor LM35 após as aquisições de dados.

4.1.4.1 Resultados software de verificação da exatidão do sensor LM35

O software de verificação da estabilidade do sensor LM35 forneceu resultados das avaliações dos 6 sensores avaliados simultaneamente na placa de aquisição de dados. Nas Figuras Figura 51, Figura 52 e Figura 53 estão os resultados apresentados na forma de gráfico e os valores da média e do desvio padrão para as três análises, para o tempo de 1 minuto, 10 minutos e 1 hora.

A análise realizada para o tempo de 60 segundos foi submetida a 10 repetições para obter um número significativo de dados, o que não foi necessário para a análise de 600 e 3600 segundos que devido a exposição dos sensores a um período de tempo

maior durante a aquisição de dados, obtiveram um volume maior de dados para serem analisados estatisticamente.

A Figura 51 mostra um exemplo de como os resultados no gráfico foram apresentados na tela do software. Os resultados das médias e dos desvios padrão são mostrados separadamente em janelas nomeadas na sequencia em que estão dispostas as legendas, sendo respectivamente para a legenda Tensão 1, as janelas são chamadas Média 1 e Desvio Padrão 1.

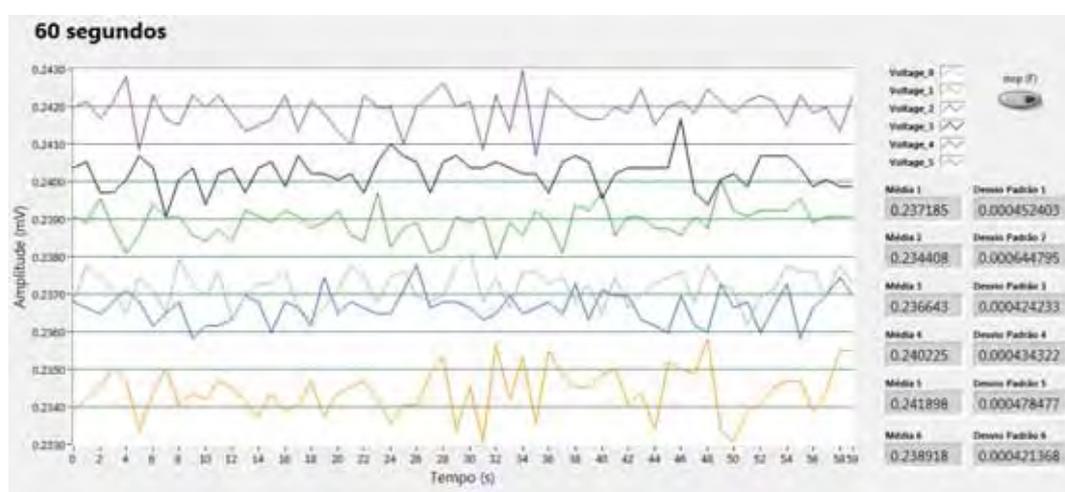


Figura 51. Resultados da análise para o tempo de 1 minuto (60 segundos).

Os resultados das dez análises para o tempo de 60 segundos, sendo os valores das médias e dos desvios padrão, estão apresentados respectivamente na Tabela 8 e Tabela 9.

Nos resultados do primeiro teste, no intervalo de tempo de 60 segundos, observa-se que os sensores apresentaram precisão ao longo das medições, o que é observado pela continuidade em que estas medidas foram apresentadas na Figura 51. No entanto, para as outras análises, esta precisão se repetiu e pode ser observado na Tabela 4, onde estão apresentados os resultados do desvio padrões das medidas.

Tabela 8. Valores da média aritmética obtidos pelo software de verificação da estabilidade do sensor LM35, no total de 10 análises.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| M1 | 0,2372 | 0,2373 | 0,2372 | 0,2374 | 0,2374 | 0,2375 | 0,2375 | 0,2377 | 0,2376 | 0,2378 |
| M2 | 0,2344 | 0,2344 | 0,2342 | 0,2345 | 0,2346 | 0,2344 | 0,2347 | 0,2348 | 0,2346 | 0,2350 |
| M3 | 0,2366 | 0,2367 | 0,2367 | 0,2367 | 0,2368 | 0,2368 | 0,2370 | 0,2368 | 0,2365 | 0,2369 |
| M4 | 0,2402 | 0,2403 | 0,2403 | 0,2404 | 0,2404 | 0,2404 | 0,2403 | 0,2404 | 0,2404 | 0,2405 |
| M5 | 0,2419 | 0,2420 | 0,2420 | 0,2420 | 0,2421 | 0,2421 | 0,2422 | 0,2421 | 0,2420 | 0,2420 |
| M6 | 0,2389 | 0,2390 | 0,2390 | 0,2390 | 0,2390 | 0,2390 | 0,2391 | 0,2391 | 0,2390 | 0,2391 |

***M**= Média Aritmética

**Valores em miliVolts (mV) da média de 1000 amostras por segundo da tensão de saída.

Tabela 9. Valores do desvio padrão obtidos pelo software de verificação da estabilidade do sensor LM35, no total de 10 análises.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| σ_1 | 0,0004 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0004 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0004 | 0,0005 | 0,0004 | 0,0004 |
| σ_2 | 0,0006 | 0,0005 | 0,0006 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0006 | 0,0006 | 0,0005 | 0,0006 | 0,0005 |
| σ_3 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0003 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0005 | 0,0004 | 0,0003 |
| σ_4 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0003 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0004 |
| σ_5 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0003 | 0,0004 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 |
| σ_6 | 0,0004 | 0,0003 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0004 |

* **σ** = Desvio Padrão

Nota-se que o comportamento dos valores dos desvios padrão para todas as análises apresentaram valores em torno da média condizentes com o especificado pelo fabricante, que diz que o sensor LM35 tem um erro em torno de 0,5 °C nas medições a 25 °C. Os dados mostrados nas Tabelas 3 e 4 são os dados da tensão de entrada, sendo assim, para se obter os valores da temperatura em °C esses valores devem ser multiplicado por 100. Deste modo, realizando estas transformações, os valores dos desvios padrão para cada bateria de testes observa-se que as variações da leituras de tempertura é da ordem da segunda casa decimal, o que para aplicações agrícolas esses resultados são satisfatórios.

A Figura 52 mostra os resultados obtidos no período de 600 segundos. Os resultados mostram as diferenças de temperatura entre os sensores, o que era esperado como especificado no manual do fabricante, que poderia haver erros de até 0,5 °C. Em

contrapartida os sensores mostraram-se muito estáveis, apresentando uma repetibilidade dos erros aceitável, como pode ser observado nos resultados do desvio padrão, Tabela 9, que foram na ordem da terceira casa decimal.

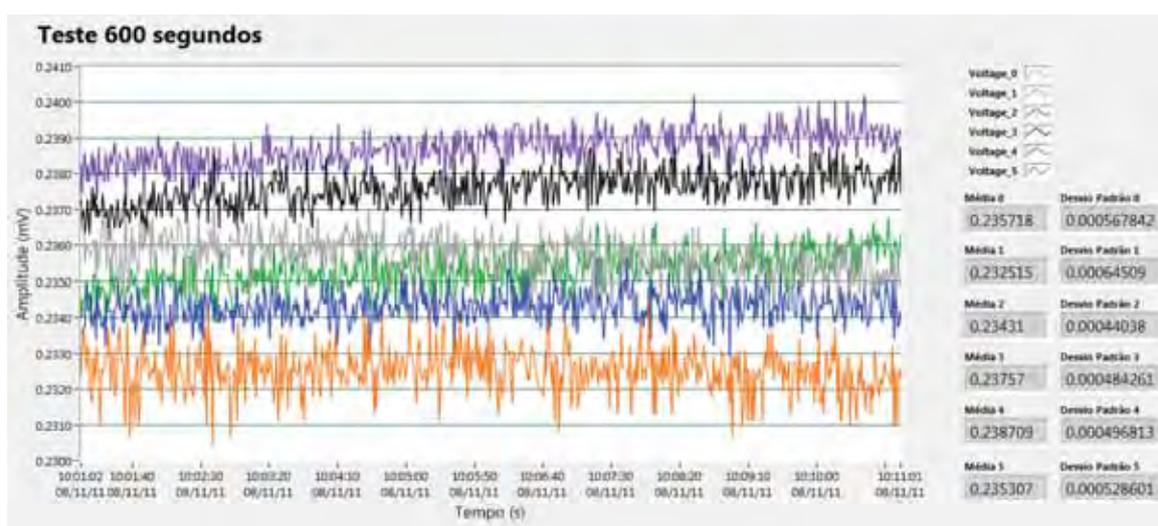


Figura 52. Resultados da análise para o tempo de 10 minutos (600 segundos).

Na Figura 53 é observado no gráfico para os seis sensores adquirindo dados de temperatura que os valores mostrados por cada sensor, em um intervalo de uma hora, que não houve interferência nas transmissões, o que é observado pela precisão com que as medidas foram adquiridas pelo sensor e transmitidas pela placa de aquisição de dados.

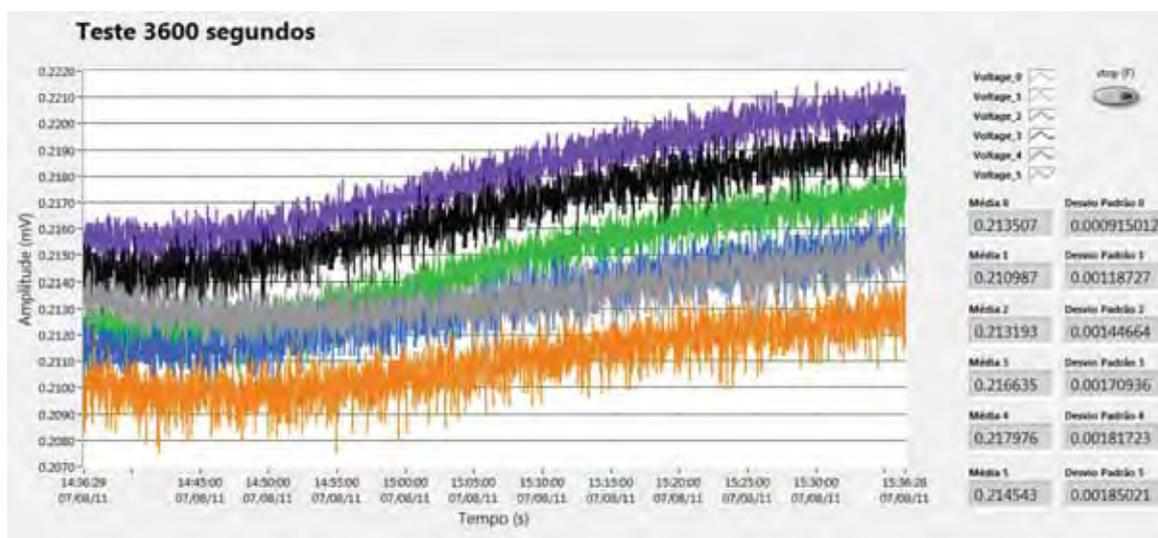


Figura 53. Resultados da análise para o tempo de 1 hora (3600 segundos).

Outro fator importante está na transmissão dos dados de temperatura. Steidle Neto et al. (2005) concluíram que a seleção adequada de condutores e o número de sensores influenciam na transmissão de dados de temperatura influenciando no comprimento dos cabos condutores e nos valores de capacitância total do sistema. Nesse trabalho, os comprimentos dos cabos não influenciaram nos resultados devido à distância entre os sensores e a placa de aquisição de dados ser curta. No entanto, os resultados obtidos mostraram que o número de sensores conectados a placa de aquisição de dados não diminuiu a precisão dos valores obtidos de temperatura pelos sensores LM35.

4.2 Software de aquisição de dados de umidade relativa do ar

O software de aquisição de dados de umidade relativa do ar foi desenvolvido baseado na técnica de medição da largura de pulsos. Os pulsos provenientes do sensor capacitivo são lidos e medidos pelo terminal de entrada do contador (*counter*) da placa de aquisição de dados.

No software, mostrado na Figura 54, estão numeradas as funções. O software já vem pré-configurado não sendo necessário escolher o canal físico que será utilizado para o software estabelecer conexão com o sensor de umidade.



Figura 54. Tela do software de aquisição de dados de umidade relativa do ar.

Na janela representada pelo item número 1 e chamada de “Medição da largura do pulso”, na Figura 54, é apresentado o valor, em segundos, do tempo de duração do pulso no nível lógico alto ou 1. A partir deste dado é calculado o valor da umidade relativa do ar de forma automática pelo software, sendo este valor apresentado na janela “Umidade relativa do ar (UR %)”, item número 2 da Figura 54.

O item 3, assim como no software de aquisição de dados de temperatura, é possível configurar na janela de controle a “Taxa de amostragem”. Deste modo a aquisição de dados de umidade relativa do ar pode ser ajustada para adquirir dados de tempo em tempo. Logo abaixo, item 5, estão as janelas de data e hora que são disponibilizados ao usuário com base no relógio do sistema computacional em que o software está operando.

No item número 4 é mostrado um gráfico da variação da capacitância do sensor em relação ao tempo. Por meio deste gráfico é possível acompanhar em tempo real as variações que estão ocorrendo no ambiente em que estão sendo medida a umidade relativa do ar.

O software conta ainda com dois botões “Gravar dados” e “Parar”, respectivamente itens 6 e 7, sendo o primeiro para iniciar o registro dos dados de umidade relativa do ar no computador, da mesma forma do software de aquisição de dados de

temperatura, é sugerido ao usuário um nome baseado no horário e data em que o arquivo está sendo gerado. O botão “Parar” deve ser pressionado quando é desejado interromper a aquisição de dados.

4.2.1 Resultados do software de aquisição de dados de umidade relativa do ar

A validação do sistema de aquisição de dados de umidade relativa do ar foi realizada em laboratório adquirindo dados em um período 3 horas e 30 minutos, com dados coletados segundo a segundo. A opção oferecida pelo software para ajustar a taxa de amostragem é de relevante importância, tendo em vista que existem estudos para avaliar o efeito da frequência de amostragens de variáveis agrometeorológicas para estimar a evapotranspiração de referência (HUPET e VANCLOOSTER, 2001).

O software estabeleceu comunicação com a placa de aquisição de dados, sem a necessidade de um programador especialmente destinado a esta tarefa, como em projetos que envolvem microcontroladores na medição da umidade relativa do ar (SILVA et al.,2007). Deste modo, o *LabVIEW* permitiu a programação da interface gráfica homem-máquina pelo próprio pesquisador.

O software foi projetado com pré-configurações dos canais da placa de aquisição de dados e com medições da largura de rampa em rampa de subida, não apresentando nenhum conflito na execução do software.

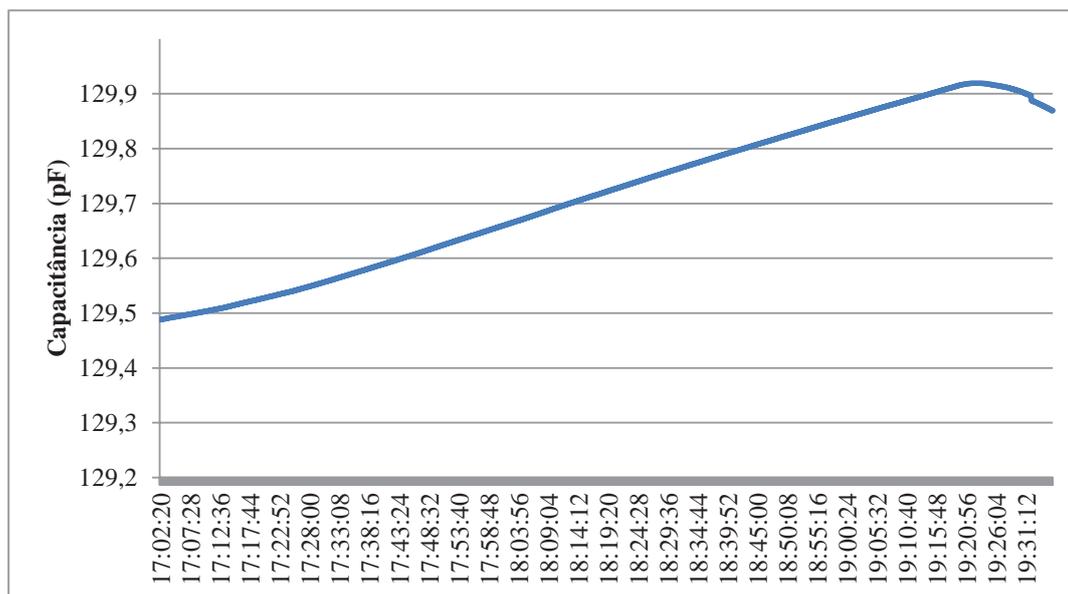


Figura 55. Variação da capacitância do sensor de umidade relativa do ar (UR%).

Os dados durante o período de coleta foram registrados em um arquivo de texto e armazenados no computador. A partir desse arquivo de texto os dados foram importados para uma planilha do Excel, onde foi gerado o gráfico mostrado na Figura 55.

No gráfico da Figura 55 é mostrada a relação dos valores da capacitância do sensor em relação ao período das aquisições. Por meio da tabela que relaciona os valores da capacitância aos valores da umidade relativa do ar, os valores da umidade relativa do ar ficaram estáveis durante o período das aquisições, em torno de 60%. Assim, é notável que a capacitância do sensor variou muito pouco, na ordem de 0,4 pF.

Os valores mostrados no gráfico da mostram a estabilidade com que a placa de aquisições de dados adquiriu os dados do sensor de umidade relativa do ar capacitivo. Isto é possível observar pela variação de 0,4 pF que ocorreu e a pela casa decimal que o conversor A/D da placa consegue mostrar com precisão, sendo a unidade “pico” apresentar valores na ordem de 10^{-12} , fica evidente o quão preciso são os valores obtidos e os quais se manteve estável durante todo o período de aquisição de dados.

4.3 Coletor de dados pluviométricos

O software de coleta de dados de precipitação pluviométrica foi desenvolvido em duas versões dentro de um mesmo programa, ou seja, o programa está dividido em dois módulos que o usuário escolhe entre registrar a intensidade da chuva ao longo do tempo ou contar o número de eventos ocorridos, também ao longo do tempo, ou as duas opções simultaneamente.

Ao executar o software o usuário deverá pressionar o botão “Iniciar aquisição”, que está localizado em cada um dos módulos, para o programa criar um arquivo de texto referente ao modelo selecionado, tanto para o registro de intensidade de chuva quanto para contagem de eventos. Deste modo, ao clicar no botão “Iniciar aquisição”, será aberta uma caixa de diálogo e o próprio software irá sugerir um nome para o arquivo de texto, sendo a hora e a data atuais no momento do click e uma sigla que irá a frente dos nomes, “ri” e “ce”, para diferenciar os arquivos de cada tipo de aquisição, sendo “ri” registro de intensidade e “ce” contagem de eventos.

Os dois modelos contam com uma tabela que irá mostrar ao usuário todos os eventos registrados, desde o início das aquisições. Abaixo desta tabela existe um botão chamado “Limpar tabela”, que o usuário pode acioná-lo a qualquer momento para apagar os dados mostrados na tabela sem que os dados registrados no arquivo de texto sejam alterados.

O módulo “Registro de intensidade” conta com a opção de integralizar e registrar os dados dentro de um determinado intervalo de tempo previamente escolhido pelo usuário. Por padrão, ao inicializar o software, este valor irá integralizar os dados a cada 1 minuto, por exemplo, se a coleta de dados iniciou as 15:00:00 e a partir deste horário houve algum evento, as 15:01:00 será armazenado o primeiro registro referente a este período.

Para evitar perdas de dados, caso o programa seja executado e as aquisições deram início às 15h:00m:30s, o programa automaticamente irá registrar se houver algum evento, às 15h:01m:00s, mesmo que não foi completado um minuto. Isto ocorrerá no início de todas as aquisições, como medida de proteção contra perdas de dados. A partir deste período, as integralizações dos dados ocorrem normalmente em intervalos regulares, de acordo com a opção escolhida pelo usuário.

Nos dois módulos, existem duas caixas visualizadoras de auxílio ao usuário, que irão mostrar onde o arquivo de texto gerado foi salvo, inclusive o nome dado ao arquivo, na caixa correspondente ao título “Diretório selecionado”. Na caixa acima denominada “Último registro armazenado” é mostrado ao usuário à última integralização ocorrida, no caso, para o módulo registro de intensidade, ou o último evento registrado para o contador de eventos.

Na Figura 56 é mostrado a interface gráfica do coletor de dados pluviométricos em funcionamento. Neste caso, os dois módulos estão sendo executados simultaneamente e para indicar que os módulos estão em andamento um *led* indicador de estado posicionado entre o botão “iniciar aquisição” e a tabela começa a piscar. Outro indicativo é a substituição do nome do botão “Iniciar aquisição” por “Parar aquisição”.

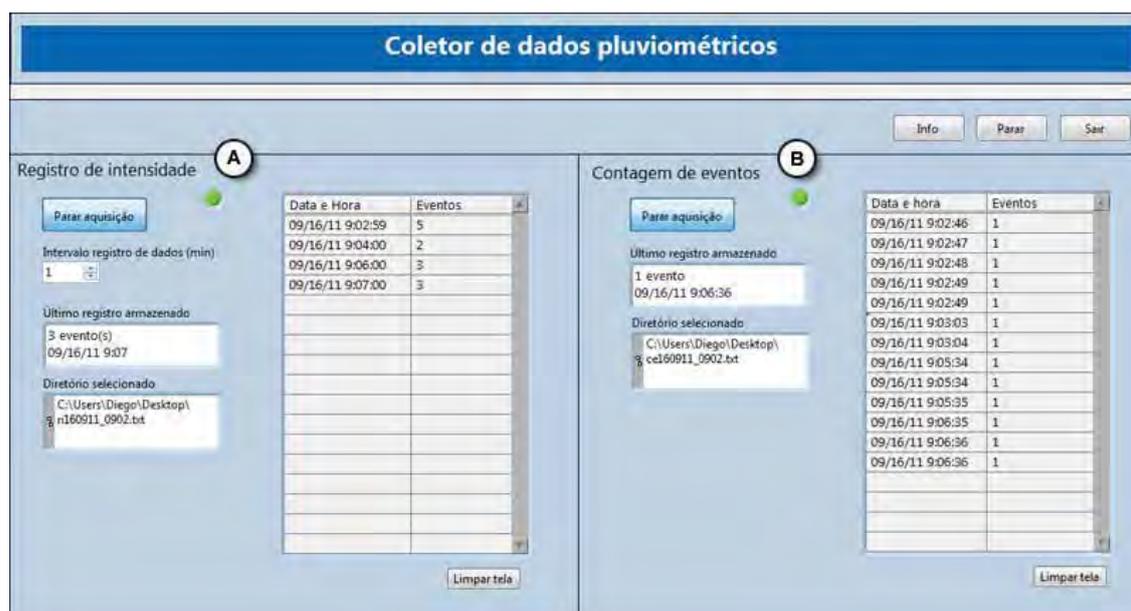


Figura 56. Interface gráfica do coletor de dados pluviométricos. (A) Módulo de registro de intensidade de chuva. (B) Módulo de contagem de eventos pluviométricos.

A qualquer momento o usuário pode parar a aquisição de dados e inicializar outra tarefa que automaticamente outro arquivo de texto será gerado para armazenar os dados que serão coletados posteriormente. Caso é iniciado uma aquisição, logo em seguida abortado a tarefa e iniciado novamente uma nova aquisição, sendo estas atividades ocorrendo

no mesma hora e minuto, o software registrará os dados no mesmo arquivo gerado neste intervalo de tempo, ao menos que o usuário renomeie o arquivo de texto.

No canto superior direito estão posicionados três botões denominados “Info”, “Parar” e “Sair”. Ao clicar no botão “Info” serão apresentadas informações básicas do software ao usuário sobre o propósito do programa de coleta de dados pluviométricos. O botão “Parar” é utilizado para interromper uma aquisição de dados e principalmente dar o comando a placa de aquisição de dados para encerrar as atividades e limpar as configurações da placa. Por final, o botão “Sair” é utilizado para fechar o programa no sistema operacional em que está sendo executado, sendo desta forma recomendado toda vez que o usuário desejar encerrar uma aquisição, primeiro clicar no botão “Parar” e em seguida no botão “Sair”, como mencionado na seção de funcionamento do software de temperatura.

4.3.1 Resultados obtidos do coletor de dados pluviométricos

Os resultados do software de coleta de dados pluviométricos foram produto de simulações realizadas no laboratório, conforme metodologia descrita. A cada simulação foi gerado um relatório com os dados coletados que foram armazenados em um arquivo de texto para serem analisados. Cada ensaio foi repetido 15 vezes e os dados amostrados foram submetidos à análise estatística.

A primeira simulação, cada repetição durou em média 41 minutos, registrando aproximadamente um evento por minuto. A média de eventos por repetição foi de 40,73 eventos apresentando um desvio padrão em torno da média de 1,79. Na Figura 57 é mostrado o total de eventos por repetição.

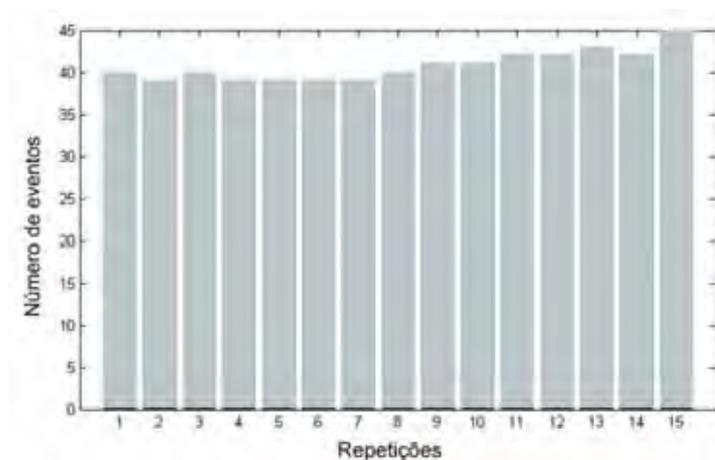


Figura 57. Resultados das medições da simulação de eventos com ocorrência de 1 evento por minuto, aproximadamente.

Considerando que o manual do fabricante do pluviômetro especifica um erro de $\pm 4\%$ na medição, nesta análise o pluviômetro apresentou em média um erro de 21% para todas as repetições, um erro muito acima do esperado.

Na segunda simulação, para uma intensidade de chuva maior, aproximadamente 3 eventos por minuto, cada repetição foi executada em um tempo médio de 23 minutos. Na figura 5 é mostrado o comportamento do total de eventos para as 15 repetições. Em média foram registrados 41,27 eventos, apresentando um erro médio nas medidas de 20,64%.

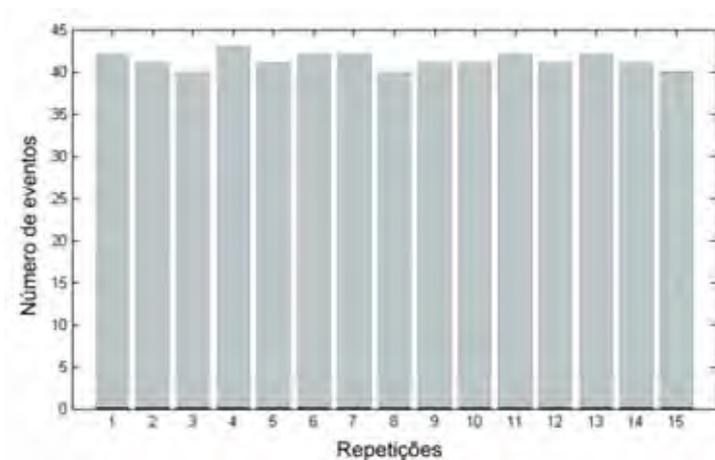


Figura 58. Resultados das medições da simulação de eventos com ocorrência de 2 a 3 eventos por minuto.

O pluviômetro apresentou um erro muito acima do especificado pelo fabricante para as duas simulações e deve ser recolhido das tarefas de medições e enviado a um laboratório credenciado para ser calibrado e retornar ao campo.

Nota-se também que o gotejador utilizado para simular intensidade de chuva apresentou uma uniformidade aparente entre as medições, observando que a simulação de chuva mais intensa não modificou as leituras do pluviômetro. Este fenômeno é observado em aplicações onde a intensidade é maior do que uma chuva torrencial e os pingos passam direto pela balsa, não contabilizando a quantidade exata de água que entra na abertura de captação da água da chuva.

O instrumento virtual apresentou funcionamento satisfatório de aquisição e registro de dados pluviométricos para fins de verificação de pluviômetros de balsa. Observou-se que o mesmo pode ser considerado uma ferramenta bastante útil no processo de aferição e calibração de pluviômetros basculantes.

4.4 Instrumento Virtual de Conexão Serial

Este software foi projetado para estabelecer conexão com qualquer instrumento de medida que seja equipado com uma saída de comunicação serial. A Figura 59 mostra a interface gráfica do software de aquisição de dados via porta serial.

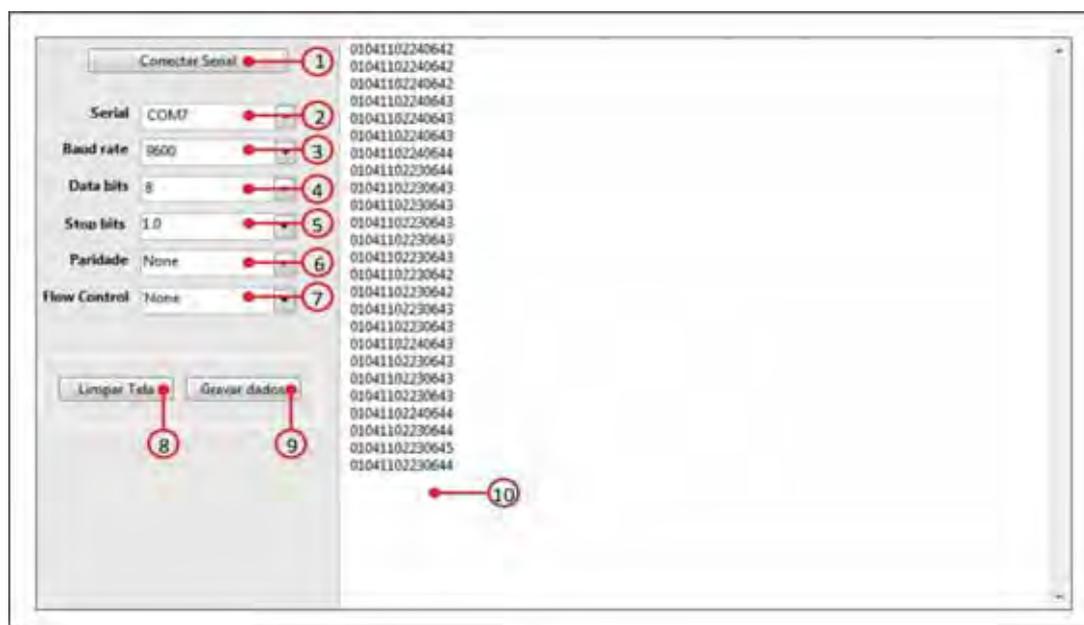


Figura 59. Interface gráfica do software de aquisição de dados serial.

1. Botão Conectar/Desconectar Serial,
2. Caixa de seleção da porta serial
3. Caixa de seleção da *Baud rate*
4. Caixa de seleção do *Data bits*
5. Caixa de seleção do *Stop bits*
6. Caixa de seleção da paridade
7. Caixa de seleção do *Flow Control*
8. Botão Limpar Tela
9. Botão Gravar Dados
10. Caixa de texto

Ao executar o programa de aquisição de dados serial, automaticamente será pesquisado pelo software, qual porta serial (COM1, COM2...) do computador está livre ou se algum instrumento está conectado, assim, na caixa de texto “serial” aparecerá a porta disponível para conexão. O usuário deverá selecionar a porta livre para efetivar a conexão.

Antes de estabelecer a conexão do software com a porta serial, previamente o usuário deverá configurar as opções numeradas dos itens 3 ao 7, de acordo com

o instrumento de medida que será utilizado para estabelecer comunicação com o software. Seguindo a ordem dos itens, primeiro o usuário deverá saber qual a taxa de transmissão de dados do instrumento. Sabendo este valor, na caixa de seleção “*Baud rate*” deve-se escolher o valor compatível com o instrumento. Por padrão, o *software* já vem configurado para dar suporte aos instrumentos com taxa de transmissão entre 110 e 57600 bps, sendo que geralmente, a maioria dos aparelhos utilizados em laboratório de pesquisas a *Baud rate* é de 9600 bps.

O próximo item (4), *Data bits*, determina o tamanho em *bits* dos dados (*strings*) que serão transmitidos, sendo este valor, geralmente de 1 *byte* ou 8 *bits*. Há casos específicos que são utilizados tamanhos menores, para se obter maior velocidade de transmissão, sendo estes o valor do *Data bit* reduzido para 5,6 ou 7 *bits*, o que não é muito comum em instrumentos de medição.

O item número 5, o usuário deverá selecionar o tamanho do *bit* responsável pela separação entre os dados, o que é feito colocando um *bit* de referência no final de cada *string*, sendo este *bit* chamado de *Stop bit* e pode ser de 1, 1,5 ou 2 *bits*. Desta forma o software que recepcionará os dados consegue sincronizar com as informações recebidas em intervalos de tempo diferentes.

Em seguida, a opção “Paridade”, item número 6, é uma ferramenta para verificar se os dados que estão chegando são exatamente os dados que foram enviados, deste modo verificando a precisão de recepção dos dados pelo *software*. Geralmente, esta opção não é utilizada, podendo o usuário deixá-la no modo nulo (*None*).

A última configuração é do protocolo de controle de fluxo dos dados, esta opção determinará quando a recepção dos dados irá começar ou parar. O controle de fluxo RTS/CTS é o mais usado e seu funcionamento é pelo envio de um sinal RTS (*Request to Send*) ao receptor, para avisá-lo que iniciará o envio de dados. Ao receber o sinal RTS, se o receptor estiver livre, ele envia um sinal de resposta CTS (*Clear to Send*), indicando que o receptor está livre para iniciar a comunicação, ou seja, a transferência de dados.

O recebimento de dados por meio da comunicação serial permitiu o armazenamento desses dados de maneira simples em arquivos de texto, que podem ser abertos em qualquer sistema computacional e também, permitiu a manipulação do conteúdo desse arquivo, sendo este recurso utilizado principalmente para separação de dados e análises.

4.4.1 Resultados do recebimento de dados pelo software de conexão serial

Os dados adquiridos pelo software nessa avaliação foram recebidos por um instrumento do modo em que esses dados são enviados pelo instrumento. Cada instrumento, desde que seja dotado de saída serial, geralmente estão programados para enviar esses dados serialmente em uma única *string* ou cadeia de caracteres, de tal forma que essa *string* pode ser manipulada posteriormente para separar os dados desejados.

Para a validação deste software foi conectado na saída serial do computador um termo-higrômetro HTR-152 com taxa de amostragem de 0,8 segundos, sendo deste modo, enviado ao software os dados contendo valores da temperatura e umidade relativa do ar do laboratório onde foram realizados os testes.

Os dados foram coletados durante uma hora e armazenados em um arquivo de texto. Isto foi possível devido ao suporte que o software fornece para realizar o armazenamento de dados. No arquivo de texto gerado, a cada aquisição de dados do instrumento foi registrado a data e hora que cada *string* foi adquirida.

A partir desse arquivo de texto foi realizado o tratamento dos dados e apresentados em um gráfico como mostrado na Figura 60. Assim, apenas os valores da temperatura e umidade relativa do ar foram extraídos para compor o arquivo de texto final, contendo a data e hora e os dados de interesse.

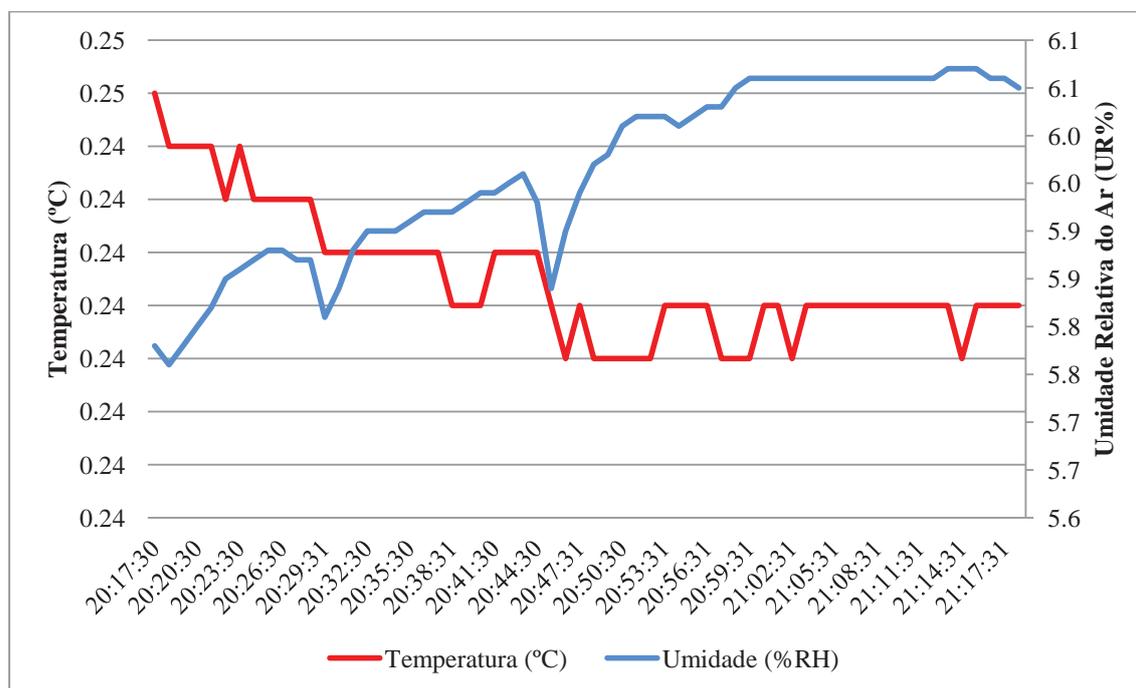


Figura 60. Resultados da aquisição de dados da temperatura e umidade relativa do ar pelo software de comunicação serial.

No gráfico são mostrados os dados adquiridos minuto a minuto, o que foi uma opção no momento do tratamento dos dados, sendo que estes dados no arquivo original são mostrados segundo a segundo. O que não impede a geração de gráficos neste intervalo de tempo, adequando as exigências de cada projeto de pesquisa ou apenas relatórios.

Assim, fica claro que existem inúmeras possibilidades para tratar esses dados a partir do arquivo gerado. Nesse caso, esses dados foram importados para uma planilha do Excel no Windows para gerar uma análise gráfica. No entanto, esses dados podem ser submetidos a outros softwares que executam análises específicas, como por exemplo, o MatLab, que é um software versátil possibilitando a realização de muitas análises, inclusive análises estatísticas.

O software de aquisição de dados de comunicação serial inclui uma vantagem de estabelecer conexão qualquer instrumento que seja equipado com uma saída de comunicação serial no padrão RS-232. Isto pode ser feito ajustando as configurações que o software fornece para se adequar as exigências técnicas do instrumento para estabelecer a conexão entre os equipamentos e realizar a transmissão dos dados.

No intuito do software estabelecer conexão com qualquer instrumento e apresentar os dados recebidos na tela do computador por meio do software de aquisição de dados de comunicação serial, foi projetado uma janela de apresentação dos dados com um tamanho genérico, para que os dados sejam apresentados individualmente em cada linha, assim os dados não são confundidos pelo usuário.

Desta mesma forma, o software organiza os dados recebidos no arquivo de texto que será gerado. Esta técnica foi empregada para que o tratamento dos dados não gerasse confusões no momento de importar esses dados para algum software, como por exemplo, o Excel, onde os dados são dispostos separadamente nas células da planilha.

Esse software conta com a vantagem de ser utilizado sem o intermédio da placa de aquisição de dados, aderindo versatilidade no seu uso permitindo maior integração com instrumentos com saída de dados no padrão serial RS-232. Com essa flexibilidade, é possível reduzir custos em projetos ou aplicações devido à redução dos componentes de *hardwares* em sistemas de aquisição de dados.

4.5 Desenvolvimento da interface homem-máquina para integração dos softwares

A proposta inicial do trabalho foi o desenvolvimento de softwares de aquisição de dados de temperatura, umidade relativa do ar, precipitação pluviométrica e um software genérico de comunicação serial de forma independente. Nessa segunda etapa do trabalho, a proposta foi integrar esses softwares em um único sistema de monitoramento dessas variáveis meteorológicas.

Centralizar os dados adquiridos em uma única interface permite a aquisição dos dados, o monitoramento contínuo dessas variáveis e a correlação entre elas por meio da interface gráfica para tornar a interatividade com o usuário amigável (AFONSO, PEREIRA e MARTINS, 2011). O uso do *LabVIEW* para estes fins ampliam as possibilidades de integração de diferentes tipos *hardwares* na arquitetura de estações meteorológicas aumentando assim, a versatilidade dos sistemas de medições, por exemplo, para serem usadas nos cálculos da evapotranspiração, umidade do solo e previsões (DONCIU, COSTEA e SELIMAN, 2007).

A interface homem-máquina dos softwares integrados proposta foi dividida em três módulos em uma mesma tela de visualização. Na Figura 61 é possível ver os módulos identificados com as letras A, B e C, sendo que cada módulo está representado por uma cor diferente para melhor visualização.

No módulo A são mostrados os parâmetros físicos que estão sendo medidos por meio de mostradores analógicos e por mostradores digitais (numéricos). No caso da temperatura, item 1, é mostrado o valor no mostrador analógico e digital em tempo-real e os valores da temperatura máxima e mínima medidos nas últimas 24 horas. No item 2, semelhante a medição de temperatura, estão os mostradores analógico e digital (numérico) do valor da umidade relativa do ar, também em tempo-real. Ainda é mostrado os valores da umidade relativa máxima e mínima, conforme os dados são atualizados. No item número 3, estão posicionados o mostrador gráfico do índice pluviométrico, o display digital e uma janela que mostra o último evento ocorrido.

Ainda no módulo A, no canto inferior esquerdo está posicionado uma janela que mostra a data e a hora atualizadas de acordo com o computador em que o software está sendo executado. No centro, do lado direito da janela do horário, está o botão “Parar”, que deve ser acionado caso haja necessidade de parar o monitoramento das variáveis físicas do sistema sem que o software seja encerrado, deste modo é possível executá-lo para continuar a receber os dados novamente.

O módulo B está posicionado no centro do software, sendo a parte definida para mostrar os gráficos com os dados históricos de temperatura, umidade e índice pluviométrico para serem mais bem visualizados. No primeiro gráfico, posicionado na parte superior, são mostrados os valores de temperatura e umidade relativa do ar em tempo-real. Note que este gráfico possui dois eixos verticais com escalas diferentes, sendo um para cada parâmetro. No gráfico inferior são mostrados os valores da precipitação diária do mês corrente, assim é possível acompanhar a variação da ocorrência de chuvas durante um determinado mês.

Por ultimo, o módulo C, está acoplado um subVI ou uma sub-rotina do software de comunicação serial. A partir desse módulo é possível conectar a qualquer instrumento que tenha saída para se comunicar serialmente. As configurações nesse módulo devem ser efetuadas do mesmo modo como foi descrito na seção 4.4. Assim, depois de

configurado, os dados são mostrados na janela de texto posicionada na parte superior do módulo C.

Essa proposta desenvolveu uma interface onde são mostradas ao usuário todas as variáveis mensuradas em tempo-real com o registro dos dados no computador. Sendo assim, todo processo é monitorado e com isso podem ser desenvolvidos sistemas de alertas para determinadas situações de acordo com as necessidades do usuário, o que desta forma, aumenta a eficiência nas tomadas de decisões de forma prática no campo.

Existem diversas soluções para a aquisição de dados de parâmetros físicos e cada uma utiliza diferentes tipos de técnicas. No entanto, o melhor uso dessas técnicas depende de fatores relacionados ao tipo de aplicação em que serão empregadas, custos e ao acesso a tecnologia (software e hardware) por parte do usuário. Assim nesse trabalho, a proposta final foi apresentar ao usuário uma ferramenta precisa de aquisição de dados e que permite a customização de acordo com as necessidades de cada um.

Portanto, o uso dessa plataforma ampliam as possibilidades de reaproveitar os softwares desenvolvidos em outras aplicações ou mesmo desenvolver softwares com características de multi-funções de forma que o próprio usuário possa configurá-lo e adequá-lo as exigências de suas aplicações.

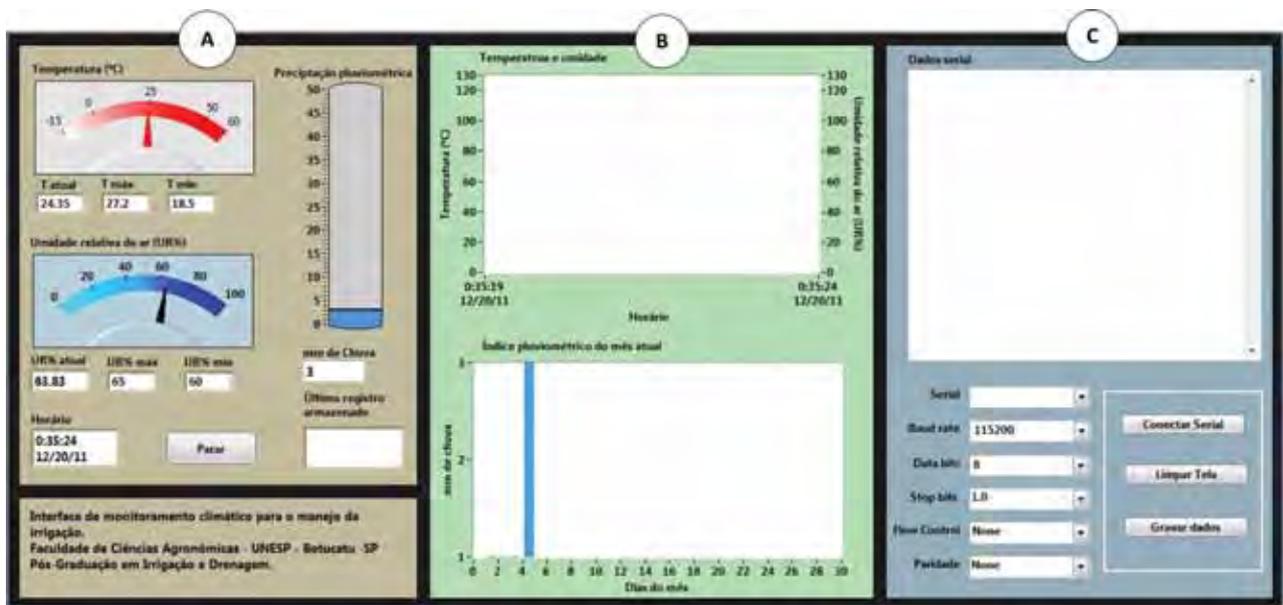


Figura 61. Interface homem-máquina do software de monitoramento agrometeorológico. A- Visualizadores analógicos e mostradores digitais dos valores de temperatura, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica. B- Na parte superior é mostrado um gráfico do comportamento diário da temperatura e umidade relativa do ar e, na parte inferior, são mostrados valores da precipitação acumulada no mês. C- Módulo de comunicação serial.

5 CONCLUSÕES

- A plataforma gráfica *LabVIEW* permitiu o desenvolvimento de softwares que se integraram com componentes de um sistema de aquisição de dados de forma eficiente e com recursos de visualização, monitoramento em tempo real e armazenamento dos dados.
- Os softwares geram um conjunto de arquivos de dados com os parâmetros agrometeorológicos que podem ser utilizados em diversas aplicações agrícolas, sendo que para fins de irrigação os dados podem ser utilizados como base para o cálculo da necessidade hídrica das culturas.
- Os arquivos de dados no formato texto podem ser importados diretamente para diversos softwares aplicativos e em diversas plataformas operacionais diferentes.
- O estudo sobre medição térmica mostrou que o sensor LM35 apresentou bons níveis de exatidão e precisão nas medidas, podendo ser empregado em várias aplicações agrícolas.
- O “Software de monitoramento e gravação de dados de temperatura” mostrou-se eficiente para realizar tarefas de data aquisição de dados da temperatura utilizando sensores com saída linear de tensão.
- O estudo sobre medição de umidade mostrou que o sensor Philips H1 apresentou estabilidade nas medidas durante o interfaceamento entre o circuito que o sensor estava conectado e a placa de aquisição de dados.

- O “Coletor de dados pluviométricos” contribuiu para o aumento da confiabilidade da aquisição dos dados pluviométricos por meio da implementação de um filtro digital de ruídos da rede e/ou circuito elétrico.

- O software “Instrumento Virtual de Conexão Serial” mostrou compatibilidade com instrumentos dotados de uma saída de comunicação serial sem o intermédio de uma placa de aquisição de dados.

- A integração dos softwares tornou amigável e mais eficiente a apresentação do monitoramento dos parâmetros físicos devido a centralização desses dados em uma única interface homem-máquina;

- Utilizar a plataforma *LabVIEW* como uma ferramenta em aplicações de aquisição de dados permitiu um rápido desenvolvimento dos softwares principalmente nas tarefas de comunicação dos sensores com a placa de aquisição de dados, mostrou-se uma ferramenta altamente eficiente para o desenvolvimento de novos produtos tecnológicos aplicados na área agrícola.

6 REFERÊNCIAS

AFONSO, M.; PEREIRA, P.; MARTINS, J. Weather monitoring system for renewable energy power production correlation. In: CAMARINHA-MATOS, L. (Org.). **Technological innovation for sustainability**. Boston: Springer, 2011. p. 481-490.

AUSTERLITZ, H. Analog signal transducers. In: AUSTERLITZ, H. **Data acquisition techniques using pcs**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 2003. p. 6-28.

BALBINOT, A.; BRUSAMARELLO, V. J. **Instrumentação e fundamentos de medidas**. Rio de Janeiro: LTC, 2006. v. 1. 672 p.

BENGHANEM, M. A low cost wireless data acquisition system for weather station monitoring. **Renewable Energy**, Oxford, v. 35, n. 4, p. 862-872, abr. 2010.

BRAGA, N. C. Como funcionam os conversores A/D - Parte I. Saber Eletrônica, São Paulo, Ano 42, n. 402, jul. 2006. Disponível em: <<http://www.sabereletronica.com.br/secoes/leitura/689>>. Acesso em: 01 mar. 2011.

BRAGA, N. C. Aquisição de dados. Saber Eletrônica, São Paulo, Ano 44, n. 425, jun. 2008. Disponível em: <<http://www.sabereletronica.com.br/secoes/leitura/831>>. Acesso em: 01 mar. 2011.

CAPRARO, F.; TOSETTI, S.; SERMAN, F. V. Laboratorio virtual y remoto para simular, monitorizar y controlar un sistema de riego por goteo en olivos. **Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial**, Valencia, v. 7, n. 1, p. 73-84, jan. 2010.

CAPRARO, F. et al. Sistema de monitoreo continuo de la humedad en suelo para el control de riego en un olivar (*Olea europaea* L.) empleando LabVIEW. In: JORNADAS DE INFORMÁTICA INDUSTRIAL, 37., 2008, Santa Fé. **Anales...** Santa Fe: SADIO, 2008. p. 28-42.

CUNHA, J. B. Greenhouse climate models: an overview. In: EUROPEAN FEDERATION FOR INFORMATION TECHNOLOGY IN AGRICULTURE CONFERENCE, 2003, Debrecen. **Proceedings...** Debrecen: EFITA, 2003. p. 823-829.

CUNHA, R. L. R. Aquisição de dados CompactDAQ. *Saber Eletrônica*, São Paulo, Ano 42, n. 404, set. 2006. Disponível em: <<http://www.sabereletronica.com.br/secoes/leitura/664>>. Acesso em: 02 mar. 2011.

DAVIS INSTRUMENTS. Rain Collector 7852M. Hayward, 2007. Disponível em: <http://www.davisnet.com/product_documents/weather/spec_sheets/7852_spec_Rev_E.pdf>. Acesso em: 05 out. 2010.

DE SILVA, C. W. **Sensors and actuators: control system instrumentation**. Boca Raton: Taylor & Francis, 2007. 698 p.

DESJARDIN, L. Virtual instruments and the role of software. In: COOMBS, J. C. F. (Ed.). **Electronic instrument handbook**. New York: McGraw-Hill, 1995. p. 44.1-44.14.

DONCIU, C.; COSTEA, O.; SELIMAN, C. Environmental station for meteo measurements. In: SYMPOSIUM ON MEASUREMENT AND INSTRUMENTATION FOR ENVIRONMENTAL MONITORING, 1., 2007, Iasi. **Proceedings...** Iasi: IMEKO, 2007. 5 p.

DUNN, W. C. **Introduction to instrumentation, sensors, and process control**. Boston: Artech House Sensors Library, 2006. 354 p.

EMBRAPA. Monitoramento de irrigação no Cerrado. Brasília, DF. Disponível em: <<http://hidro.cpac.embrapa.br/help.html>>. Acesso em: 13 jan. 2011.

FERRASA, M.; BIAGGIONI, M. A. M.; DIAS, A. H. Sistema de monitoramento da temperatura e umidade em silos graneleiros via radiofrequência (RF). **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 25, n. 2, p. 139-156, 2010.

FERREIRA, J. M. A. D. **Sistema de aquisição de dados para um veículo eléctrico**. 2010. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Electrotécnica)-Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2010.

FOWLER, K. R.; SCHMALZEL, J. L. Sensors: the first stage in the measurement chain. **Instrumentation & Measurement Magazine**, Piscataway, v. 7, n. 3, p. 60- 65, Sept. 2004a.

FOWLER, K. R.; SCHMALZEL, J. L. Why do we care about measurement? **Instrumentation & Measurement Magazine**, Piscataway, v. 7, n. 1, p. 38-46, Mar. 2004b.

FRADEN, J. **Handbook of modern sensors**. 4. ed. New York: Springer, 2010. 663 p.

FREIRE, D. N. B.; FRAZÃO, D. A. G.; VIEIRA, L. A. Sistema de monitoramento inteligente para cultivo em áreas cobertas. Engenharia de Computação em Revista, Belém, 2008.

Disponível em: <<http://www3.iesampa.edu.br/ojs/index.php/computacao/article/view/162/151>>. Acesso em: 21 fev. 2011.

GAO, L.; LIN, J. LabVIEW and internet based remote water level control laboratory. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INFORMATION TECHNOLOGIES AND APPLICATIONS IN EDUCATION, 2007, Kunming. **Proceedings...** Kunming: IEEE, 2007. p.187 - 188.

GARCIA, R. F. et al. Programa computacional para aquisição de dados para avaliação de máquinas agrícolas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 375-381, 2003.

GARCIA, R. F. et al. Desempenho operacional de conjunto trator-recolhedora de feijão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 199-206, jan./abr. 2005.

HELFRICK, A. D.; COOPER, W. D. **Instrumentação, eletrônica moderna e técnicas de medição**. Rio de Janeiro: Prentice-Hall do Brasil, 1994. 324 p.

HEZARJARIBI, A. **Site-specific irrigation: improvement of application map and a dynamic steering of modified centre pivot irrigation system**. 2008. 207 f. Thesis (Doctor's of Agricultural Sciences)-Faculty of Agricultural Sciences, Nutritional Sciences and Environmental Management, Justus Liebig University Giessen, Braunschweig, 2008.

HONEYWELL. **HIH-4010/4020/4021: humidity series**. Minneapolis: Datasheet, 2007. 8p.

HUPET, F.; VANCLOOSTER, M. Effect of the sampling frequency of meteorological variables on the estimation of the reference evapotranspiration. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.243, n. 3/4, p. 192-204, mar. 2001.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Informações sobre o tempo. Brasília, DF. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/html/informacoes/curiosidade/sobre_tempo.html>. Acesso em: 07 nov. 2011.

INMETRO. **Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia**. 2. ed. Brasília, DF: SENAI/DN, 2000. 75 p.

KOONTZ, J. Using LabVIEW to automate commercial irrigation. Austin, 1995. Disponível em: <<http://200.126.14.82/web/NationalInstruments/Instrupedia/instrupedia/pdf/csma/us/360706a1.pdf>>. Acesso em: 11 jan. 2011.

MIRINEJAD, H. et al. Design and simulation of an automated system for greenhouse using LabVIEW. **American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences**, Faisalabad, v. 3, n. 2, p. 279-284, mar. 2008.

MOLINA-MARTÍNEZ, J. M.; RUIZ-CANALES, A. Pocket PC software to evaluate drip irrigation lateral diameters with on-line emitters. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 69, n. 1, p. 112-115, nov. 2009.

MOLINA-MARTÍNEZ, J.M. et al. RaGPS: a software application for determining extraterrestrial radiation in mobile devices with GPS. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 78, n. 1, p. 116-121, ago. 2011.

NATIONAL INSTRUMENTS. NI USB-6221 BNC. Austin, 2008. Disponível em: <<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/203867>>. Acesso em: 07 jan. 2011.

NATIONAL INSTRUMENTS. Instrumentação virtual. Austin, 2009. Disponível em: <<http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/9909>>. Acesso em: 27 dez. 2010.

NATIONAL INSTRUMENTS. What is LabVIEW? Austin, 2010. Disponível em: <<http://www.ni.com/labview/whatis/>>. Acesso em: 27 dez. 2010.

NATIONAL SEMICONDUCTOR. LM35 Datasheet. Dallas, 2000. Disponível em: <<http://www.national.com/ds/LM/LM35.pdf>>. Acesso em: 27 dez. 2010.

PEREA MARTINS, J. E. M. Implementação de um protótipo eletrônico para registros diários de dados pluviométricos. In: CONGRESSO DE MEIO AMBIENTE DA ASSOCIAÇÃO DE UNIVERSIDADES DO GRUPO DE MONTEVIDÉU, 6., 2009, São Carlos. **Anais...** São Carlos: AUGM, 2009.

PHILIPS COMPONENTS. Moisture control with Philip's humidity sensor. Eindhoven, 1997. 7 p. Disponível em: <http://home.utad.pt/~digital2/Apoio/Software/Sensores/Sensor_Humidade.pdf>. Acesso em: 27 dez. 2010.

PINHEIRO, C. L.; DEREZYNSKI, C. P.; DA HORA, A. F. Utilização de pluviômetro PET como sistema de alerta de chuvas intensas. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE DEFESA CIVIL, 5., 2009. São Paulo. **Anais eletrônicos...** São Paulo: CEPED/UFSC, 2009, 10 p.

PINTO, G. S. et al. Sistema de monitoramento para cultivo em áreas cobertas. Engenharia de Computação em Revista, Belém, 2008. Disponível em: <<http://www3.iesam-pa.edu.br/ojs/index.php/computacao/article/view/164/154>>. Acesso em: 15 fev. 2011.

RAUTH, D. A.; RANDAL, V. T. Analog-to-digital conversion. part 5. **Instrumentation & Measurement Magazine**, Piscataway, v. 8, n. 4, p. 44- 54, Oct. 2005.

RIVERA, E. C. et al. A LabVIEW-based intelligent system for monitoring of bioprocesses, In: JEZOWSKI, J.; THULLIE, J. (Eds.). **Computer aided chemical engineering**. Hardbound: Elsevier, 2009. v. 26, p. 309-314.

SCHMALZEL, J. L.; RAUTH, D. A. Sensors and signal conditioning. **Instrumentation & Measurement Magazine**, Piscataway, v. 8, n. 2, p. 48- 53, jun. 2005.

SILVA, C. M.; FERREIRA, W. J.; FISCH, G. Comparativo entre dados de precipitação obtidos por pluviômetros Tipping Bucket Rain Gauges e pluviômetro Ville de Paris em Taubaté/SP. In: MOSTRA DE PÓS GRADUAÇÃO, 11., 2010, Taubaté. **Proceedings...** Taubaté: 2010. 13 p.

SILVA, K. O. et al. Sistema automatizado para aquisição de dados de umidade relativa do ar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 630-638, set./dez. 2007.

SPEETJENS, S. L. et al. Methodic design of a measurement and control system for climate control in horticulture. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 64, n. 2, p. 162-172, Dec. 2008.

STEIDLE NETO, A. J. et al. Avaliação da transmissão de dados de temperatura no Sistema 1-WIRE™. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 29-36, jan./abr. 2005.

SUMATHI, S.; SUREKHA, P. **LabVIEW based advanced instrumentation system**. New York: Springer Verlag, 2007. 728 p.

TERUEL, B. J. Controle automatizado de casas de vegetação: variáveis climáticas e fertigaçào. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 3, p. 237-245, 2010.

TEXAS INSTRUMENTS. Datasheet. NA555, NE555, SA555, SE555 series. 2010. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ne555.pdf>>. Acesso em: 15 dez 2011.

TORRE-NETO, A.; CRUVINEL, P. E. **Uso de microcontroladores e realidade virtual na agricultura**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 1997. 5 p.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L. **Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras**. São Paulo: Nobel, 1992. p. 198-218.

VIM. **International vocabulary of metrology: basic and general concepts and associated terms**. 3 ed. Sèvres Cedex: JCGM 200, 2008. 108 p.

WMO. Guide to meteorological instruments and methods of observation. Geneva, 2008. Disponível em: <http://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/publications/CIMO-Guide/CIMO_Guide->. Acesso em: 15 ago. 2011.

WANG, F. Design a greenhouse remote monitoring system using LabVIEW. National Instruments, Austin, 2011. Disponível em: <<http://sine.ni.com/cs/app/doc/p/id/cs-13250>>. Acesso em: 14 fev. 2011.

ZHAO, Y.; BAI, C.; ZHAO, B. An automatic control system of precision irrigation for city greenbelt. In: IEEE CONFERENCE ON INDUSTRIAL ELECTRONICS AND APPLICATIONS, 2., Harbin. **Proceedings...** Harbin: IEEE, 2007. p. 2013-2017.