Artigo disponibilizado *on-line*

Revista Ilha Digital

Endereço eletrônico:
http://ilhadigital.florianopolis.ifsc.edu.br/

SISTEMA DE ACIONAMENTO AUTOMÁTICO DE DISPOSITIVOS OU APARELHOS ELETRO-ELETRÔNICOS MICROCONTROLADO

Lucas de Mello Kindermann[1], Everton Luiz Ferret dos Santos[2]

Resumo: A domótica é uma tecnologia que surgiu apresentando soluções para realizar processos de controle e automação nos elementos ou tarefas de uma residência, satisfazendo as necessidades de segurança, conforto e comunicação. Outra vantagem dessa tecnologia é a economia de energia, uma vez que equipamentos eletrônicos podem ser configurados para funcionar em determinadas circunstâncias, permitindo, dessa forma, evitar o desperdício de energia elétrica. Este trabalho visa apresentar o desenvolvimento de um sistema microcontrolado embarcado em um módulo que realize o acionamento de dispositivos ou aparelhos eletro-eletrônicos. Para isso, foi investigado o funcionamento do microcontrolador ATmega168, escolhido para essa aplicação, por possuir bons recursos, facilidade de uso e baixo custo, assim como sensores, periféricos e demais componentes eletrônicos, partindo para as etapas de desenvolvimento de *firmware* e *hardware*. O sistema desenvolvido é capaz de controlar até cinco dispositivos ou aparelhos eletro-eletrônicos para controle liga/desliga, tendo o acionamento realizado de acordo com as circunstâncias desejadas, seja manualmente, em um horário programado, em uma determinada faixa de temperatura ou a ausência ou presença de luz no ambiente, tudo programado pelo usuário através de uma interface homem-máquina.

Palavras-chave: Domótica. Microcontroladores. Sistemas embarcados. Acionamento automático.

***Abstract**: Domotics is a technology that presents solutions to perform controlling and automation on the elements or tasks of a residence, satisfying the needs of security, comfort and communication. Another advantage of this technology is energy saving, once the electronic equipments can be configured to function on such circumstances that avoid the waste of energy. This article aims to present the development of a microcontrolled embedded system in a module, that activates electro-electronic devices. Therefore, the functioning of ATmega168 was investigated, for pursuing low budget and easy-to-use resources, such as sensors, peripherals and other electronic components, next to stages of firmware and hardware development. The system developed is capable to control until five electro-electronics devices for the on/off control, performing its activation according to desired circumstances such as manually, on a programmed schedule, on a determined range of temperature or with the absence or presence of light on the ambient, all programmed by the user through a human-machine interface.*

***Keywords**: Domotics. Microcontrollers. Embedded system. Automatic actuation.*

[1] Acadêmico do Curso Superior de Tecnologia em Sistemas Eletrônicos do IF-SC <lmkindermann@gmail.com>.
[2] Professor do DAELN, *campus* Florianópolis do IF-SC <everton@ifsc.edu.br>.

1. INTRODUÇÃO

A domótica, também conhecida como automação residencial ou casa inteligente, é um conjunto de tecnologias que torna possível o gerenciamento e a automatização de diversos dispositivos e aparelhos elétricos ou eletrônicos de uma edificação. Seu objetivo é permitir o controle dos elementos de um ambiente para a realização de tarefas ou serviços domésticos de forma automática, prática e rápida, satisfazendo assim as necessidades de conforto, comunicação, economia e segurança de seus ocupantes e gerando uma melhor qualidade de vida (LEUZENSKI, 2007).

A domótica surgiu nos anos 80, nos paises mais industrializados, com os primeiros sistemas

desenvolvidos aplicados em controle de iluminação, condições climáticas e segurança. Nessa época, surgiu o X-10, o primeiro protocolo criado para permitir a comunicação entre os sensores, atuadores e a central de controle de um sistema de automação residencial (ROQUE, 2008).

Com o desenvolvimento de novas tecnologias de comunicação de dados, radiofrequência, novos protocolos e a criação de componentes eletrônicos cada vez mais poderosos e versáteis, a domótica vem passando por uma grande evolução e aumentando o interesse da população nessa tecnologia, principalmente depois que se tornou possível o acesso remoto ao sistema através de dispositivos como computadores, *palms* e celulares, e as tecnologias sem fio, que permitem a instalação de sistemas de domótica sem que exista a necessidade de alterar drasticamente a instalação elétrica das residências.

No entanto, o alto custo de implementação e a falta de uma padronização e uniformização de protocolos, que permita que equipamentos de diferentes fabricantes possam se comunicar, são fatores que prejudicam o acesso da população a esta tecnologia (CABRAL, 2008).

Quanto ao uso de aparelhos eletro-eletrônicos, o uso irracional destes é um dos fatores que mais contribuem para o desperdício de energia elétrica em uma residência. Devido a uma combinação de maus hábitos e ações, é comum, por exemplo, usuários manterem seus equipamentos eletrônicos ligados quando não existe necessidade.

Buscando resolver estes problemas, este artigo apresenta um sistema de baixo custo que pode ser empregado em automação residencial, trata-se de um sistema de automação para dispositivos ou aparelhos eletro-eletrônicos para controle liga/desliga, que permite o acionamento automático em condições: de horário, temperatura ou luminosidade ambiente, programadas pelo usuário.

O sistema visa atender às necessidades dos usuários, buscando oferecer uma solução que resolva os problemas de desperdício de energia elétrica causada pelo uso inadequado de dispositivos ou aparelhos eletro-eletrônicos ou a possibilidade de acioná-los sem a necessidade de intervenção direta no equipamento e da presença do usuário no local.

2. PRINCIPAIS COMPONENTES

Esta seção irá apresentar uma breve descrição de alguns dos principais componentes utilizados nesse sistema.

2.1. O microcontrolador ATmega168

O ATmega168 é um microcontrolador de 8 bits fabricado pela Atmel; ele pertence a uma família de controladores de baixo consumo de energia, e com uma boa performance. O ATmega168 possui 16 KB de memória FLASH programável, 1 KB de memória SRAM e 512 B de memória EEPROM (ATMEL, 2009).

O ATmega168 utiliza a arquitetura Harvard estendida, tendo a disposição cerca de 130 instruções, ele é capaz de executar a maioria das instruções em 1 ou 2 ciclos de *clock*, podendo chegar até a 20 MIPs (milhões de instruções por segundo) com uma frequência de processamento de 20 MHz, que é a máxima permitida por este microcontrolador (ATMEL, 2009).

Entre os principais periféricos disponíveis, possui dois temporizadores/contadores de 8 bits e um de 16 bits, conversor A/D de 10 bits disponível em 6 canais multiplexados, 6 canais PWM, contagem precisa de tempo (RTC), comparador analógico, comunicação serial USART (*Universal Synchronous and Asynchronous serial Receiver and Transmitter*), interfaces seriais SPI (*Serial Peripheral Interface*) e TWI (*Two-Wire serial Interface*), 19 fontes de interrupções, sendo duas delas externas, oscilador interno, *watchdog timer* e configurações especiais para os modos de baixo consumo de energia (ATMEL, 2009).

O modelo do ATmega168 utilizado para este projeto (Figura 1) possui 28 pinos, sendo que 23 destes podem ser configurados para I/O (entrada e saída), a alimentação deste microcontrolador deve ser entre 2,7 V e 5,5 V com uma frequência de processamento até 10 MHz ou entre 4,5 V e 5,5 V para até 20 MHz (ATMEL, 2009).

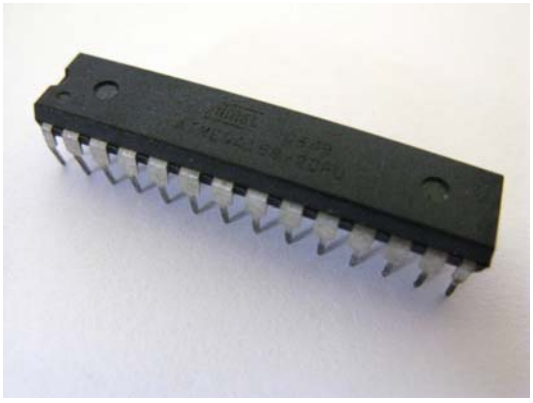

FIGURA 1 – O microcontrolador ATmega168.

Para a programação deste microcontrolador, a Atmel disponibiliza gratuitamente um *software* para o desenvolvimento chamado AVR Studio, no qual os códigos dos programas podem ser desenvolvidos em linguagem Assembly ou em linguagem C, utilizando também o compilador WinAVR (compilador gratuito).

Para a gravação, pode ser utilizado um gravador comercial que seja compatível com este microcontrolador. Com o *hardware* adequado

conectado a um computador, é possível realizar a gravação através do próprio AVR Studio.

Para poder trabalhar com o ATmega168 no desenvolvimento desse sistema, foi utilizado além do próprio microcontrolador e dos programas AVR Studio e WinAVR, um *kit* de desenvolvimento para microcontroladores de 8 bits da linha megaAVR e um gravador USBTinyISP, compatível com o ATmega168 (Figura 2).

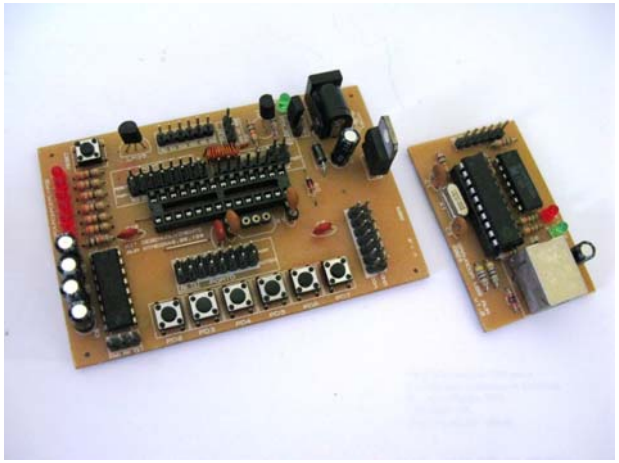

FIGURA 2 – *Kit* de desenvolvimento e gravador compatível com o ATmega168.

2.2. O sensor de temperatura LM35

O LM35 (Figura 3), fabricado pela *National Semiconductor*, é um sensor de temperatura integrado em um chip com encapsulamento TO-92.

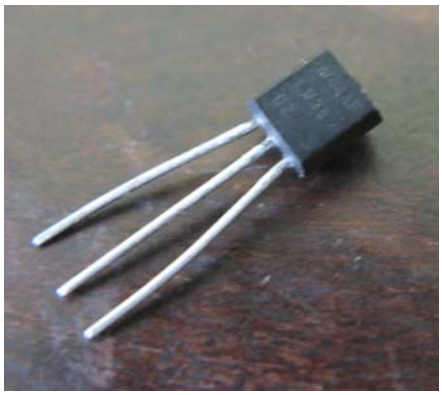

FIGURA 3 – Sensor de temperatura LM35.

Trata-se de um sensor analógico, com precisão linear de 10 mV/°C e que dispensa a necessidade de calibração externa para fornecer uma precisão típica de ±¼ °C em temperatura ambiente e de ±¾ °C sobre toda a faixa de temperatura de funcionamento do sensor, que vai de -55 °C até +150 °C. Sua calibração precisa inerente, baixa impedância e linearidade de saída fazem com que o LM35 tenha uma boa interface com circuitos eletrônicos para a leitura de temperaturas como, por exemplo, um conversor A/D (analógico/digital) (NATIONAL, 2000).

Para o funcionamento, o LM35 deve ser alimentado com uma tensão entre 4 V e 30 V, a corrente drenada pelo sensor é de aproximadamente 60 μA e quando em uso, possui um aquecimento de 0,08 °C ao ar livre, isto é, em temperatura ambiente e sem estar acoplado a qualquer outro material (NATIONAL, 2000).

Este sensor foi escolhido para o projeto pelo fato de ser um sensor de baixo custo e prático. Utilizando o conversor A/D do microcontrolador, é possível realizar a leitura da temperatura ambiente para o sistema e, desta forma, permitir que os aparelhos eletro-eletrônicos conectados ao módulo possam ser acionados dependendo da temperatura atual do ambiente.

2.3. O relógio de tempo real DS1307

O DS1307 (Figura 4), fabricado pela *Maxim Integrated Products*, é um circuito integrado dedicado para funcionar como um relógio. Utilizando um cristal de 32.768 Hz; ele é capaz de contar precisamente segundos, minutos, dias da semana e do mês, meses e anos.

Para o seu funcionamento, é necessária uma alimentação de 5 V; também é possível ou recomendado que seja utilizada uma bateria de 3,3 V. O DS1307 possui um mecanismo que, em caso de a alimentação principal ser cortada por algum motivo, passa automaticamente a utilizar a energia da bateria como uma alimentação auxiliar, até que a alimentação principal seja restaurada. (MAXIM, 2008).

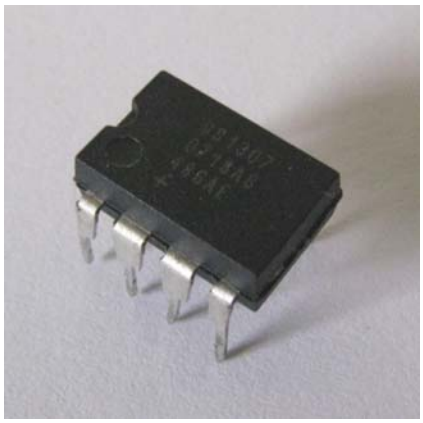

FIGURA 4 – Relógio de tempo real DS1307.

O DS1307 utiliza o protocolo de comunicação I²C ou TWI para transmitir e receber as informações de hora/data para o sistema em que ele estiver sendo empregado. Com uma memória de 56 bytes SRAM, é possível não apenas ler a contagem de hora/data, como também atualizar a informação de hora/data e ajustar o modo de contagem em AM/PM ou 24h (MAXIM, 2008).

O DS1307 possui também um gerador de onda quadrada interno e disponibiliza uma saída para esta função, capaz de transmitir um sinal com frequências de: 32,768 kHz, 8,192 kHz, 4,096 kHz ou 1 Hz (MAXIM, 2008).

Mesmo o ATmega168 possuindo um contador capaz de realizar a contagem em tempo real, optou-se por utilizar o DS1307 pelo fato de este componente já possuir a estrutura de contagem de hora/data pronta, sem haver a necessidade de desenvolver um programa para esta função, poupando, assim, memória no microcontrolador para outras funções tão importantes quanto o relógio. Outro motivo importante de utilizar o DS1307 é devido à capacidade de utilizar a alimentação auxiliar, para o caso de ocorrer algum problema ou imprevisto na alimentação do sistema, este não irá perder as informações de hora/data atuais.

Utilizando o protocolo de comunicação TWI do ATmega168, é possível empregar o DS1307 para trabalhar como um relógio para o sistema, e desta forma, permitir que os aparelhos eletro-eletrônicos conectados ao módulo possam ser acionados dependendo da hora/data atual.

2.4. O foto-resistor (LDR)

O foto-resistor (Figura 5), também conhecido como LDR (*Light Dependent Resistor*) é um transdutor utilizado para aplicações com detecção de luz. Seu funcionamento está ligado ao fenômeno da fotocondutividade, pelo qual a condutividade de um material varia quando a intensidade da luz que incide sobre ele é alterada (REZENDE, 2004, p.326).

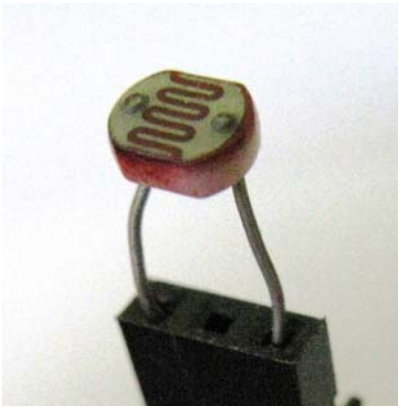

FIGURA 5 – Foto-resistor (LDR).

O LDR é constituído de uma pequena placa de um semicondutor intrínseco, com uma dopagem muito pequena, que torna o material sensível à luz incidente sobre ele, e, desta forma, alterando o valor da sua resistência (REZENDE, 2004, p.326).

Quando uma luz muito forte incide sobre o LDR, a sua resistência é mínima, chegando a algo próximo dos 100 Ω; do contrário, quando o LDR está exposto à escuridão total, a sua resistência é máxima, algo próximo de 1 MΩ.

Aplicando o LDR em um circuito eletrônico com divisor de tensão, é possível obter, ao invés de uma resistência, uma tensão variável. Desta forma, é possível utilizar um LDR com o comparador analógico do ATmega168, permitindo que os dispositivos ou aparelhos eletro-eletrônicos conectados ao módulo possam ser acionados dependendo da incidência luminosa presente no ambiente.

3. O SISTEMA

Para o desenvolvimento desse sistema, o projeto foi executado em etapas, procurando avançar para a etapa seguinte somente após a conclusão da etapa atual.

As etapas desenvolvidas foram: estudo e planejamento, desenvolvimento do *firmware*, realização de testes, desenvolvimento do *hardware*, prototipagem e testes finais. Esta seção irá apresentar a metodologia aplicada nas etapas de planejamento e desenvolvimento do sistema. Na Figura 6, pode ser visto o diagrama de blocos do sistema.

3.1. Planejamento e característica do sistema

A primeira etapa de execução desse projeto foi realizar um planejamento de como seria o funcionamento deste sistema, procurando encontrar a melhor maneira de responder a perguntas como: Quantos aparelhos serão controlados? Quais as formas de acionamento? Configurações? Quais componentes eletrônicos serão utilizados? Como o programa deve se comportar?... Entre outras perguntas.

Durante a etapa de planejamento, foram levantadas algumas características para o sistema, definindo detalhes de como o sistema deve se comportar, quais funções ele deve ser capaz de realizar e suas limitações.

Entre as principais características planejadas e, posteriormente, aplicadas no protótipo do módulo, podem ser citadas:

- Realizar o acionamento automático, programado pelo usuário, de acordo com as condições de hora/data, temperatura e luminosidade ambiente desejadas.
- Interface homem-máquina realizada através de um painel de controle e com navegação em uma estrutura de menus.
- 36 configurações possíveis de acionamento para até cinco dispositivos ou aparelhos eletro-eletrônicos, permitindo distintas configurações para cada um deles.
- As configurações de acionamento permanecem armazenadas na memória do sistema, mesmo quando estiver desligado.
- Monitoramento constante do horário, temperatura e luminosidade atual do ambiente.

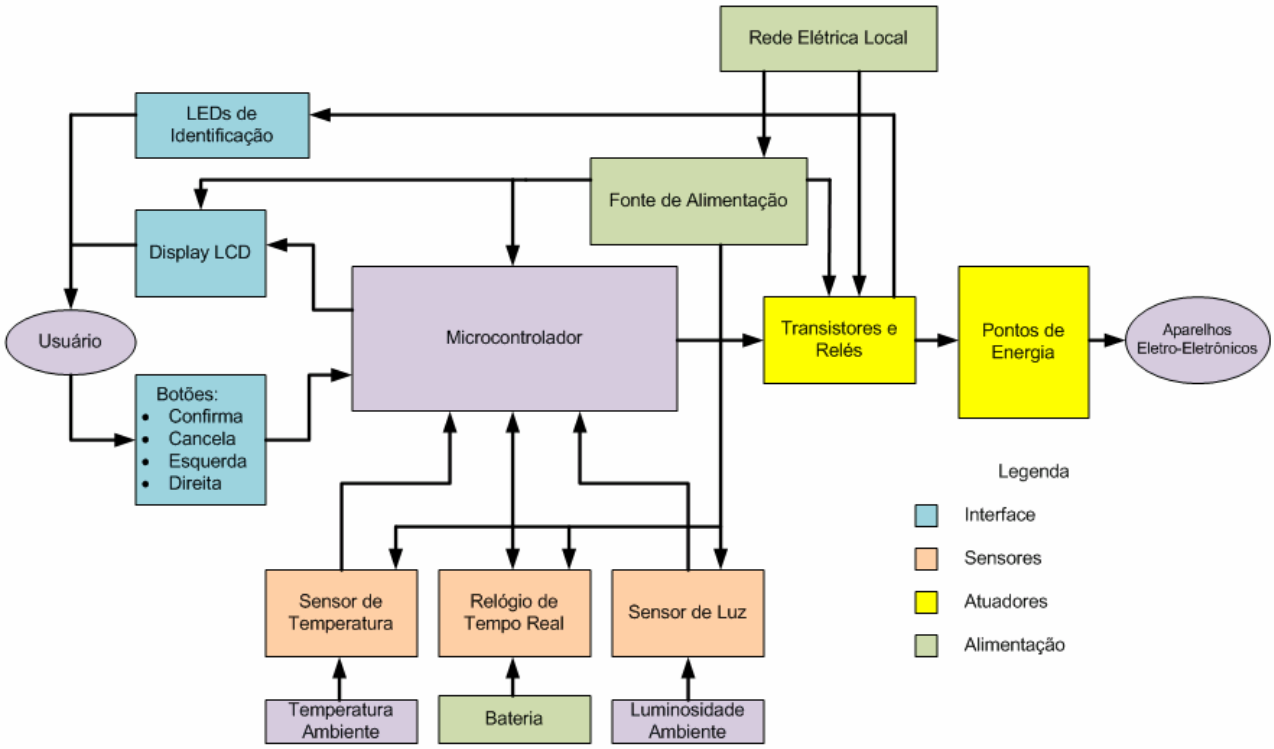

FIGURA 6 – Diagrama de blocos do sistema.

- O relógio continua funcionando mesmo com o sistema desligado, sem perder a sua configuração.
- O módulo foi projetado para ser alimentado e para acionar dispositivos ou aparelhos eletro-eletrônicos que sejam normalmente conectados a rede elétrica de 220 V/60 Hz.
- A capacidade máxima de potência que o módulo suporta é de 1.300 W por dispositivo ou aparelho eletro-eletrônico conectado.

3.2. Desenvolvimento do *firmware*

Com as características do sistema definidas e com a aquisição de todos os componentes e ferramentas necessárias para a realização do projeto, a segunda etapa do projeto foi trabalhar no desenvolvimento do *firmware* do microcontrolador.

Basicamente, o *firmware* é um código, contendo um conjunto de instruções operacionais, que é gravado diretamente em um circuito integrado e implementado no *hardware* de um equipamento eletrônico.

Neste projeto, o *firmware* será responsável pelo processamento das informações do sistema, realizando o monitoramento dos sensores, a comunicação com o usuário através de uma interface homem-máquina e a atuação nos aparelhos eletro-eletrônicos conectados ao módulo.

Para o desenvolvimento do *firmware*, foi utilizada a linguagem C. Para realizar a programação do código, foi utilizado o programa AVR Studio, e para a compilação do código no microcontrolador, foi utilizado o programa WinAVR em conjunto com o AVR Studio.

A programação foi realizada por partes; foram desenvolvidos códigos separados para cada componente ou periférico do sistema. Para cada código desenvolvido, foram realizados testes com simulações via *software*, utilizando o programa PROTEUS – ISIS.

A ordem dos componentes programados foi: a tela LCD, o relógio de tempo real DS1307, o sensor de temperatura LM35, o foto-resistor, o circuito de acionamento e a interface homem-máquina do sistema.

Para cada um desses componentes, foi necessário utilizar algum periférico ou recurso do microcontrolador ATmega168. Entre os periféricos e recursos utilizados estão:

a) *Two-Wire Interface*: Utilizado para realizar a comunicação entre o microcontrolador ATmega168 e o relógio de tempo real DS1307.
b) Conversor analógico/digital: Utilizado para realizar a leitura da temperatura do sensor LM35.
c) Comparador analógico: Utilizado para comparar o valor da tensão do foto-resistor

com o valor da tensão de referência ajustado pelo usuário.

d) Interrupção por temporizador: Utilizado para acessar a rotina de verificação das configurações programadas pelo usuário.
e) Memória EEPROM: Utilizado para armazenar as configurações realizadas pelo usuário na memória do sistema. Esta memória é atualizada sempre que uma nova configuração é realizada pelo usuário, e carregada na inicialização do sistema.
f) Oscilador interno de 8 MHz: Foi utilizado o *clock* interno do microcontrolador para o processamento do sistema.
g) Pinos de entrada/saída: Utilizados para a interface homem-máquina e para o circuito de acionamento.

No final, todas as partes foram reunidas para o desenvolvimento da versão definitiva do *firmware*. Nesse momento, foi desenvolvida a rotina responsável pela verificação das configurações programadas pelo usuário através da interface homem-máquina para realizar o processo de acionamento nos aparelhos eletro-eletrônicos conectados ao módulo.

3.2.1. Interface homem-máquina

Para realizar a comunicação entre o usuário e o sistema, optou-se por desenvolver uma interface homem-máquina utilizando um painel de controle, formado por uma tela LCD de 16x2 caracteres e quatro botões *push-button*.

Foi desenvolvido no *firmware* uma série de funções e rotinas para tornar esta interface possível, criando uma estrutura de menus para o sistema, permitindo, assim, que o usuário possa realizar as configurações de acionamento para os aparelhos conectados ao módulo.

No desenvolvimento da interface do sistema com o usuário, além da estrutura de menus, foi criada uma tela padrão que é exibida enquanto o sistema permanece ligado, informando ao usuário a hora/data e temperatura atual e a presença/ausência de luz no ambiente. Também foi criada uma tela de estado do sistema que permite ao usuário saber quais pontos de energia estão programados para realizar o acionamento automático e um código, indicando qual é a forma de acionamento programada para cada ponto de energia.

Foram designadas, para cada botão do painel de controle, funções distintas, que permitem ao usuário navegar nos menus do sistema. Os nomes definidos para os quatro botões são: Confirma, Cancela, Esquerda e Direita. Abaixo segue uma descrição das funções de cada botão.

- **Confirma**: permite o usuário acessar o menu principal, confirmar uma opção escolhida ou acessar o próximo menu.
- **Cancela**: permite o usuário acessar a tela de estado do sistema ou cancelar uma opção, retornando ao menu anterior.
- **Esquerda e Direita**: Realizam a navegação dentro dos menus do sistema ou são utilizados para ajustar valores de hora, data ou temperatura.

Para facilitar o entendimento da interface e do funcionamento do sistema, pode ser visto, na Figura 7, um diagrama de blocos, demonstrando em forma de mapa, a interface do sistema.

3.2.2. Funcionamento do sistema

Quando o menu principal é acessado, o usuário pode escolher qual ponto de energia ou tomada deseja configurar. O usuário poderá escolher um dos cinco pontos de energia disponíveis no módulo. O menu principal também oferece a opção para configurar a hora/data atual.

Após selecionar o ponto de energia, o menu de ativação é acessado, permitindo ao usuário escolher qual o modo de acionamento ele deseja configurar para o ponto de energia escolhido. As opções disponíveis são: “ativar por relógio”, “ativar por temperatura”, “ativar por luminosidade”, “apenas ativar”, “apenas desativar” (acionamento manual) e “limpar programa” (permite remover uma configuração anteriormente armazenada para o ponto de energia escolhido pelo usuário).

O menu de opções varia de acordo com o modo de acionamento escolhido, se foi escolhido o modo de acionamento por relógio, as opções disponíveis são: “ligar”, “desligar”, “ligar e desligar” ou “desligar e ligar”. Se for escolhido o modo de acionamento por temperatura ou luminosidade, as opções disponíveis são: “desligar <> ligar” e “ligar <> desligar”, onde o símbolo “<>” representa se o ponto de energia vai ser ativado ou desativado acima ou abaixo da temperatura limite ou com a ausência/presença de luz no ambiente.

Se o modo escolhido foi por relógio, o usuário irá ajustar o horário de acionamento; se o modo escolhido foi por temperatura, o usuário irá ajustar a temperatura limite e, depois de confirmar, o sistema irá gravar a configuração na memória. Se o modo escolhido foi por luminosidade, o sistema irá diretamente gravar a configuração na memória.

Por fim, se o modo escolhido foi por relógio, após ajustar o(s) horário(s), o menu de dias é acessado, permitindo ao usuário escolher os dias que ele deseja que o ponto de energia seja acionado.

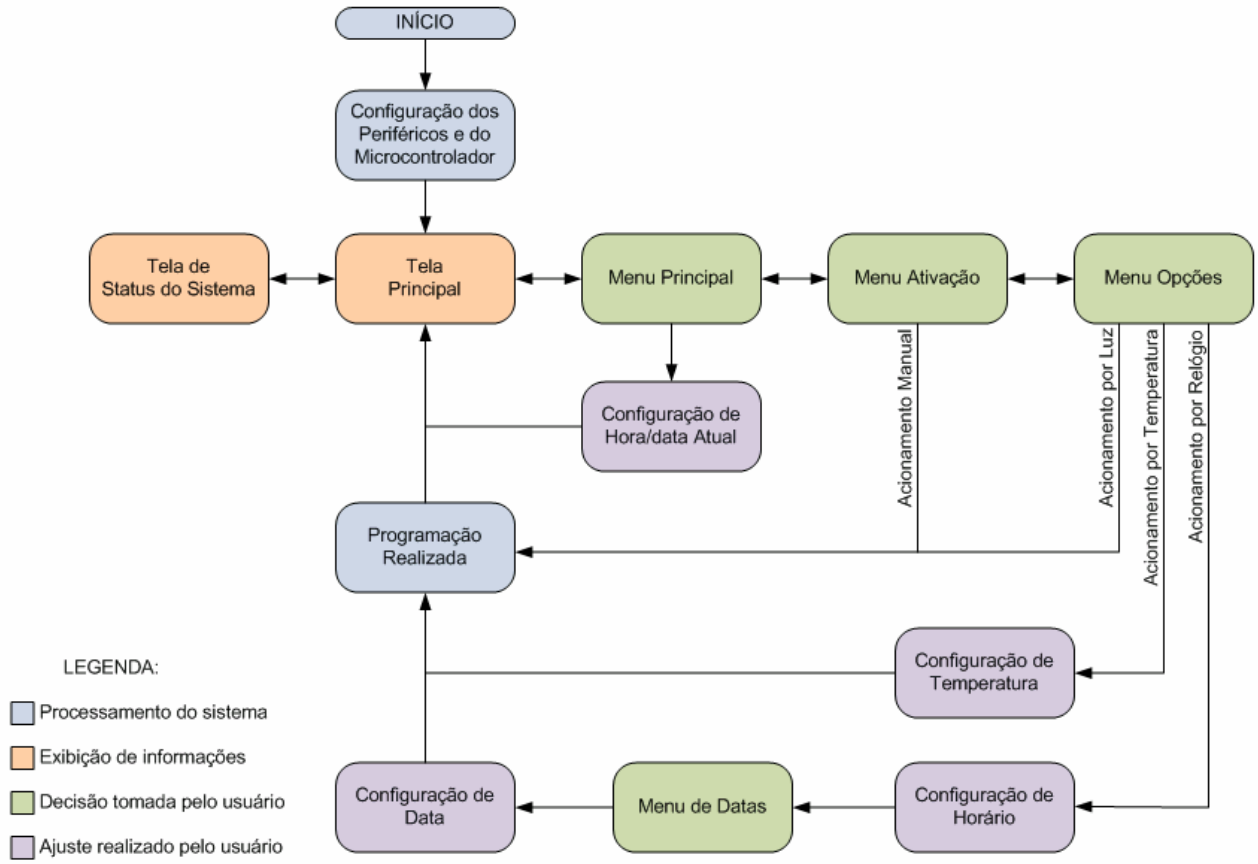

FIGURA 7 – Diagrama de blocos da interface.

As opções disponíveis são: “somente 1x”, “1x por semana”, “dias de semana”, “finais de semana”, “a cada dois dias”, “a cada três dias”, “definir qtde de dias” e “todos os dias”.

Dependendo da escolha realizada, o sistema irá solicitar que o usuário ajuste a data desejada antes de gravar a configuração na memória.

Enquanto o sistema permanecer ligado, constantemente o sistema irá realizar o monitoramento da hora/data, temperatura e luminosidade atual, e também realizar a verificação das configurações programadas pelo usuário, realizando o processo de acionamento toda vez que a condição imposta ao sistema for atendida.

3.3. Desenvolvimento do *hardware*

Com o *firmware* do sistema desenvolvido, com todos os componentes e periféricos funcionando em conjunto e testado via *software* através de programas de simulação, o projeto parte agora para a etapa de desenvolvimento do *hardware*.

Assim como o *firmware*, o *hardware* do sistema também foi projetado em partes; inicialmente foi desenvolvido um diagrama esquemático para cada componente do sistema, seguindo as orientações apresentadas nas folhas de dados. Para desenvolver esses diagramas, foi utilizado o programa PROTEUS – ISIS[1], o mesmo utilizado para as simulações do *firmware*.

Para cada diagrama esquemático desenvolvido, foi montado o circuito eletrônico correspondente em uma matriz de contatos para a realização de testes, cuja finalidade era verificar o funcionamento do componente e do próprio circuito eletrônico. Aproveitando a realização desses testes, também foi verificado o funcionamento dos códigos programados no ATmega168 para cada componente. Para realizar estes testes, foi utilizado o *kit* de desenvolvimento do microcontrolador, conectado ao circuito eletrônico do componente testado na matriz de contatos.

Após desenvolver e testar todos os circuitos eletrônicos, todas as partes foram reunidas para formar o diagrama esquemático do módulo, conforme pode ser visto na Figura 8.

Da mesma forma que os demais diagramas, foi realizada a montagem do circuito do módulo em matriz de contato e, utilizando o *kit* de desenvolvimento, foram realizados testes com o sistema completo aplicado no *hardware*.

[1] Disponível em http://www.labcenter.co.uk/.

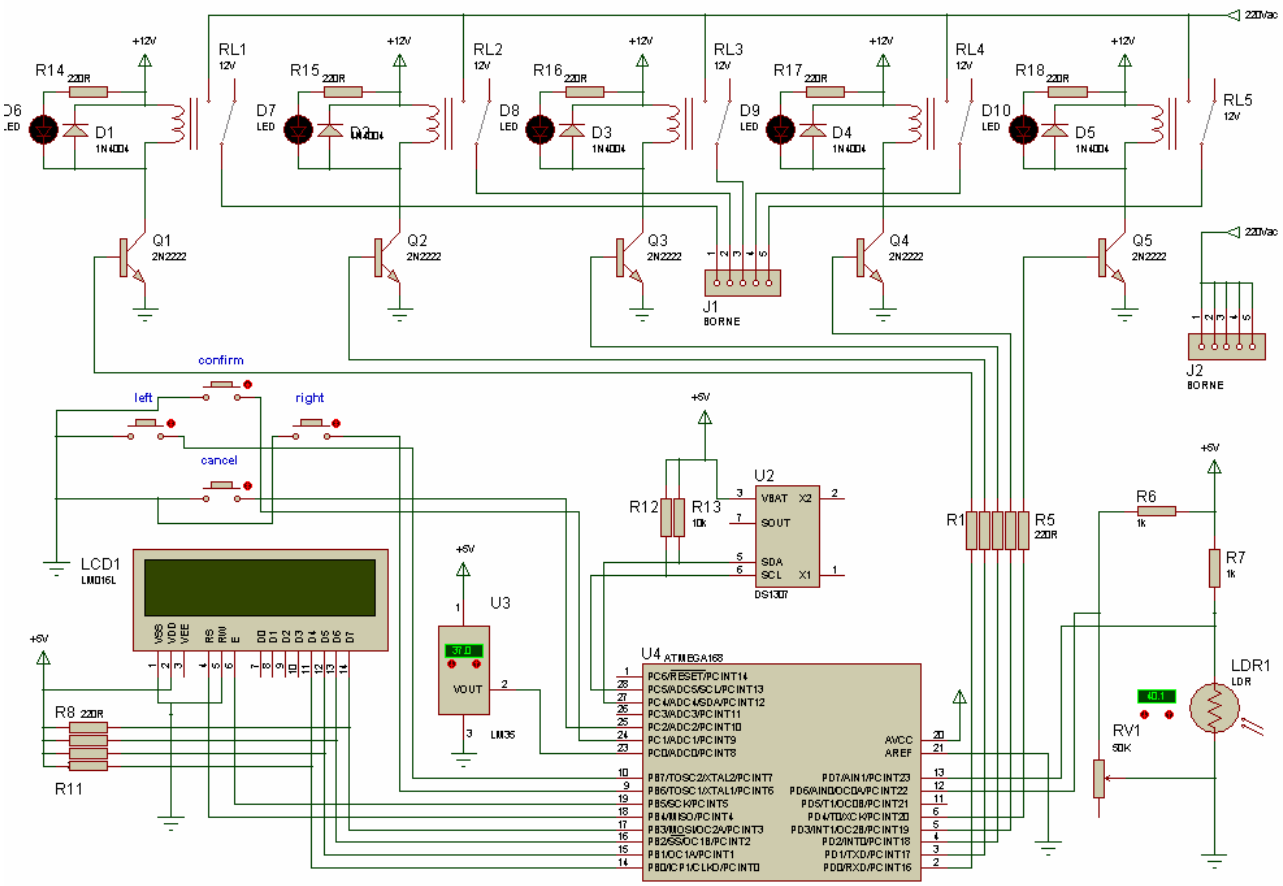

FIGURA 8 – Diagrama esquemático do *hardware*.

3.3.1. Fonte de alimentação

Para o funcionamento dos componentes eletrônicos do módulo, é necessária uma alimentação com tensões de 5 V e 12 V. Como se trata de um sistema que irá controlar alguns pontos de energia da rede elétrica para o acionamento de aparelhos eletro-eletrônicos, nada melhor do que aproveitar a própria rede elétrica para obter a energia necessária para o funcionamento do sistema.

Para isso, foi desenvolvido um circuito de alimentação para o módulo. A Figura 9 apresenta o diagrama esquemático do circuito de alimentação utilizado.

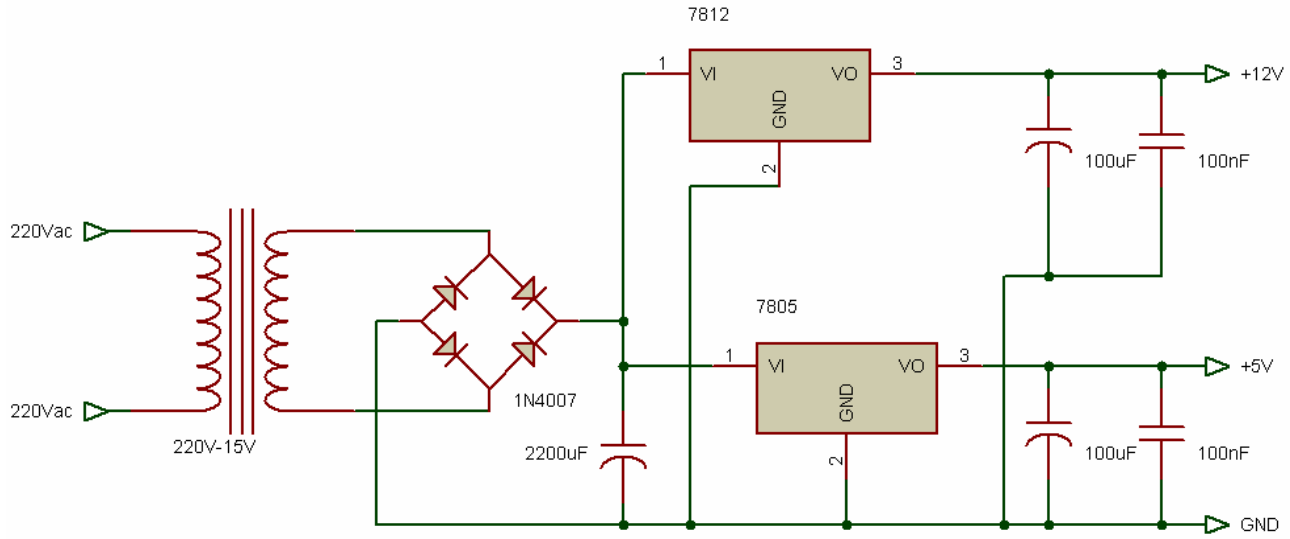

FIGURA 9 – Diagrama esquemático da fonte de alimentação.

O transformador reduz a tensão alternada da rede elétrica para 15 V, a ponte de diodos é responsável pela retificação do sinal. O capacitor de 2.200 µF diminui bastante a variação da tensão retificada, mantendo um valor médio de tensão para a alimentação dos reguladores de tensão KA7805 e KA7812 (FAIRCHILD, 2001), responsáveis por fornecer as tensões desejadas de saída.

Por fim, os capacitores de 100 µF e 100 nF são utilizados para filtrar os sinais de saída, evitando ruídos de alta frequência. Devido ao aquecimento gerado, foram acoplados dissipadores nos reguladores de tensão para evitar a queima desses componentes (BOYLESTAD, 2005).

3.3.2. Circuito de acionamento

O circuito de acionamento é o responsável por realizar a atuação do sistema nos aparelhos eletro-eletrônicos conectados ao módulo, através do controle dos pontos de energia ou tomadas. O circuito é composto de um transistor MPS2222A, um diodo 1N4007, um relé RAS-1210 (SUNHOLD, 2010) e um conjunto de resistor e LED de identificação para cada ponto de energia a ser controlado que, no caso deste projeto, serão cinco pontos de energia.

O RAS-1210 é um relé que permite o acionamento de cargas de 220 V e corrente de até 7 A, o que limita a potência do aparelho conectado ao módulo para até 1.300 W. O diodo 1N4007 é utilizado para a proteção do transistor.

O circuito recebe o sinal do microcontrolador, correspondente ao ponto de energia que deve ser acionado. Quando o sinal enviado possui o nível lógico 1 (ou 5 V), o terminal da base do transistor é energizado e este realiza o chaveamento do circuito de acionamento, fechando a malha do circuito e alimentando o relé. Com a bobina do relé energizada, o campo eletro-magnético gerado por ela realiza o chaveamento da rede elétrica nesse ponto de energia, ativando o aparelho ou dispositivo eletro-eletrônico conectado ao módulo (BOYLESTAD, 2005).

Quando o sinal enviado pelo microcontrolador possui o nível lógico 0, não há tensão na base do transistor e, por isso, o circuito de acionamento permanece aberto para esse ponto de energia, mantendo o aparelho ou dispositivo eletro-eletrônico conectado ao módulo desativado (BOYLESTAD, 2005).

Para cada ponto de energia, o módulo utiliza um LED para identificar o acionamento. Quando o ponto de energia for ativado, o LED irá acender e permanecerá ligado até que o ponto seja desativado ou o sistema seja desligado. O inverso ocorre quando o ponto de energia for desativado. Por medida de segurança, o sistema sempre será inicializado com todos os pontos de energia desativados, até que as circunstâncias programadas para o acionamento dos pontos de energia sejam atendidas.

3.3.3. Placa de circuito impresso

Com o circuito eletrônico do módulo desenvolvido, foi utilizado o programa PROTEUS – ARES[2] para desenvolver o *layout* da placa de circuito impresso do módulo. O *layout* pode ser visto na Figura 10.

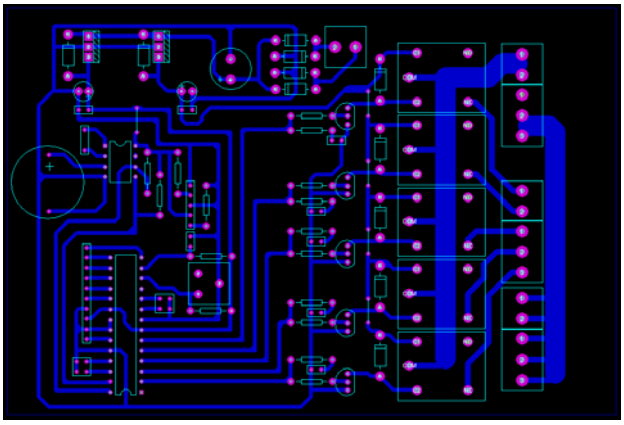

FIGURA 10 – *Layout* da placa do módulo.

A placa de circuito impresso foi projetada visando integrar toda a arquitetura do módulo em uma única placa, o circuito foi dividido em três blocos: circuito de acionamento, circuito de alimentação e o circuito principal, este último contendo as ligações do microcontrolador com os periféricos, sensores e painel de controle para a interface do sistema.

Estas ligações são realizadas através de cabos que realizam as conexões dos componentes com os pinos na placa de circuito impresso. A exceção é para o DS1307 que é interligado diretamente ao microcontrolador através das trilhas da placa, e aos circuitos divisores de tensão, que são utilizados para obter a tensão gerada pelo sensor de luz e a tensão que serve como referência para o comparador analógico do ATmega168 realizar a detecção de luz.

Depois de concluído o *layout*, a placa foi criada utilizando uma fresadora e, em seguida, foi realizada a soldagem dos componentes. Na Figura 11, pode ser visto o *hardware* do módulo completamente desenvolvido, com todos os componentes soldados na placa. A versão definitiva do *firmware* foi gravada no microcontrolador e esse foi incorporado ao *hardware*, obtendo, desta forma, o protótipo do sistema.

4. TESTES DO PROTÓTIPO

Com o protótipo funcional desenvolvido e o sistema totalmente integrado ao módulo, foram

[2] Disponível em http://www.labcenter.co.uk/.

realizados testes para verificar o funcionamento completo do sistema e analisar o seu comportamento elétrico.

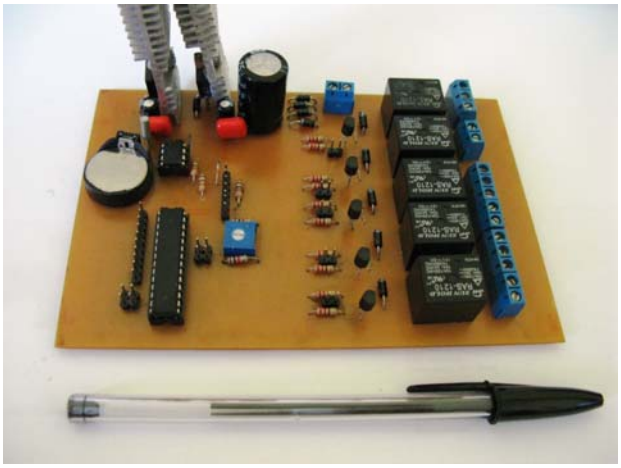

FIGURA 11 – Foto do módulo do sistema.

Esses testes foram realizados com o protótipo ligado diretamente na rede elétrica 220 V/60 Hz; todos os periféricos e componentes externos foram conectados ao módulo, entre eles o transformador, sensores, LEDs, botões e tela LCD. Os testes foram realizados em uma bancada, tomando os cuidados devidos para evitar qualquer tipo de acidente na hora de realizar os testes com os aparelhos eletro-eletrônicos.

Ao ser ligado pela primeira vez, o sistema apresentou a tela principal no LCD, exibindo os valores de hora/data inicial (01/01/00 e 00:00:00), temperatura ambiente e a detecção da presença de luz do ambiente. Todas as medições apresentaram um bom funcionamento, com o horário sendo atualizado a cada segundo e a detecção de luz e a temperatura sendo atualizada aproximadamente a cada 5 segundos. Na Figura 12 pode ser vista a tela principal do sistema sendo exibida pela tela LCD.

FIGURA 12 – Tela principal do sistema.

O primeiro teste realizado foi com a interface homem-máquina desenvolvida para o protótipo; foi possível realizar os acionamentos de cada ponto de energia de forma manual ou programar o módulo para realizar os acionamentos de forma automática. Também foi possível ajustar a hora/data atual e verificar a programação atual de cada ponto de energia do módulo, através da tela de estado do sistema.

Na tela de estado (Figura 13), é exibido um número entre colchetes, relacionado a cada ponto de energia (ou tomada) do sistema. Esses números representam a forma de acionamento automático programado pelo usuário.

FIGURA 13 – Tela de estado do sistema.

O significado dos números exibidos para cada ponto de energia pode ser visto na Tabela 1.

TABELA 1 – Estados do sistema.

Número	Significado
1	Não há programa configurado.
2	Acionamento por relógio: ligar.
3	Acionamento por relógio: desligar.
4	Acionamento por relógio: desligar, depois ligar.
5	Acionamento por temperatura: ligar acima do limite estabelecido.
6	Acionamento por temperatura: ligar abaixo do limite estabelecido.
7	Acionamento por luminosidade: ligar com a presença de luz
8	Acionamento por luminosidade: ligar com a ausência de luz.

Aproveitando o momento, foi realizada a medição da corrente elétrica que o módulo consome durante o seu funcionamento. Foi utilizado um multímetro digital, conectado em série com um dos condutores que faz a ligação do módulo com a rede elétrica. Nenhum equipamento foi conectado nas saídas dos pontos de energia do módulo, sendo assim, o valor medido é relacionado somente com o consumo de energia dos componentes e periféricos do sistema. Foi utilizado o acionamento manual de cada ponto de energia para obter os valores de corrente elétrica, conforme podem ser vistos na Tabela 2.

TABELA 2 – Valores de corrente elétrica consumida pelo sistema.

Condição do sistema	Corrente elétrica consumida
Nenhum ponto de energia ativado.	46,5 mA
Com 1 ponto de energia ativado.	51,1 mA
Com 2 pontos de energia ativados.	55,2 mA
Com 3 pontos de energia ativados.	59,7 mA
Com 4 pontos de energia ativados.	64 mA
Com 5 pontos de energia ativados.	68,2 mA

A esses valores, é somado o total da corrente elétrica consumida pelos aparelhos eletro-eletrônicos conectados ao módulo quando ativados. No desenvolvimento do *hardware*, devido à capacidade dos componentes utilizados, foi definido o limite máximo de 7 A para um único ponto de energia, e de 10 A para todo o sistema.

Para a realização dos testes de acionamento, foi utilizado como aparelho eletro-eletrônico uma luminária com uma lâmpada fluorescente de 9 W (com 220 V e consumo de aproximadamente 30 mA), conectado no primeiro ponto de energia do módulo. Na Figura 14, pode ser visto o sistema ligado com o protótipo preparado para a realização dos testes. A seguir, uma descrição dos testes realizados para cada forma de acionamento automático do sistema é fornecida.

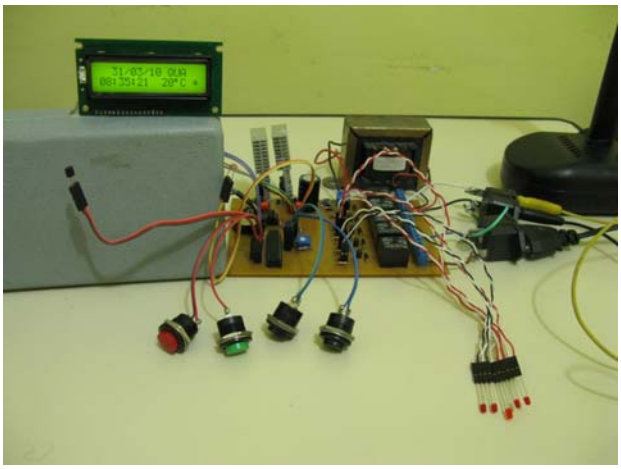

FIGURA 14 – Protótipo em funcionamento para a realização de testes.

4.1. Acionamento do relógio

Primeiramente foi analisado o funcionamento do relógio de tempo-real DS1307 integrado ao sistema. Antes de ligar o protótipo pela primeira vez, foi empregado ao sistema uma bateria de lítio de 3 V e um cristal de 32,768 kHz. Ao ligar pela primeira vez, foi apresentado o valor inicial de hora/data do DS1307, iniciando a contagem e com o horário sendo atualizado a cada segundo. Com a interface, o menu de configuração de horário foi acessado e os valores atuais foram ajustados (exceto os segundos, todos os outros valores são definidos pelo usuário); confirmando os valores ajustados, o sistema gravou a hora/data atual com sucesso, voltando a tela inicial após 5 segundos e seguindo com a exibição da contagem.

O relógio manteve sua sincronia durante todo o período em que o sistema permaneceu ligado, seja na tela principal, exibindo os valores atuais, ou quando era realizada a navegação nos menus do sistema. Também foram realizados testes com o desligamento temporário do sistema; os resultados foram positivos, não houve perda dos valores ajustados e o sistema manteve a contagem de hora/data sem perder a sincronia.

O sistema desenvolvido disponibiliza um total de 32 combinações possíveis de acionamento por hora/data, atuando sobre um determinado ponto de energia através das seguintes ações: “Ligar”, “Desligar”, “Primeiro ligar, depois desligar” e “Primeiro desligar, depois ligar”. Valores de horas e minutos devem ser ajustados para cada ação e dependendo da combinação escolhida, valores de dia da semana ou dia do mês também devem ser ajustados.

Foram realizados testes com todas as combinações disponíveis, uma de cada vez. O sistema atuou sobre o ponto de energia em que a luminária estava conectada, ligando-a ou desligando-a, da forma como foi programada quando as condições especificadas eram atendidas (Figura 15).

FIGURA 15 – Sistema ativando uma luminária através do acionamento por relógio.

O sistema executa a rotina de verificação das configurações programadas a cada 5 segundos; nessa rotina, ele verifica a hora/data atual com a hora/data programada para cada ponto de energia e,

quando os valores são iguais, o sistema realiza o processo de acionamento. Essa rotina é sempre executada enquanto o sistema estiver ligado, independente da tela ou do menu que estiver sendo exibido ou acessado.

4.2. Acionamento por temperatura

Existem duas combinações possíveis para o acionamento por temperatura: ligar quando a temperatura estiver acima do limite e desligar quando estiver abaixo, ou o inverso, ligar quando estiver abaixo do limite e desligar quando estiver acima. O acionamento ocorre quando a temperatura atual ultrapassa a temperatura limite especificada pelo usuário.

O sistema executa a rotina de verificação das configurações programadas, verificando a temperatura ambiente atual e comparando com a temperatura limite. O sistema realizará o acionamento quando a temperatura limite for ultrapassada em 1 °C, e irá manter o ponto de energia no estado programado até que a temperatura ambiente volte a ficar dentro do limite e com 3 °C de distância da temperatura limite, quando o sistema desfaz o acionamento programado até que a temperatura limite seja ultrapassada novamente.

Para realizar o teste de acionamento por temperatura, foi utilizada a temperatura ambiente e a temperatura dissipada pelo regulador KA7805 para obter a variação de temperatura necessária para realizar os acionamentos. No momento do teste, a temperatura ambiente era de 22 °C e a do dissipador do KA7805 era de 55 °C.

Para o primeiro caso, o ponto de energia foi programado para ligar quando a temperatura do sensor estiver acima de 27 °C (temperatura limite especificada). Fixando o sensor no dissipador, a temperatura subiu e quando o sistema realizou a leitura de 28 °C, ativou a luminária conectada ao ponto de energia programado. Após retirar o sensor do dissipador, a temperatura voltou a cair e quando chegou em 24 °C, o sistema desativou a luminária.

Para o segundo caso, o ponto de energia foi programado para ligar a luminária com a temperatura abaixo de 25 °C (temperatura limite). Com o sensor na temperatura ambiente de 22 °C, após realizar a programação, o sistema ativou a luminária. Fixando novamente o sensor no dissipador, a temperatura começou a subir e ao atingir 28 °C, o sistema desativou a luminária. Retirando novamente o sensor do dissipador, a luminária foi ativada novamente quando a temperatura alcançou 24 °C.

4.3. Acionamento por luminosidade

O circuito responsável pela detecção de luz utiliza dois divisores de tensão, alimentados com 5 V e composto por um resistor de 1 kΩ e resistências variáveis: uma delas é o foto-resistor LDR, e a outra resistência é um trimpot de 50 kΩ que é ajustado pelo usuário. Esse ajuste é realizado para obter a tensão de referência, para que o microcontrolador possa compará-la com a tensão gerada pela variação de luminosidade do LDR. Quando a tensão no LDR é maior que a tensão no trimpot, o sistema detecta a ausência de luz, quando a tensão no LDR é menor que a tensão no trimpot, o sistema detecta a presença de luz.

Para realizar o acionamento por luminosidade, o trimpot deverá ser regulado de maneira diferente para cada fonte de luz, de modo que o sistema possa interpretar a presença/ausência de luz, estabelecendo um limite que separe as duas condições. Quanto menor for a distância entre a posição do trimpot e o limite, mais sensível será a detecção de luz realizada pelo sistema. Existem duas combinações possíveis para o acionamento por luminosidade: ativar o ponto de energia com a presença de luz e desativá-lo com a ausência, e vice-versa.

No teste realizado, o LDR foi instalado no lado externo de uma residência para captar diretamente a luz do sol. O trimpot foi regulado de maneira que fosse capaz de detectar a luz do sol no fim de tarde com bastante sensibilidade, para que no momento em que o céu estiver praticamente escuro, seja possível detectar a ausência de luz.

Para adquirir o valor da resistência, essa foi medida em um pino aberto do trimpot; com a referência do mesmo, por se tratar de um trimpot linear, bastava subtrair o valor adquirido do valor total do componente para obter a resistência utilizada para este teste. Aplicando esse método, chegou-se ao valor de 18 kΩ; com o sistema ligado, a tensão sobre o trimpot foi de 4,67 V.

Para o primeiro teste de acionamento, o ponto de energia em que a luminária estava conectada foi programado para ligar com a presença de luz. Esse teste foi realizado no início do período matutino; a luminária permaneceu desligada até as 6 horas e 54 minutos, quando o acionamento foi realizado, ligando a luminária conectada ao módulo.

Para o segundo teste, o mesmo ponto de energia foi programado para ligar com a ausência de luz. Esse teste foi realizado no final do período vespertino do mesmo dia do primeiro teste e, com o mesmo valor de resistência do trimpot, a luminária permaneceu desligada até as 17 horas e 22 minutos, quando o acionamento foi realizado, ligando a luminária conectada ao módulo.

4.4. Testes de potência

Diversos aparelhos eletro-eletrônicos foram utilizados para realizar os testes do sistema. Antes

de aplicá-los, foi realizada a medição do consumo de corrente elétrica em cada aparelho, através do uso de um multímetro. Na Tabela 3 pode ser vista a relação dos aparelhos utilizados e o consumo de corrente elétrica gerado por eles; todos esses aparelhos funcionaram normalmente ao serem ativados pelo sistema.

TABELA 3 – Valores de corrente elétrica dos aparelhos eletro-eletrônicos testados.

Aparelho eletro-eletrônico	Corrente média	Corrente de pico
Lumiária	30 mA	33 mA
Ventilador (velocidade máxima)	400 mA	5 A
Liquidificador (velocidade máxima)	850 mA	3,63 A
Sanduicheira elétrica	2,9 A	2,9 A
Grelhador elétrico	5,3 A	5,3 A
Aspirador de pó	5,4 A	6,8 A
Ferro de passar	4,54 A	4,54 A

Utilizando esses aparelhos, foram realizados testes para verificar o funcionamento do sistema com as condições máximas de corrente elétrica estabelecida para os pontos de energia e para o módulo do sistema.

Para analisar o funcionamento do sistema com 7 A em um único ponto de energia, foram acionados um ferro de passar e uma sanduicheira elétrica. Utilizando um multímetro digital para medir a corrente no sistema, o ponto de energia foi ativado, obtendo na leitura um consumo de 7,2 A. Mesmo ultrapassando um pouco o limite estabelecido, os aparelhos mantiveram pleno funcionamento, embora o uso prolongado de qualquer dispositivo ou aparelho eletro-eletrônico com um consumo de corrente superior a 7 A poderá diminuir a vida útil ou mesmo danificar os componentes do circuito de acionamento para o respectivo ponto de energia do sistema. Na Figura 16, pode ser visto o protótipo durante a realização desse teste.

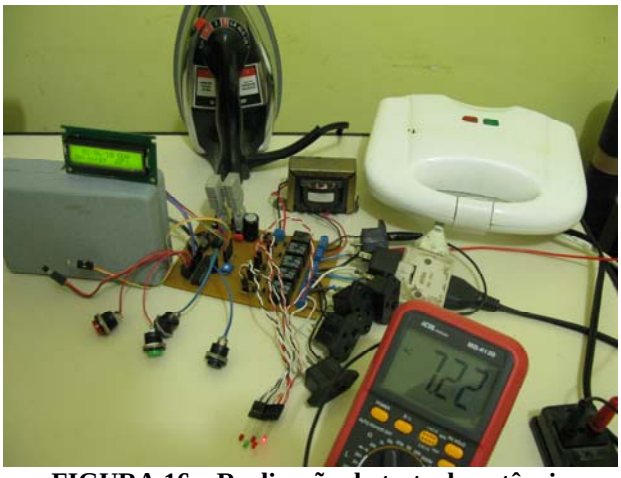

FIGURA 16 – Realização do teste de potência de um ponto de energia.

O limite para esse protótipo foi estabelecido em 10 A a fim de evitar a necessidade de realizar uma instalação elétrica específica para a realização dos testes. Alterando a largura das trilhas que fornecem alimentação aos pontos de energia e selecionando componentes com maior capacidade de corrente, é possível desenvolver um novo protótipo para o acionamento de dispositivos ou aparelhos eletro-eletrônicos mais potentes.

5. MELHORIAS PROPOSTAS

Partindo deste projeto, é possível implementar algumas melhorias para o sistema desenvolvido, podendo tornar alvo de um trabalho futuro. Justamente pelo fato da domótica (ou automação residencial) ser formada por um conjunto de tecnologias, diversas dessas podem ser integradas para desenvolver sistemas que atendam às necessidades do usuário, ao mesmo tempo em que os sistemas possam se tornar cada vez mais interativos e inteligentes.

Entre as melhorias relacionadas à interface, para tornar o sistema mais conveniente, sugere-se a implementação de um acesso remoto, que permita controlar o sistema de qualquer lugar através de algum dispositivo de comunicação de dados (um computador, *palm* ou celular, por exemplo) conectado à Internet, ou o desenvolvimento de um painel portátil ou controle remoto, com comunicação sem fio, que permita controlar o sistema dentro da edificação instalada.

Entre as melhorias relacionadas ao acionamento, sugere-se realizar alguns ajustes no projeto e utilizar componentes mais robustos, permitindo que equipamentos mais potentes ou que uma quantidade maior de dispositivos ou aparelhos eletro-eletrônicos possam ser acionados pelo sistema. Sugere-se também a possibilidade de realizar outras formas de acionamento, usando microcontroladores mais poderosos e com outros periféricos. E, por fim, sugere-se também a possibilidade de o sistema realizar outras formas de atuação sobre os aparelhos eletro-eletrônicos que, além do controle da energia de alimentação, possa também configurar o funcionamento dos dispositivos ou aparelhos, através de uma comunicação direta entre o sistema e esses aparelhos.

Entre as melhorias relacionadas à alimentação, sugere-se o desenvolvimento de uma fonte chaveada, em substituição à fonte linear desenvolvida para esse projeto, por se tratar de uma fonte que possui uma melhor estabilidade de tensão, além de outras vantagens como leveza, menor dissipação de calor e tamanho reduzido.

Entre as melhorias relacionadas aos sensores e atuadores, sugere-se o desenvolvimento de

pequenos módulos portáteis, que possam ser instalados em diferentes lugares da edificação em que o sistema estiver instalado, comunicando-se com o módulo principal do sistema através de comunicação sem fio. Dessa forma, é possível coletar dados para o sistema e realizar os acionamentos dos dispositivos e aparelhos eletro-eletrônicos sem a necessidade de modificar as instalações elétricas do local.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um sistema de baixo custo, para ser aplicado em domótica (ou automação residencial), capaz de realizar o controle de dispositivos ou aparelhos eletro-eletrônicos, permitindo realizar o acionamento automático em circunstâncias desejadas de hora e data, temperatura ou luminosidade. Desta forma, é possível programar as condições de funcionamento de cada aparelho conectado ao módulo, realizando, assim, uma utilização mais eficiente e obtendo uma economia maior de energia elétrica.

O sistema apresentou pleno funcionamento; o *firmware* desenvolvido é capaz de reconhecer todas as configurações possíveis programadas pelo usuário, a interface de menu é simples, porém clara e objetiva, permitindo, assim, uma comunicação amigável e tranquila entre o usuário e o sistema. O *hardware* desenvolvido garante o funcionamento do sistema, integrando todos seus componentes, periféricos e permitindo o acionamento dos dispositivos e aparelhos eletro-eletrônicos dentro das condições estabelecidas.

Diversas dificuldades foram encontradas ao longo do projeto, seja em relação ao funcionamento dos componentes eletrônicos, seja ao desenvolvimento do *firmware* e do *hardware*, mas felizmente todas elas foram superadas com o estudo das referências bibliográficas, realização de testes práticos e simulações e a orientação adequada recebida pelo professor-orientador do projeto.

Para que esse sistema possa se tornar um produto comercialmente interessante, existem algumas melhorias que devem ser realizadas, principalmente nos quesitos de possibilitar o acesso remoto ao sistema e permitir a configuração dos equipamentos controlados. Espera-se que ao implementar as melhorias citadas anteriormente, esse sistema seja capaz de atender da melhor maneira possível, às necessidades de comunicação, conforto e segurança dos habitantes de uma edificação, buscando manter o menor custo possível para a sua produção.

O mercado de automação residencial encontra-se em franca expansão e a tendência é de que, nos próximos anos, sistemas desse tipo estejam cada vez mais presentes na vida das pessoas.

REFERÊNCIAS

ATMEL. ***ATmega168 8-bit Microcontroller with 16 KB In-System Programmable Flash***. 2009. Disponível em: <www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2545.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2010.

BOYLESTAD, R. L.; NASHELSKY, L. **Dispositivos eletrônicos e teoria dos circuitos**. 8ªed., Rio de Janeiro: Prentice Hall do Brasil, 2005.

CABRAL, Michel. **Sistema de automação residencial de baixo custo: uma realidade possível**. 2008. Disponível em: <http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/viewFile/173/160>. Acesso em: 20 abr. 2010.

FAIRCHILD. ***KA78XX/KA78XXA 3-Terminal 1 A Positive Voltage Regulator***. 2001. Disponível em: <www.datasheetcatalog.org/datasheet/fairchild/KA7805.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2010.

LEUZENSKI, Glisson. ***Automação residencial: uma proposta alternativa***. 2007. Disponível em: <http://www.aeapg.org.br/3eetcg/Anais/ARTIGOS/PDFS/Engenharia%20de%20Computa%C3%A7%C3%A3o%20e%20Inform%C3%A1tica%20-%2012.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2010.

MAXIM. ***DS1307 64x8, Serial, I²C Real-Time Clock***. 2008. Disponível em: <datasheets.maxim-ic.com/en/ds/DS1307.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2010.

NATIONAL. ***LM35 Precision Centigrade Temperatura Sensors***. 2000. Disponível em: <www.national.com/ds/LM/LM35.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2010.

REZENDE, Sergio. **Materiais e dispositivos eletrônicos**. 2ªed., São Paulo: Ed. Livraria da Física, 2004.

ROQUE, Antonio. **Sobre Domótica**. 2008. Sócio-Gerente A Casa Inteligente Lda.. Disponível em: <http://www.revolucione.com/domotica/sobre-domotica/>. Acesso em: 22 abr. 2010.

SUNHOLD. **RAS-1210**. Disponível em: <http://www.sunhold.com/ras.html>. Acesso em: 27 abr. 2010.