

## **SISTEMA EMBARCADO INTERLIGADO A MEDIDOR DE CAMPO PARA O CONTROLE DE AZIMUTE DE UMA ANTENA RECEPTORA**

**Vinícius Araújo CAVALCANTE (1), Paulo Henrique da Fonseca SILVA (2)**

Centro Federal de Educação Tecnológica da Paraíba

Grupo de Telecomunicações e Eletromagnetismo Aplicado

Av. 1º de Maio, 720 Jaguaribe, CEP: 58015-430 – João Pessoa, PB, Brasil

(1) e-mail: [viniciusteleco@gmail.com](mailto:viniciusteleco@gmail.com)

(2) e-mail: [henrique@cefetpb.edu.br](mailto:henrique@cefetpb.edu.br)

### **RESUMO**

Com a utilização cada vez maior dos sistemas de comunicação sem fio para a transmissão/recepção de sinais, surgem fatores dinâmicos que dificultam o seu funcionamento, principalmente quando se consideram os sistemas de comunicações móveis. Nestes sistemas há uma necessidade crescente do uso antenas inteligentes, capazes de controlar suas propriedades direcionais de forma adaptativa (*adaptive beamforming*), bem como, reconhecer a direção de chegada dos sinais recebidos (DoA – *Direction of Arrival*). Este artigo descreve o desenvolvimento de um sistema de controle digital baseado no microcontrolador PIC 16F628A para implementar as características típicas de DoA de uma antena receptora. Neste sentido, foi projetado um sistema embarcado utilizando o microcontrolador que, interligado a um medidor de campo, faz o posicionamento do ângulo de azimute da antena direcional acoplada. Desse modo, desenvolveu-se um circuito eletrônico com o PIC que, através dos sinais recebidos do medidor de campo, atua sobre um motor de passo acoplado ao eixo da antena receptora, fazendo o controle de posição da antena, maximizando assim o sinal recebido. Neste contexto, foi utilizado um transmissor que esporadicamente foi movido a fim de se avaliar o controle automático do ângulo de azimute da antena receptora.

**Palavras-chave:** Sistemas de controle, microcontrolador, antenas inteligentes.

## 1. INTRODUÇÃO

Com o avanço da eletrônica digital, a partir de 1960, passaram a ser fabricados dispositivos integrados capazes de serem programados para executar uma seqüência qualquer de instruções, ou seja, executar um programa (Pereira, 2002).

Estes dispositivos, denominados microcontroladores, são circuitos integrados dotados de inteligência programável, que facilitaram muito o controle de processos lógicos. Isto é, ao invés de se projetar circuitos digitais complexos de controle para máquinas ou sistemas, passou-se a utilizar os microcontroladores, que além de diminuir os circuitos no aspecto físico, sua programação pode ser facilmente adaptada para atender as necessidades que surgem no desenvolvimento das aplicações.

Um microcontrolador está provido internamente de memória de programa, memória de dados, portas de entrada e/ou saída paralela, temporizadores, contadores, comunicação serial, moduladores PWM (*Pulse Width Modulation*), conversores analógico-digitais, entre outros periféricos, se assim pode-se chamar.

Entre as várias utilidades para os microcontroladores, uma que pode ser bem explorada é a automação de processos. Este artigo descreve um projeto desenvolvido cujo objetivo é o controle do direcionamento de uma antena, cujo valor do campo eletromagnético incidente é medido através de um medidor de campo, sendo assim avaliado por meio de um circuito micro-controlado, que por sua vez controla um motor de passo acoplado ao eixo da antena receptora citada. Deste modo, com a orientação da antena controlada de forma automatizada, estima-se o ângulo horizontal de chegada, para o qual se tem a máxima intensidade de campo elétrico do sinal recebido.

## 2. MICROCONTROLADOR PIC

Os microcontroladores PIC são uma família de microcontroladores fabricados pela Microchip, apresentam uma estrutura interna do tipo Harvard, na qual existe dois barramentos internos, um de dados e outro de instruções. Esse tipo de Arquitetura permite que enquanto uma instrução é executada, outra seja procurada na memória, tornando o processamento mais rápido em comparação a outro tipo de arquitetura existente, a Von-Neumann, como citado na literatura (Souza, 2003).

Além disso, os PIC utilizam uma tecnologia chamada RISC (*Reduced Instruction Set Computer*), que significa que eles possuem um número de instruções reduzido, cerca de 35, variando de acordo com o microcontrolador.

Na Figura 1 encontra-se o diagrama em blocos do PIC 16F628A, retirado do *datasheet* original da Microchip, em que se observa o esquema das diversas partes que compõem o microcontrolador estudado. Ele foi escolhido não só pelo seu custo-benefício, mas também pelo fato de que a grande maioria das funções encontradas neste microcontrolador serve para outro da família PIC. Suas características são:

- 18 pinos, dos quais 16 portas configuráveis como entrada ou saída;
- Dois osciladores internos, um de 4 MHz e outro de 37 KHz;
- Memória *flash*, que permite um grande número de gravações, com 2.048x14 bits;
- Memória EEPROM com 128x8 bits e Memória SRAM com 224x8 bits;
- Módulo CCP para captura, comparação e geração de sinal PWM;
- *Timers*, USART e Comparadores Analógicos;
- Pilha com oito níveis;
- 10 fontes de interrupção independentes;
- Conjunto de 35 instruções *Assembler*;

A descrição dos pinos deste componente se encontra na Figura 2. Percebe-se que este microcontrolador é bastante robusto, em contradição ao seu tamanho e ao número de pinos.

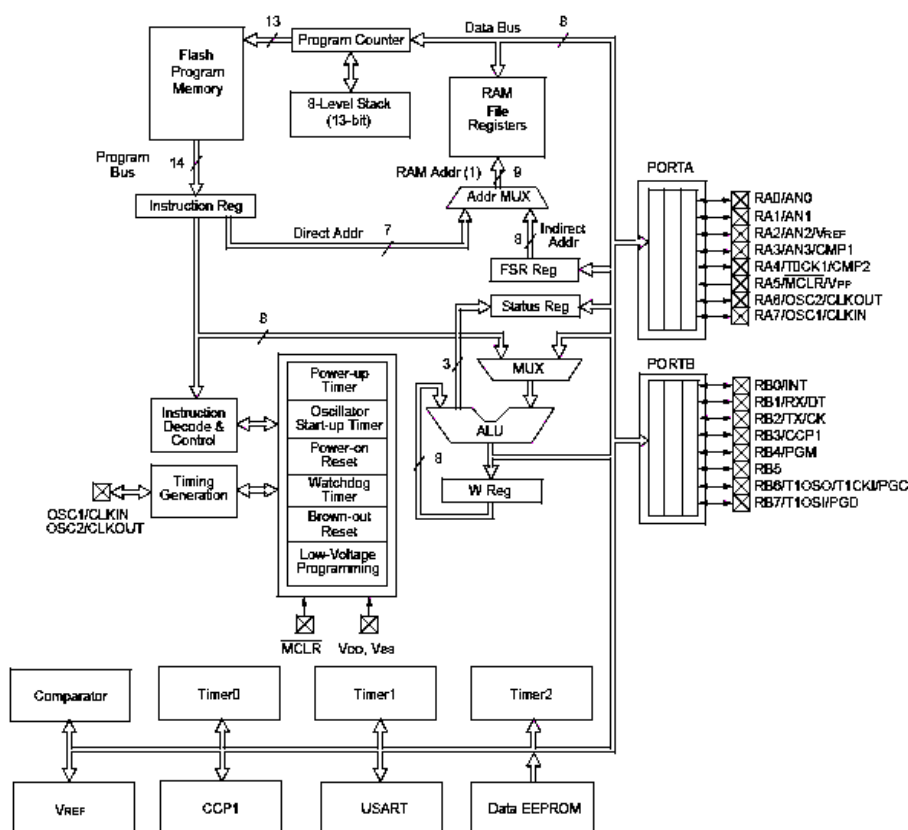


Figura 1 – Diagrama em blocos do PIC 16F628A.

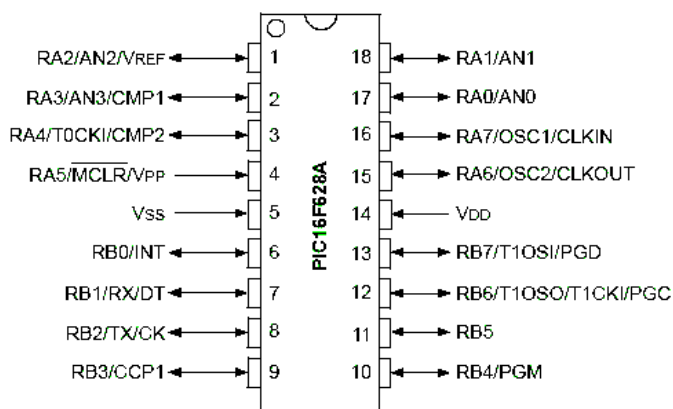


Figura 2 – Descrição dos pinos do PIC 16F628A.

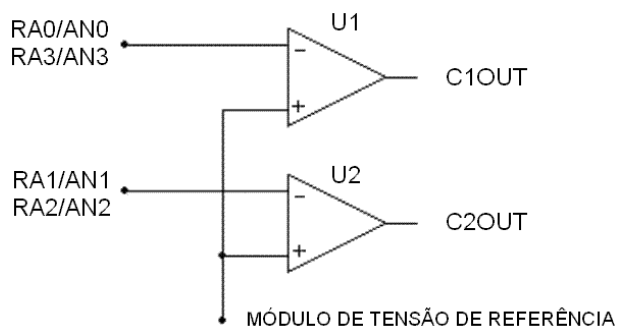
Destaque-se que aqui não é detalhado o funcionamento do microcontrolador, pois não é o objetivo deste trabalho. Mas sim, expor algumas de suas características para um melhor entendimento do sistema de controle embarcado proposto. O próximo tópico traz algumas informações sobre o módulo comparador analógico do microcontrolador PIC em estudo.

## 2.1. Comparador Analógico do PIC16F628A

O módulo comparador analógico consiste em um conjunto de dois comparadores analógicos, que podem ter suas entradas associadas aos pinos do microcontrolador para fazer comparações de tensões analógicas externas entre si ou com a fonte de referência interna do *chip* (Pereira, 2002).

Este módulo possui um único registrador, denominado CMCON, que é responsável pela configuração e controle dos comparadores internos, que permite a opção de um entre os sete modos distintos de operação dos comparadores.

Neste trabalho foi utilizado o modo de operação dois, em que os comparadores são configurados com a entrada não inversora conectada ao módulo de referência de tensão interna (VREF), e com a entrada inversora interligada a uma porta do microcontrolador, para a inclusão do sinal analógico a ser comparado. A Figura 3 ilustra o modo de configuração dois dos comparadores analógicos.

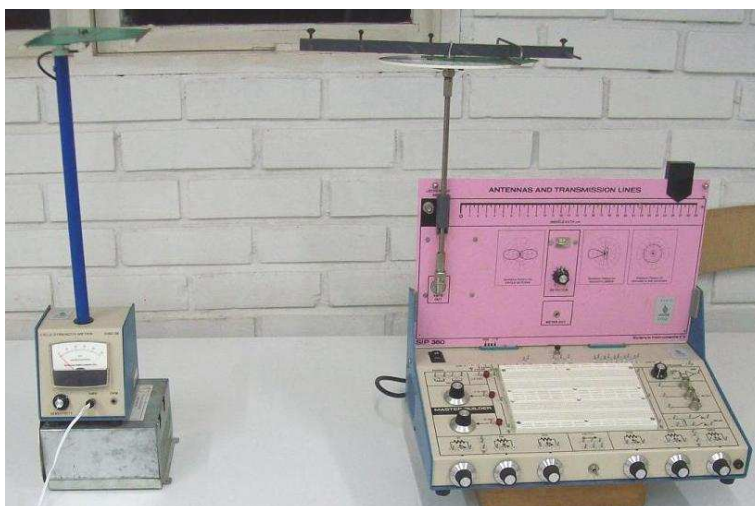


**Figura 3 – Modo dois de operação dos comparadores.**

O módulo de referência interna de tensão constitui-se em um complemento ao módulo comparador analógico, sendo este responsável por fornecer uma referência programável de tensão, distribuída em dezesseis níveis. Este módulo ainda possui duas escalas de tensão distintas, que podem ser selecionadas através do registrador VRCON de acordo com as necessidades do projeto: a primeira que se inicia em 0 volt e termina em 3,13 volts, e a segunda entre 1,25 e 3,59 volts. Destaca-se aqui que estes valores são para uma alimentação estável do microcontrolado em 5 volts.

### 3. KIT DIDÁTICO SIP-360

O kit didático-experimental SIP-360 consiste em equipamentos de rádio-enlace ponto-ponto. Ele é composto de um módulo transmissor, um medidor de intensidade de campo, antenas, carta polar, refletores, manuais, entre outros acessórios. Operando na faixa de 860 a 900 MHz, este kit (ver Figura 4) permite uma variedade de estudos práticos nas áreas de antenas e propagação.



**Figura 4 – Imagem do Kit didático SIP-360: antena dipolo receptora e medidor de campo (à esquerda); Antena YAGI-UDA e módulo transmissor (à direita).**

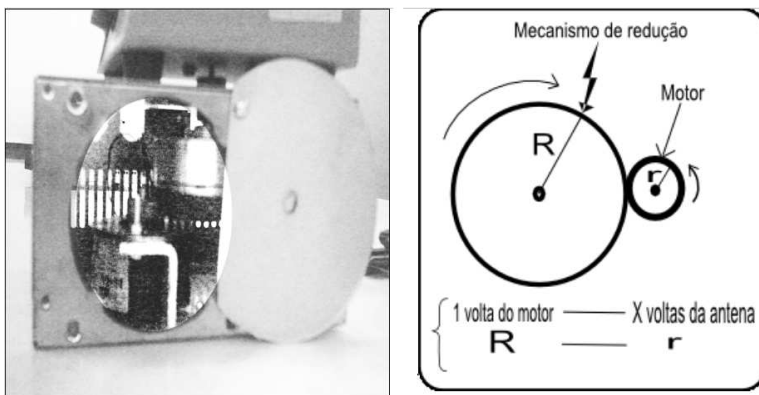
A função do protótipo inicial descrito neste trabalho consiste no posicionamento do ângulo de azimute da antena receptora presente no medidor de campo do kit didático SIP-360, através de um motor de passo, que está acoplado a haste da antena através de uma caixa de redução mecânica. O controle da rotação do motor é feito através do circuito microcontrolado desenvolvido, que também tem funções de sensor, que compara os sinais obtidos no medidor de campo, para a tomada de decisões no que diz respeito à orientação final da antena.

A Figura 5 mostra uma fotografia do medidor de intensidade campo e a respectiva saída de tensão (DMM) onde são medidos os níveis dos sinais recebidos e demodulados no módulo receptor do kit didático SIP-360.



**Figura 5 – Medidor de intensidade de campo do kit SIP-360**

Para realizar a rotação da antena receptora, uma caixa de redução mecânica foi utilizada entre o motor de passo KP4M4 e o eixo desta antena (ver Figura 6). Com o uso da caixa de redução mecânica foi possível se obter tanto uma precisão maior na orientação angular da antena receptora, cerca de um grau por passo do motor, quanto um maior torque disponível para rotação de sua haste (SOUSA et. al., 2006). A seção 4 descreve os detalhes da utilização do kit didático SIP-360 em conjunto com o sistema de controle digital embarcado desenvolvido.



**Figura 6 – Caixa de redução mecânica e a relação de rotação antena/motor.**

#### **4. DESCRIÇÃO DO PROJETO**

Inicialmente foi projetado um circuito para amplificação dos sinais recebidos do medidor de campo, pois se percebeu que a faixa de variação destes sinais na saída do medidor é pequena, por volta de 0 a 100 mV. Com o microcontrolador específico utilizado no projeto, torna-se impraticável acionar seus comparadores a partir

desta variação de tensão. Sendo assim, para esta função de amplificação, foi desenvolvida uma etapa de amplificação, na qual foram empregados dois amplificadores operacionais LM741 em modo não inversor (ver Figura 7), resultando numa maior faixa de variação de tensão na entrada dos comparadores do microcontrolador entre 0,0 e 3,1V.

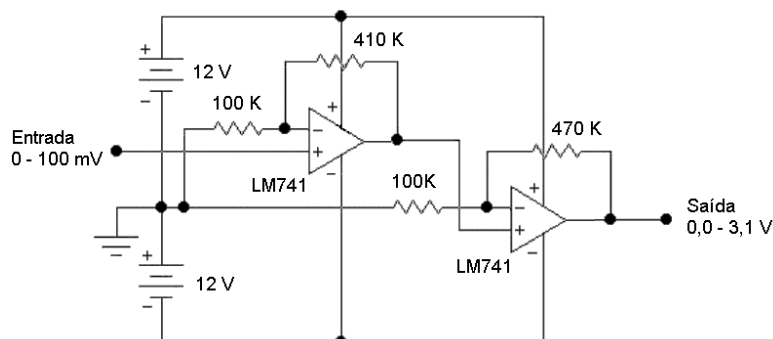


Figura 7 Amplificador de dois estágios com circuitos integrados LM741 funcionando como sensor.

Para o acionamento do motor de passo KP4M4 (12V) através do microcontrolador utilizou-se um circuito *drive* para fornecer a potência requerida pelo motor de passo. No projeto deste circuito *drive* foi usado o circuito integrado ULN2003 na sua configuração padrão, conforme o esquema da Figura 8.

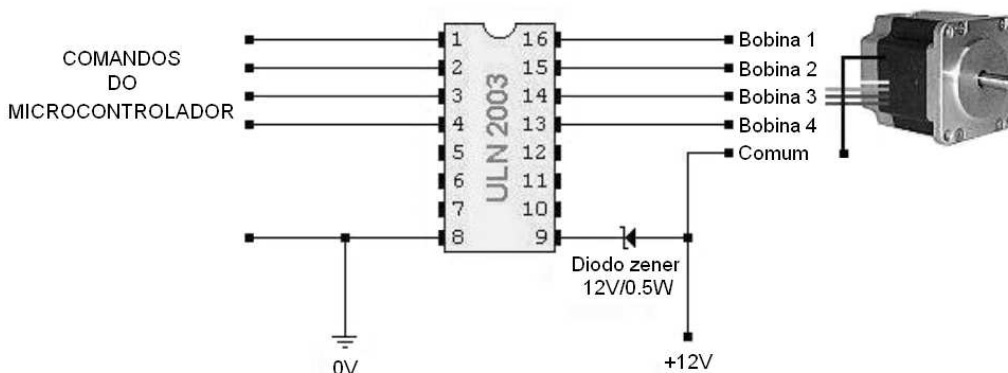


Figura 8 – Circuito integrado *drive* de corrente

O *hardware* descrito em conjunto com o microcontrolador PIC 16F628A constitui o sistema de controle de posição desenvolvido. Através deste sistema foi possível controlar a orientação angular da antena receptora do kit SIP-360, de tal forma que, a direção de chegada do sinal recebido pôde ser estimada, maximizando assim o sinal recebido.

A etapa final do projeto deste sistema de controle consistiu em uma programação adequada do microcontrolador, responsável pelo gerenciamento do *hardware* funcionando em torno do controlador. Tendo em vista que a programação envolve lógica pessoal, a lógica descrita aqui pode não ser a ideal, porém satisfaz as necessidades impostas a este modelo de DoA. De forma resumida, o algoritmo para implementação do modelo de DoA pode ser dividido nos seguintes passos:

- Girar o motor e conseqüentemente a antena receptora em 360 graus;
- A cada direção radial, no total de dez, interrompe-se a rotação do motor;
- Compara-se todos valores de tensões de referência com o valor atual do nível de sinal recebido dos amplificadores operacionais;

- Armazena-se a ocorrência do maior nível de sinal recebido dos amplificadores;
- Ao final dos 360 graus percorridos, analisa-se qual dos níveis armazenados entre as dez direções radiais é o maior; orienta-se o motor para esta direção radial;

O diagrama em blocos esquematizado na Figura 9 representa a lógica do modelo DoA proposto, que basicamente constitui-se num sistema de controle com realimentação.

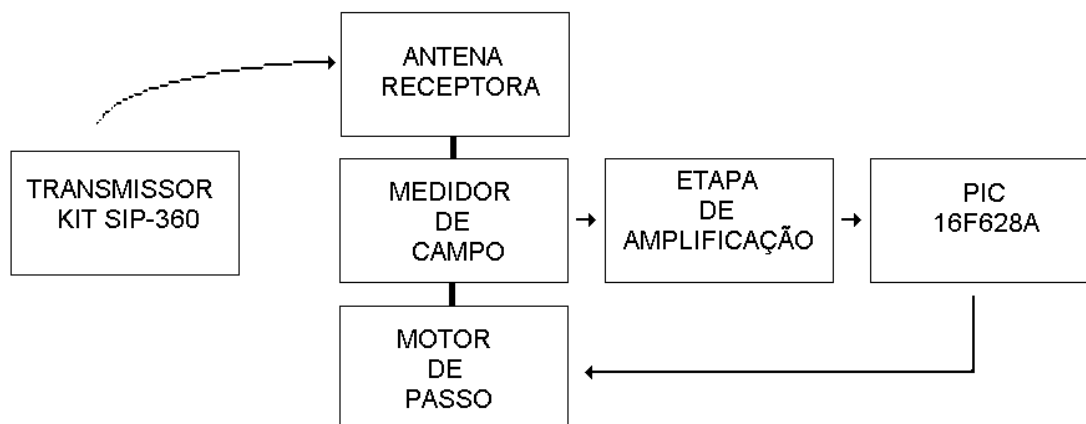


Figura 9 – Diagrama de blocos do projeto

## 5. CONCLUSÕES

Neste artigo descreveu-se o projeto de um sistema de controle embarcado para o posicionamento angular de uma antena receptora, um projeto interdisciplinar, que envolveu as áreas de programação, eletrônica, mecânica e telecomunicações. Um modelo de DoA foi descrito para a programação lógica do microcontrolador PIC 16F628A.

O *hardware* descrito em conjunto com o microcontrolador PIC 16F628A constitui o sistema de controle de posição desenvolvido. Através deste sistema foi possível controlar a orientação angular da antena receptora do kit SIP-360, de tal forma que, a direção de chegada do sinal recebido pôde ser estimada, maximizando assim o sinal recebido.

O projeto dos circuitos foi voltado para a aplicação em conjunto com o kit didático SIP-360. Entretanto, com pequenas alterações, os mesmos podem ser utilizados em outros sistemas de comunicação para o controle de posição de outros tipos de antenas receptoras.

## REFERÊNCIAS

MESSIAS, A.R. Controle de motor de passo através da porta paralela. Disponível em:

<<http://www.rogercom.com>> Acesso em: 08 set 2007.

PEREIRA, F. Microcontroladores PIC: Técnicas Avançadas. 2. ed. São Paulo: Érica, 2002. 357 p. SOUZA, D.J. Desbravando o PIC: ampliado e atualizado para PIC 16F628A. 6. ed. São Paulo: Érica, 2003. 265 p.

SOUZA, V., OLIVEIRA, E. E. C., BELMIRO, Y. B. C., SILVA, P. H. DA, Um sistema digital de controle de posição para orientação de antenas direcionais via computador. In: CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA, 1., 2006, Natal. Anais. Natal: CEFET-RN. 1 CD-ROM.

Manual Kit Didático SIP-360, Science Instruments Co.

Datasheet LM741CN, National Semiconductor.

Datasheet PIC16F628A, Microchip Technology.