SISTEMA EMBARCADO PARA ARMAZENAMENTO DE DADOS DE MEDIÇÕES AMBIENTAIS

André Lacotis Kokumai [1], Alexandre César Rodrigues da Silva [2], Tércio Alberto dos Santos Filho [3], Arnaldo Yoso Sakamoto [4], Ian Andrew Grout [5]

Abstract *— Microcontrollers are highly integrated and programmable chips that usually contain processor, memory and functions for input and output data. Because their low cost, microcontrollers have great applications in embedded systems, i.e., dedicated microprocessor systems designed for specify function like data acquisition or machines control. This paper presents an embedded system development with Atmel's ATMEGA8 microcontroller to do and to store measurements of temperature and air humidity, and the creation of an user's interface in Microsoft Visual Studio 2008 environment. For the system development, was used a digital temperature and air humidity sensor and an 8Kbytes non-volatile memory chip EEPROM (Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory). The communication between microcomputer and embedded system was based in the serial interface RS-232, and the developed software allows the embedded system's configuration and the download of the stored data to a file with spreadsheet and table compatible with Microsoft Excel format.*

Index Terms — Digital electronic, embedded system, microcontroller, software development.

INTRODUÇÃO

Microcomputadores são sistemas microprocessados de alta complexidade, capazes de desempenhar diversas funções e executar diferentes programas. Entretanto, existem algumas aplicações em que não se viabiliza o uso de microcomputadores devido a restrições de tamanho, custos, consumo de energia, entre outros.

Para tais aplicações desenvolveu-se o conceito de sistemas embarcados, que se assemelham aos microcomputadores pelo fato de serem sistemas microprocessados, mas se diferem por serem projetados para desempenhar continuamente um conjunto de tarefas predefinidas. Estes estão presentes no cotidiano em aparelhos como, por exemplo, celulares, câmeras digitais e brinquedos.

Nos sistemas embarcados, o processamento geralmente é realizado por FPGA ou microcontroladores. O *software* escrito, usualmente denominado *firmware*, é armazenado em memória ROM ou *flash* ao invés de um disco rígido. Estes sistemas apresentam recursos computacionais limitados geralmente sem teclado, sem interface gráfica e com pouca memória, mas podem contar com periféricos tais como interface serial RS-232 ou USB para se comunicarem com o meio externo [5].

Deste modo, através da engenharia é possível projetar sistemas embarcados otimizando tamanho, recursos computacionais e custos, visando trazer soluções para contribuir com as mais diversas aplicações.

Como uma aplicação em potencial exemplifica-se as pesquisas realizadas na região do Pantanal de Nhecolândia, que visam avaliar os impactos ambientais causados pelo avanço da atividade pecuária nesta região. Tais pesquisas consistem em coletar informações acerca das condições do ambiente bem como temperatura e umidade relativa do ar, níveis do lençol freático e qualidade da água dos lagos.

Entretanto trata-se de uma região distante de centros urbanos e de difícil acesso, o que dificulta a coleta das informações e, consequentemente, o andamento das pesquisas. Assim, um sistema embarcado capaz de realizar e armazenar medições climáticas de maneira autônoma pode permitir que os pesquisadores obtenham mais informações acerca do comportamento do clima desta região [2].

Este artigo apresenta, portanto, o desenvolvimento de um sistema embarcado para armazenar dados referentes à temperatura e umidade relativa do ar, a fim de contribuir com trabalhos de áreas diversificadas, bem como as pesquisas realizadas em regiões remotas.

O MICROCONTROLADOR ATMEL ATMEGA8

Semelhantes aos microprocessadores, os microcontroladores são *chips* programáveis que possuem em sua arquitetura elementos como unidade lógica e aritmética (ULA), registradores e portos de entrada e saída de dados.

1 André Lacotis Kokumai, DEE, FEIS, UNESP – Univ Estadual Paulista, Av José Carlos Rossi, s/n, Campus III, 15385-000, Ilha Solteira, SP, Brasil, andrekokumai@gmail.com
2 Alexandre César Rodrigues da Silva, DEE, FEIS, UNESP – Univ Estadual Paulista, Av José Carlos Rossi, s/n, Campus III, 15385-000, Ilha Solteira, SP, Brasil, acrsilva@dee.feis.unesp.br
3 Tércio Alberto dos Santos Filho, DEE, FEIS, UNESP – Univ Estadual Paulista, Av José Carlos Rossi, s/n, Campus III, 15385-000, Ilha Solteira, SP, Brasil, tercioas@gmail.com
4 Arnaldo Yoso Sakamoto, DCH/CEUL/UFMS, Av. Ranulfo Marques Leal, 3484, 79610-1000, Três Lagoas, MS, Brasil, sakamoto@ceul.ufms.br
5 Ian Andrew Grout, Department of Electronic and Computer Engineering – University of Limerick, National Technological Park, Limerick, Ireland, ian.grout@ul.ie

Entretanto, os microcontroladores apresentam menor capacidade de processamento e alguns elementos adicionais como memória, conversor analógico-digital e UART (*Universal Assynchronous Receiver-Transmitter*). Portanto, os microcontroladores são *chips* altamente integrados de baixo custo, justificando o fato de serem largamente empregados em sistemas embarcados. Como principais fabricantes de microcontroladores citam-se Microchip, Atmel, Motorola, Cypress, entre outras.

Para o desenvolvimento deste trabalho utilizou-se o microcontrolador AVR de 8 bits ATMEGA8, da Atmel, devido a sua disponibilidade, simplicidade no desenvolvimento de programas e características que facilita sua implementação junto com outros dispositivos no sistema embarcado.

O microcontrolador ATMEGA8 possui, como principais características, 32 registradores de 8 bits para uso geral, 8Kbytes de memória *flash* para armazenamento de programa, 512 bytes de memória do tipo EEPROM (*Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory*) para armazenamento de dados, contadores de 8 e de 16 bits, conversores A/D (analógico para digital), módulo UART para comunicação serial e funções de interrupção interna e externa. O diagrama de blocos da arquitetura deste dispositivo é ilustrado na Figura 1 [1].

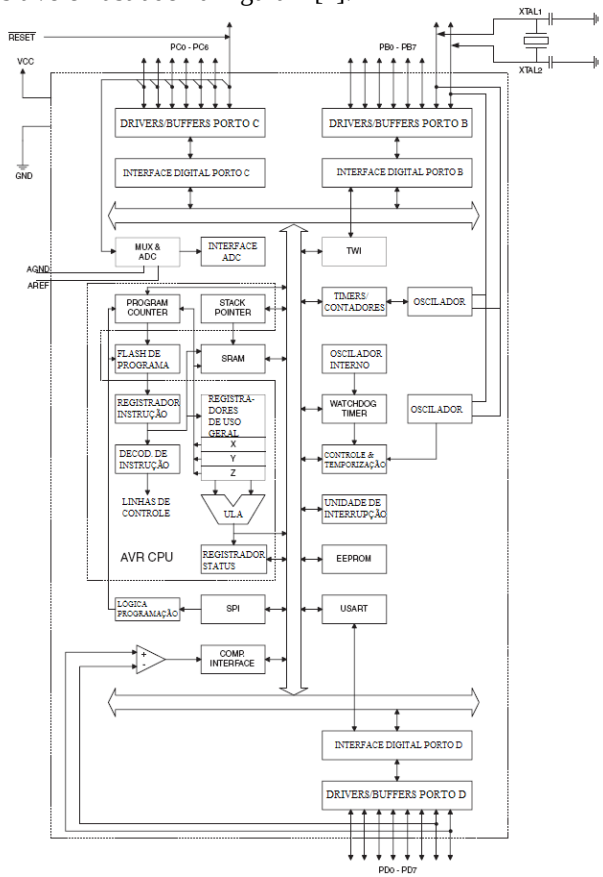


FIGURA 1
ARQUITETURA DO MICROCONTROLADOR ATMEGA8.

Para propósitos gerais de entrada e saída de dados o ATMEGA8 conta com 23 pinos bidirecionais, divididos em dois portos de 8 bits e um porto de 7 bits, possibilitando, desta forma, controle a acesso a dispositivos externos como sensores, *chips* de memória, *displays* LCD, entre outros. Na Figura 2 apresenta-se sua descrição dos pinos [1].

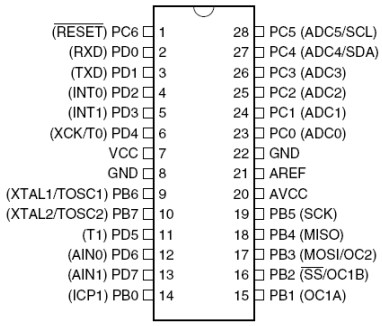


FIGURA 2
DESCRIÇÃO DOS PINOS DO MICROCONTROLADOR ATMEGA8.

O ambiente Bascom-AVR, desenvolvido pela MSC Electronics, é uma importante ferramenta utilizada para programar os microcontroladores da Atmel das séries AT90, ATtiny e ATMEGA. Este ambiente apresenta programação orientada a objeto através de uma linguagem baseada em Visual Basic e possui recursos como simulador, emulador de terminal e gerenciador de bibliotecas. A conexão com o *chip* pode ser feita utilizando a porta serial ou a porta paralela do microcomputador.

DESENVOLVIMENTO DO CIRCUITO ELETRÔNICO

O sensor digital de temperatura e umidade relativa do ar SHT11, desenvolvido pela Sensirion, comunica-se com microcontroladores seguindo o protocolo *2-wire* que utiliza um pino para transferência bidirecional de dados seriais e outro pino para *clock*. O pino de dados é mantido em nível lógico alto através de um resistor *pull-up* e o bit enviado ou lido pelo microcontrolador é válido após a borda de descida do sinal de *clock*. Na Figura 3 apresenta-se a ligação entre o SHT11 e um microcontrolador [3].

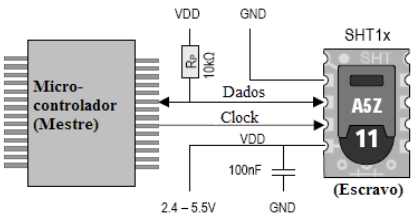


FIGURA 3
LIGAÇÃO ENTRE O SHT11 E UM MICROCONTROLADOR.

Desta forma, o microcontrolador deve ser programado para enviar o código referente ao comando a ser executado (e.g., para ler a temperatura envia-se o código 00011_b e, para

ler a umidade relativa do ar, o código 00101_b) e receber a resposta do sensor. A sequência de leitura de medição inicia-se pelo envio de três bits em nível lógico 0, seguido pelo código de comando. O microcontrolador deve então aguardar para que o sensor realize a medição e então o dado é enviado a partir do byte mais significativo (MSB) até o menos significativo (LSB), terminando com o envio do byte de *Checksum*, sendo que depois de cada byte o sensor aguarda o envio de um bit de confirmação (ACK). Na Figura 4 ilustra-se um exemplo deste ciclo de leitura [3].

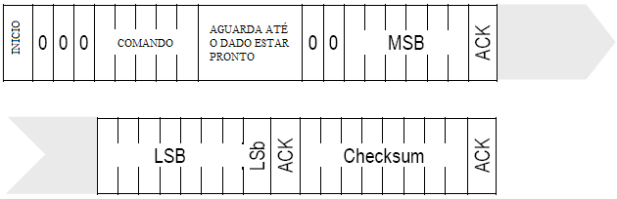


FIGURA 4
SEQUÊNCIA DE LEITURA DO SENSOR SHT11.

O microcontrolador ATMEGA8 possui memória EEPROM interna de 512 bytes destinada para dados. Uma vez que cada medição do SHT11 resulta em um valor de 2 bytes, 256 medições poderiam ser armazenados sendo 128 de temperatura e 128 de umidade relativa do ar. Portanto, um *chip* de memória não volátil foi adicionado ao sistema para expandir a capacidade de armazenamento e ampliar o tempo de funcionamento em modo autônomo.

O X28C64 é um *chip* de memória EEPROM de 8 Kbytes fabricado pela Xicor. Para acessá-lo, o microcontrolador deve ser programado de forma a prover os sinais de controle da memória, escrever o endereço e ler ou escrever o dado. Em [4] encontram-se detalhadamente os diagramas de ciclos de leitura e escrita além de outras informações relevantes sobre este *chip* de memória.

Além do sensor e do *chip* de memória, outros elementos foram utilizados assim como o circuito integrado MAX232 para conexão serial (RS-232) entre o sistema e um microcomputador, a trava de endereços (*latch*) 74LS373 para permitir o endereçamento de 13 bits através de um porto de 8 pinos e portas lógicas para compor a lógica do sistema. O *software* EAGLE gerou o *layout* que permitiu a confecção do circuito impresso para protótipo deste sistema, assim como é apresentado na Figura 5.

A INTERFACE DO USUÁRIO

Com subrotinas de medições do sensor e de leitura e escrita na memória, a etapa subsequente se refere à elaboração de uma interface para promover interação entre o usuário e o sistema. Através da conexão serial RS-232, esta interface tem como principais objetivos descarregar os dados armazenados pelo sistema na memória EEPROM para um arquivo no microcomputador e permitir que o usuário configure o tempo entre duas medições consecutivas.

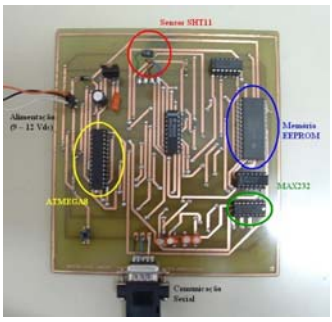


Figura 5
CIRCUITO IMPRESSO DO PROTÓTIPO DO SISTEMA E SEUS PRINCIPAIS COMPONENTES.

Desta forma, a programação do microcontrolador deve combinar as funções de leitura do sensor e acesso à memória com funções para receber e enviar dados pela comunicação serial. Na Figura 6 apresenta-se o fluxograma simplificado do programa desenvolvido para o ATMEGA8.

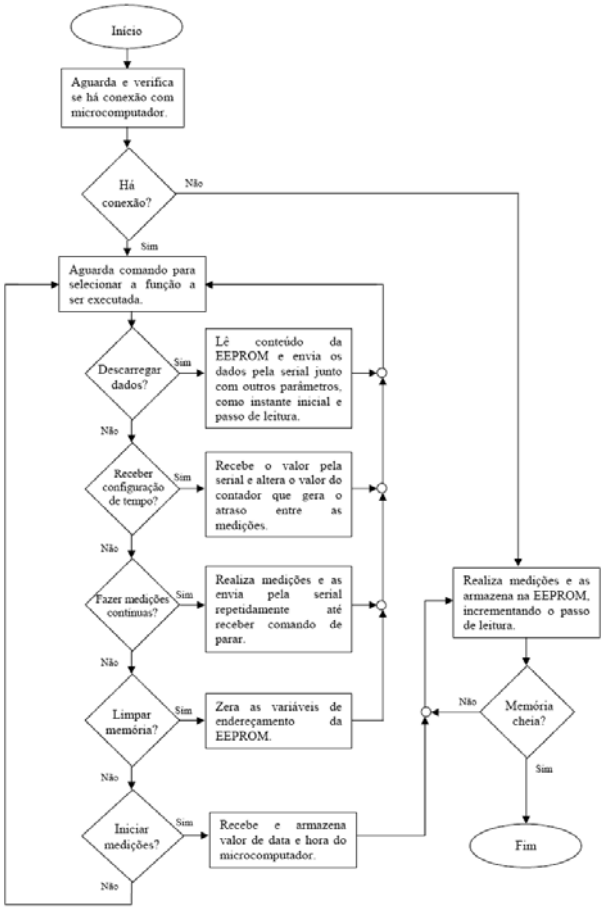


FIGURA 6
FLUXOGRAMA DO PROGRAMA DESENVOLVIDO PARA O ATMEGA8.

Utilizando as ferramentas oferecidas pelo ambiente Microsoft Visual Studio 2008, desenvolveu-se um *software*

com recursos gráficos a fim de atender aos propósitos do projeto. Na Figura 7 apresenta-se a janela principal do *software* desenvolvido.

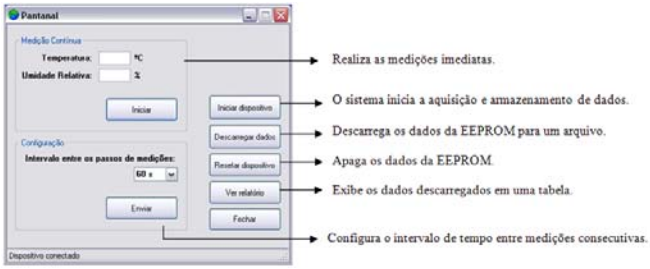
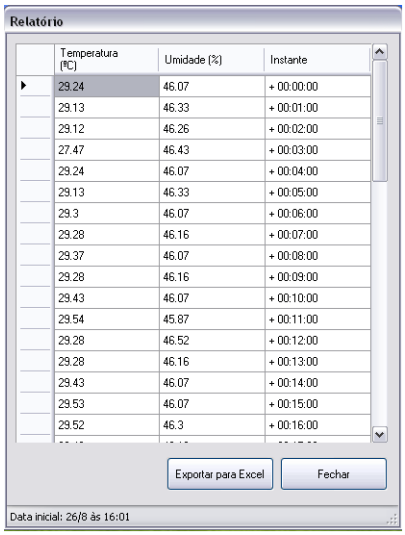


FIGURA 7
JANELA PRINCIPAL DA INTERFACE DO USUÁRIO.

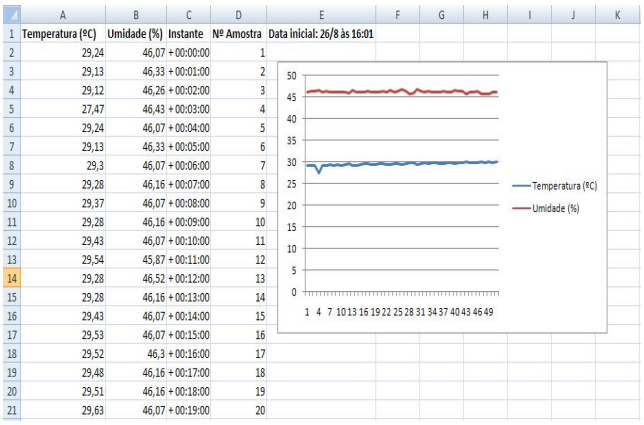
As informações armazenadas na EEPROM do sistema são descarregadas para um arquivo de dados que pode ser aberto pelo *software* para exibir uma tabela contendo os valores das medições, os respectivos instantes e a data e hora iniciais, uma vez que o sistema sincroniza-se com a data e hora do microcomputador quando o botão "Iniciar dispositivo" é acionado. Na Figura 8 apresenta-se a tabela gerada pelo *software* a partir de um teste onde o sistema funcionou durante 50 minutos, realizando medições a cada intervalo de 1 minuto.



Temperatura (ºC)	Umidade (%)	Instante
29.24	46.07	+ 00:00:00
29.13	46.33	+ 00:01:00
29.12	46.26	+ 00:02:00
27.47	46.43	+ 00:03:00
29.24	46.07	+ 00:04:00
29.13	46.33	+ 00:05:00
29.3	46.07	+ 00:06:00
29.28	46.16	+ 00:07:00
29.37	46.07	+ 00:08:00
29.28	46.16	+ 00:09:00
29.43	46.07	+ 00:10:00
29.54	45.87	+ 00:11:00
29.28	46.52	+ 00:12:00
29.28	46.16	+ 00:13:00
29.43	46.07	+ 00:14:00
29.53	46.07	+ 00:15:00
29.52	46.3	+ 00:16:00

FIGURA 8
EXEMPLO DE TABELA GERADA PELA INTERFACE DO USUÁRIO.

Na Figura 8, o software desenvolvido oferece a opção de exportar os dados para um arquivo compatível com o Microsoft Excel. Utilizando ferramentas do ambiente Visual Basic 2008 são gerados, automaticamente, uma planilha com todas as informações sobre as medições e um gráfico que ilustra o comportamento da temperatura e umidade relativa do ar ao longo do tempo de funcionamento do sistema. Na Figura 9 apresenta-se parte do arquivo do Microsoft Excel gerado para o mesmo teste apresentado na Figura 8.



Temperatura (ºC)	Umidade (%)	Instante	Nº Amostra	Data inicial: 26/8 às 16:01
29,24	46,07	+ 00:00:00	1	
29,13	46,33	+ 00:01:00	2	
29,12	46,26	+ 00:02:00	3	
27,47	46,43	+ 00:03:00	4	
29,24	46,07	+ 00:04:00	5	
29,13	46,33	+ 00:05:00	6	
29,3	46,07	+ 00:06:00	7	
29,28	46,16	+ 00:07:00	8	
29,37	46,07	+ 00:08:00	9	
29,28	46,16	+ 00:09:00	10	
29,43	46,07	+ 00:10:00	11	
29,54	45,87	+ 00:11:00	12	
29,28	46,52	+ 00:12:00	13	
29,28	46,16	+ 00:13:00	14	
29,43	46,07	+ 00:14:00	15	
29,53	46,07	+ 00:15:00	16	
29,52	46,3	+ 00:16:00	17	
29,48	46,16	+ 00:17:00	18	
29,51	46,16	+ 00:18:00	19	
29,63	46,07	+ 00:19:00	20	

FIGURA 9
PLANILHA E GRÁFICO GERADOS PELA INTERFACE DO USUÁRIO.

CONCLUSÃO

Os recursos disponibilizados pelo microcontrolador ATMEGA8, aliados às ferramentas do software Bascom-AVR, contribuem para que este *chip* seja viável em aplicações que exigem dos mais simples aos mais elaborados sistemas embarcados podendo, desta maneira, contribuir com pesquisas, trabalhos ou outros projetos. A utilização do microcontrolador garantiu que o sistema apresente baixo consumo de energia, essencial para aplicações em localidades que exigem o uso de baterias, e baixos custos de montagem justificando, desta forma, os conceitos gerais que definem a tecnologia embarcada.

O *software* de interface do usuário foi desenvolvido de forma a apresentar formato e utilização simples, permitindo total interação entre o usuário e o sistema. O arquivo gerado para o Microsoft Excel permite que o usuário possa visualizar as medições realizadas e verificar o comportamento das mesmas ao longo do tempo, sendo útil para detecção de picos e pontos de elevação ou decréscimos. Além disso, este arquivo possui formato comercial e possibilita maior flexibilidade no manuseio dos dados.

De um modo geral, neste trabalho verifica-se a importância de projetos de sistemas embarcados para cooperação com demais projetos de outras áreas, tanto em termos de praticidade quanto no âmbito financeiro.

REFERÊNCIAS

[1] ATMEL CORPORATION, "Datasheet: 8-bit with 8K Bytes In-System Programmable Flash ATMEGA8 ATMEGA8L", disponível por <*www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2486.pdf*>, acesso em 23/10/2009.

[2] SILVA, A.C.R. et al, "Projeto de Iniciação Científica com Forte Impacto em Desenvolvimento Sustentável". In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING AND COMPUTER EDUCATION, 2009, Buenos Aires. Anais… Santos – SP: COPEC, 2009. P.668-672.

[3] SENSIRION AG, “Datasheet: SHT1x Humidity and Temperature Sensor”, disponível por: <http://www.sensirion.com/en/pdf/product_information/Datasheet-humidity-sensor-SHT1x.pdf>. Último acesso em 23/10/2009.

[4] XICOR INC., “Datasheet: X28C64 8K x 8 bit, 5 Volt, Byte Alterable E2PROM.”, Xicor Databook, 1996. P. 3-25 – 3-40.

[5] MORIMOTO, C.E., “Entendendo os Sistemas Embarcados”, disponível por < http://www.guiadohardware.net/artigos/entendendo-sistemas-embarcados/>. Último acesso em 23/10/2009.