

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

CESAR MACHADO MAIA

Interface de Acionamento de Cargas Luminosas com Microcontrolador
PIC e Relés de Impulso

São Carlos

2012

Cesar Machado Maia

Interface de Acionamento de Cargas Luminosas com Microcontroladores PIC e Relés de Impulso

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Engenharia de São
Carlos, da Universidade de São Paulo

Curso de Engenharia Elétrica

Ênfase em Sistemas de Energia e Automação

ORIENTADOR: Prof. Dr. Roberto Clarete Pessotta

São Carlos

2012

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

Maia, Cesar Machado

M217i Interface de acionamento de cargas luminosas com
microcontroladores PIC e relés de impulso / Cesar
Machado Maia; orientador Roberto Clarete Pessotta. --
São Carlos, 2012.

Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com
ênfase em Sistemas de Energia e Automação) -- Escola de
Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo,
2012.

1. Microcontrolador. 2. Telerruptor. 3. Acionamento.
I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome: Cesar Machado Maia

Título: "Interface de Acionamento de Cargas Luminosas com Microcontrolador PIC e Relés de Impulso"

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado
em 17/07/2012,

com NOTA 7,7 (sete, sete), pela comissão julgadora:



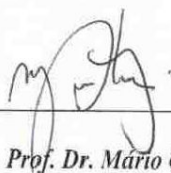
Prof. Dr. Roberto Clarete Pessotta (Orientador) - EESC/USP



Prof. Dr. Ruy Barboza - EESC/USP



Profa. Assistente Luiza Maria Romeiro Codá - EESC/USP



Prof. Dr. Mário Oleskovicz
Coordenador Suplente da CoC-Engenharia Elétrica em exercício
EESC/USP

Dedico esta conquista a Deus, aos meus pais, aos meus irmãos e a cada um que me ajudou a chegar aonde eu cheguei.

Agradecimentos

Agradeço a Deus, pelo dom da vida e por ter colocado as pessoas certas no meu caminho durante a graduação;

Aos meus pais, por sempre me apoiarem nos bons e maus momentos;

Aos meus irmãos, por sempre estarem ao meu lado.

Aos bons amigos que tive o privilégio de encontrar durante a minha graduação.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação, pela sua formação e competência.

Resumo

MAIA, C.M. Interface de Acionamento de Cargas Luminosas com Microcontrolador PIC e Relés de Impulso. Dissertação (Graduação) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

Neste trabalho foi projetado e implementado um sistema eletrônico que é capaz de oferecer flexibilidade e liberdade ao controle de luminosidade em ambientes com grandes áreas por meio da escolha de quais cargas luminosas permanecerão ligadas ou desligadas. Este procedimento é realizado diretamente pelo usuário do sistema. Este sistema se baseia no funcionamento do relé de impulso e, além de oferecer liberdade para a escolha dos conjuntos das cargas a serem acionados, ainda pode oferecer redução do consumo de energia elétrica pela redução do gasto com lâmpadas e também pela redução das perdas nos condutores, pelo uso do telerruptor.

Palavras-chave: Microcontrolador, Telerruptor, Acionamento

Abstract

MAIA, C.M. An Interface for Driving Light Load using PIC microcontroller and Impulse Relays. Dissertação (Graduação) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

In this work an electronic system has been designed and implemented which is able to offer flexibility and freedom to the luminosity control of different environments with large areas by choosing the lamp options made directly by the system user. This system bases itself on the operation of the impulse relay, and besides providing freedom to choose the sets of loads to be driven, it can still offer reduction over the power consumption by reducing the expense with lamps and also by reducing losses in the conductors, by using the telerruptor.

Keywords: Microcontroller, Telerrutpor, Driving

Lista de Siglas

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

BPS *Bits per Second*

CI Circuito Integrado

CMOS Complementary Metal-Oxide-Semiconductor

IDE Integrated Development Environment

LED Light Emitting Diode

ms Milissegundos, Unidade de Tempo

MUX Multiplexador

ns Nanossegundos, Unidade de Tempo

PCI Placa de Circuito Impresso

PIC Peripheral Integrated Controller

RS-232 *Recommended Standard-232*

SCR Silicon Controlled Rectifier

TTL Transistor-Transistor Logic

USART Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter

USB Universal Serial Bus

USP Universidade de São Paulo

Sumário

1. Introdução	19
1.1. Objetivo.....	19
1.2. Acionamento e Sinalização.....	20
1.3. Telerruptores.....	21
1.4. Organização do Trabalho	23
2. Sistemas da Interface	25
2.1. Sistema de Entrada de Acionamento	26
2.2. Sistema de Controle.....	29
2.3. Sistema de Acionamento.....	30
2.4. Sistema de Aquisição de Estado	30
2.5. Célula de Acionamento e Aquisição de Estado.....	31
3. Programa	34
4. Implementação dos Sistemas em PCI's	36
5. Resultados Obtidos e Discussão	42
5.1. Resultados.....	42
5.2. Discussão	44
6. Conclusões e Trabalhos Futuros	46
6.1. Conclusões.....	46
6.2. Trabalhos Futuros.....	46
7. Referências	48
Apêndice A.....	49
A.1. Programa Desenvolvido	49
A.2. Projeto do Filtro.....	53
A.3. Dimensionamento do resistor de pull down	54
A.4. Conteúdo da referência [3]	55

1. Introdução

O crescimento econômico tem levado ao aumento do consumo de energia elétrica no Brasil. Como consequência tem aumentado a necessidade de se fazer seu uso mais racional para, dessa forma, evitar o desperdício dessa fonte de energia.

A melhora na eficiência do consumo pode ser auxiliada com o uso da automação podendo apresentar soluções diferenciadas para cada caso e assim conseguir evitar desperdícios e elevar a flexibilização do uso da própria instalação.

Uma alternativa para tornar mais individualizada a utilização e diminuir o consumo de energia seria setorizar o comando das cargas, pois isso traria liberdade para a escolha de quais cargas podem ser ligadas ou desligadas conforme a necessidade que o usuário tenha de acordo com o momento e a situação que estiver transcorrendo no ambiente. O método que é utilizado atualmente demanda certa quantidade de condutores, além de não haver distinção de circuitos de potência e controle e necessidade de uma seção mínima (1,5 mm²) regulamentada por norma NBR 5410. Assim, uma quantidade grande de pontos de acionamento implicaria diretamente no aumento da quantidade de condutores, o que poderia causar aumento de custos da instalação, sem uma contrapartida de flexibilidade no seu uso. A separação dos circuitos de potência e de comando pode diminuir a quantidade e a seção dos condutores utilizados na instalação elétrica. Um elemento capaz de realizar essa separação é o telerruptor, e por causa dessa característica, uma instalação elétrica no qual esse elemento seja usado pode elevar a liberdade da configuração da luminosidade em um determinado ambiente sem o mesmo aumento da quantidade de condutores.

1.1. Objetivo

O objetivo deste trabalho foi realizar um sistema digital eletrônico capaz de comandar, isto é, ligar ou desligar cargas luminosas usando um computador como entrada dos comandos. Este sistema fará a interpretação dessas instruções, a leitura dos estados das cargas ao qual está conectado e decidirá se deve alterar, ou não, o estado da carga indicada pelo usuário. Este sistema eletrônico permitirá a realização de comandos conforme a preferência do usuário do sistema. As cargas luminosas foram simuladas como um conjunto de um led e resistor, e foram utilizadas na réplica parcial do Anfiteatro I, no *campus* 2 da Universidade de São Paulo, USP, *campus* de São Carlos.

Fica estabelecido neste trabalho que quando se referir à carga, na verdade está sendo tratado deste conjunto de leds e resistor, que simulam as lâmpadas ou luminárias.

Este trabalho é a continuação daquele que foi desenvolvido pelo ex-aluno Gustavo Machado Urzua, em seu trabalho de graduação, com o título de “Interface Gráfica para Comando de Iluminação de Grandes Ambientes Utilizando Telerruptores” [1], no qual foi desenvolvida uma interface gráfica para enviar as mensagens de quais cargas deveriam ser ligadas ou desligadas.

Entretanto, a interface desenvolvida [1], comunicava-se com um sistema específico, sendo assim, optou-se por usar outra maneira para realizar a entrada de dados: um computador portátil – *notebook* - que foi utilizado como sistema de entrada de instruções, como uma interface para o usuário.

A interface desenvolvida foi acoplada a uma réplica parcial do Anfiteatro I do Campus 2 da Universidade de São Paulo em São Carlos, que contém 16 conjuntos de cargas para realizar a simulação.

1.2. Acionamento e Sinalização

O funcionamento da interface eletrônica de acionamento baseia-se no princípio que a corrente elétrica alternada pode, ao mesmo tempo, levar um sinal de acionamento e carregar consigo um sinal de status (Patente Requerida). Esse princípio é aplicado ao telerruptor aqui utilizado, mostrado na Figura 3, que devido aos seus aspectos construtivos precisa apenas de um pulso, ou um trem de pulsos, direcionado ao neutro para alterar o estado da carga que se conecta a ele. Quando a carga está ligada, flui para o telerruptor uma corrente vinda do neutro, e esta corrente elétrica pode ser utilizada para fazer a sinalização do estado da carga. Enquanto a carga permanece desligada, nenhuma corrente flui para o telerruptor, e essa corrente de sinalização não é detectada.

Um dos condutores do telerruptor é responsável pelo acionamento da carga e por conduzir corrente elétrica para o telerruptor. Assim, por esse mesmo condutor pode-se realizar o acionamento e obter informação do estado da carga. De uma forma ilustrativa, pode-se dizer que a corrente senoidal que passa por esse condutor é uma composição de dois semiciclos de senóide: Um semiciclo para acionamento e outro semiciclo de informação.

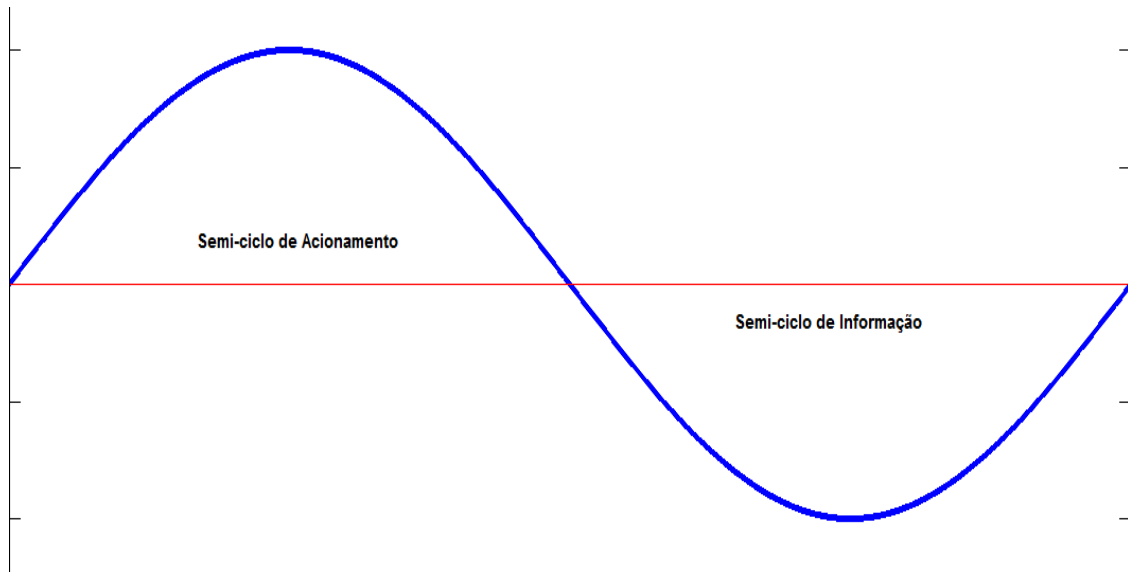


Figura 1: Semiciclos de acionamento e informação.

1.3. Telerruptores

O Relé de Impulso é um telerruptor que opera somente acionado com pulsadores comuns. Para que o dispositivo opere há necessidade que o potencial do condutor ligado ao fio vermelho seja diferente do potencial do condutor ligado ao fio branco via pulsador de acionamento.

Caso o dispositivo encontre-se desligado, o acionamento de um pulsador comum externo faz com que ele seja ligado. Caso encontre-se ligado, o acionamento de um pulsador comum externo faz com que ele seja desligado.

Em se tratando de um telerruptor, possui a característica de promover a separação entre os condutores do circuito de potência e aqueles do circuito de comando. Com isso passa-se a utilizar condutores de bitola reduzida no circuito de comando (mínimo de 0,5 mm²) de acordo com a norma NBR5410 da ABNT. Quando comandado com pulsadores comuns substitui com vantagens os interruptores paralelos e intermediários.

Pode ser instalado junto à carga, o que promove uma boa economia de fios de bitola maior (mínimo de 1,5 mm², também uma imposição da Norma NBR5410) além de aliviar a quantidade de condutores dentro dos eletrodutos e diminuir a queda de tensão, promovendo deste modo economia aliada à flexibilidade no projeto e execução da obra.

A Figura 2 mostra o esquemático de ligação do telerruptor para tensão de rede de 127 V.

Esquema de Ligação

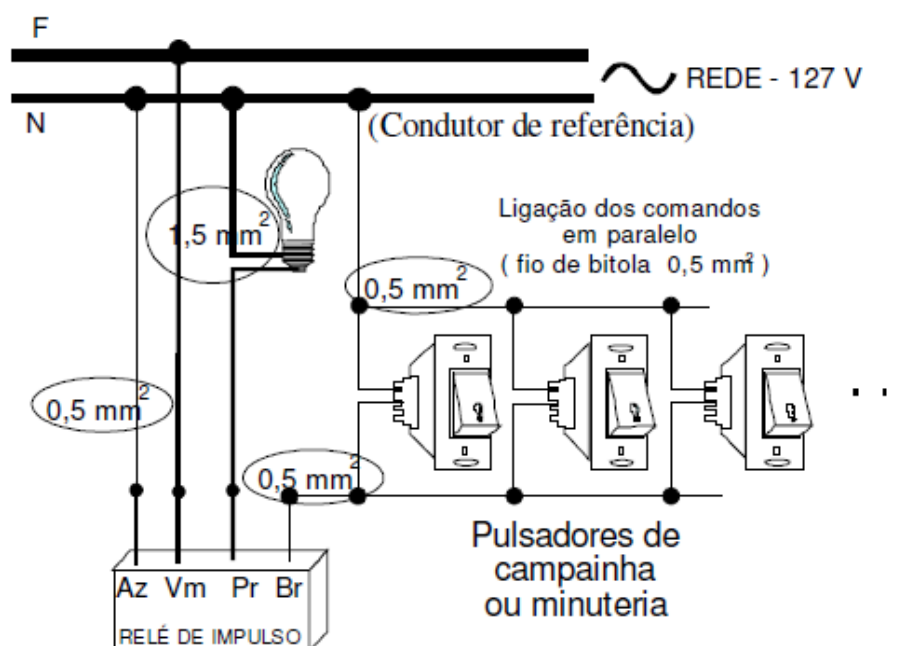


Figura 2: Esquema de ligação de um telerruptor em rede 127 VAC.

O telerruptor é o elemento sobre o qual baseia-se a implementação deste trabalho, sendo que no item 1.1, Acionamento e Sinalização, foi explicado como se pode usá-lo tanto para realizar o acionamento de uma determinada carga conectada ao fio preto como sinalizar o seu estado, usando apenas o fio branco.

A Figura 3 mostra a foto de um telerruptor tal qual foi utilizado no decorrer do projeto:

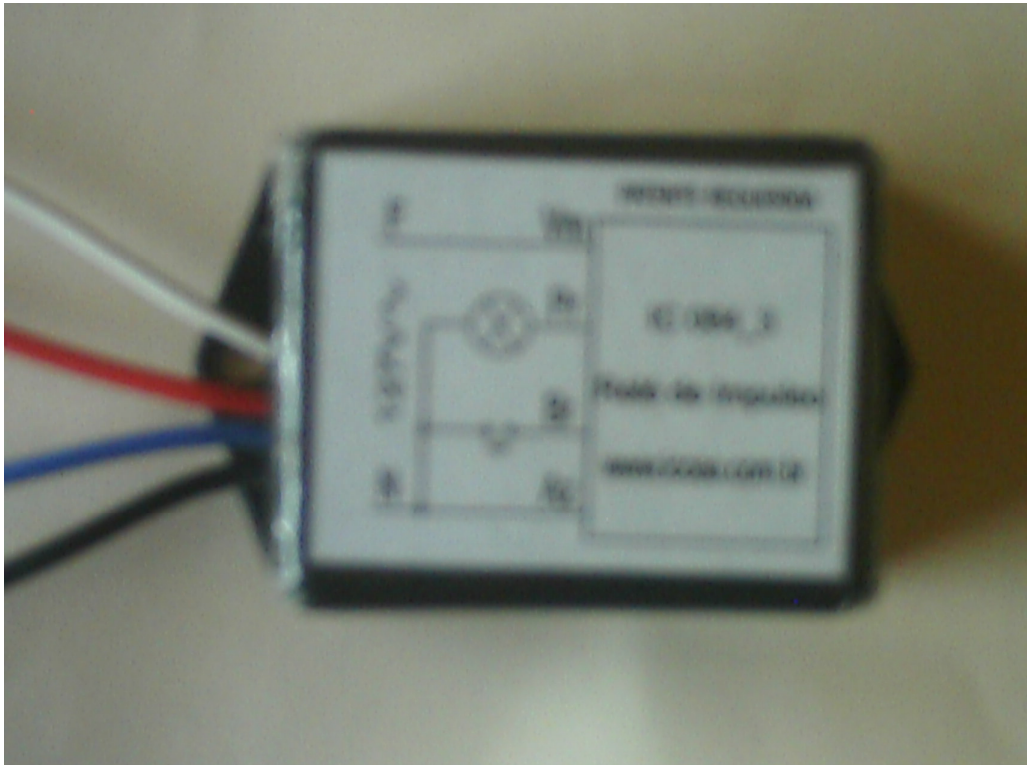


Figura 3: Telerruptor utilizado no projeto

1.4. Organização do Trabalho

O trabalho está dividido em sete capítulos e um anexo. O capítulo 2 explica quais sistemas compõem a interface, desde a entrada de dados e como enviar as instruções, o gerenciamento dos sistemas, o acionamento das cargas e o sensoriamento do sistema. O Capítulo 3 explica as especificações do programa que fará o controle da interface e receberá as instruções enviadas pelo usuário. O Capítulo 4 é destinado a relatar como foi a implementação em placas de circuito impresso, PCI, do *hardware* do sistema desenvolvido neste projeto e explica a motivação de implementar os sistemas da forma como foi realizado, além de dar uma breve indicação de quais componentes utilizados para desenvolvimento deste projeto. O Capítulo 5 relata os resultados obtidos depois do projeto instalado na réplica do anfiteatro, usando as mensagens relatadas no Capítulo 2. O Capítulo 6 discute os resultados e traz as conclusões que se pode tirar a partir do desenvolvimento do projeto executado, além de propor novos trabalhos que podem ser motivados com o término deste projeto. O Capítulo 7 apresenta as referências utilizadas para confecção do texto dessa monografia. Ao final da monografia há um Apêndice que apresenta: o programa desenvolvido para que a interface funcione conforme o idealizado; o filtro projetado; o dimensionamento do resistor de *pull-down*, que

foi necessário para a execução do projeto e o conteúdo do *site* que foi usado como referência para que se pudesse realizar esse dimensionamento.

2. Sistemas da Interface

As partes que compõem o hardware da interface são: sistema de entrada de acionamento, sistema de controle, sistema de acionamento e sistema de aquisição de estado e célula de acionamento e aquisição de estado. Os itens que se seguem têm como objetivo fazer uma descrição e explicar o funcionamento dessas partes.

O diagrama de blocos da interface é mostrado na Figura 4. As setas indicam a direção do sinal elétrico:

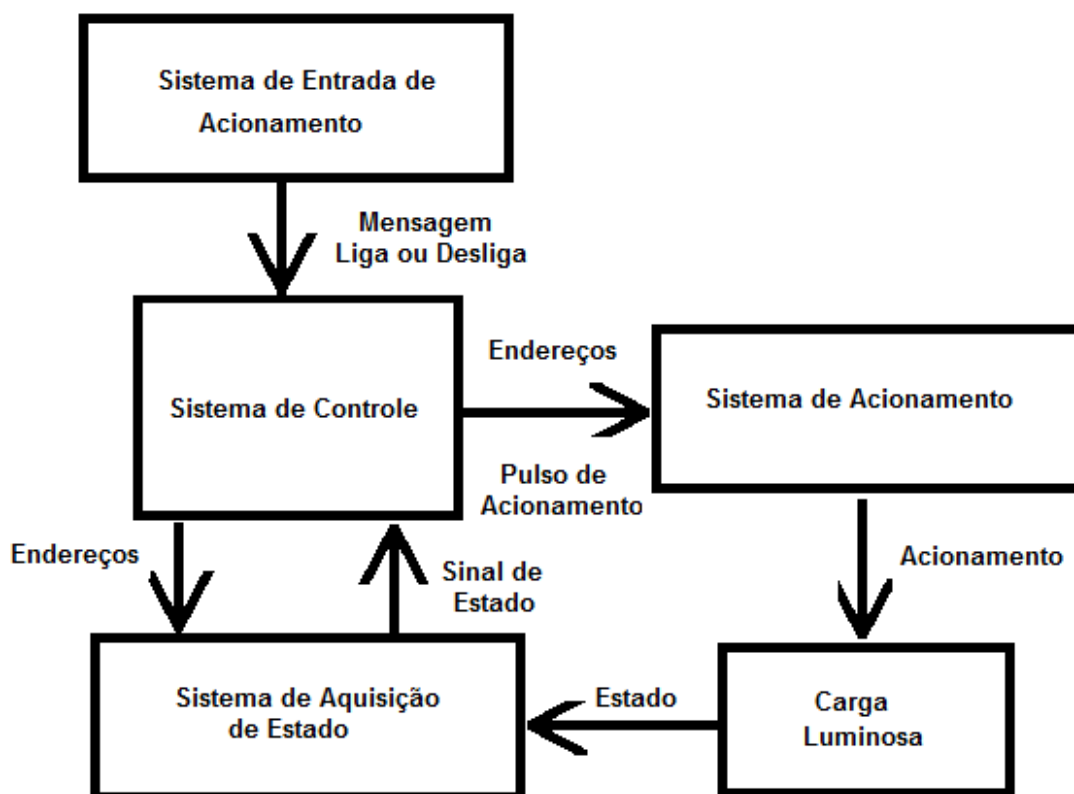


Figura 4: Diagrama de blocos da interface

2.1. Sistema de Entrada de Acionamento

Esse sistema será responsável por enviar uma instrução para a interface de acionamento. Essa instrução deve estar de acordo com o protocolo elaborado para ligar e desligar.

O protocolo que será usado para acionamentos individuais consiste em um caractere inicial que indica o estado futuro, ligado ou desligado, seguido do número da carga. O caractere “/” é um caractere de uso interno do programa que indica final da mensagem enviada ao PIC. Por exemplo: caso queira ligar a carga 12, o código para acionamento dessa carga será L (de Ligar), 12 (número da carga) e o caractere “/” para finalizar a mensagem, assim “L12/”. Caso quisesse desligar a carga 3, o código seria D (de desligar), 3 (número da carga) e “/”, portanto “D3/”.

As Tabelas 1 e 2 mostram as mensagens que devem ser enviadas para realização dos acionamentos.

Tabela 1: Mensagem de acionamento individual para ligar as cargas

Carga	Estado Futuro	Mensagem Enviada
0	Ligado	L0/
1	Ligado	L1/
2	Ligado	L2/
3	Ligado	L3/
4	Ligado	L4/
5	Ligado	L5/
6	Ligado	L6/
7	Ligado	L7/
8	Ligado	L8/
9	Ligado	L9/
10	Ligado	L10/
11	Ligado	L11/
12	Ligado	L12/
13	Ligado	L13/
14	Ligado	L14/
15	Ligado	L15/

Tabela 2: Mensagem acionamento individual para desligar as cargas

Carga	Estado Futuro	Mensagem Enviada
0	Desligado	D0/
1	Desligado	D1/
2	Desligado	D2/
3	Desligado	D3/
4	Desligado	D4/
5	Desligado	D5/
6	Desligado	D6/
7	Desligado	D7/
8	Desligado	D8/
9	Desligado	D9/
10	Desligado	D10/
11	Desligado	D11/
12	Desligado	D12/
13	Desligado	D13/
14	Desligado	D14/
15	Desligado	D15/

Neste experimento, o sistema de entrada de acionamento será um computador portátil - *notebook*, já que a interface gráfica para o usuário desenvolvida em [1] se voltou para uma finalidade mais específica e isso impossibilitou sua utilização no desenvolvimento deste projeto.

Para suprir esse imprevisto, foi usada a ferramenta de comunicação assíncrona, USART, da IDE Mikro C, da Mikroelektronika. A Figura 5 mostra a tela dessa ferramenta, que foi usada para enviar mensagens de instrução para ligar ou desligar uma determinada carga.

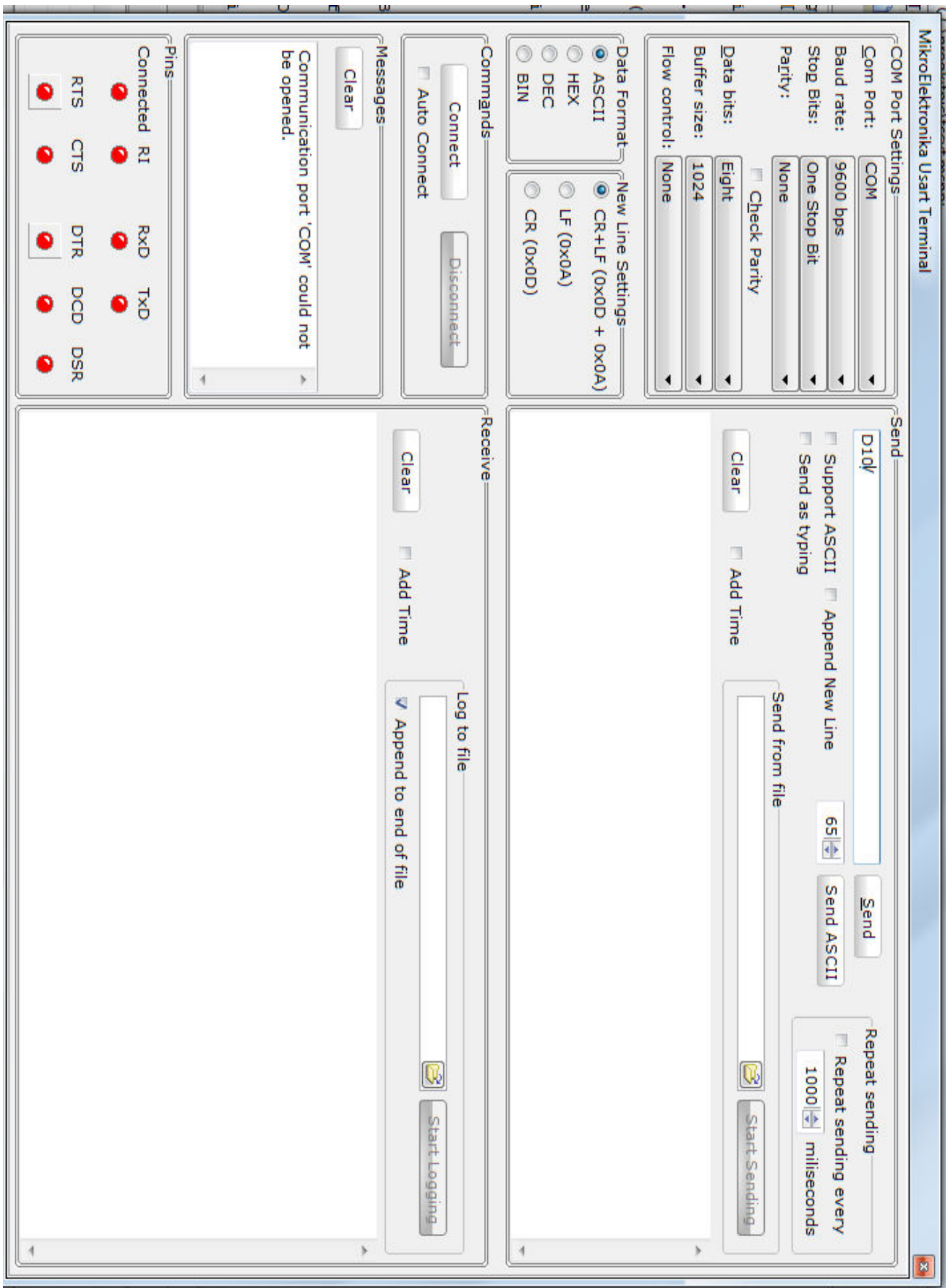


Figura 5: Tela da ferramenta de comunicação assíncrona da IDE MikroC

2.2. Sistema de Controle

O sistema de controle utilizado foi um microcontrolador PIC 16F877A que está vinculado a um *kit* de desenvolvimento, o *Start PIC* da Microgênios. Esse *kit* permite ainda a comunicação serial com o computador, neste caso um *notebook*, do sistema de entrada de dados e dessa forma pode receber as mensagens enviadas e processá-las.

Esse sistema trabalha enviando o endereço de uma carga pelo duto de endereços para o sistema de aquisição de estado, que será o mesmo do sistema de acionamento. Quando é recebido por uma de suas entradas o estado atual, este é comparado com o estado futuro. Caso haja diferenças entre esses estados, é enviado um sinal para o sistema de acionamento para que a carga possa ter seu estado alterado.

Para este sistema, o microcontrolador utilizado está superdimensionado, mas isso é uma decorrência do fato do *kit* disponível conter esta configuração. A despeito dessa característica ele corresponde às necessidades do projeto, isto é, permite o acesso aos *ports* do PIC e comunicação serial com o computador.

A Figura6 mostra o *kit* de desenvolvimento Start PIC:

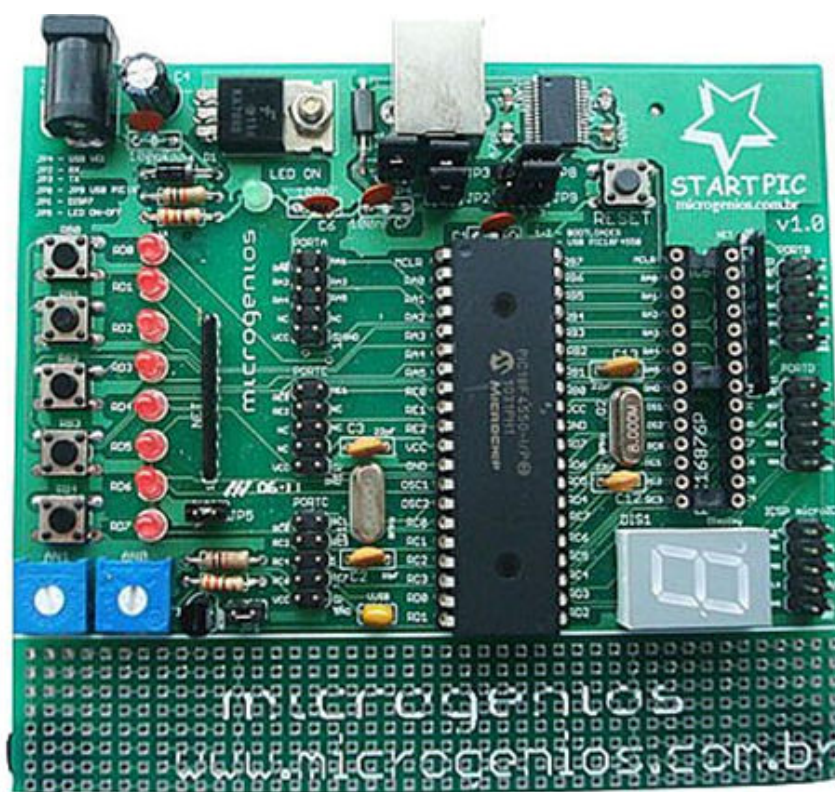


Figura 6: *Kit* de desenvolvimento Start PIC da Microgênios.

2.3. Sistema de Acionamento

O sistema de acionamento consiste em um sistema com três decodificadores 74155, um funcionando como CI de seleção e os outros dois, como saídas. Essas saídas foram conectadas às entradas de CI's inversores lógicos 7404. As saídas dos inversores lógicos foram ligadas a dois bancos de resistores que limitam a corrente de gatilho nos SCR's das células de acionamento e aquisição de estado, que será explicada no item 2.5.

Esse sistema recebe um endereço de 4 *bits* do *port* do microcontrolador PIC e eleva uma de suas saídas, aquela que foi selecionada para nível lógico 1. O banco de resistores tem como função exclusiva limitar a corrente, já que o gatilho do SCR é disparado com baixo valor de corrente. Entre os resistores e os gatilhos dos SCR's foram conectados diodos retificadores para evitar problemas com tensões reversas e também aumentar o nível de proteção do circuito.

A Figura7 mostra o diagrama de blocos deste sistema:

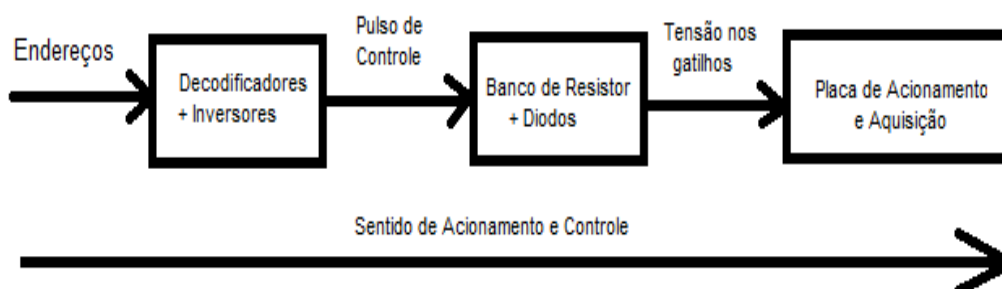


Figura 7: Diagrama de blocos do sistema de acionamento

A partir da entrada de 4 *bits* pode-se operar até 16 cargas ($2^4 = 16$).

2.4. Sistema de Aquisição de Estado

Esse sistema é composto por multiplexadores conectados às saídas das células de acionamento e aquisição de estado. As células de acionamento e aquisição de estado disponibilizarão a tensão de aproximadamente 5 volts em caso de carga ligada e aproximadamente 0 para carga desligada. As saídas dessas placas fornecem os sinais de

estado da carga, indicando se esta está ligada ou desligada, para poder ser usado mais adiante.

Esse sistema trabalha com informação e o sentido do sinal de estado é inverso ao sentido do sinal de acionamento e controle, similarmente como uma realimentação em sistemas de controle, mas ao invés de “fechar a malha” com um sinal analógico é usado um sinal digital.

Assim como o sistema de acionamento, o sistema de aquisição de estado recebe um endereço de 4 *bits*, que indica o estado de qual carga deve ser lido. Esses estados estarão sempre disponíveis nas entradas deste sistema, podendo ser lidos os estados a qualquer instante de funcionamento da interface. Assim como o sistema de acionamento, este sistema é projetado para receber até 16 sinais das cargas. A Figura 8 mostra o sentido da informação deste sistema. Se comparar com a Figura 7, vê-se que o sentido do acionamento e o sentido da informação são opostos, como se fosse uma “realimentação de informação”.

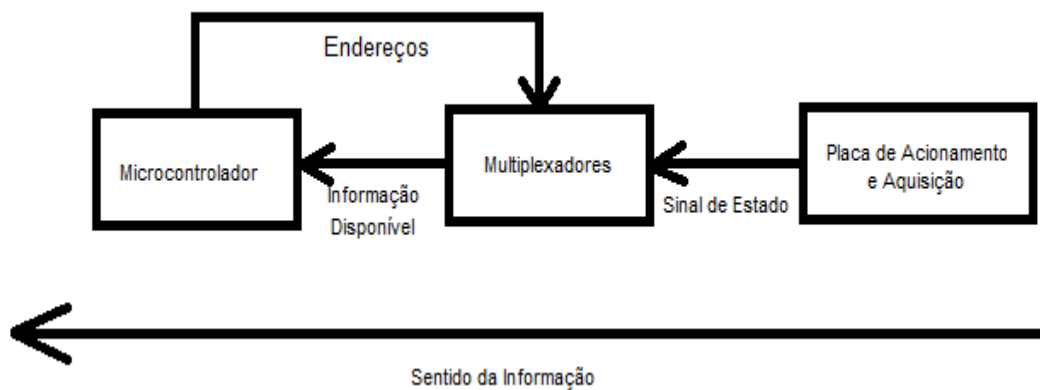


Figura 8: Diagrama de blocos do sistema de aquisição de estado.

2.5. Célula de Acionamento e Aquisição de Estado

Esta célula pertence ao sistema de acionamento e aquisição de estado ao mesmo tempo. Ela é composta por SCR's, para direcionar o pulso de acionamento – dessa forma diz-se que o SCR compõe o sistema de acionamento, e por um diodo retificador 1N4007, que direcionará o pulso de informação, um opto acoplador 4n25 que terá seu primário excitado e um resistor limitador de corrente.

O secundário do opto acoplador é conectado à tensão da fonte DC interna do hardware eletrônico. A tensão de saída do secundário do opto acoplador é uma tensão pulsada com ciclo de trabalho de 50%, dessa forma a tensão de saída tem o valor de metade do valor da fonte. Como está próximo do limite para que seja entendido como nível alto, foi instalado um filtro para diminuir a ondulação e aumentar a tensão média de saída. Outra função do filtro é fazer com que o sinal pulsante não chegue ao MUX, pois o tempo de atraso dele é muito menor que o período do sinal pulsante, assim o microcontrolador entenderia como uma sucessão de “ligados e desligados” durante o período da tensão do sinal de informação e seria perdida a função do sistema de aquisição de estado. O diodo e o opto acoplador também fazem parte do sistema de aquisição de estado.

O circuito completo da célula de acionamento e aquisição de estado é mostrado na Figura 9:

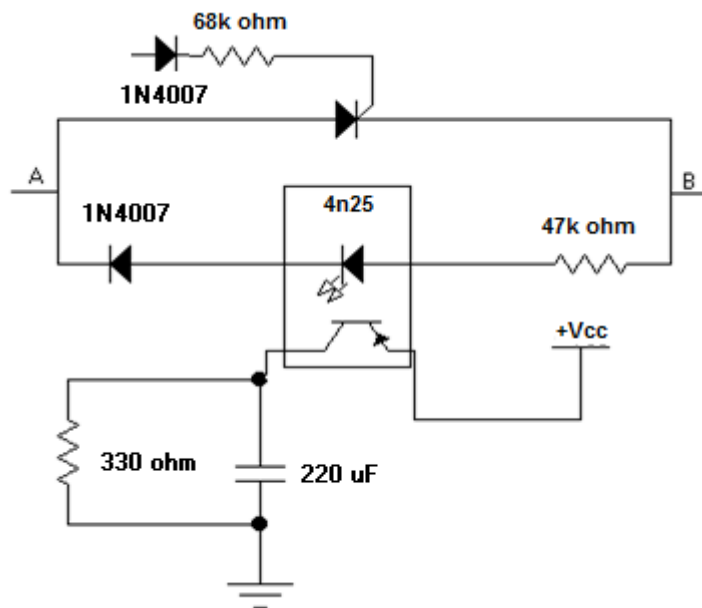


Figura 9: Circuito completo da célula de acionamento e aquisição do status

Quando houver um pulso gerado pelo sistema de acionamento, o SCR faz com que o fio branco do telerruptor, que deverá ser conectado ao ponto A da Figura 9, tenha o mesmo potencial de neutro, que deverá ser conectado ao ponto B dessa mesma figura, possibilitando assim a inversão de estado.

No caso de carga ligada, uma corrente fluirá do neutro para o telerruptor, via fio branco. Assim, o secundário do 4n25 será excitado e permitirá que a tensão pulsada esteja presente na entrada o filtro resistivo-capacitivo, projetado conforme [2], formado por um resistor de 330 ohms, dimensionado a partir de [3], que tem função de *pull down*, e um capacitor de 220 μF . Este filtro tem o objetivo de diminuir a ondulação na saída do sensoriamento do estado da carga.

Dessa forma é possível fazer o acionamento e o sensoriamento com esta célula alocada em um único condutor, o condutor branco (Patente Requerida) do telerruptor, que deve ser chaveado e colocado em potencial de neutro para que haja alteração do estado da carga conectada ao relé de impulso.

3. Programa

O programa, cujo código fonte consta no Anexo 1, foi desenvolvido para receber as instruções do sistema de entrada e, a partir das informações vindas do sistema de aquisição de estado, controlar os pulsos de acionamento dos telerruptores.

O programa foi desenvolvido em linguagem C, pelo fato de que o autor do trabalho ter conhecimento da linguagem e a IDE em que foi desenvolvido o programa utiliza essa mesma linguagem.

A IDE utilizada foi o MikroC for PIC, da Microeletronika em uma versão grátis para uso, chamada de *freeware*. As informações pertinentes à programação e inicialização das bibliotecas de comunicação serial, dos *ports* e da USART constam no manual do usuário do MikroC for PIC [4].

As especificações do programa são descritas abaixo:

- I. Usar endereços de 4 bits;
- II. Pulso de controle de período, no mínimo, igual ao da senóide de tensão da rede elétrica;
- III. O sistema não deve atuar em caso de instrução que não vá alterar o estado da carga;
- IV. Deverá possibilitar acionamentos individuais; e
- V. Deve usar algum canal de comunicação com o microcomputador.

Neste projeto foi utilizada uma precedência da análise do estado sobre o pulso de comando, pois uma das especificações requer que não haja atuação no caso de envio de uma instrução que não provoque alteração do estado da carga. Assim, a leitura do estado impede que alguma atitude seja tomada neste tipo de mensagem. Caso o estado atual e o estado futuro sejam distintos, então o pulso de comando fará a inversão do estado da carga.

O protocolo de comunicação entre o computador e o PIC utilizado foi o RS232, com o *baud rate* de 9600 bps, mensagem de 8 *bits*, um *bit* de parada e sem *bit* de paridade. O protocolo de comunicação entre o computador e a interface de acionamento não interfere

em nenhum aspecto no funcionamento da interface e nem no fluxo do programa. A escolha deste padrão foi por familiaridade, já que este padrão foi visto em outras disciplinas de programação de controladores e também porque é um protocolo muito utilizado para as comunicações entre computadores e seus periféricos.

O endereçamento é feito enviando para um determinado *port* o valor que representa a carga. Esse endereço é colocado em um barramento de endereços e o mesmo endereço chega ao mesmo tempo para os sistemas de acionamento e aquisição de estado. Não foi utilizado um pulso para realizar as leituras dos estados das cargas, somente um de alteração de estado no pulso de acionamento. Justifica-se tal procedimento pois a propagação do atraso no sistema de aquisição é muito pequena, da ordem de 100 ns de acordo com o *datasheet*, e um atraso de 1ms na execução do programa entre o envio do endereço para o duto de endereços e a leitura do estado, já será suficiente para que o estado certo esteja disponível no pino de entrada do PIC.

4. Implementação dos Sistemas em PCI's

Cada sistema que compõe a interface foi implementado em placas de circuito impresso previamente perfurada. As Figuras de 10 a 15 mostram o resultado final dessas implementações.

O sistema de acionamento foi montado em três placas: uma placa somente com os decodificadores 74155, outra somente com os inversores lógicos 7404 e uma terceira com o banco de resistores e diodos. Dessa forma o protótipo ficou bem modulado.

As Figuras 10, 11 e 12 mostram a montagem deste sistema.

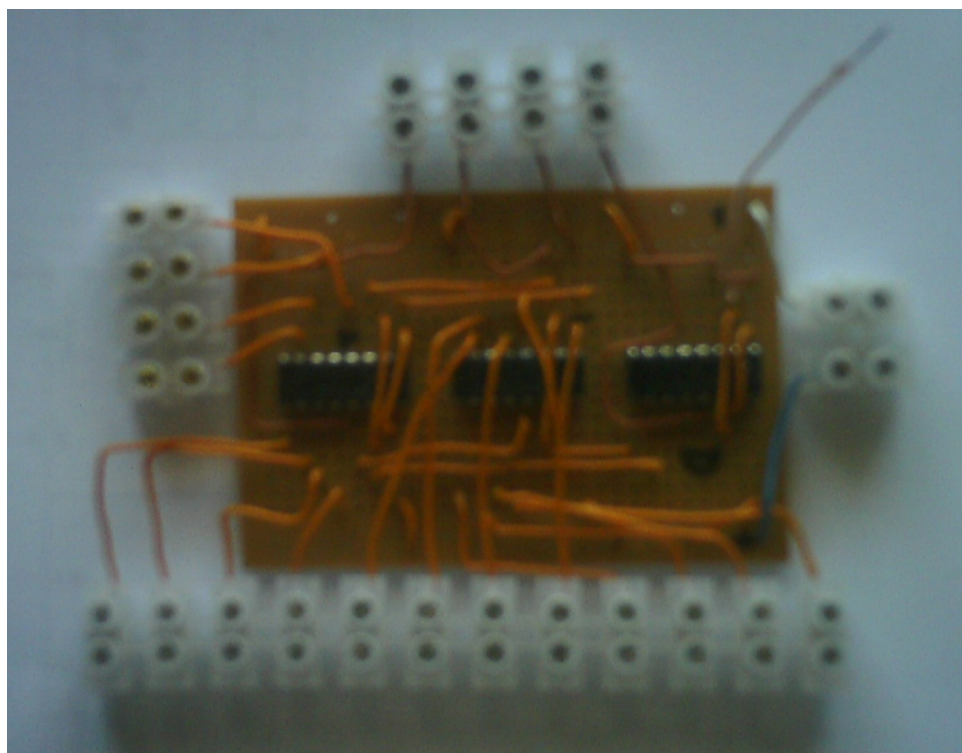


Figura 10: Montagem da placa contendo decodificadores, no sistema de acionamento.

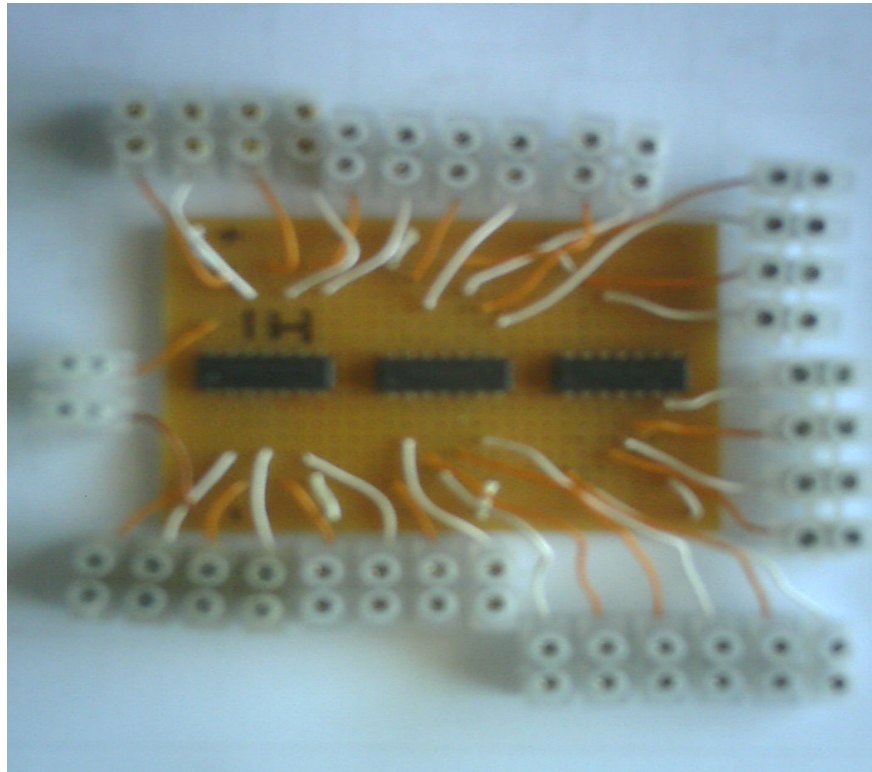


Figura 11: Implementação dos inversores lógicos do sistema de acionamento.

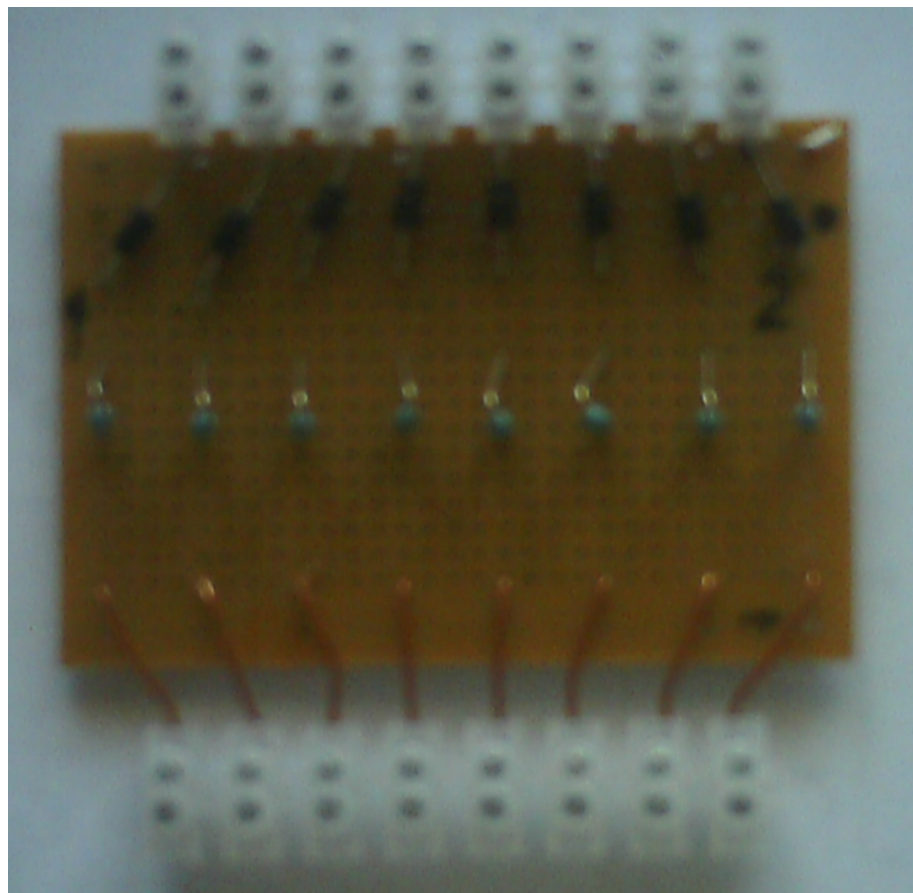


Figura 12: Banco de resistores conectados a diodos.

O sistema de aquisição também foi montado no mesmo tipo de placa e com a mesma concepção de modular. Contudo, esse sistema necessitou de apenas uma PCI para alocação dos multiplexadores 74151.

A Figura 13 mostra a implementação final deste circuito em placa.

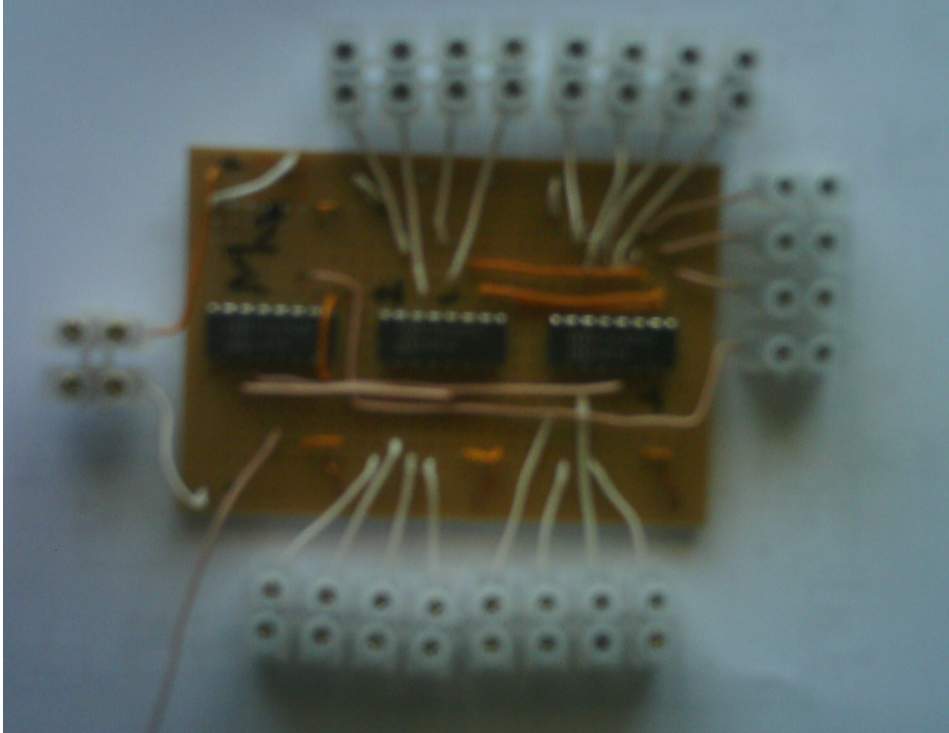


Figura 13: Implementação em PCI do sistema de aquisição de estado.

As células de acionamento e aquisição de estado foram montadas igualmente no mesmo tipo de PCI, como mostra a Figura 14. Entretanto, pelo maior número de células que compõem essa parte do *hardware*, optou-se por alocar 4 células, descritas em 2.5, por placa, sendo necessário 4 PCI's para confeccionar as 16 células. Essa escolha por modular menos deu-se devido à quantidade de placas necessárias, o que poderia tornar-se um inconveniente no momento da apresentação. Contudo a escolha de alocar uma ou várias células de acionamento e aquisição de estado numa mesma PCI depende da necessidade da aplicação, ficando livre a escolha de como montar.

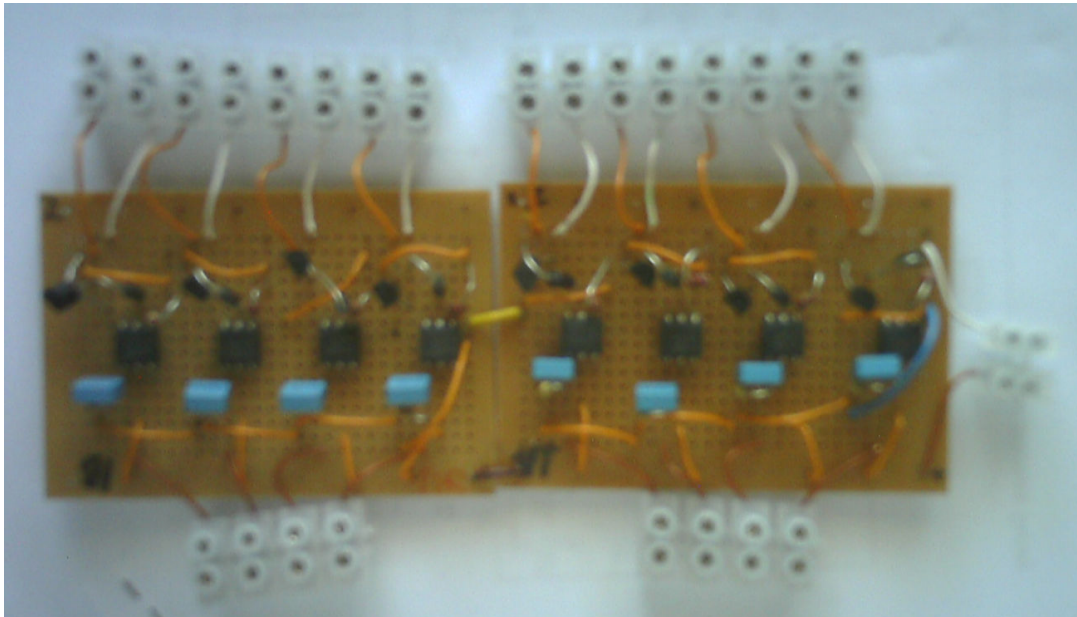


Figura 14: Placa com 8 células de acionamento e aquisição de estado.

Utilizou-se, ainda, uma fonte de tensão contínua de meia onda, com o objetivo de auxiliar a bateria do computador pessoal, devido às limitações de corrente do barramento serial e facilitar a conexão da referência do circuito em corrente contínua com a referência do neutro, que do ponto de vista prático consiste em apenas usar um condutor conectando ambos os negativo da fonte, e da bateria do *notebook* ao neutro, para deixá-los no mesmo potencial. Essa fonte não tem objetivo principal, já que o barramento pode suprir a carga do circuito eletrônico envolvido, por isso optou-se por uma fonte de meia onda. Essa referência de tensão é fundamental para o funcionamento do sistema, pois é essa referência que permite o disparo do gatilho do SCR. Caso não fossem usadas as mesmas referências, uma possibilidade seria usar opto acopladores, o que poderia acarretar em um maior carregamento das fontes utilizadas.

A eletrônica dos sistemas pode ser alimentada pelo USB do computador. Tem-se acesso a essa tensão pelas expansões do *kit Start PIC*, que também deve ter seu potencial referenciado no mesmo “terra” em que todo o sistema está referenciado.

Os protótipos montados e descritos no capítulo 2 foram utilizados para implementar este projeto na réplica do Anfiteatro 1, no Campus II da Universidade de São Paulo em São Carlos. A Figura 15 mostra a réplica com alguns conjuntos leds (simulando as luminárias) ligados. Na parte posterior da réplica encontram-se os telerruptores utilizados para realização deste trabalho.

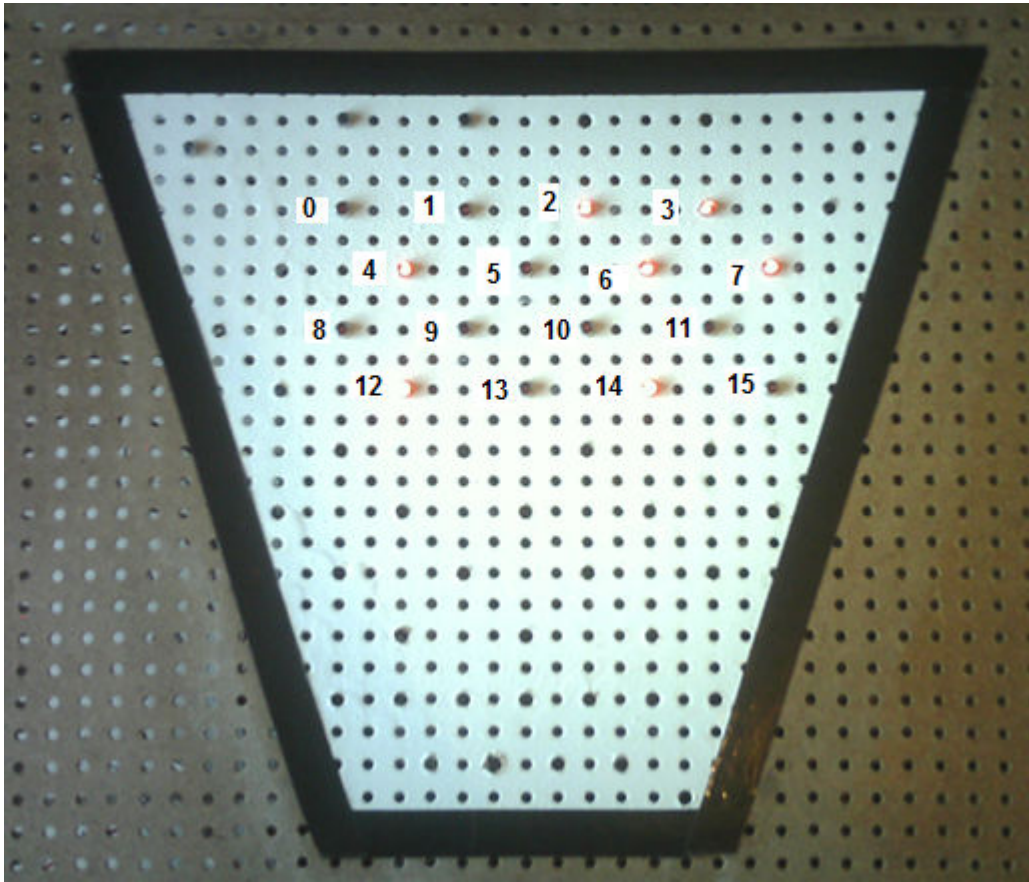


Figura 15: Vista frontal da réplica parcial do anfiteatro 1.

Observa-se que na Figura 15, o número da carga, que também é o seu endereço, é mostrado à esquerda do led.

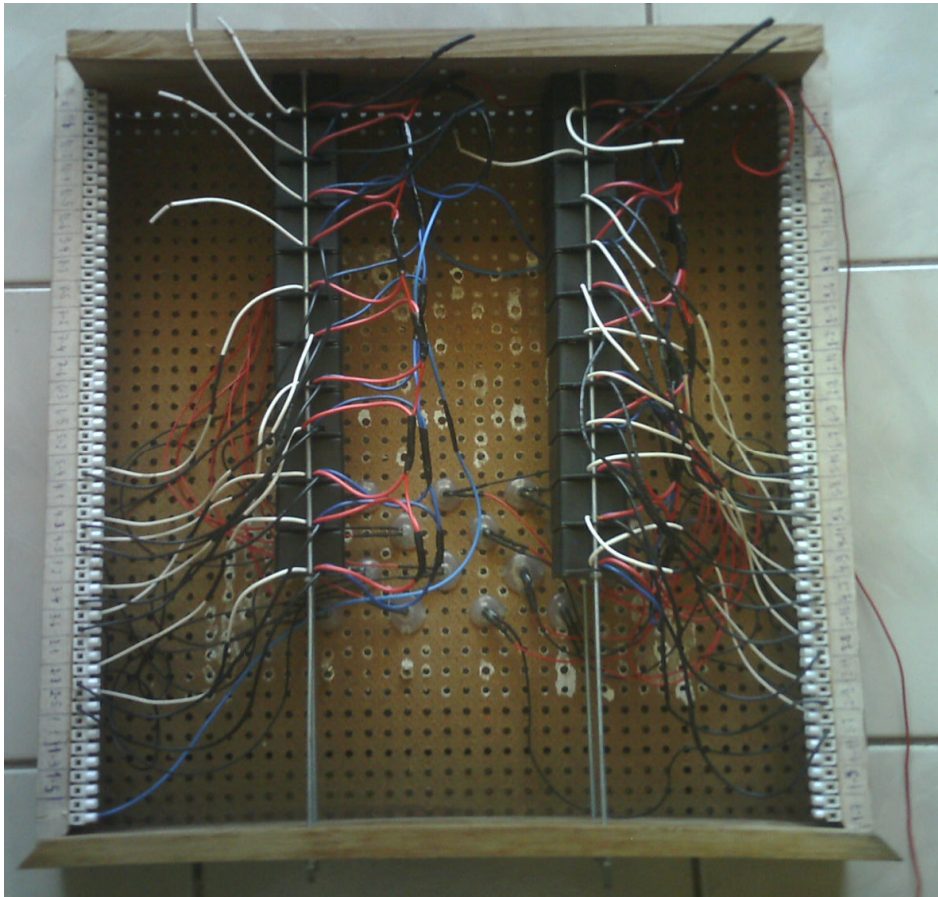


Figura 16: Vista posterior da réplica parcial do Anfiteatro 1.

O sistema de controle não necessitou de nenhuma implementação, pois trata-se de um *kit* de desenvolvimento já pronto para uso. Para interligá-lo ao sistema foi necessário o uso de conectores para serem acoplados em seus *ports*, conforme a indicação da Tabela 3.

Tabela 3: Pinos do Microcontrolador PIC 16F877A usados no projeto.

Port	Pino	Função
C	RC0	Recebe o Estado Atual
	RC6	Envio Serial
	RC7	Recepção Serial
D	RD0	<i>Bit</i> de Endereço
	RD1	<i>Bit</i> de Endereço
	RD2	<i>Bit</i> de Endereço
	RD3	<i>Bit</i> de Endereço
	RD7	Sinal de Inversão de Estado

5. Resultados Obtidos e Discussão

5.1. Resultados

Os testes executados foram para confirmar os acionamentos feitos conforme as Tabelas 1 e 2. A Figura 16 mostra como as instruções de liga ou desliga foram enviadas para o PIC:

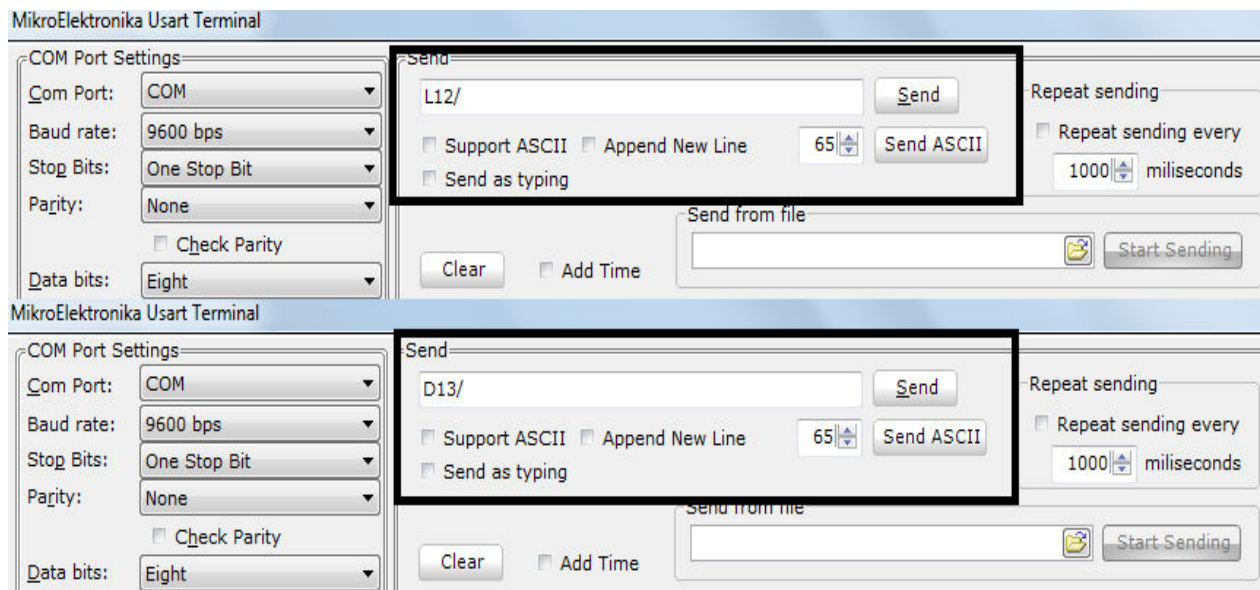


Figura 17: USART enviando instruções para o PIC.

O primeiro conjunto de testes foi realizado para os acionamentos individuais. As Tabelas 4 e 5 mostram as seqüências deste primeiro conjunto de testes.

Tabela 4 – Conjuntos de testes de acionamento para transição de cargas desligadas para ligadas.

Conjunto de Testes 1 - Acionamentos Individuais			
Carga	Estado Presente	Mensagem Enviada	Estado Final
0	Desligado	L0/	Ligado
1	Desligado	L1/	Ligado
2	Desligado	L2/	Ligado
3	Desligado	L3/	Ligado
4	Desligado	L4	Ligado
5	Desligado	L5/	Ligado
6	Desligado	L6/	Ligado
7	Desligado	L7/	Ligado
8	Desligado	L8/	Ligado
9	Desligado	L9/	Ligado
10	Desligado	L10/	Ligado
11	Desligado	L11/	Ligado
12	Desligado	L12/	Ligado
13	Desligado	L13/	Ligado
14	Desligado	L14/	Ligado
15	Desligado	L15/	Ligado

Tabela 5 – Conjuntos de testes de acionamento para transição de cargas ligadas para desligadas.

Conjunto de Testes 1 - Acionamentos Individuais			
Carga	Estado Presente	Mensagem Enviada	Estado Final
0	Ligado	D0/	Desligado
1	Ligado	D1/	Desligado
2	Ligado	D2/	Desligado
3	Ligado	D3/	Desligado
4	Ligado	D4	Desligado
5	Ligado	D5/	Desligado
6	Ligado	D6/	Desligado
7	Ligado	D7/	Desligado
8	Ligado	D8/	Desligado
9	Ligado	D9/	Desligado
10	Ligado	D10/	Desligado
11	Ligado	D11/	Desligado
12	Ligado	D12/	Desligado
13	Ligado	D13/	Desligado
14	Ligado	D14/	Desligado
15	Ligado	D15/	Desligado

Ainda, em se tratando de resultados, pode-se observar que é possível realizar o acionamento tradicional com botões pulsadores. Isto pode ser observado realizando um *jump* com um interruptor, como os de campainha. Este acionamento permite apenas acesso individual ao estado das cargas. Outro ponto reforçado por esse acionamento manual com interruptores é a redução de condutores de retorno e a seção dos condutores que promovem a inversão de estado.

5.2. Discussão

A fonte de tensão foi utilizada com o objetivo de ser um reforço caso a corrente drenada pela porta USB do notebook fosse maior que o valor limite recomendado pelo fabricante. Assim a opção por uma fonte de meia onda não comprometeu o funcionamento do circuito.

A princípio poderia atingir os mesmos objetivos deste trabalho com menos cargas (ou conjuntos para simular as lâmpadas). Mesmo se fosse usado um número menor, como 8 ou até mesmo 4 cargas, ainda seria possível demonstrar que o funcionamento e a implementação são plenamente possíveis e satisfatórios.

Como pode ser observado na Tabela 3, para essa quantidade de cargas, o PIC utilizado está superdimensionado. Se for considerado que o microcontrolador usado no projeto tem três *ports* com 8 bits, um *port* com 6 e outro com 4 *bits*, usando a mesma lógica de acionamento e leitura de estado com 24 *bits*, totalizando 224 cargas, ou realizar o acionamento em 3 barramentos de 8 *bits*, totalizando 768 cargas a serem acionadas. Sendo o segundo valor, aparentemente, muito mais praticável e real. Desde que o PIC, ou outro microcontrolador, tenha como realizar comunicação via RS-232 seriam necessários 10 pinos para realizar o projeto. Entretanto, o *kit* disponível estava integrado a um PIC que, do ponto de vista de entradas e saídas, oferecia muito mais que o necessário.

As mensagens para acionar as cargas, como se pode ver nas Tabelas 4 e 5, não são intuitivas. Isso mostra como esse sistema funcionaria como uma espécie de sistema escravo de uma interface para o usuário, que poderia ser a interface desenvolvida em [1], e que fosse mais amigável ao usuário do que digitar diretamente na USART da IDE mikroC. Embora não fosse muito confortável para o usuário, as mensagens foram bem interpretadas e o PIC conseguiu realizar os acionamentos necessários para o bom funcionamento do sistema.

O uso do telerruptor, que é mostrado na Figura 3, foi o suporte em que se baseou o trabalho. Este dispositivo além de realizar a separação dos circuitos de carga e acionamento possibilitando reduzir a seção dos condutores de controle e diminuir as perdas nos condutores da instalação elétrica, permite também a utilização de um único condutor para levar o comando de mudança de estado e trazer de volta a informação do status em que se encontra a carga (Patente Requerida).

A utilização do neutro como a referência de tensão para o sistema possibilitou o uso de tensão contínua em nível digital para controlar quais cargas permaneceriam ligadas ou desligadas, apesar dessas cargas funcionarem em corrente alternada. Mesmo com a instalação deste sistema, ainda foi possível realizar o acionamento com a forma tradicional de se usar o relé de impulso, usando condutores com seção menor que o usual e em menor quantidade do que se usaria se fossem necessários condutores de retorno.

6. Conclusões e Trabalhos Futuros

6.1. Conclusões

O projeto alcançou o objetivo proposto, que é realizar o acionamento de uma carga luminosa (lâmpada ou luminária) recebendo uma mensagem via computador

Em se tratando da implementação nas PCI's perfuradas, o sistema funcionou como o planejado e não apresentou ruídos. Isso mostrou que a forma como é implementada não interfere em seu funcionamento. Outro ponto a observar é que este sistema pode ser instalado com qualquer microcontrolador que permita realizar comunicação com um periférico de entrada de dados.

A USART do mikroC é de fácil utilização, embora as mensagens para os acionamentos não sejam. Isso reforça bem que esse sistema eletrônico deve ser um sistema que trabalhe atrelado a um sistema mestre, que use algum recurso mais intuitivo para o usuário configurar a luminosidade do ambiente. Assim conclui-se que a interface desenvolvida neste projeto não é muito amigável ao usuário.

A possibilidade da utilização do acionamento tanto eletrônico quanto manual indica que ambos podem existir na mesma instalação, dessa forma há um ganho do ponto de vista de acionamento das cargas, pois se pode usar tanto tensão contínua em nível digital quanto tensão de rede alternada. Assim, há a liberdade de se optar pelo uso da interface computadorizada ou da maneira mais clássica, que pode vir a reduzir perdas nos condutores da instalação elétrica.

6.2. Trabalhos Futuros

Entre os trabalhos futuros pode-se indicar a confecção de placas de circuito impresso dedicadas para este projeto, sem utilizar placas perfuradas. Pode-se também realizar o desenvolvimento de uma interface gráfica que possa ser conectada à interface desenvolvida neste trabalho. O trabalho citado na referência [1] foi desenvolvido para um fim mais específico e uma interface de entrada de comandos que possa comunicar-se com este hardware de acionamento, tornará o sistema resultante muito mais amigável para o usuário.

Nos trabalhos futuros pode-se incluir a implementação em um ambiente real, preferencialmente com grandes áreas onde o consumo de cargas luminosas seja

significativo, tais como salas de convenções, anfiteatros, teatros, salas de espera em repartições públicas, templos religiosos ou grandes pátios com iluminação artificial.

7. Referências

[1] URZUA, G. A. M. Interface gráfica para comando de iluminação de grandes ambientes utilizando telerruptores, 2011.

[2] SEDRA, A.D e SMITH, K.C. *Microeletrônica*. São Paulo: Pearson Makron Books, 2000.

[3] <http://electronicsbus.com/pull-up-pull-down-resistors-calculations-floating-unused-inputs-digital-system-board-design-guide/>

Acesso realizado dia 05 de julho, às 10h37min. Conteúdo contido no ANEXO Ida monografia.

[4] mikroelektronika Technical Staff, User's Guide, mikroelektronika, 2006.

Apêndice A

A.1. Programa Desenvolvido

```
charmsg[4]; // Variável criada para receber a mensagem do usuário

charstf; // Primeiro caracter de msg[4]

void texto(char text){ // Essa rotina converte o mensagem enviada em um endereço

    //da carga do sistema

    if((strcmp(text,"D0")==0)||(strcmp(text,"L0")==0)

    { PORTD=128;}

    if((strcmp(text,"D1")==0)||(strcmp(text,"L1")==0)

    { PORTD=129;}

    if((strcmp(text,"D2")==0)||(strcmp(text,"L2")==0)

    { PORTD=130; }

    if((strcmp(text,"D3")==0)||(strcmp(text,"L3")==0)

    { PORTD=131;}

    if((strcmp(text,"D4")==0)||(strcmp(text,"L4")==0)

    { PORTD=132;}

    if((strcmp(text,"D5")==0)||(strcmp(text,"L5")==0)

    { PORTD=133; }

    if((strcmp(text,"D6")==0)||(strcmp(text,"L6")==0)

    { PORTD=134; }

    if((strcmp(text,"D7")==0)||(strcmp(text,"L7")==0)

    { PORTD=135;}

    if((strcmp(text,"D8")==0)||(strcmp(text,"L8")==0)
```

```

    { PORTD=136;}

if((strcmp(text,"D9")==0)||(strcmp(text,"L9")==0)

    { PORTD=137;}

if((strcmp(text,"D10")==0)||(strcmp(text,"L10")==0)

    { PORTD=138;}

if((strcmp(text,"D11")==0)||(strcmp(text,"L11")==0)

    { PORTD=139; }

if((strcmp(text,"D12")==0)||(strcmp(text,"L12")==0)

    { PORTD.RD7=140; }

if((strcmp(text,"D13")==0)||(strcmp(text,"L13")==0)

    { PORTD=141; }

if((strcmp(text,"D14")==0)||(strcmp(text,"L14")==0)

    { PORTD=142; }

if((strcmp(text,"D15")==0)||(strcmp(text,"L15")==0)

    { PORTD=143; }

}

voidmain() {          // *****PROGRAMA PRINCIPAL *****

TRISD=0b00000000; // Configura o port D como saída ;

TRISB=0b11111111;// Configura o port D como entrada de dados

TRISC.RC7 = 1; // Configuração para entrada do sinal via comunicação serial

TRISC.RC6= 0; // Configuração para a saída da comunicação serial

PORTD =0; // Inicializa o barramento de endereços

PORTD.RD7=1; // Coloca todos os sinais dos DEMUX's em nível lógico 0

UART1_Init(9600); // Inicializa a USART em 9600 bps

```

```

Delay_ms(100);

    // Delay para estabilizar o sistema de comunicação assíncrona

UART1_Write_Text("Start"); // Mensagem de início

UART1_Write(10);

UART1_Write(13);

while (1) {           // Laço Infinito

if (UART1_Data_Ready()) { // Recebimento do Dado

UART1_Read_Text(msg,"",4); // Função que recebe o que foi enviado e

                        // guarda na variável msg

texto(msg);

stsf=msg[0]; // o primeiro caractere da stringmsg[4] é armazenado em uma variável

                        // Este caractere é que indica se é para ligar ou desligar

UART1_Write(stsf);

if(PORTB.RB0==1){     // RB0== Entrada do Status

if(stsf=='L'){ // Condicional avaliando o Comando e

                        // Status e processando se é necessário

Delay_ms(1000);} // ou não efetuar a alteração do estado

if(stsf=='D'){

PORTD.RD7=0; // Sinal de Alteração de Status

Delay_ms(17); // Duração do pulso

}

}

if(PORTB.RB0==0){ // Condicional avaliando o Comando e

                        // Status e processando se é necessário

```

```
if(stsf=='D'){ // ou não efetuar a alteração do estado
    Delay_ms(1000);}

if(stsf=='L'){
    PORTD.RD7=0; // Sinal de Alteração de Status

    Delay_ms(17); // Duração do pulso
}
}

} PORTD=0; // Sinal de Alteração de Status

PORTD.RD7=1;}

}
```

A.2. Projeto do Filtro

Como explicado em [2], o filtro RC utilizado é projetado a partir do resistor de *pull-down*. Esse resistor é de 330 ohms. A frequência da tensão na saída da célula de acionamento e aquisição de estado é de 60 hertz. A ondulação permitida será de até 2V. A tensão de entrada é de 5V.

Usando a equação abaixo:

$$V_{ond} = \frac{V_{pico}}{fCR} = \frac{5}{60 \times 330} = 2 \quad (1)$$

Assim, manipulando a equação 1, tem-se:

$$\frac{5}{60 \times 2 \times 330} = C = 126,26 \mu F \quad (2)$$

Foi escolhido usar um capacitor de $220 \mu F$. Assim a ondulação e a constante de tempo do filtro teriam respostas satisfatórias.

A.3. Dimensionamento do resistor de pulldown

O dimensionamento do resistor de *pulldown* foi feito usando como base o procedimento adotado em [3]. A partir do *datasheet* do multiplexador 74151, a corrente máxima de saída em nível lógico baixo é de 1,6 mA. A tensão máxima para que o multiplexador ainda interprete como nível lógico baixo é de 0,4 V. Assim, usando a lei de Ohm tem-se o valor do resistor de *pulldown*.

$$R_{pd} = \frac{0,4}{1,6 \times 10^{-3}} = 250 \, \Omega$$

Trabalhando com valores comerciais, foi escolhido usar um resistor de 330 ohms.

A.4. Conteúdo da referência [3]

Pull-Up & Pull-Down Resistors Calculations for Floating & Unused Inputs – Digital System Board Design Guide

In **Digital System Board Design**, It is suggested to **Tie high or low all the CMOS floating and unused inputs**. Leaving inputs floating causes gate puncture (gates goes to intermediate logic creating a low resistance path to the ground thereby damaging the device). It is recommended to tie the TTL unused inputs to logic low or high. The value of the pull-up/pull-down resistor should be chosen such that the ICT's sink/source requirements are met. Caution: However in some cases vendor recommends leaving some unused pins floating. In that case, the unused pin should not be tied to high or low. Refer to vendor datasheet.

Pull-Up & Pull-Down Resistors Calculations

Following calculation of pull-up resistor assumes that no internal pull-down resistor is present within the device.
 $R_{pu} < [V_{cc} (min) - V_{ih} min] / I_i max.$

Following calculation of pull-down resistor assumes that no internal pull-up resistor is present within the device.
 $R_{pd} < [V_{il} max] / I_i max.$

Example:- 74LVC08 gate from Philips [Ref-4] has the following specifications:

$V_{cc} = 3.0V$ to $3.6V$ (supply tolerance on the board)

$I_i max = +/- 5mA$

$V_{ih} min = 2.0V$

$V_{il} max = 0.8V$

Pull-Up Resistor $R_{pu} < [3.0 - 2.0]V / 5mA \rightarrow R_{pu} < 200 Kohm$

Pull-Down Resistor $R_{pd} < 0.8V / 5mA \rightarrow R_{pd} < 160 Kohm$