



**COBENGE 2005**

**XXXIII - Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia**

"Promovendo e valorizando a engenharia em um cenário de constantes mudanças"

12 a 15 de setembro - Campina Grande - Pb

Promoção/Organização: ABENGE/UFPE

## **MOTORES DE PASSO: ESTUDO E APLICABILIDADE EM UM AMBIENTE INTEGRADO PARA SIMULAÇÃO EM TEMPO REAL**

**Isaac M. Silva** – isaac.ufjf@gmail.com

Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia.

Campus da UFJF – Bairro Martelos

36.036-330 – Juiz de Fora – MG

**Wagner M. Lupinacci** – lupinaccieng@yahoo.com.br

Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia.

Campus da UFJF – Bairro Martelos

36.036-330-Juiz de Fora - MG

**Francisco José Gomes** – chicogomes@terra.com.br

Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia.

Campus da UFJF – Bairro Martelos

36.036-330-Juiz de Fora - MG

**Resumo:** *Este artigo apresenta o projeto de um ambiente integrado "software-hardware", para análise do comportamento e aplicabilidade dos motores de passo. O "hardware" é constituído por um motor de passo e um microcontrolador PIC, interfaceados através de um "display" de cristal líquido. Utilizando-se a porta paralela de um PC é possível a comunicação do sistema motor de passo/PIC com um ambiente de simulação, no caso o controle da vazão de fluidos por uma válvula do tipo registro de esfera, com possibilidade de giro de um quarto de volta. O ambiente computacional foi desenvolvido para sistemas Microsoft Windows® através do Borland Delphi. O módulo desenvolvido pode ser utilizado como ferramenta didática para melhor aprendizado nas disciplinas relacionadas às áreas envolvidas do projeto, como computação, eletrônica, microcontroladores entre outras. Possibilita uma visão integrada do motor de passo, seu funcionamento e aplicabilidade, em um ambiente barato, simples e de grande aplicabilidade.*

**Palavras-chaves:** Motor de passo, Microcontroladores, Ambiente computacional, Controle de processos.

### **1. INTRODUÇÃO**

É fato conhecido que a indústria de controle de processos trabalha com os mais diversos componentes, sensores e atuadores cobrindo praticamente todos os segmentos da engenharia elétrica. Esta diversidade nem sempre é clara para o aluno, que não consegue visualizar, sob a ótica da engenharia, a aplicabilidade de muitos componentes e mesmo conceitos teóricos integrantes de sua grade curricular. Pode-se citar como exemplo, o caso dos motores elétricos, que se apresentam ao aluno sob ampla diversidade, inclusive de nomenclaturas motores CA,

motores CC, motores universais, servo-motores, motores de passo, e outros mais. Por outro lado, no que se pode denominar de demandas industriais, existem processos cujas necessidades exigem equipamentos específicos, dentre a diversidade de opções existentes. Uma situação que pode exemplificar os aspectos colocados é o controle de vazão, com a imposição de restrições severas na precisão da resposta dos atuadores e componentes do sistema.

A elaboração conceitual das ligações entre os aspectos teóricos, sua aplicabilidade em equipamentos diversificados e demandas colocadas pelos sistemas industriais a estes diversos componentes não é, muitas vezes, prontamente efetuadas pelos estudantes. Esta situação gera, por vezes, desinteresse e falta de motivação por parte dos alunos para o aprendizado, e por outras, falta de focalização nos aspectos mais importantes e essenciais de determinadas áreas e matérias da engenharia.

A proposta do presente trabalho consiste no desenvolvimento de um ambiente integrado "software-hardware", para estudo de motores de passo, que permite maiores facilidades ao aluno para efetuar estas associações, visualizar aplicabilidades, entender especificidades para induzir posturas com maior motivação e interesse. O sistema desenvolvido é constituído por um motor de passo e um microcontrolador PIC, interfaceados através de um "display" de cristal líquido; utilizando-se a porta paralela de um PC é possível a comunicação do sistema, motor de passo/PIC com um ambiente de simulação, no caso o controle da vazão de fluidos com uma válvula tipo registro de esfera, com possibilidade de giro de um quarto de volta. O sistema permite, didaticamente, a visualização em tempo real do que acontece com as principais partes do projeto - motor, válvula, PIC. Face às observações efetuadas, verifica-se que o projeto busca suprir as necessidades observadas, adotando enfoques tanto industrial quanto o didático educacional. Utilizaram-se diversas ferramentas de várias áreas da engenharia visando mostrar ao aluno aplicabilidade para várias disciplinas dos cursos de engenharia elétrica, computacional e mecânica.

O trabalho está dividido como segue: o item dois apresenta as ferramentas e componentes utilizados, o item três o ambiente computacional e o quatro o conjunto PIC-"display", necessário ao comando do sistema. As conclusões, no item cinco, encerram o trabalho.

## 2. FERRAMENTAS E COMPONENTES

Foram utilizados, como componentes e ferramentas para o desenvolvimento do projeto, um microcontrolador PIC, "display" de cristal líquido, motor de passo e o desenvolvimento de um ambiente para interação software-hardware. A figura 1 a seguir ilustra a idéia-base do sistema, que possibilita a integração software - hardware.

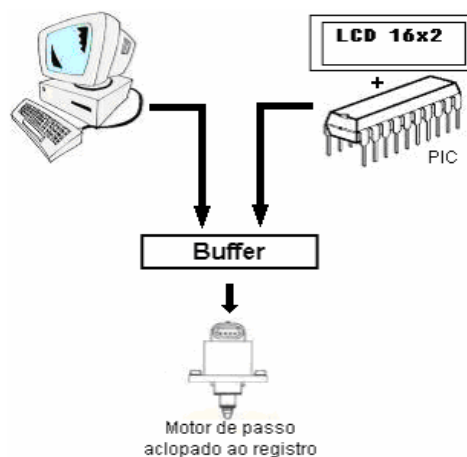


Figura 1 – Diagrama de blocos do sistema.

## 2.1 Motor de passo

### *Motores elétricos*

Motores elétricos buscam realizar, fundamentalmente, a transformação de energia elétrica em mecânica. Seu princípio de funcionamento baseia-se na força aplicada sobre um condutor imerso num campo magnético percorrido por uma corrente. Constituído basicamente por duas partes fundamentais, o estator ou parte fixa e o rotor ou parte girante, o motor elétrico possui diversas variações tanto construtivas quanto funcionais, podendo-se citar, dentre elas, o tipo de alimentação CC, CA ou as duas indiferentemente (universais), rotor constituído de ímãs permanentes ou bobinas assim como o rotor, motores de CA de indução, motores CA síncronos, servos motores, motores de passo, entre outros.

### *Motor de Passo*

Motores de passo são utilizados com a finalidade de fornecer movimentos intermitentes de rotação. Seu funcionamento é bastante simples: possui um rotor formado por um ímã permanente que pode girar em torno de seu eixo principal possuindo, radialmente, diversos solenóides dispostos em pares opostos e conectados em série, como mostra a figura 2 abaixo:

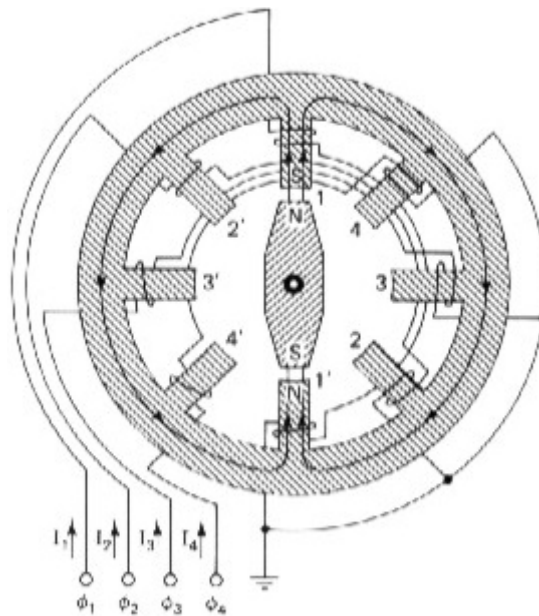


Figura 2 – Esquema de um motor de passo.

Quando um par de bobinas é energizado, o ímã se alinha nesta direção devido ao campo magnético induzido entre as bobinas; se a corrente é aplicada a outro par adjacente, ocorre giro do ímã, que permanece nesta posição até que outro pólo seja energizado. O número de solenóides existente em um motor está relacionado com o tamanho de seu passo, que dependerá das especificações aplicáveis e às quais o motor deverá oferecer resposta adequada.

Um motor de passo pode operar com três tipos de passo. No primeiro, também denominado "passo completo", somente um par de bobinas é energizado a cada intervalo, o que, se por um lado, apresenta a vantagem de um baixo consumo de energia, por outro acarreta baixo torque para o motor. No segundo tipo, denominado "passo intercalado", dois pares de bobinas são energizados simultaneamente acarretando aumentos de seu torque e de sua velocidade, mas resulta em aumento do consumo de energia. E finalmente o "meio passo",

junção dos dois anteriores, que se caracteriza pela maior precisão, mas com uma contrapartida inevitável, que é a diminuição de sua velocidade, pois agora, a cada passo, o motor gira a metade do ângulo correspondente ao percorrido nos casos anteriores. Para o presente trabalho utilizou-se um motor de meio passo, com resolução de  $0,9^\circ$ /passo. (**Analog and Digital control Sytems, 1988**).

Os motores de passo são utilizados onde se requer alta resolução, como, por exemplo, em "drivers" de disquete, "scanners", discos rígidos. Em outros segmentos, pode-se citar sua aplicabilidade na indústria de processos, onde é utilizado para controlar vazões fluidas, através de abertura e fechamento controlado de válvulas e registros. Sua grande aplicabilidade decorre de suas vantagens, que são muitas, tais como o tamanho e custo reduzidos, desgaste inexpressivo, pode operar em malha aberta, possui baixa inércia de rotor e um erro de posicionamento não cumulativo. Com uma lógica apropriada, os motores de passo podem atuar de forma bidirecional, de forma síncrona, prover aceleração rápida, parar, reverter e conectar-se facilmente com outros mecanismos digitais, ou seja, é possível controle total sobre este equipamento. Dentre suas poucas desvantagens podem ser citadas uma relação entre potência e volume insatisfatória (quanto maior sua potência maior seu volume) e, em muitos casos, exige um controle relativamente complexo.

## **2.2 PIC e Display**

Com o intuito de se obter um módulo simples, com baixo volume, evitando circuitos excessivos, bem como baixo consumo optou-se pela utilização de um microcontrolador do tipo PIC. Este componente consiste de um circuito integrado produzido pela Microchip Technology de arquitetura RISC, envolvendo uma CPU que interpreta as instruções do programa, de uma memória PROM para gravação do programa e uma RAM que opera como memória dinâmica, além de uma série de I/O (entradas e saídas). Assim, com uma programação adequada, é possível obter-se, em um único dispositivo, um sistema digital completo que operacionaliza todas as tarefas necessárias à operacionalização do módulo. (**Técnicas Avançadas, 2002**).

Utilizou-se o microcontrolador PIC16F872/SO, com 28 pinos, dos quais 26 são entradas ou saídas, opera numa velocidade de 20MHz, com 2k de memória para gravação do programa, 128 bytes de memória RAM, cinco canais conversores A/D, módulo de comunicação serial MSSP, três módulos de timer e alimentação em uma faixa de 2,0 a 5,5 volts.

O PIC controla, simultaneamente, o motor de passo e um LCD de módulo alfanumérico de 16 caracteres e 2 linhas. Estes displays possuem um baixo consumo de energia quando comparados com LED's, principalmente nos tipos de projetos que operam com alimentação baseada em baterias. Os LCDs operam com sinais CA de baixa tensão tipicamente entre 3 a 15 volts e baixa frequência (entre 25 a 60 Hz). Apesar de estes displays funcionarem com corrente alternada (CA), aplicada entre o segmento e o "blackplane", é procedimento comum gerar o sinal baseado em ondas quadradas, defasadas, aplicadas ao segmento e ao "blackplane", o que permite controlar a reflexão da luz ambiente decorrente da energia luminosa proveniente da corrente que passa pelo segmento. Oito entradas são utilizadas para enviar o código ASCII do que se deseja visualizar no display. (**Sistemas Digitais: Princípios e aplicações, 2003**).

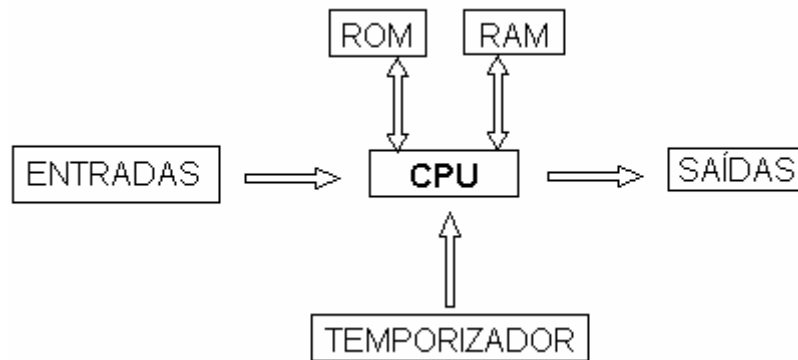


Figura 3 – Diagrama de blocos do microcontrolador.

### 2.3 Base de Programação

O módulo opera baseado na interface entre o motor de passo, que constitui o principal componente sob estudo, e sua aplicabilidade, baseada em simulação, para o que foi desenvolvido um ambiente computacional que permitisse ao usuário uma visão integrada de todo o processo, bem como de suas diversas partes constituintes, ambiente este desenvolvido com o Borland Delphi<sup>®</sup>. O Delphi<sup>®</sup> pode ser visto com um IDE (ambiente integrado de desenvolvimento) que atua como RAD, ou seja, é composto de editor de texto, compilador, ferramenta de depuração e o RAD que permite a inserção de componentes externos. O RAD tem como função inserir as classes e objetos referentes aos componentes para compilação, aumentando assim, a velocidade de desenvolvimento.

Basicamente utilizou-se o componente IOPort, que possibilita o acesso à porta paralela do computador sem a necessidade de carregar a biblioteca necessária para manipulação desta porta. Obs: este componente pode ser conseguido, gratuitamente, em diversos sites da Internet.

O Delphi possui uma linguagem simples, porém muito robusta, o Object Pascal, uma linguagem Pascal orientada a objetos, com a grande vantagem do OOP ("Object-oriented Programming"). De grande amigabilidade com o programador, o Delphi apresenta-se como uma das melhores ferramentas IDE RAD que utilizam orientação a objetos motivo pelo qual foi escolhida para a criação do ambiente computacional.

## 3. O AMBIENTE COMPUTACIONAL

O ambiente possui interface para interação com o usuário bastante simples e amigável como pode ser visto na Figura 4.

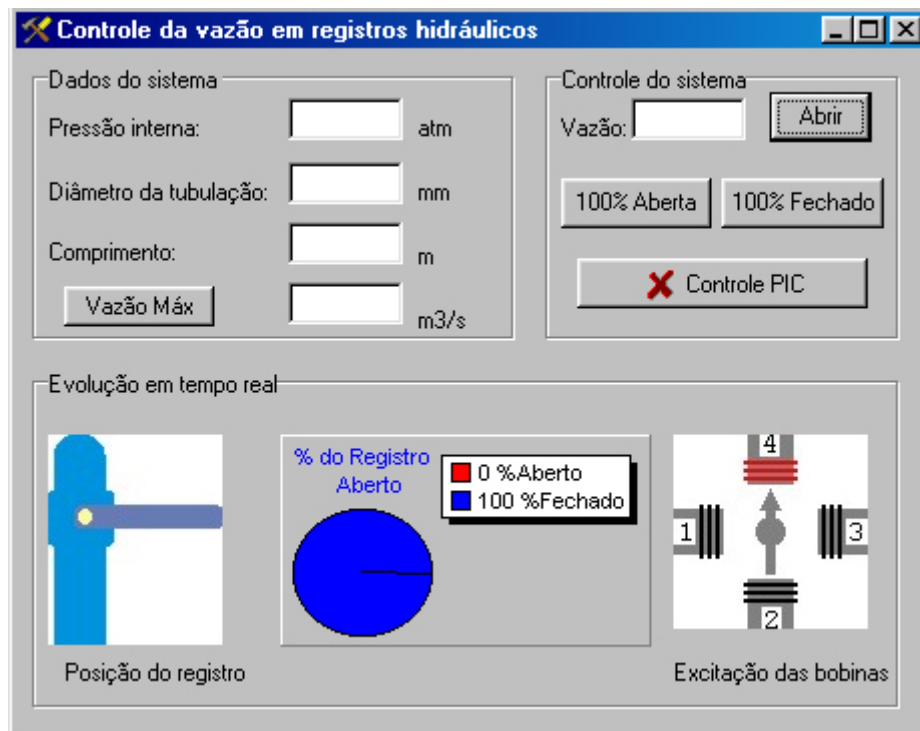


Figura 4 – Tela do ambiente computacional para controle do registro.

É possível através dele calcular a vazão máxima do tubo, bastando apenas inserir os valores das variáveis do sistema no campo ‘Dados do sistema’ e pressionar sobre ‘Vazão Máx.’. Se o usuário já conhece o valor da vazão máxima no tubo basta inserir este valor no campo apropriado. Para conseguir uma vazão menor que a máxima nominal insere-se o valor desejado no campo “Vazão”, apertando a seguir o ícone ‘Abrir’ que o programa simulará o controle da vazão solicitada ao mesmo tempo em que envia o sinal de controle para o motor de passo, que efetuará o giro mostrado pelo ambiente. O usuário também poderá abrir ou fechar completamente o registro. Assim, permanecendo constantes as demais variáveis do sistema, e tendo o usuário informado ao programa o valor da vazão desejada, o ambiente se encarrega de efetuar a simulação do giro do motor, em consonância com o giro do motor real até a posição relacionada à vazão solicitada. Durante a simulação, logo que o motor começa a girar, os gráficos e as figuras indicativas existentes no ambiente de simulação vão sendo atualizadas em “tempo real”. O registro simulado, através do posicionamento de sua alavanca, efetua o giro posicionando-se na situação correspondente à vazão solicitada. Simultaneamente, outra janela do ambiente mostra a seqüência de energização das bobinas e o giro efetuado pelo motor de passo que, teoricamente, controla a abertura do registro.

Um gráfico circular (tipo "pizza") disponibiliza também, para o usuário, o percentual da vazão que está escoando pelo registro em relação à vazão total. O ambiente disponibiliza ainda, para o usuário, a possibilidade de passar o controle do processo para o conjunto PIC-Display utilizando um "botão" existente no ambiente. Uma simulação foi feita onde a vazão máxima do sistema já era conhecida ( $0,01\text{m}^3$ ) e desejava-se uma vazão de  $0,005\text{m}^3$  do valor máximo (50 %) o que corresponde a 25 passos do motor e uma abertura de  $45^\circ$ , conforme ilustra a figura 5.

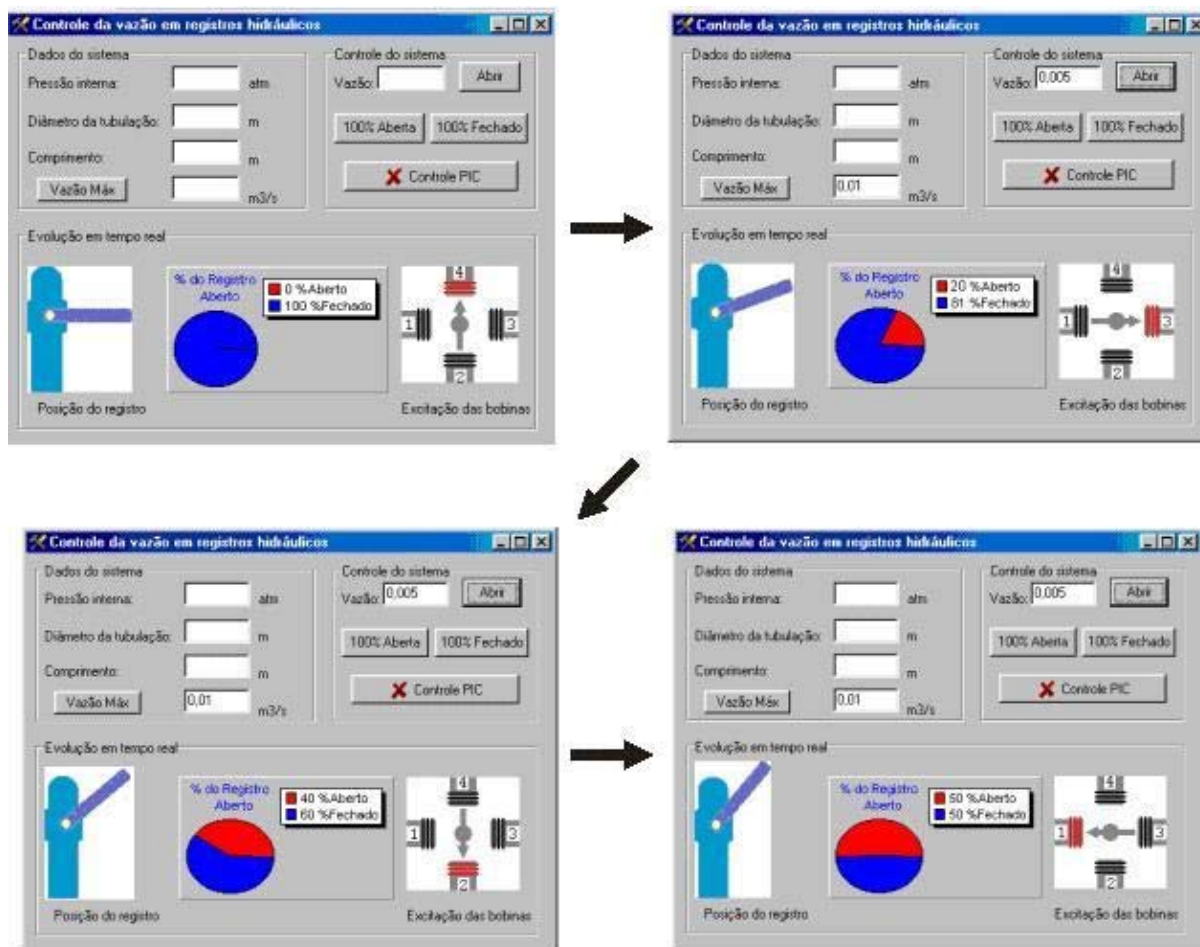


Figura 5 – Avanço de uma abertura de 50% da vazão máxima ou 45°.

## 5. O CONJUNTO PIC-DISPLAY

O módulo desenvolvido permite ainda a opção de efetuar-se o controle do motor utilizando-se o microcontrolador PIC, associado a um LCD, sem a necessidade de utilização do computador. Esta opção busca trazer para o usuário uma situação também bastante comum na prática de controle, onde os componentes atuam diretamente sobre os equipamentos, com os resultados disponibilizados somente através de displays. Assim, quando o ambiente computacional não está operante, o microcontrolador PIC e o "display" são acionados automaticamente, saindo do estado de "standby" e entrando em operação. Mas mesmo se o ambiente estiver operacional o usuário pode utilizar a opção PIC/Display pressionando o botão "Controle PIC" existente no ambiente. O usuário deve informar a pressão interna do tubo, o comprimento e o diâmetro do registro, em seguida o PIC calcula a vazão máxima e informa-a através do "display", sendo necessário então, ao usuário, após este procedimento, informar a vazão máxima desejada, inferior á máxima calculada. Com as variáveis selecionadas, o microcontrolador PIC aciona o motor de passo que efetuará o giro necessário e, teoricamente, girando o registro hidráulico até a posição relacionada à vazão desejada pelo usuário. Para alterar o valor da vazão, para as mesmas variáveis do sistema, o usuário deve digitar o novo valor da vazão sem a necessidade de fechar o registro. Para fechá-lo basta apenas selecionar o fim como indica o "display" (figura 6).

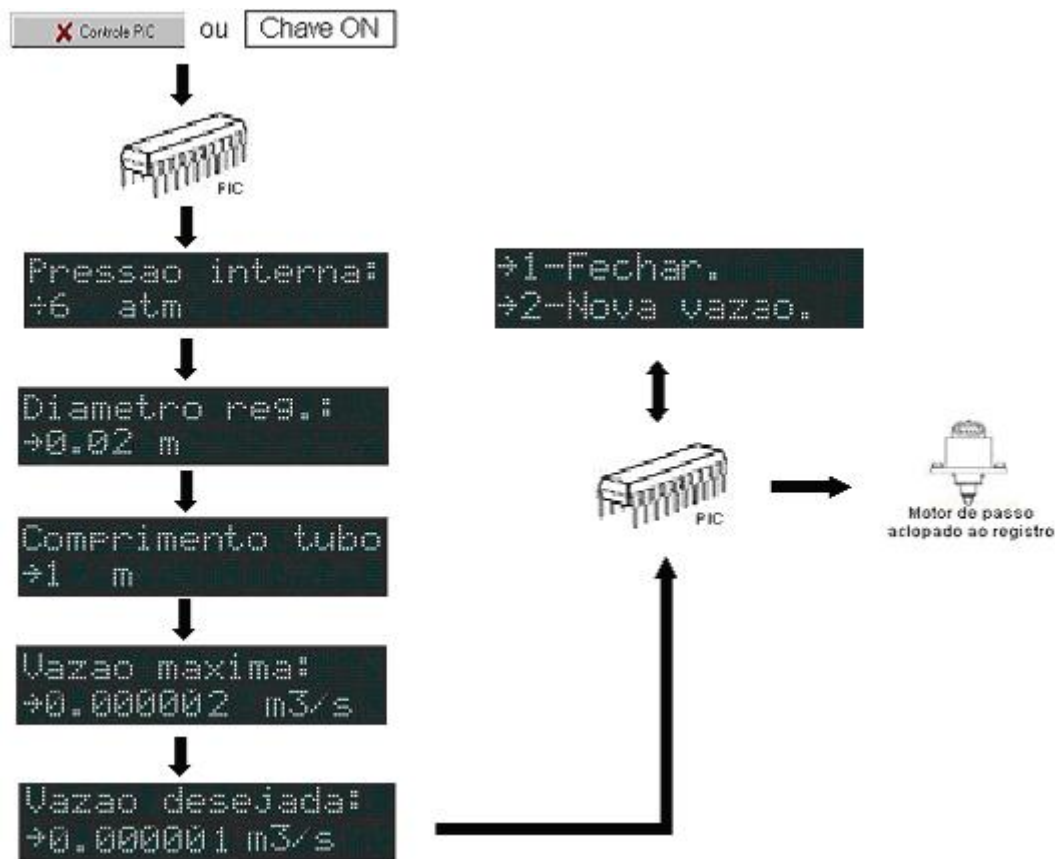


Figura 6 – Seqüência de funcionamento do conjunto PIC-DISPLAY.

## 5. CONCLUSÃO

O projeto desenvolvido trata de um ambiente integrado software-hardware que permite a compreensão do funcionamento de um motor de passo, bem como mostra situações de sua aplicabilidade utilizando o controle da vazão de um registro hidráulico. O módulo utiliza um motor real, com um sistema microcontrolado por um PIC e um "display", bem como possibilita a simulação em ambiente computacional da aplicabilidade dos motores, permitindo ao usuário viabilizar as ações de comando operadas pelo motor e os resultados obtidos, no caso o percentual de abertura de um registro hidráulico.

Apesar de a vazão ser uma grandeza contínua o controle aqui adotado foi discreto, já que o motor possui passos discretos ( $0,9^\circ/\text{passo}$ ), características estas associadas a este tipo de componente e que já constitui importante informação para o usuário do sistema. A resolução do sistema pode ser aumentada se for utilizado um motor de passo de maior resolução juntamente com um registro com uma abertura maior.

A relevância deste projeto para alunos de engenharia é dada pela integração de várias disciplinas tais como eletrônica, sistemas digitais, microcontroladores, engenharia computacional, fenômenos de transporte entre outras.

É interessante notar a versatilidade do sistema, pois o usuário pode usufruir de duas interfaces básicas analisando suas necessidades perante as condições do sistema e mostrando ainda ao aluno um exemplo onde ambientes computacionais mais robustos podem muitas



vezes ser substituídos por ambientes microcontrolados menos precisos e sofisticados sem comprometerem o controle do processo.

### ***Agradecimentos***

Ao PET (Programa de Educação Tutorial) Engenharia Elétrica – UFJF e aos amigos pelo suporte para a pesquisa e desenvolvimento do projeto.

## **6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

GAYAAF, RAMAKANT & SOKOLOFF, LEONARD. **Analog and Digital control Systems**. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1988.

MICROCONTROLADORES PIC: **Técnicas Avançadas**.. Fábio Pereira. – São Paulo: Érica, 2002.

TOCCI, R. J. & WIDMER, N.S. **Sistemas Digitais: Princípios e aplicações**. 8. ed. – São Paulo: Prentice Hall, 2003.

MICROCHIP TECHNOLOGY INC. **PIC16F872 Data Sheet**.

<<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/30221b.pdf>>.

TRIDENT MICROSYSTEMS LTD. **TRI MODS-1535 Data Sheet**.

<<http://www.farnell.com/datasheets/35529.pdf>>.

### **STEPPER MOTORS: STUDY AND APPLICABILITY IN AN INTEGRATED ENVIRONMENT FOR SIMULATION IN REAL TIME**

**Abstract:** *This article presents a project of an integrated environment "the software-hardware", for analysis of the behavior and applicability of the stepper motor. The "hardware" is constituted by a stepper motor and a microcontroller PIC, interfaced through a "display" of liquid crystal. Using the parallel port of a PC it is possible to realize the communication of the stepper motor system with a simulation environment, in the case the control of the fluid outflow with sphere register, with possibility of turn of one room in return. The computational program was developed for environments Microsoft Windows® through the Borland Delphi. The developed module can be used as didactic tool for better learning in you discipline them that they act in the involved areas of the project, as computation, electronics, microcontrollers among others. It makes possible an integrated vision of the stepper motor, its functioning and applicability, in a cheap, simple environment and of great applicability.*

**Key words:** *Stepper Motor, Microcontrollers, Computational Environment, Process Control.*