

## SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS DE BAIXO CUSTO APLICADO A BOMBEAMENTO FOTOVOLTAICO

**Tiago Malveira Cavalcante** – tiagomall@yahoo.com.br  
Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará, Área da indústria  
**Paulo Cesar Marques de Carvalho** – carvalho@dee.ufc.br  
**Renato Sampaio Holanda de Oliveira** – renatosampaio@gmail.com  
Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Elétrica  
**Sandro César Silveira Jucá** – sandrojuca@cefetce.br  
**André Teixeira de Aquino** – andret.aquino@gmail.com  
Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará, Área da indústria

### 4.2 Sistemas de medição e monitoramento.

**Resumo.** O trabalho consiste em descrever um sistema de aquisição de dados microcontrolado de baixo custo (*Simlogger*), assim como analisar os resultados obtidos com a sua implementação em um sistema de bombeamento de água que utiliza a conversão fotovoltaica da energia solar. Foram realizadas medições de valores de tensão, durante dois dias, em um motor-bomba. As leituras foram realizadas em intervalos de 10 minutos e o resgate dos dados foi feito utilizando um software monitor serial em um microcomputador do tipo PC. Dessa forma, o gráfico analógico foi gerado a partir dos dados adquiridos. Os gráficos obtidos foram satisfatórios, demonstrando a eficácia e a confiabilidade do sistema desenvolvido.

**Palavras-chave:** Sistema de Aquisição de Dados, Bombeamento Fotovoltaico, Microcontroladores.

## 1. INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, de elevado avanço tecnológico, a aquisição de dados dos processos é imprescindível e aplicado em diversas situações como, por exemplo, no prognóstico de falhas de máquinas, na comprovação de dados teóricos, na avaliação de potencial de fontes renováveis de energia e na produção industrial. Os equipamentos com essa finalidade ainda são pouco encontrados no mercado brasileiro além de apresentarem custo relativamente alto. Diante deste aspecto, foi desenvolvido um sistema de aquisição de dados de baixo custo capaz de atender às aplicações citadas. O resgate dos dados adquiridos com o *Simlogger* pode ser realizado por qualquer software monitor serial em um computador com interface EIA-232. Esse mesmo software monitor serial pode configurar e gravar as memórias presentes no *Simlogger*, entre elas, a RAM do microcontrolador, a RAM do relógio em tempo real (RTC), a EEPROM interna e a EEPROM externa. Além disso, a memória de programa flash do microcontrolador pode ser gravada de forma simples e direta pela mesma interface serial EIA-232 através de um *Bootloader*. Com isto, as características do sistema podem ser alteradas por meio de modificações no programa do microcontrolador como, por exemplo, alterar a frequência em que os dados são armazenados na memória EEPROM externa ou alterar a configuração das entradas dos conversores analógico-digitais (AD's) e, então, re-programar a memória flash com facilidade.

Para realizar uma análise do sistema desenvolvido, o mesmo foi aplicado, em um sistema de bombeamento que utiliza conversão fotovoltaica da energia solar, para efetuar medições de valores de tensão em uma bomba hidráulica em intervalos de tempo pré-determinados.

As características dos principais componentes utilizados tanto para o desenvolvimento como para a análise do sistema, a descrição do funcionamento e as respectivas funções são apresentadas no decorrer deste artigo.

## 2. MATERIAIS E METODOLOGIA APLICADA

O *Simlogger* é composto basicamente por um microcontrolador, uma memória EEPROM externa, e um relógio em tempo real (RTC), além de possuir interface no padrão EIA-485 para comunicação com redes industriais de controladores lógicos programáveis (CLP's) através do transceptor MAX485, e interface no padrão EIA-232 para comunicação com um computador supervisor, através do transceptor MAX232. Além disso, o sistema possui um display LCD onde pode ser visualizado a data e o horário atual. A Fig. 1 apresenta o diagrama simplificado do *Simlogger*.

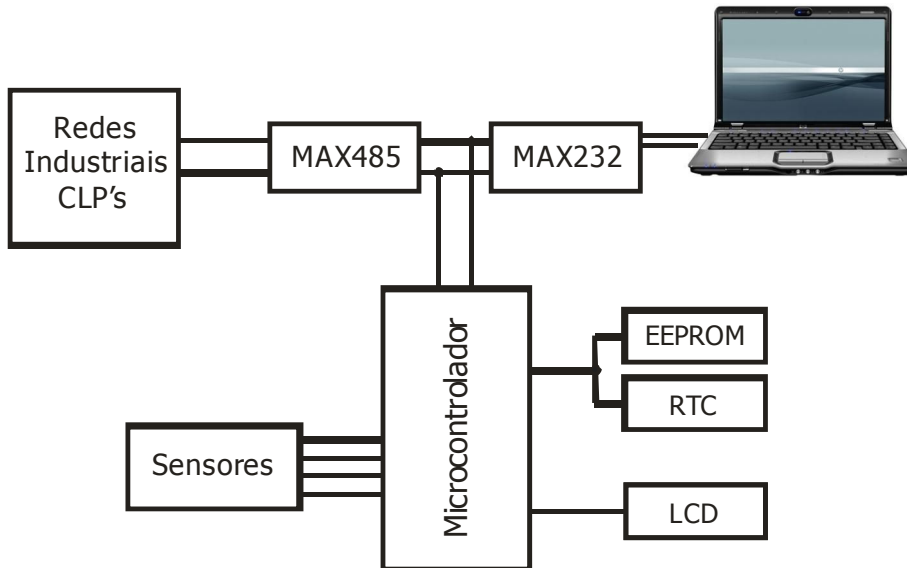


Figura 1- Diagrama simplificado do *Simlogger*

## 2.1 Microcontrolador

O modelo escolhido para ser utilizado no sistema de aquisição de dados foi o microcontrolador PIC 16F877A, que possui, entre outras características, oito conversores analógico-digitais de 10 bits, 8 Kbytes de memória de programa flash, 368 bytes de memória RAM interna, 256 bytes de memória EEPROM interna. A escolha deste modelo se deu, principalmente por apresentar um custo relativamente baixo, além de ser bastante difundido no mercado brasileiro, ou seja, pode ser adquirido com facilidade. Na construção do sistema, foram utilizados quatro canais, ou pinos, referentes aos conversores analógico-digitais e sete canais de I/O (entrada/saída) para a interface com o display LCD, além dos pinos para a comunicação no protocolo I<sup>2</sup>C com a memória EEPROM externa e com o relógio RTC.

## 2.2 Bootloader

A transferência de programas para os microcontroladores da família PIC é normalmente efetuada por meio de um hardware de gravação específico. Como alternativa a este método, para a família 16F, entre outras, é possível efetuar a transferência de programas diretamente do PC, através da interface serial utilizando somente um MAX232 com capacitores, como mostra a Fig. 2, e um cabo serial. Para que isto seja possível, é previamente gravado, de forma convencional, o *bootloader* na memória de programa flash do PIC. Ele funciona semelhante a um sistema operacional que gerencia a transferência de arquivos com a extensão *.hex* para a memória de programa. Após a gravação do *bootloader*, a transferência de programas pode ser realizada com a utilização de softwares de comunicação serial específicos como o *Colt Bootloader* para a família PIC 18F e o *San Bootloader 1.10*, que é uma versão, com instruções em português, para a família PIC 16F87XA.

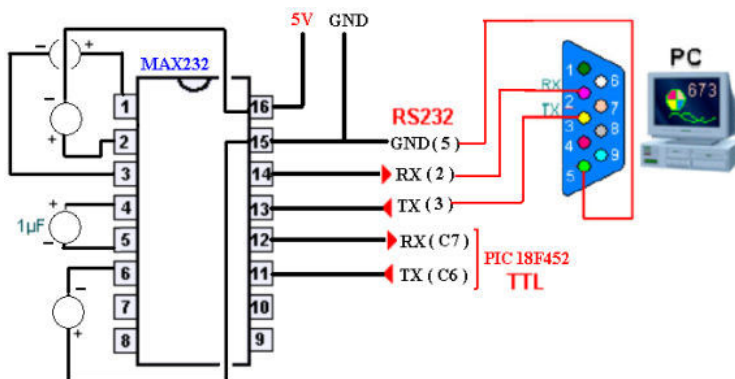


Figura 2 – Esquema de ligação do MAX232

## 2.3 Memória EEPROM

A maioria dos modelos da família PIC 16F apresenta memória EEPROM interna, com capacidade de armazenamento de 128 ou 256 bytes. Em algumas aplicações, a EEPROM interna é ideal para guardar parâmetros de

inicialização ou reter valores medidos durante uma determinada operação de sensoriamento. Para um sistema de aquisição de dados é necessária uma EEPROM externa em que a capacidade seja compatível com o número de sensores e com o período de armazenamento dos dados. Neste protótipo, optou-se pelo modelo 24C256 que possui oito pinos e apresenta, entre outras características, 256 Kbits, ou seja, 16 Kbytes de armazenamento e interface de comunicação I<sup>2</sup>C.

## 2.4 Relógio RTC

O *Real Time Clock* (RTC) DS1307 é um relógio/calendário serial de baixo custo, possui oito pinos e é controlado por um cristal externo de 32.768 Hz. A comunicação com o DS1307 é, também, realizada por meio da interface serial I<sup>2</sup>C por um pino de clock (SCL) e um pino de dados (SDA). Esse RTC contém uma memória RAM interna onde seis bytes são configurados na forma *Binary Coded Decimal* (BCD) para a função relógio/calendário, ou seja, ele fornece hora, minuto, segundo, dia, mês e ano. Ele, ainda, oferece a possibilidade de retenção dos dados em um eventual falta de energia. Para isso, é necessário conectar uma bateria ao pino 3.

## 2.5 Interface Serial I<sup>2</sup>C

I<sup>2</sup>C significa *Inter-Integrated Circuit*, ou seja, *Entre Circuitos Integrados*. Este barramento serial foi desenvolvido com o objetivo de conectar circuitos integrados (CI's) e dispositivos periféricos de diferentes fabricantes em um mesmo circuito utilizando o menor número de pinos possível. Entre os dispositivos, pode-se citar: microcontroladores, memórias externas e relógio em tempo real. Ele necessita, somente, de duas linhas: uma linha serial de dados (SDA) e uma de *clock* (SCL).

A interface I<sup>2</sup>C apresenta a filosofia *multi-master*, onde todo CI da rede pode transmitir ou receber um dado e o transmissor gera a sua própria frequência de *clock* para a transmissão. O número máximo de CI's que podem ser conectados é limitado, apenas, pela capacitância máxima do barramento no valor de 400pF. Quando o barramento não está em uso, as duas linhas ficam com nível lógico alto forçado pelos resistores de *pull-up*.

O protocolo I<sup>2</sup>C utilizado neste projeto foi desenvolvido por *software*. Dessa forma, o programador pode escolher os pinos do microcontrolador dedicados para dados (SDA) e para o *clock* (SCL).

A Fig. 3 apresenta um diagrama que mostra o circuito de ligação entre a memória EEPROM externa, o RTC e o microcontrolador utilizando a interface serial I<sup>2</sup>C.

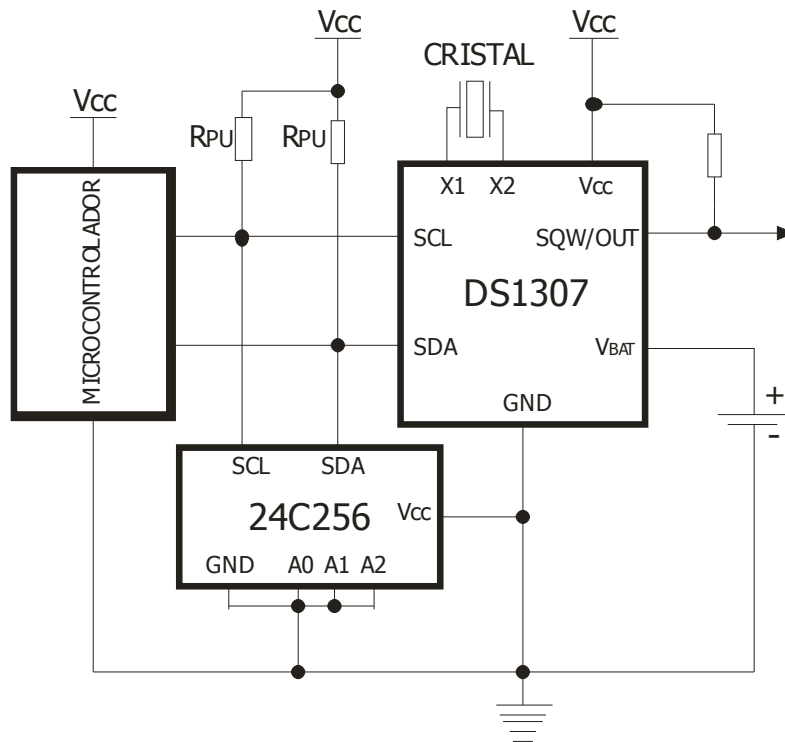


Figura 3 – Esquema de ligação entre os dispositivos utilizando a interface I<sup>2</sup>C

## 2.6 Protocolo de Comunicação

Com o intuito de manipular e verificar o estado dos dispositivos externos e internos ao sistema de aquisição de dados, foi desenvolvido inicialmente um protocolo serial para a comunicação entre o operador do sistema e o microcontrolador por meio de um software monitor serial, como o *Hyperterminal*. Após o endereço do *Simlogger* (A) e da função desejada, o operador deve inserir os dígitos X (0 a 9) necessários para as funções mostradas na Tab. 1.

Tabela 1. Funções para manutenção e verificação serial nos dispositivos do *Simlogger*.

Endereço Simlogger	Função	Posição Memória	Valor	Resultados EEPROM externa e RTC
A	4	S (Segundo) M (Minuto) H (Hora) D (Dia) N (Mês) Y (Ano)	XX	Escrita na variável do relógio RTC com o valor XX
A	5	-	-	Leitura das variáveis do relógio RTC
A	6	XX	-	Leitura do Buffer do sensor XX

## 2.7 Instalação do Sistema

O sistema de bombeamento FV utilizado foi desenvolvido e montado no Laboratório de Energias Alternativas – LEA situado no campus da Universidade Federal do Ceará – UFC. O sistema é composto por quatro tanques de armazenamento de água, dois motores-bomba controlados por sensores de nível (chave-bóia) e acionados por energia proveniente do sol captada por cinco módulos fotovoltaicos dispostos em paralelo, como mostra a Fig. 4.



Figura 4 – Painéis fotovoltaicos do LEA - UFC

O sistema de aquisição de dados desenvolvido foi instalado de modo a realizar e armazenar medições de valores de tensão em um dos motores-bomba, mostrado na Fig. 5.



Figura 5 – Motor-bomba utilizado

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Construção e Testes Pré-liminares

O *Simlogger* foi idealizado com o intuito de desenvolver um sistema de aquisição de dados de baixo custo com redundância contra falhas e interface de comunicação com computadores e CLP's. A placa de circuito impresso (PCB) com as dimensões 13 x 9 cm para teste do primeiro protótipo foi construída através de pesquisa de componentes de baixo custo e disponíveis no mercado brasileiro. A Fig. 6 mostra o desenho da placa de circuito impresso (PCB). O sistema verifica o sinal proveniente de um sensor. Caso ele seja digital, os eventos são registrados, quando o pino conectado ao sensor é aterrado, e incrementados na memória RAM. Em tempos pré-determinados pelo programador, o microcontrolador armazena a leitura do sensor na memória EEPROM interna (para dados horários) e externa pelo barramento I<sup>2</sup>C (para dados diários). A cada segundo o processador realiza uma leitura do relógio RTC pelo barramento I<sup>2</sup>C, por interrupção do timer 1, verificando a data (dia, mês e ano) e o horário (segundo, minuto e hora), que são mostrados em um display LCD. Caso o tempo lido seja igual ao configurado pelo programador para armazenamento de dados, o microcontrolador grava o valor indicado pelos sensores na EEPROM externa, a qual é dividida, neste caso, em 4 *buffer's* de 64 posições reservadas para o armazenamento das variáveis de cada sensor.

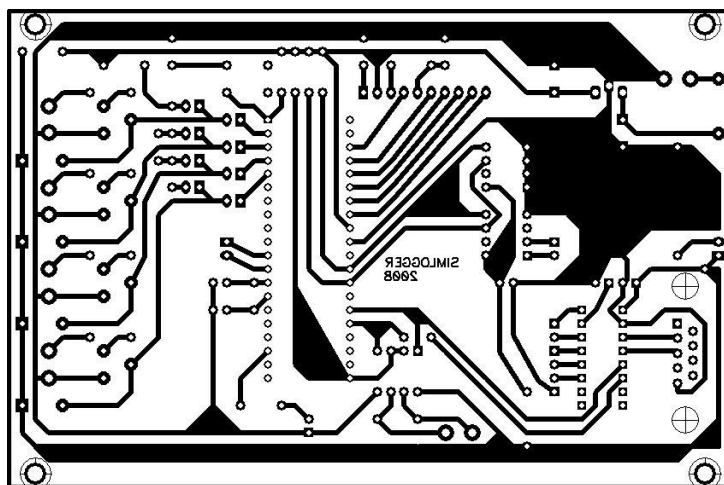


Figura 6 – Placa do circuito impresso do *Simlogger* (PCB)

O sistema apresenta várias funções que podem ser executadas através de comunicação serial. Os dados do relógio RTC podem ser modificados e visualizados a qualquer momento. Pode-se também ser visualizado um *buffer* referente a determinado sensor com os dados adquiridos durante determinado dia.

Para segurança contra a perda de referência e de dados digitais armazenados na RAM, por exemplo, por uma eventual queda/falta de tensão no circuito, o programa do *Simlogger* dispõe de uma estratégia a qual resgata o valor armazenado na última posição da memória EEPROM interna e armazena na variável do sensor na RAM. Isto é feito gravando, em outra posição da EEPROM interna, o valor de um ponteiro que aponta para o último valor armazenado do sensor na EEPROM interna, a qual funciona como um *buffer* de segurança que guarda os últimos quatro valores de cada sensor em um período estipulado pelo programador. Assim, caso ocorra algum problema no processamento, o microcontrolador, após o *reset*, verifica o valor da posição guardada no ponteiro, resgata o último valor armazenado na EEPROM interna e grava na RAM, evitando a perda completa dos dados analógicos acumulados. A aplicação deste sistema de aquisição de dados é genérica, ou seja, as entradas podem ser configuradas facilmente como digitais ou analógicas e serem re-programadas na memória de programa através da interface serial pelo *bootloader*. A Fig. 7 apresenta uma foto ilustrativa do sistema de aquisição de dados *Simlogger* desenvolvido. Após a conclusão da confecção e montagem, o protótipo passou por uma fase de testes onde apresentou o resultado esperado no projeto. Para a realização dos testes, foi utilizado um microcomputador PC para a comunicação através da porta serial. A partir do teclado é possível executar todas as funções anteriormente citadas e visualizar as respostas do sistema. A reprogramação do microcontrolador através do *Colt Bootloader* foi testada e apresentou perfeito funcionamento.

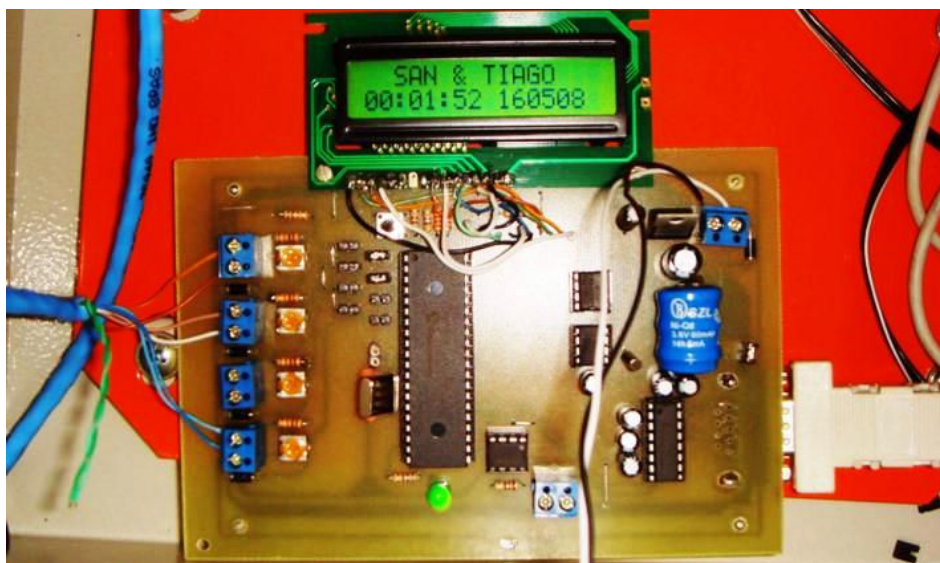


Figura 7 – Sistema de aquisição de dados *Simlogger*

### 3.2 Obtenção e Análise dos Gráficos

O Sistema de aquisição de dados foi configurado para realizar uma leitura de tensão no motor-bomba em intervalos de 10 em 10 minutos e armazenar esses dados na memória externa. Os dados foram coletados entre as 6:50h da manhã e 14:30h da tarde dos dias 24 e 25 de maio de 2008.

Com a utilização de um software monitor serial, o *Hyperterminal*, foi realizada a leitura dos *buffer's* referentes aos dois dias nos quais os dados foram coletados. Com os valores adquiridos, os gráficos foram gerados e são mostrados nas Fig. 8 e 9, respectivamente.

Analisando os gráficos, pode-se observar que ocorre uma maior variação no dia 24, provavelmente devido à maior ocorrência de nuvens nesse dia. Percebe-se, também, o aumento da tensão do motor-bomba no início da manhã em ambos os gráficos.

Os gráficos também podem ser utilizados para fazer estudos sobre os horários em que a geração de energia é maior sendo, assim, possível obter um maior aproveitamento da energia gerada. E é por ser preciso e de baixo custo que o *Simlogger* pretende ser uma ferramenta adequada para realizar estudos como esse.

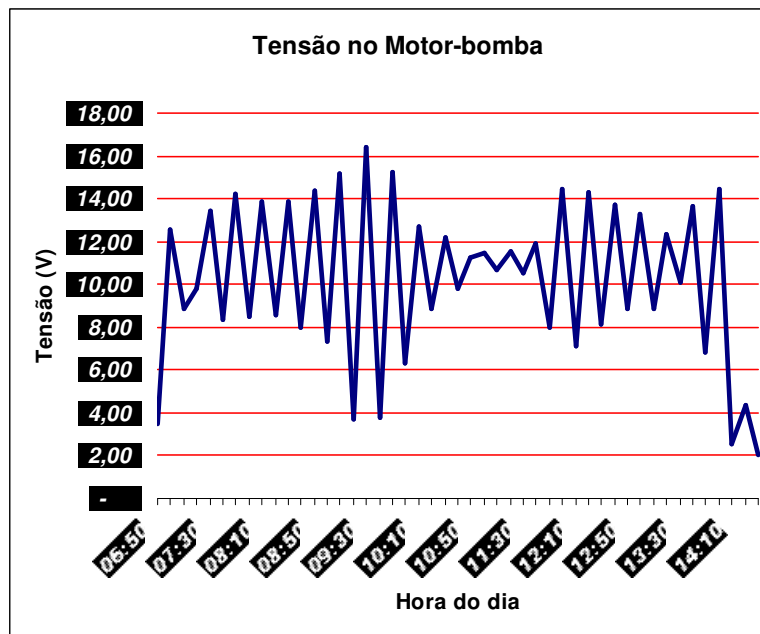


Figura 8 – Gráfico de Tensão do motor-bomba (24/05/2008)

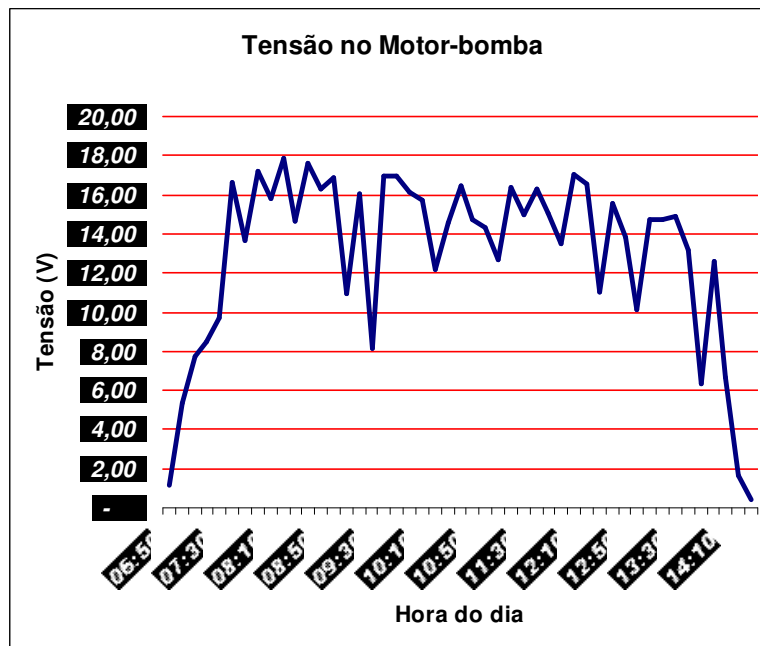


Figura 9 – Gráfico de Tensão do motor-bomba (25/05/2008)

#### 4. CONCLUSÃO

O sistema de aquisição de dados desenvolvido neste trabalho mostrou-se eficaz devido aos resultados obtidos na realização dos testes de seu funcionamento, apresentando um comportamento de acordo com o projeto ratificando a confiabilidade. Entre as principais características é possível citar o armazenamento de dados relacionados com a data e o horário em uma memória não volátil, a possibilidade da utilização da comunicação via serial no padrão EIA-485 para aplicações em redes industriais e com dispositivos CLPs, além da comunicação no padrão EIA-232 que pode ser utilizada para análise de dados em sistemas supervisórios em um PC. Outra característica de fundamental importância está na redundância contra perda de referência por queda de tensão no sistema. Isto se dá pelo fato de ter uma bateria disposta em paralelo com a alimentação do circuito e pelo artifício desenvolvido no firmware do microcontrolador, o qual resgata a posição do último endereço escrito da EEPROM e salva na RAM o reset no circuito. A configuração e gravação das memórias do Simlogger, entre elas, a RAM do microcontrolador, a RAM do relógio em tempo real (RTC), a EEPROM interna e a EEPROM externa foram testadas através de comandos simples pela interface serial com

velocidade de transmissão de 9600 bps e não apresentaram erros. Além disso, a memória de programa flash do microcontrolador apresentou a possibilidade de ser gravada de forma simples e direta pela mesma interface serial EIA-232 através do *San Bootloader*. Uma das grandes vantagens deste sistema, além da eficácia e confiabilidade, está no fator econômico, pois utiliza componentes de custo relativamente baixo e de fácil disponibilidade no mercado brasileiro.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem o Banco do Nordeste pelo financiamento do projeto, ao CEFET-CE pela disponibilidade do Laboratório de Microcontroladores LABOMICRO e ao Laboratório de Energias Alternativas da Universidade Federal do Ceará - UFC.

### **REFERÊNCIAS**

- Bione Filho, J. ; Fraidenraich, N. ; Vilela, O. C. . Dimensionamento de um sistema de bombeamento fotovoltaico. In: I Congresso Brasileiro de Energia Solar (I CBENS), 2007, Fortaleza - CE. Anais do I Congresso Brasileiro de Energia Solar (I CBENS). Fortaleza - CE : Associação Brasileira de Energia Solar - ABENS), 2007.
- Jucá, S. C. S., Bezerra, F. P. (2007). Protótipo de um Encoder Ótico Absoluto Microcontrolado para Registro de Posição Angular. VII ENPPG/VII ENICIT CEFET-CE.
- Maxim (2008) [homepage na Internet]. DS1307; [acesso em 8 jan 2008] Disponível em: [http://www.maximic.com/quick\\_view2.cfm/qv\\_pk/2688](http://www.maximic.com/quick_view2.cfm/qv_pk/2688).
- NPX Semiconductors (2008) [homepage na Internet]. I2C serial EEPROMs; [acesso em 1 jan 2008] Disponível em: <http://www.standardics.nxp.com/products/seeproms>.
- Pereira, F. (2003). Microcontroladores PIC – Programação em C, Ed. 4, São Paulo, pp. 230–243.

### **LOW COST DATA ACQUISITION SYSTEM APPLIED TO PV PUMPING**

**Abstract.** *The work consists of describing a low cost microcontrolled data acquisition system (Simlogger), as well as analyzing the results obtained with its implementation in a PV powered water pumping system. Measurements of voltage values were made during two days in a motor-pump unity. The readings were carried in intervals of 10 minutes and the rescue of the data was made using a serial monitorial software in a PC type microcomputer. In this way, the analogical graph was generated from the acquired data. The obtained graphs were satisfactory, demonstrating the effectiveness and the reliability of the developed system.*

**Key words:** Data Acquisition System, PV pumping, Microcontroller