

RODRIGO MOREIRA DE SOUZA ROCHA

**IMPLEMENTAÇÃO DE UM TENSÍMETRO DIGITAL UTILIZANDO
MICROCONTROLADOR DEDICADO**

Monografia apresentada ao
Departamento de Ciência da
Computação da Universidade
Federal de Lavras como parte das
exigências da disciplina Projeto
Orientado para obtenção do título de
Bacharel em Ciência da
Computação.

Orientador:

Prof. Ms.C. João Carlos Giacomini

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2003

RODRIGO MOREIRA DE SOUZA ROCHA

**IMPLEMENTAÇÃO DE UM TENSÍOMETRO DIGITAL UTILIZANDO
MICROCONTROLADOR DEDICADO**

Monografia apresentada ao
Departamento de Ciência da
Computação da Universidade
Federal de Lavras como parte das
exigências da disciplina Projeto
Orientado para obtenção do título de
Bacharel em Ciência da
Computação.

APROVADA em ____ de _____ de ____ .

Prof. _____

UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2003

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todas as pessoas que acreditaram no meu potencial e que deram o mínimo para que esse pudesse ser concretizado. Em especial a minha avó Lúdia (in memoriam) que sempre me apoiou em minhas atividades e falava que eu seria um grande homem.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas que me deram apoio, principalmente moral, técnico e científico nas horas em que precisei. Especialmente ao meu orientador, professor Giacomini que, em função de estar fazendo o seu doutorado, sacrificou muitas horas para me auxiliar. Agradeço também o professor Luciano que, diversas vezes, fez o papel de meu orientador na ausência do professor Giacomini. E também ao professor Luís Artur que me incentivou na realização desse projeto na área de automação agrícola.

RESUMO

O processo de leitura do potencial matricial de água no solo é uma necessidade constante da sociedade. Diferentes métodos para obtenção dessa medida existem, variando desde os tensiômetros a complexos sistemas digitais. O presente trabalho constituiu na inferência dessa medida através do processo de automação da leitura do tensiômetro que é o método mais convencional, obtendo o tensímetro, utilizando para isso um microcontrolador dedicado. Para a concretização desse procedimento foi necessário acoplar um transdutor de pressão para transformar a pressão dentro desse em um sinal elétrico proporcional. A piezoresistividade é a propriedade que certos materiais possuem de apresentar uma diferença de potencial de acordo com certa pressão aplicada. Depois que essa voltagem é obtida através do transdutor, codifica-se o sinal em dados digitais, para que possam ser processados pelo microcontrolador que é uma máquina binária. Condiciona-se a voltagem de entrada em uma saída de oito bits paralelos com o uso de um conversor A/D. Então temos a entrada ideal para o microcontrolador que processa dados de 8 bits. Essa é apresentada através de dois displays de 7 segmentos, podendo variar de 0 a 100 kPa. O trabalhado é, em resumo, a implementação da interface e do software utilizado juntamente com o microcontrolador no processo de automação do tensiômetro.

ABSTRACT

The process of reading of the soil water matrix potential is a constant need of society. Different methods for obtaining exist, ranging from the tensiometers to complex digital systems. The present work consists of the inference of this measure through the automation process of the tensiometer reading which is the most conventional method, obtaining the tensiometer, utilizing, for that, a dedicated microcontroller. For the accomplishment of this procedure, it was necessary to couple a pressure transducer in the tensiometer for the pressure inside that, could be obtained. Piezoresivity is the property that certain materials possess, being able to range a potential difference according to certain pressure applied. After this voltage is reached through the transducer, the signals were codified into digital data for them to be able to be processed by the microcontroller, which is a binary machine. The input voltage is conditioned into output of eight parallel bits with the use of an A/D converter. Then we have the input ideal for the microcontroller which processes data of eight bits. Available always, that byte in the input terminals of the microcontroller, there is a function which was implemented and recorded in the internal memory of the programmable integrated circuit, responsible for obtaining those signals, handle them, alternate them and present them as the principal output of the project, the measure of the soil water matrix potential. That is presented through two 7-segment displays, being able to range from 0 to 100 kPa. The work is, in short, the implementation of the interface and of the software utilized together with the microcontroller in the automation process of the tensiometer.

SUMÁRIO

1-INTRODUÇÃO.....	1
2-REFERENCIAL TEÓRICO	9
3-METODOLOGIA	38
4-RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
5-CONCLUSÃO.....	55
6-BIBLIOGRAFIA.....	57
7-ANEXOS.....	59

LISTA DE FIGURAS

1	Modelo Geral de um Microcontrolador	4
1	Ligação do Componentes utilizados no projeto	8
2.2	Esquema de acoplamento entre um tensiômetro e um manômetro de mercúrio.....	14
2.2	Três principais tipos de tensiômetros existentes.....	14
2.4	Terminais de Entrada/Saída do transdutor MPX5100 DP.....	17
2.4	Principais fatores que influenciam na representação da informação digital	19
2.4	Condicionando o sinal para a placa A/D.....	20
2.4	Comparação entre os dados convertidos em um conversor de 4 e outro de 5 bits	21
2.4	Mapeamento dos Terminais do conversor ADC0804.....	24
2.5	Exemplo de utilização do 8051 no modo expandido.....	26
2.5	Pinagem do microcontrolador 8051	27
2.5	O Reset no 8051	28
2.5	Esquema de organização da memória de programa e de dados do 8051	29
2.5	O clock interno do 8051	31

LISTA DE TABELAS

2.4 Representação de um número para um conversor de 10 bits.....	23
2.4 Representação de um numero para um conversor de 12 bits.....	23
2.5 O registro TMOD do microcontrolador 8051	33
2.5 O registro TCON do microcontrolador 8051	33
2.5 Modos de operação dos contadores/temporizadores	34
4.0 Resultados apresentados utilizando indicadores de LED	47/48
4.0 Resultados apresentados utilizando displays de 7 segmentos	49/50
4.0 Resultados do último teste	52

1 INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento da Eletrônica Analógica e também a Digital, ocorreu um grande avanço na área da automação, pelo qual processos que antes demandavam bastante recursos hoje podem ser implementados de uma forma mais racional.

Como fruto desse desenvolvimento tecnológico, surgiram os microcontroladores que, com o passar do tempo, tornaram-se cada vez menores e mais potentes. Esses dispositivos também são denominados de computadores de um chip só, que, fisicamente, apresentam todas as estruturas de um computador/microcomputador encapsulados em uma única pastilha.

Dentre essas estruturas cita-se:

Microprocessador

Componente responsável por controlar todo o processamento em uma máquina digital. Apresenta uma estrutura denominada ULA (Unidade Lógica Aritmética) que é o centro de cálculos do microprocessador. Também apresenta vários tipos de registradores que nada mais são do que uma espécie de memória de acesso muito rápido. Registradores possuem uma capacidade de armazenamento pequena em relação a outros tipos de memória. Geralmente armazenam pequenas quantidades de dados que são utilizados pelo microprocessador no cumprimento de suas atividades.

Canais de Comunicação

Não adiantaria nada se um computador não fosse provido de canais de comunicação. Como faríamos para trabalharmos com a máquina? Esses canais

são responsáveis por fazer a troca de informações entre o computador propriamente dito e o mundo exterior por intermédio dos dispositivos de entrada (teclado, mouse, scanner, etc) e saída (monitor, impressora, etc).

Memórias

Memória é um conceito empregado para designar as partes de uma máquina digital onde dados e programas são armazenados. Sem uma memória onde os processadores podem ler e escrever informações, não haveria nenhum computador digital de programa armazenado. No caso do microcontrolador, temos vários tipos de memórias presentes. Dentre as mais importantes cita-se:

- Registradores: dispositivos de armazenamento temporário, localizados na CPU, extremamente rápidos, com capacidade para apenas um dado (uma palavra). Devido a sua tecnologia de construção e por estar localizado como parte da própria pastilha na Unidade Central de Processamento, é muito caro. O conceito de registrador surgiu da necessidade da Unidade Central de Processamento de armazenar temporariamente dados intermediários durante um processamento.

- RAM Interna: É um tipo de memória essencial para o microcontrolador, sendo usada para guardar dados e instruções de um programa. Tem como características fundamentais, a volatilidade, ou seja, o seu conteúdo é perdido quando o microcontrolador é desligado; o acesso aleatório aos dados e o suporte à leitura e gravação de dados, sendo o processo de gravação um processo destrutivo e a leitura um processo não destrutivo.

Clock

Sinal responsável por garantir que todo o hardware funcione de uma forma síncrona. Em uma máquina digital, tal como um microcontrolador, todos os seus dispositivos trabalham em função desse sinal.

Interrupções

São entradas a partir de um sinal externo ao microprocessador que fazem com que o processamento seja interrompido e seja iniciada uma sub-rotina específica. Exemplo disso quando é gerado um sinal pelo disco rígido ordenando que o processamento seja cessado imediatamente para fazer um acesso a disco. Esse pedido de interrupção pode ou não ser concedido, variando de acordo com políticas de prioridades.

Estas são algumas das estruturas que desenvolvem funções específicas presentes em computadores que constituem um microcontrolador digital. A figura 1 mostra um modelo geral de um microcontrolador.

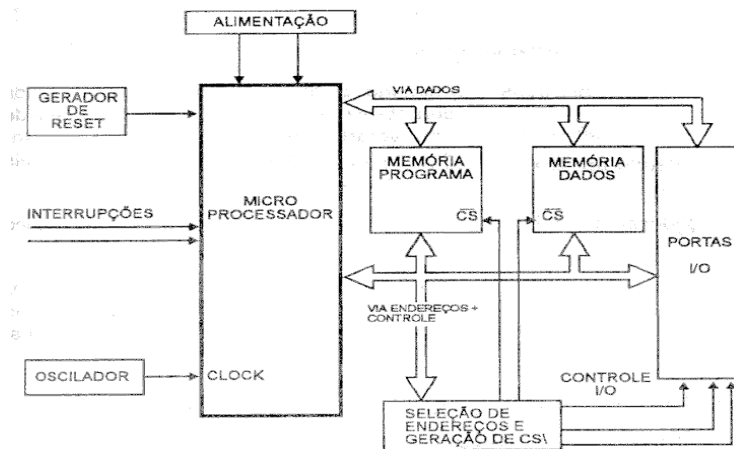


Figura 1 – Modelo Geral de um Microcontrolador.

Como esses circuitos são bastante utilizados em processos industriais de automação, outros componentes podem estar presentes no microcontrolador: codificadores A/D (Analógicos/Digitais), D/A (Digitais/Analógicos), PLD's (Programmable Logic Devices), etc.

Geralmente os conversores A/D e D/A servem para fazer um interfaceamento entre o microcontrolador que constitui uma máquina digital e o mundo exterior a ele, o qual trabalha com dados na forma analógica proveniente de sensores diversos.

PLD's são dispositivos lógicos programáveis que possibilitam a programação do microcontrolador. O programa é implementado e armazenado em memórias. Dentre essas as mais utilizadas é o tipo ROM (Read Only Memory) na qual programa não pode ser alterado. Existe uma variação dessa memória bastante utilizada em processos industriais: EPROM (Erasable Programmable ROM) que possibilita a alteração do programa.

Microcontroladores são dispositivos muito utilizados pelos projetistas de hardware atualmente em função da sua utilização em variadas aplicações industriais. Dentre essas cita-se automação industrial, aparelhos eletro-eletrônicos (TV's, videocassetes, fornos de microondas, controles remotos, telefones celulares), etc.

Um forno de microondas, por exemplo, possui um microcontrolador digital o qual apresenta todas as instruções características desse dispositivo. Quando esse está ligado, existe uma rotina implementada em seu programa que não deixa com que ele funcione, por exemplo, com o seu compartimento aberto. Se o forno está em atividade certamente a sua porta está fechada. Sensores diversos trocam constantemente informações com o microcontrolador. Dependendo de certa entrada o microcontrolador apresenta uma saída, como o acionamento de um sinal sonoro, indicando que a operação terminou. Em seu processo de fabricação, o programa é compilado e gravado em memória de acordo com objetivos específicos da máquina. Muitos aparelhos eletro-eletrônicos que estão disponíveis no mercado atualmente possuem um microcontrolador digital.

O microcontrolador apresenta uma solução mais acessível para sistemas dedicados em função do baixo custo e facilidade de uso. Imagine um sistema de contagem de produtos produzidos no final da linha de montagem de uma pequena fábrica que funcione 24 horas por dia. Esse contador, de acordo com entradas provenientes do exterior, deve responder com as necessidades previamente estabelecidas. Um microcomputador poderia ser colocado para desenvolver esse trabalho. Isso seria uma atitude irracional. O preço de um computador é dezenas de vezes maior que o do sistema controlado pelo microcontrolador. Além do mais, manter um micro ligado 24 horas por dia, no final do 7^o mês, teríamos um consumo significativo de energia. Sem falar que

seria um desperdício manter um micro para tal tarefa em função de que ele estaria sendo subutilizado.

O processo de automação é uma realidade dentro das indústrias. Os microcontroladores são utilizados na otimização e automação de processos industriais, proporcionando melhor desempenho e qualidade na fabricação de produtos, além de economia de mão de obra e recursos.

Apesar do elevado investimento utilizado, a automação de processos é algo que tem retorno a curto/médio prazo. Basta ver a situação das médias e grandes empresas que possuem capital para investimento.

Por todas essas razões proponho o desenvolvimento de uma interface e um programa, utilizando-se para isso de um microcontrolador que seja programável, para automatizar e, conseqüentemente, otimizar a realização de algum processo. O propósito desse projeto é automatizar o processo de leitura da quantidade de água existente no solo, ou seja, a umidade do solo.

A entrada para o microcontrolador constitui em informações provenientes de um sensor acoplado em um tensiômetro. Este é um instrumento utilizado para medir a umidade do solo. Constitui basicamente de um cano de PVC em que uma das extremidades apresenta uma cápsula de cerâmica porosa. Coloca-se água nesse tubo e, com uma tampa, veda-se a outra extremidade de modo que não entre até mesmo ar. Esse instrumento é colocado no solo e, de acordo com a umidade desse, cria-se um vácuo dentro do tensiômetro, possibilitando medir a quantidade de água contida no solo através de alguns cálculos. Geralmente o tensiômetro apresenta um manômetro acoplado pelo qual mede a pressão negativa no seu interior. Para que se possa fazer uma leitura mais precisa do manômetro é necessário que todo o conjunto tensiômetro/manômetro esteja no solo por, pelo menos, 48 horas.

O sensor que será acoplado no aparelho é um transdutor de pressão que, de acordo com a força aplicada sobre ele, apresenta em seus terminais de saída uma diferença de potencial. A relação entre pressão e voltagem é linear, o que possibilita uma maior precisão da leitura do instrumento e o seu cálculo. Depois da leitura tais informações são passadas para um microcontrolador. Saídas geradas pelo transdutor constituem diferentes níveis de voltagem numa faixa previamente conhecida, ou seja, são dados analógicos. Como se tem conhecimento, os microcontroladores são máquinas digitais, o que faz necessário a utilização de um conversor A/D (analógico → digital) como ponte entre o sensor de pressão e o microcontrolador.

Nesse projeto será utilizado o Circuito Integrado 8051 fabricado pela Intel. Apesar de ser um controlador de oito bits, é um dos mais populares atualmente. Existe uma infinidade de projetos baseado nesse chip. Esse microcontrolador é programável, o que nos permite escrever diversas instruções para serem executadas de acordo com necessidades específicas. O Circuito Integrado 8051 já sofreu alterações em seu hardware (espécie de upgrade) para suportar aplicações que exigem mais recursos. Tal dispositivo é compatível com outros microcontroladores da mesma família (MCS-51), ou seja, podem ser acoplados e trabalharem juntos. Diferem-se, por exemplo, na capacidade de endereçamento de memória e/ou capacidade de armazenamento.

O microcontrolador irá fazer a leitura da umidade do solo continuamente e apresentar o resultado em dois displays de 7 segmentos pelo qual poderá mostrar a leitura entre 0 e 99. Depois de dois dias fazendo leituras periódicas, será apresentado um resultado mais preciso. No decorrer do desenvolvimento do projeto esse poderá ser alterado no sentido de implementar algumas funções que sistemas de irrigação automatizados desempenham. Outras saídas podem ser geradas paralelamente à leitura apresentada no display como, por exemplo, o acionamento de uma bomba de um sistema de irrigação caso a umidade do solo

esteja baixa. A figura 2 apresenta um esquema de ligação entre os principais componentes utilizados no projeto.

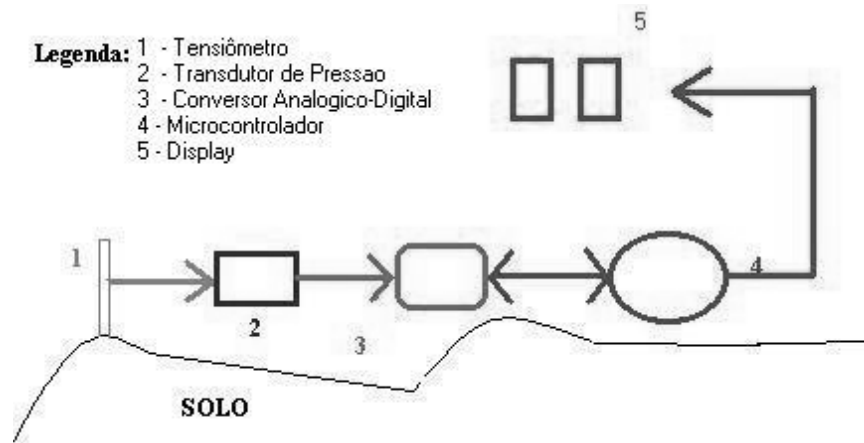


Figura 2 – Ligação dos Componentes utilizados no projeto

Todo projeto de pesquisa bem elaborado deve ser usufruído pela sociedade. A extensão, juntamente com o ensino e a pesquisa constitui, ao menos teoricamente, a base da universidade. Espero que este trabalho venha posteriormente a ser usado no processo para o qual ele foi proposto como uma forma de otimizar recursos, trazendo melhorias sociais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SOLO

"O solo é um sistema complexo, constituído de materiais sólidos, líquidos e gasosos. As partículas sólidas formam um arranjo poroso tal que os espaços vazios, denominados poros, têm a capacidade de armazenar líquidos e gases.

A parte sólida é principalmente mineral e se constitui de partículas classificadas de acordo com o tamanho médio dos grãos, em areia, limo (ou silte) e argila. As proporções de areia, limo e argila determinam a textura do solo. O arranjo das diversas partículas, juntamente com os efeitos cimentantes de materiais orgânicos e inorgânicos, determinam a estrutura do solo. Os materiais orgânicos consistem de resíduos vegetais e animais, parte dos quais são vivos e o restante se apresentando em diversos estágios de decomposição, denominado húmus.

A parte líquida do solo constitui-se essencialmente de água, contendo minerais dissolvidos e materiais orgânicos solúveis. Ela ocupa parte (ou quase o todo) do espaço vazio entre as partículas sólidas, dependendo da umidade do solo. Esta água é absorvida pelas raízes das plantas ou é drenada para camadas de solo mais profundas e, por isso, precisa ser periodicamente repostada pela chuva ou pela irrigação, para garantir uma produção vegetal adequada. Daí a importância agrícola do conhecimento deste reservatório de água para as plantas e dos princípios que governam seu funcionamento.

A parte gasosa ocupa os espaços vazios não ocupados pela água. Esta é uma porção importante do sistema solo, pois a maioria das plantas exige certa aeração do sistema radicular, com exceção de "plantas aquáticas", como o arroz.

Na prática da irrigação, é importante manter-se certo balanço entre a porção dos poros ocupada pela água e ocupada pelo ar" (Reichardt, 1986).

A citação textual acima mostra a importância do estudo sobre a quantidade de água existente no solo. Em função da necessidade de expansão de conhecimentos sobre o referido existem uma infinidade de trabalhos publicados nessa área. Abaixo um resumo de um projeto financiado pelo CNPq que é fruto dessa necessidade.

“Apesar de estar em pleno desenvolvimento, a tecnologia de sensores de umidade está sendo alvo de estudos para aumentar sua precisão e reduzir seu custo. Entre as muitas vantagens do sistema aplicado à agricultura, estão a possibilidade de traçar um perfil da umidade do solo com a instalação de sensores em várias profundidades, a utilização dos dados para dar maior eficiência à irrigação e até automatizá-la. O projeto visa desenvolver um sensor para monitorar a umidade do solo que vai funcionar com base na variação da constante dielétrica, provocada pelas mudanças na quantidade de água. Atualmente, os sensores disponíveis no mercado são caros como o TDR ou sonda de nêutrons ou de difícil manejo como o tensiômetro. A metodologia do projeto consistirá no desenvolvimento do sensor a partir de um circuito projetado como um oscilador do tipo RC, que deverá gerar um impulso elétrico a uma dada frequência em solo seco. A frequência do sinal é uma função da resistência e da capacitância do circuito. O solo funcionará como capacitor. Assim, a saída do sensor será uma função da constante dielétrica do solo que está relacionada à umidade. A relação entre frequência e capacitância será então estabelecida e a constante dielétrica do solo calculada. Os seguintes elementos serão dimensionados no projeto do sensor: resistência, número, diâmetro e distância entre eletrodos, voltagem de entrada e frequência de oscilação. O sensor será calibrado em laboratório e em campo. Como resultado final espera-

se obter um sensor de baixo custo, elevada sensibilidade e com possibilidade de automação” (Universidade Federal do Ceará, 2001).

Segundo Reichardt (1986), a água é retida no solo, isto é, em seus poros, devido a fenômenos de capilaridade e adsorção. A capilaridade está ligada a afinidade entre as partículas sólidas do solo e a água, havendo, porém, a necessidade de interfaces água-ar. Estas interfaces água-ar, chamadas de meniscos, apresentam uma curvatura que é tanto maior quanto menor o poro. A curvatura determina o estado de energia da água e, por isso, diz-se que tanto menor o poro, tanto mais retida se encontra a água. Assim, para esvaziar um poro grande, precisa-se aplicar menos energia do que para esvaziar um poro pequeno. Como o solo possui uma variedade imensa de poros, em forma e "diâmetro", quando se aplica uma dada energia ao solo (por exemplo, através de uma sucção), esvaziam-se inicialmente os poros maiores. Aumentando-se a energia aplicada, esvaziam-se poros cada vez menores.

A capilaridade atua na retenção de água dos solos na faixa úmida, quando os poros se apresentam razoavelmente cheios de água. Quando um solo se seca, os poros vão se esvaziando e filmes de água recobrem as partículas sólidas. Nestas condições, o fenômeno de adsorção passa a dominar a retenção de água. A adsorção pode ser elétrica, pois a água é um dipolo, ou material, correspondendo a uma atração entre os sólidos e a água. A energia de retenção da água nestas condições é muito maior ainda e, por isso, grandes quantidades de energia são requeridas para se retirar esta água do solo.

Muitos fatores afetam a retenção da água no solo. O principal deles é a textura, pois ela, diretamente, determina a área de contato entre as partículas sólidas e a água e determina as proporções de poros de diferentes tamanhos. A estrutura também afeta a retenção de água, pois ela determina o arranjo das partículas, que por sua vez vai determinar a distribuição de poros. A textura

refere-se apenas ao tamanho de partículas e, além de tamanho, também é de grande importância na retenção de água a qualidade do material, principalmente das argilas. Existem argilas que, devido às suas características, têm ótimas propriedades de retenção de água.

Sempre que o solo não estiver saturado, existe ar e, portanto, existem interfaces água/ar (meniscos) que lhe conferem o estado de tensão (pressão negativa), assim a água encontra-se sob tensões. A tensão, chamada de potencial matricial, é resultante da afinidade da água com a matriz do solo, devida às forças adsorvidas e de capilaridade oriundas das forças coesivas e adesivas que se desenvolvem dentro e entre as três fases do solo.

2.2 TENSÍÔMETRO

O potencial matricial mede a quantidade de água presente no solo. Um instrumento bastante utilizado em práticas agrícolas para a obtenção dessa medição é o tensiômetro. Esse consiste de uma cápsula de cerâmica porosa conectada a um manômetro (vacuômetro) através de um tubo geralmente de PVC ou acrílico.

Quando colocado no solo, a água contida na cápsula tende a entrar em equilíbrio com a tensão da água do solo ao seu redor. Qualquer mudança no teor de água no solo e, conseqüentemente, em seu estado de energia, será transmitido à água no interior da cápsula, sendo indicada rapidamente pelo vacuômetro. A cápsula do tensiômetro funciona como uma membrana semi-permeável, permitindo a livre passagem de água e íons e impedindo a passagem de ar e partículas do solo.

O valor de ψ_m (potencial matricial) do solo ao redor da cápsula, de um tensiômetro com manômetro de mercúrio é dado por:

$$\psi_m = - 12,6h + h_1 + h_2;$$

onde h corresponde à elevação do Hg no manômetro, h_1 é à distância da superfície livre do Hg no reservatório (cubeta) à superfície do solo, e h_2 a profundidade de instalação do tensiômetro. Com as medidas em cm, o valor de ψ_m é obtido em cmca (centímetros de coluna d'água).

Para tensiômetros com manômetros mecânicos, o valor de ψ_m é dado por:

$$\psi_m = -l + 0,098c;$$

onde l é a leitura do manômetro em cbar ou kPa e c o comprimento do tensiômetro (distância da cápsula ao manômetro) em cm. O ψ_m é obtido em kPa.

A relação entre as diferentes unidades de medida de pressão, mais especificamente as que são utilizadas na inferência do potencial matricial de água no solo é mostrada no anexo 1.

Para tensiômetros com manômetro digital (tensímetro), o valor de ψ_m , também em kPa, é dado por:

$$\psi_m = l + 0,098c;$$

para leitura em cbar ou kPa e comprimento em cm.

A figura 3 apresenta um esquema de um tensiômetro conectado a um manômetro. Os três principais tipos de tensiômetros são mostrados na figura 4[P1].

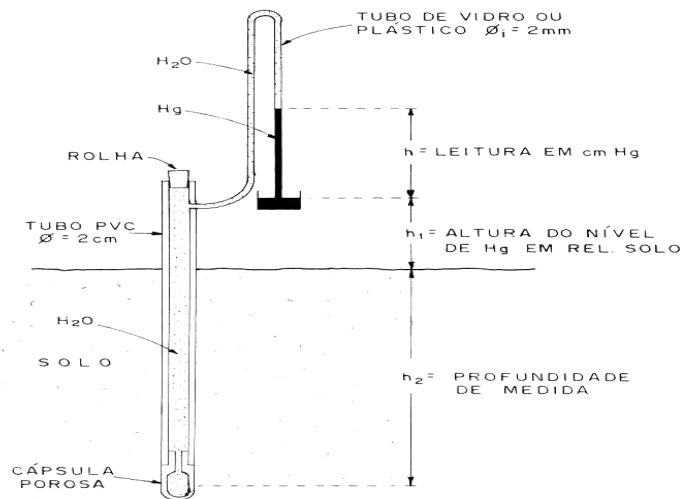
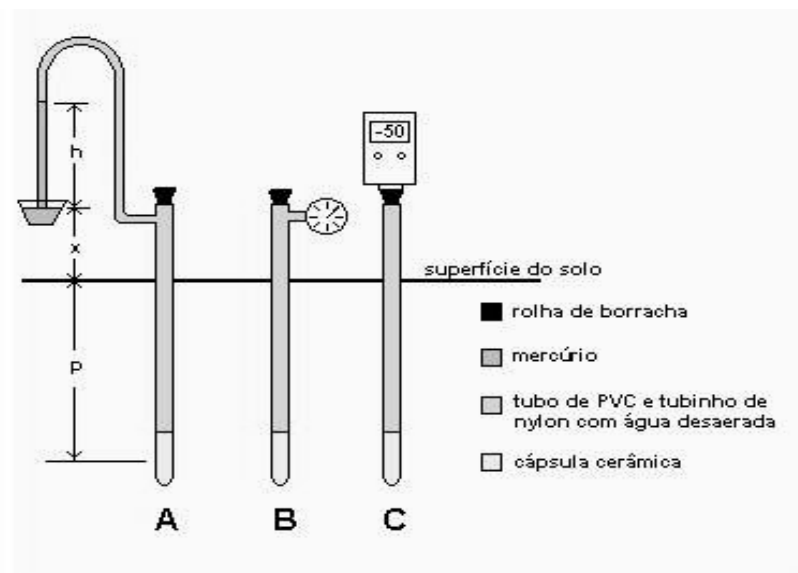


Fig. 3.12 — Esquema de tensiômetro.

Figura 3 - Esquema de acoplamento entre um tensiômetro e um manômetro de mercúrio



Tensiômetros: A — de mercúrio; B — com vacuômetro analógico; C — com transdutor de pressão (tensiômetro)

Figura 4 – Três principais tipos de tensiômetros existentes.

No presente projeto o manômetro utilizado para medir a pressão negativa ou vácuo existente dentro do tensiômetro é substituído por um sensor de pressão.

2.3 SENSOR DE PRESSÃO

“Um conjunto de sensores resistivos de grande utilidade prática são as piezo-resistências. A piezo-resistividade é a propriedade dos materiais que caracteriza a dependência da resistividade elétrica com a deformação mecânica. Esta propriedade tem como causas, entre outras, a variação da mobilidade e da densidade de cargas livres nos materiais, sendo esta última devido em particular à dependência da amplitude da banda proibida com o esforço mecânico.

Apesar de a piezo-resistividade ser uma propriedade comum a todos os materiais, ela é mais notória nos semicondutores como o silício e o germânio, em cujo caso o coeficiente de variação da resistência elétrica é, regra geral, negativo. As piezo-resistências são utilizadas na construção de microfones e de detectores de aceleração, de força e de pressão, como é o caso dos airbags dos automóveis e dos sensores de fluxo em condutores de líquidos ou gases. Devido à compatibilidade tecnológica com a eletrônica de silício, os sensores de pressão são passíveis de integração conjunta com os circuitos eletrônicos de revelação e processamento de sinal, permitindo, assim, realizar numa única pastilha sistemas complexos que incluem as funções de transdução, de revelação e de processamento da informação.

Os sensores de pressão Motorola são feitos utilizando um piezorresistor de silicone monolítico, que gera uma tensão de saída que varia conforme a pressão aplicada. O elemento resistivo, que constitui o medidor de pressão, é uma implantação de íon em um fino diafragma de silicone.

Aplicando pressão sobre o diafragma resulta em uma variação de resistência no medidor de pressão, que por conseguinte promove uma variação

na tensão de saída diretamente proporcional à pressão aplicada. O medidor de pressão é uma parte integrante do diafragma de silicone, portanto ele não sofre efeito de temperatura devido a diferenças de dilatação térmica no medidor de força e no diafragma. Entretanto, os parâmetros do medidor de pressão são dependentes da temperatura, requerendo um esquema de compensação quando usado sob uma grande faixa de variação de temperatura. Uma compensação simples pode ser usada para um estreito intervalo de temperatura, entre 0 e 85°C. Para um intervalo de temperatura maior, é necessário um esquema de compensação mais elaborado” (Tomaselli, 2002).

O sensor que será utilizado nesse trabalho é o MPX5100 DP da família MPX5100 da motorola que é necessário em diversas aplicações. Geralmente, para o uso desses chips, utilizam-se microcontroladores ou microprocessadores com conversores A/D. Esse sensor pode apresentar como saída uma tensão entre 0.2 a aproximadamente 3.8 Volts trabalhando com a porta 2, ou seja, manipulando pressão negativa (ver anexo 2). Operando na faixa de temperatura entre 0 a 85°C pode apresentar um erro, no máximo, de 2.5% em sua saída. Esse fator pode ser multiplicado por 3 caso o sensor não esteja trabalhando nesse intervalo de temperatura. O MPX5100 DP apresenta 6 terminais onde apenas 3 são utilizados. Podemos identificar o pino 1 através do seu chanfrado, que os outros terminais não possuem. O pino 1 é a saída do transdutor, que constitui de uma tensão gerada linearmente de acordo com a pressão exercida em uma de suas portas de entrada. Os pinos 2 e 3 constituem a alimentação do circuito. Mais especificamente, o pino 2 é o terra e pino 3 o +Vcc (5 Volts). Esse apresenta duas portas de entrada: P1 e P2. P1 constitui a porta pela qual mede-se a pressão positiva e P2 mede o vácuo (pressão negativa). Esse sensor é designado para operar com diferença positiva de pressão aplicada, ou seja, $P1 > P2$. Como vamos medir a pressão negativa dentro do tensiômetro, utiliza-se no

projeto a porta P2 do sensor, deixando P1 livre, respeitando essa designação de operação.

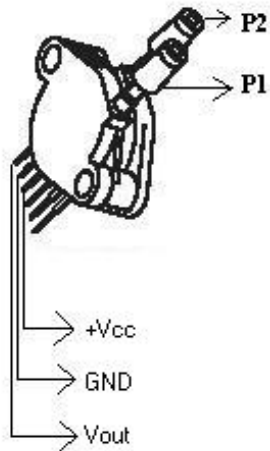


Figura 5: Terminais de entrada/saída do transdutor MPX5100 DP

2.4 – CONVERSOR A/D

“O Conversor A/D (A de analógico e D de Digital) é um dispositivo que converte uma grandeza analógica em dados digitais.

As grandezas analógicas são aquelas cujas medidas podem assumir uma infinidade de valores. O mundo físico apresenta diversos exemplos de grandezas analógicas:

- A posição de um carro numa pista
- A força de tração num cabo de aço
- A corrente elétrica consumida por um equipamento
- A força numa mola
- A temperatura ambiente, etc.

No caso da força numa mola, o seu valor pode ser de 1000 Kgf num determinado instante e logo em seguida 1012 Kgf. Podemos notar que neste intervalo a força assumiu uma infinidade de valores (1000.1, 1001.009, 10007.89767, etc), ou seja, uma grandeza analógica possui infinitos valores ao longo do intervalo de variação.

Um computador eletrônico digital opera, como o próprio nome indica, com dados digitais. Um dado ou informação digital se caracteriza por assumir uma quantidade finita de valores discretos (valores múltiplos de uma unidade arbitrária).

Voltando ao exemplo da força na mola, se fosse necessário guardar num computador os valores possíveis da força dentro do intervalo de 1000 a 1012 Kgf, poderíamos obter apenas três valores (1000, 1005, 1010) se a unidade arbitrária fosse 5 Kgf.

A conversão analógica-digital permite representar numericamente o sinal analógico. A precisão da representação digital depende de vários fatores, entre os quais os mais importantes são a faixa de entrada e resolução.

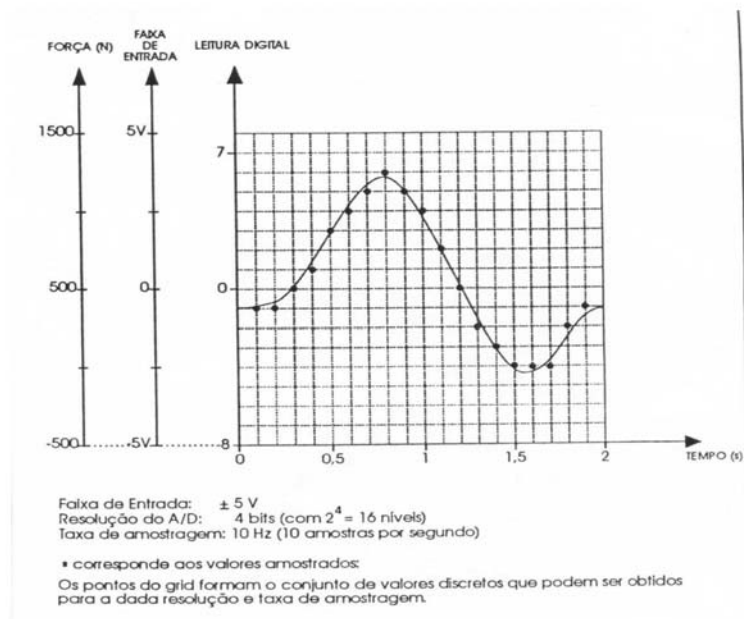


Figura 6 –Principais fatores que influenciam na representação da informação digital

A resolução indica qual a menor variação do sinal analógico que o conversor A/D pode detectar e é geralmente indicada em termos de número de bits. Assim, tem-se conversores com resolução de 6, 8, 10, 12, 14, 16, ...bits, sendo os mais comuns os de 8, 10 e 12 bits.

A faixa de entrada é um parâmetro associado à resolução e informa a faixa de tensões e/ou correntes que a placa conversora A/D consegue representar numericamente, ou seja, se o sinal de entrada estiver fora desta faixa ele não

poderá ser representado pelo conversor. Esta faixa pode ser de ± 5 V, 0 a 5 V, ± 10 V, 0 a 10 mA, etc. Algumas placas A/D permitem programar a faixa de entrada.

Se as faixas de entrada disponíveis na placa A/D não forem adequadas será necessário condicionar o sinal (amplificar ou atenuar) antes de conectá-lo na entrada da placa A/D.

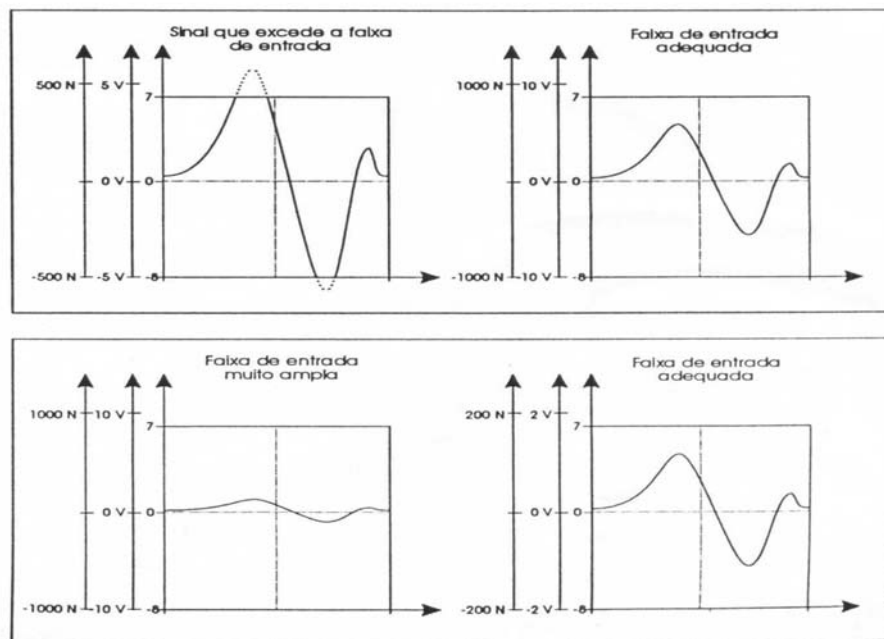


Figura 7 – Condicionando o sinal para que as faixas de entrada sejam adequadas para a placa A/D.

Comparando-se dois conversores com a mesma faixa de entrada, o de maior resolução permitirá detectar variações menores no sinal de entrada. Assim, um conversor com faixa de entrada de ± 5 V e resolução de 4 bits pode representar o sinal em 16 níveis e detectará variações de 625 mV (isto é, $10/16$)

enquanto um conversor de 5 bits pode representar o mesmo sinal em 32 níveis e detectará variações de 312,5 mV. A figura 8 faz uma comparação entre os mesmos dados analógicos convertidos em dados digitais utilizando conversores com diferentes resoluções.

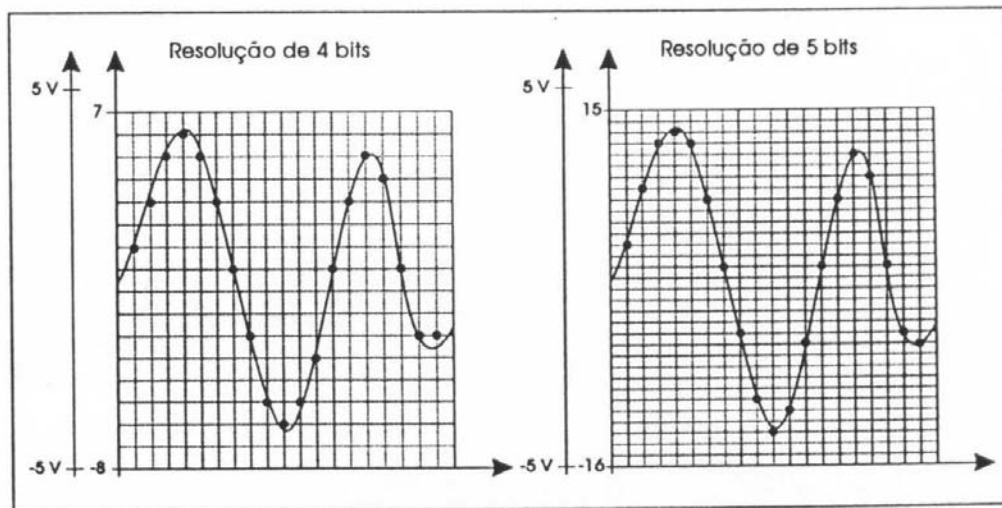


Figura 8 – . Comparação entre os dados convertidos em um conversor de 4 e outro de 5 bits

O modo como os bits resultantes de uma conversão são interpretados varia de conversor para conversor, existindo basicamente dois modos:

- Com “offset”(deslocamento)
- Em complemento de dois

No modo com offset os dados são representados da seguinte forma:

0 = limite inferior da faixa de entrada do conversor A/D

2^n = limite superior da faixa de entrada do conversor A/D

onde, n: resolução do conversor A/D.

Por exemplo, num conversor de 10 bits e faixa de entrada de ± 5 V tem-se a seguinte representação:

0 = -5,00 V

256 = -2,50 V

512 = 0,00 V

1024 = 5,00V

No modo complemento de dois tem-se a seguinte representação:

-2^{n-1} = limite inferior de entrada do conversor A/D

$+2^{n-1}$ = limite superior de entrada do conversor A/D

onde, n: resolução do conversor A/D.

Por exemplo, num conversor de 10 bits e faixa de entrada de ± 5 V tem-se a seguinte representação:

-512 = -5,00 V

-256 = -2,50 V

0 = 0,00 V

256 = 2,50 V

512 = 5,00 V

As duas tabelas ilustram como são representados os números para um conversor de 10 bits (tabela 1) e outro de 12 bits (tabela 2).”

10 bits

BYTE MAIS SIGNIFICATIVO								BYTE MENOS SIGNIFICATIVO								Tensão na entrada	código
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0		
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5,0000 V	-32768
1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-4,9902 V	-32704
x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	0	0	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	4,9805 V	32640
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	4,9902 V	32704

bits do conversor
bits zerados

Tabela 1 – Representação de um número para um conversor de 10 bits

12 bits

BYTE MAIS SIGNIFICATIVO								BYTE MENOS SIGNIFICATIVO								Tensão na entrada	código
D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0		
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-5,0000 V	-32768
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	-4,9976 V	-32752
x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0	0	0	0	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	4,9951 V	32736
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	4,9976 V	32752

bits do conversor
bits zerados

Tabela 2 – Representação de um número para um conversor de 12 bits

O conversor A/D que será usado nesse trabalho é o ADC0804 da National Semiconductors. Ver anexo 3. Este constitui-se de um conversor de oito bits paralelos, sendo que pode representar em sua saída digital 256 níveis possíveis de entrada analógica. Sendo que a sua entrada pode variar de 0 a 5,0V, então a resolução seria $5V / 256$ níveis, ou seja, cada nível digital representa uma grandeza analógica de 19,5mV. O Circuito Integrado apresenta 20 terminais

em sua pastilha onde utilizamos 15: o CS (barrado) que serve para ligar o conversor. RD (barrado) que, quando ativado (nível baixo) faz com que o conversor disponibiliza os dados convertidos em sua saída binária. WR ou Write que lê a entrada analógica quando ativo (nível baixo). As saídas binárias (D0 a D7) e o pino de interrupção (INTR). A figura 9 mostra um esquema desse circuito.

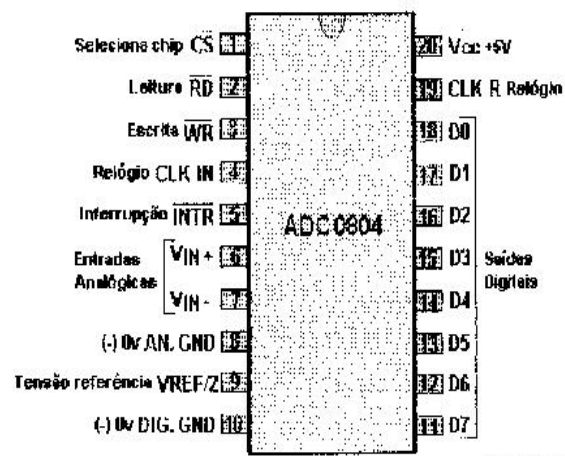


Figura 9 – Mapeamento dos Terminais do conversor ADC 0804

2.5 - MICROCONTROLADOR

Sistemas microprocessados são aqueles que têm por elemento central um microprocessador. O microcontrolador 8051 da Intel é um computador de um chip só, portanto, constitui um sistema microprocessado. Esse faz parte de uma família de microcontroladores: O Circuito Integrado 8031 é a versão sem memória ROM interna do 8051. O mesmo é muito utilizado em fase de desenvolvimento ou quando se quer produzir em pequenas quantidades.

Também são chamados de sistemas seqüenciais síncronos em função de seguirem um compasso, geralmente conhecido como clock.

Esse computador de um chip só, assim como outros da sua família, são programáveis. Isso significa que podemos escrever instruções, compilá-las e colocar na memória do circuito, de acordo com certas necessidades. No caso específico do microcontrolador 8051, pode-se programá-lo utilizando-se o assembly ou a linguagem C.

O assembly constitui uma linguagem muito próxima da linguagem de máquina ou binária, difere-se essencialmente por apresentar um nível de abstração um pouco maior através dos mnemônicos que nada mais são que códigos utilizados para representar um conjunto de instruções.

Outra possibilidade de programar o 8051 é através da Linguagem C. Constitui uma linguagem de alto nível, fornecendo uma abstração muito maior em relação às linguagens citadas anteriormente.

No decorrer do curso de Ciência da Computação da UFLA a linguagem de programação C é muito referenciada. Essa linguagem, juntamente com recursos do paradigma de programação orientado a objeto, é utilizada na implementação de vários compiladores utilizados atualmente em função dos seus recursos. Tenho uma afinidade maior a essa perante o assembly e, por isso, será utilizada nesse projeto.

Embora já existam microprocessadores que trabalhem a centenas de MHz, o 8051 utiliza tipicamente um clock de 12 MHz, dividido internamente por 12, pelo qual pode executar 1 milhão de instruções em apenas 1 segundo. O microcontrolador 8051 é de ampla utilização. O crescente interesse por essa família de microcontroladores deve-se ao fato de serem baratos, poderosos, facilmente encontrados e com uma grande variedade de microcontroladores que

contém características especiais como conversores A/D, saídas PWM, etc; e também por um mercado potencialmente crescente.

Apresenta dois modos básicos de funcionamento:

modo mínimo - somente recursos internos são utilizados pela CPU. Neste modo, estão disponíveis 4 KB de ROM para memória de programa e 128 bytes de RAM para memória de dados. O modo mínimo possui a vantagem (além da economia de componentes e espaço físico) de poder utilizar as 4 portas de 8 bits cada para controle (I/O);

modo expandido - como se fosse um upgrade desse circuito. Neste modo, a memória de programa (ROM), a memória de dados (RAM) ou ambas podem ser expandidas para 64 kB, através do uso de Circuitos Integrados externos. No entanto, apresenta a desvantagem de "perder" duas das quatro portas para comunicação com as memórias externas. Acoplam-se outros circuitos externos a esse como, por exemplo, um chip para ampliar a memória utilizando-se portas de comunicação.

Um exemplo de utilização do modo expandido é mostrado na figura 10.

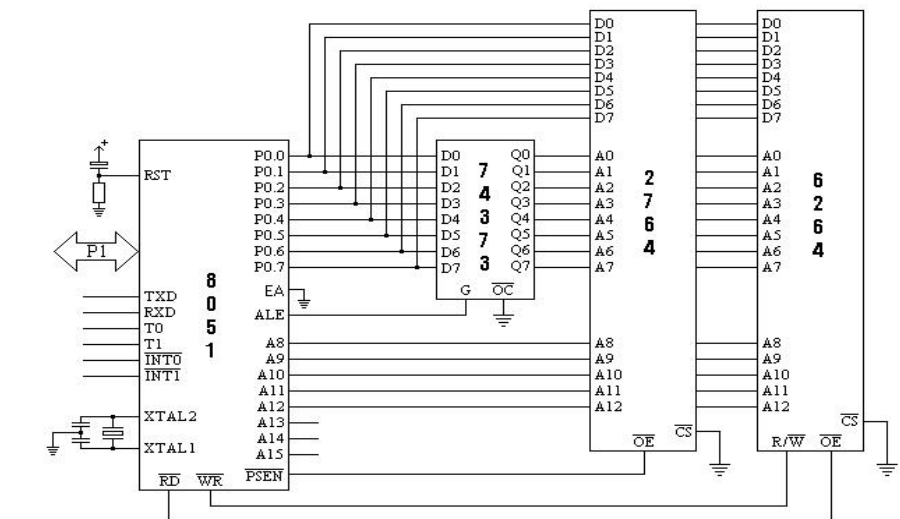


Figura 10: exemplo de utilização do 8051 no modo expandido

A figura 11 mostra a Pinagem do Microcontrolador 8051

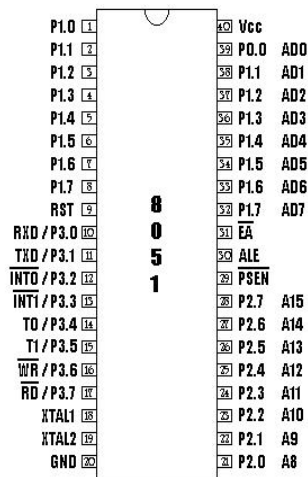


Figura 11: Pinagem do microcontrolador 8051

Acima, quando utilizamos o microcontrolador 8051 no modo expandido, além das memórias é necessário a utilização de um outro Circuito Integrado (no caso o 74373) para a multiplexação de dados e endereços. Ocorre da seguinte forma: no primeiro ciclo de máquina, o 8051 coloca nos pinos AD0 a AD7 o byte menos significativo do endereço externo e leva o pino ALE (Address Latch Enable - Habilitador da Trava de Endereços) a nível alto, de modo que o 74373 (oito Latches tipo D) coloque em suas saídas essa informação, e logo em seguida passa este pino para nível baixo, para que esse byte fique retido no 74373. Após isso, os pinos AD0 a AD7 estarão livres para o transporte dos dados.

O 8051 pode, no modo expandido, utilizar toda a memória de programa externa (com nível lógico 0 aplicado ao pino 31 - External Address NOT) ou ainda utilizar os primeiros 4 kB internos e o restante externo (com 1 em EA).

Na figura acima estamos utilizando 8kB de RAM externa, além dos 256 bytes de RAM interna. Temos um **total** de 8kB de memória ROM que, no caso do 8051, pode estar sendo utilizado apenas no Circuito Integrado externo ou com os 4096 bytes menos significativos em memória interna e os 4096 bytes mais significativos na memória externa.

Ainda em relação à figura acima, para fazer uma leitura na ROM externa, o pino **PSEN** será levado a nível baixo, para fazer uma leitura na RAM externa, o pino **RD** será levado a nível baixo e, para fazer uma escrita na RAM externa, o pino **WR** será levado a nível baixo.

O Reset tem a função de interromper qualquer tipo de processamento que máquinas digitais estejam desenvolvendo e reinicializar o sistema. Para resetar o microcontrolador 8051 é necessário que o pino 9 (RST) permaneça em nível alto por 2 ou mais ciclos de máquina.

Inicialmente, quando o equipamento é ligado um circuito composto por um capacitor e um resistor mantém o sinal RST (reset) em nível alto (+Vcc). Este circuito é conhecido como Limpa_ao_Ligar, e é responsável por inicializar o microcontrolador com todos os registradores em zero. Transcorrido um tempo suficiente longo (alguns milissegundos) estará completamente carregado e a entrada RST (Pino 9) estará em nível lógico zero.

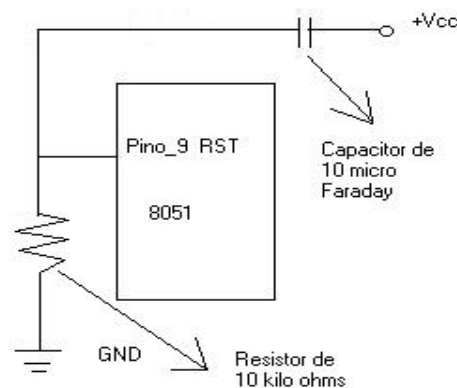


Figura 12: O Reset no 8051

A figura 13 traz um esquema da organização da memória de programa e da memória de dados, respectivamente, do microcontrolador 8051.

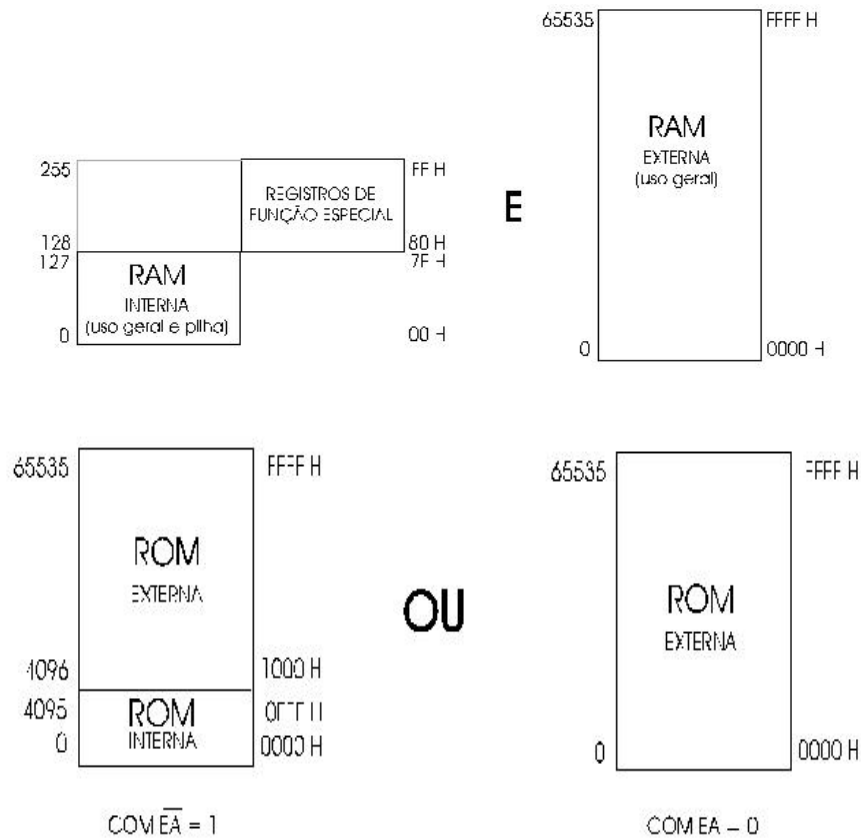


Figura 13: Esquema de organização da memória de programa e de dados do 8051

Diferentemente de outros sistemas baseados em microprocessador, onde cada endereço de memória identifica uma única posição física, no 8051 o mesmo endereço hexadecimal pode identificar 3 posições físicas diferentes (e até 4, no caso do 8052, que tem 256 bytes de RAM interna). Por exemplo, temos

o endereço 23H na RAM interna, o endereço 23H na RAM externa e o endereço 23H na ROM externa. Mesmo com esses endereços "iguais", não há risco de confusão, pois as instruções e o modo de endereçamento são diferentes. Para deixar mais claro, vamos supor que queiramos carregar no acumulador o conteúdo de cada uma das posições 23H. Exemplos abaixo:

da RAM interna:

```
MOV A,23H ;end.direto
```

da RAM externa:

```
MOVX R0,#23H ;imediato;
```

R0 como ponteiro:

```
MOVX A,@R0 ;indireto
```

da ROM externa:

```
CLR A
```

```
MOV DPTR,#0023H
```

```
MOVC A,@A+DPTR
```

Existem duas formas de estabelecer o sincronismo em aplicações que utilizam o microcontrolador 8051:

Clock externo – nesse caso o sinal é proveniente de outro dispositivo pelo qual possivelmente está acoplado a esse. Para isso utilizamos o pino 18 (XTAL 2) como entrada desse sinal e aterramos o pino 19 (XTAL 1).

Clock interno – uma outra possibilidade de garantir o sincronismo é através da utilização do sinal interno. Para isso é necessário a utilização de um cristal oscilador como mostra a figura 14:

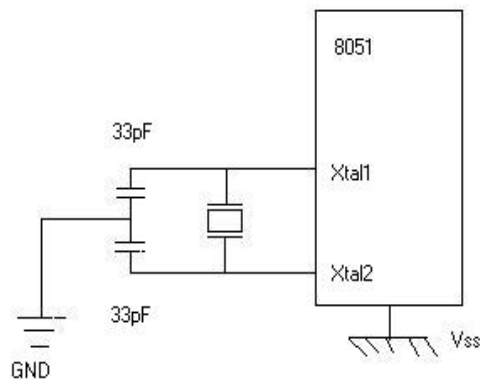


Figura 14: O clock interno do 8051

O 8051 possui basicamente 32 pinos de entrada e saída, divididos em 4 portas de 8 bits. As portas 0 e 2 possuem como função alternativa, endereçar memória externa, para que possamos expandir a capacidade de dados e de programas no 8051.

Através de PSEN\ habilita-se a saída da memória de programa (permite a leitura na Eprom externa). Neste instante, os sinais RD\ e WR\ estão em nível lógico 1.

Os sinais RD\ e WR\ somente são ativos (nível baixo) caso a CPU execute instruções de leitura e escrita na memória de dados externa.

O pino 31 tem a função de EA\ (external address) e quando em nível 1 diz à CPU para procurar os primeiros 4 Kbytes de programa internamente, e o

que exceder esta memória será procurado externamente. Quando em nível 0, informa à CPU que deve procurar todos os passos de programa externamente, ignorando a memória interna.

Quando expandimos externamente o microcontrolador 8051 como, por exemplo, acoplando-se outro chip de memória externa, utilizamos portas de entrada e saída. A capacidade de interfaceamento do 8051 é limitada aos 32 pinos de I/O que se reduzem a 14, caso utilizemos o 8031 (versão ROMLess) com memória ROM externa.

Nos sistemas microprocessados em geral, os temporizadores são utilizados para gerar periódicos e precisos pedidos de interrupção, medir larguras de pulsos externos, contagem de tempo, entre outras funções.

O microcontrolador 8051 possui Contadores/Temporizadores pelo qual podem ser configurados via hardware ou software para trabalharem como uma ou outra função. A seleção de Temporizador ou Contador, é realizada através de um registro de função especial denominado de TMOD.

Quando configurado como temporizador, um registro será incrementado a cada ciclo da máquina. Cada ciclo da máquina corresponde a 12 ciclos de clock.

Como contador, um registro será incrementado a cada transição negativa da máquina. A máxima taxa de contagem será de 1/24 da frequência do clock, visto que são necessários dois ciclo de máquina para o reconhecimento de uma transição de "1" para "0".

Os Contadores/Temporizadores podem trabalhar em quatro modos possíveis. Através do registro TMOD é que fazemos a seleção da função a ser desempenhada e dos 4 modos de operação (modo 0, 1, 2 ou 3).

O registro TMOD é mostrado abaixo, assim como a função de cada bit.

GATE.1	/T.1	M1.1	M0.	GAT	C/	M	M	
		1	E.0	T.O	1.0	0.0	9H	
it 7	it 6	bit 5	Bit 4	bit 3	bit	Bi	b	
				2	t 1	it 0		
Controle do C/T 1				Controle do C/T 0				

Tabela 3: O registro TMOD do microcontrolador 8051

C/T.x: Seleciona a função, TEMPORIZADOR (timer) ou CONTADOR. Será selecionado como TEMPORIZADOR se este bit estiver em "0". Se em "1" a operação será como CONTADOR.

GATE.x: Quando GATE.x = 1 e TRx = 1, o temporizador irá operar somente enquanto o pino INTx = 1 (controle por circuito). Quando GATE.x = 0, o temporizador irá operar somente quando TRx = 1 (controle por software).

Obs.: TRx é um bit de TCON (palavra de controle do Contador/Temporizador) que será vista a seguir.

M1.x e M0.x: Bits de seleção de modo de operação.

O registro **TCON** (Timer Control – Controle do Temporizador) é mostrado abaixo.

TCON é um registro acessado pelo endereço 88H e é bit endereçável.

8	8		8		8 ^A h	89	88	TC
Fh	Eh	Dh	Ch	Bh	h	h	ON	
T	T		R		IT1	IE	IT	88
F1	R1	F0	0	E1	0	0	H	
T	T		T		TC	T	T	
CON.7	CON.6	CON.5	CON.4	CON.3	ON.2	CON.1	CON.0	

Tabela 4: O registro TCON do microcontrolador 8051

TFx: Bit de overflow do temporizador. É ativado (setado) pelo circuito quando ocorrer um overflow no temporizador, gerando um pedido de interrupção. É resettado pelo hardware após terminada a rotina de interrupção.

TRx: Bit de controle de operação do temporizador. É o bit que liga e desliga o C/T. Para ligar o temporizador, o software deverá setar este bit, e para desligar deverá resetá-lo.

Modos de Operação dos Contadores/Temporizadores

M 1.x	M 0.x	Modo de Operação	Característica
0	0	Modo 0	C/T de 13 bits
0	1	Modo 1	C/T de 16 bits
1	0	Modo 2	C/T de 8 bits com recarga automática
1	1	Modo 3	1 C/T de 8 bits e 1 Temporizador

Tabela 5: Modos de operação dos contadores/temporizadores

O 8051 pode ser interrompido de 5 maneiras: Através da interrupção externa INTO0\, pela interrupção externa INTO1\, pelo timer/counter interno TIMER0, pelo timer/counter interno TIMER1 e pelo canal de comunicação serial.

Uma propriedade importante das interrupções no microcontrolador 8051 é que elas podem ser desabilitadas/habilitadas pelo software. Dizemos então que as interrupções são mascaradas. O registro responsável pelas habilitações da

interrupções é o IE (Interrupt Enable). Existe uma hierarquia de níveis de prioridades em relação aos eventos a serem ocorridos em uma máquina digital. Sendo assim, cada interrupção pode ser programada para um dos dois níveis de prioridade (0 ou 1). Isto é feito através dos bits do registro IP (Interrupt Priority). Caso ocorra dois pedidos de interrupções simultaneamente e ambas tiverem o mesmo nível de prioridade ocorrerá uma seleção aleatória que definirá qual interrupção atender primeiro.

As instruções presentes no microcontrolador 8051 suportam uma grande variedade de modos de endereçamento como uma forma de otimizar operações em diferentes situações que exigem acesso a RAM interna. Dentre os principais modos de endereçamento destacam-se:

Endereçamento Direto

Nesse tipo de endereçamento o operando é especificado na operação através de um endereço de 8 bits. Somente a RAM de dados interna e os registros de função especial é que poderão ser endereçados diretamente.

Exemplos:

MOV A, 25h

A $\leftarrow$ (25h)

ADD A, 7Fh

A $\leftarrow$ A + (7F)

Endereçamento Indireto

Esse modo de endereçamento é caracterizado por não apresentar o operando diretamente na instrução. Nesse a instrução possui um ponteiro para um determinado endereço de memória onde se encontra o operando.

Exemplos:

ADD A, @ R0

$A \leftarrow A + (R0)$

MOV @ R1, 15h

$(R1) \leftarrow 15h$

Obs.: @ é utilizado para indicar endereçamento indireto.

Endereçamento Indexado

Somente a memória de programa (ROM) poderá ser acessada com endereçamento indexado e somente poderá ser lida. O endereço efetivo é a soma do acumulador e um registro de 16 bits. Este modo é usado para leituras de tabelas colocadas na memória de programa (ROM). Por exemplo tabelas de conversão, ou de mensagens.

Um registro base de 16 bits, tal como o registro DPTR, ou contador de programa (PC), aponta para a base da tabela e o acumulador recebe o deslocamento dentro da tabela. Assim o endereço de entrada da tabela será formado com a soma do conteúdo do acumulador e o registro base.

Exemplos:

MOVC A, @ A + DPTR

A $\leftarrow$ (A+DPTR) da ROM

MOVC A, @ A + PC

A $\leftarrow$ (A + PC) da ROM

Outro tipo de endereçamento indexado é usado nas instruções de "case jump". Neste caso o endereço destino do salto (jump) é calculado com a soma do conteúdo do acumulador e do conteúdo do apontador base. Assim o valor base do endereço do salto será carregado no apontador base (DPTR) e o valor de indexação do salto que realiza a condição (case) será carregado no acumulador.

Exemplo:

JMP @ A + DPTR

Faz um salto para o endereço dado por A + DPTR

PC $\leftarrow$ A + DPTR

3 METODOLOGIA

O presente projeto constituiu numa interação entre a área de irrigação e a de automação, que alcançou o objetivo de desenvolvimento de um aparelho para medição da umidade do solo, o tensímetro (tensiômetro digital), que é mais prático em relação aos convencionais disponíveis atualmente.

De acordo com o caráter multidisciplinar desse projeto, para a sua implementação, foi necessário uma orientação por parte dos responsáveis pelas áreas envolvidas. O professor de eletrônica, do Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Lavras, João Carlos Giacomini, o professor Luciano Mendes, desse mesmo departamento, e o professor de Hidráulica, do Departamento de Engenharia, Luiz Arthur Alvarenga Vilela, dessa mesma academia, foram os meus orientadores os quais cumpriram o seu devido trabalho no decorrer desse processo.

Esse projeto de automação foi desenvolvido em algumas dependências dessa universidade, mais especificamente no laboratório de eletrônica, laboratório de computação e também no laboratório de hidráulica durante o segundo semestre de 2003. Quando se fala nessas dependências automaticamente inclui recursos que esses possuem para caracterizá-los como materiais específicos. Dentre esses materiais cita-se:

Multímetro, osciloscópio, computador com compilador C para 8051 e/ou compilador C com a biblioteca “8051.h”, protoboard, Kit Didático do Microcontrolador 8051, sensor de pressão MPX5100 DP, tensiômetros, padrão de referência para tensiômetros, fontes variáveis, conversores, componentes eletrônicos, etc.

O objetivo do projeto é a implementação de um tensiômetro digital utilizando microcontrolador dedicado. Desde o início sabia que o

microcontrolador que iria utilizar era o 8051 devido que havia um estudo inicial desse por parte de uma discente do curso de computação da UFLA cujo orientador era o mesmo que está orientando esse meu trabalho e esse tensímetro utilizando o microcontrolador específico ainda não havia sido implementado. Cheguei a ler dois livros sobre o 8051: “Microcontrolador 8051 Detalhado” escrito por Denys Nicolosi e “Aplicações Práticas do Microcontrolador 8051”, de Vidal Pereira Junior. A partir disso defini que dividiria o desenvolvimento do trabalho em partes sequenciais de acordo com a montagem que eu teria que fazer. Sendo assim, comecei a estudar o tensiômetro. De posse de 2 livros emprestados da Biblioteca Central da Universidade Federal de Lavras, mais especificamente o livro “Processos de Transferência no Sistema Solo-Planta-Atmosfera” e também o “A Água em Sistemas Agrícolas”, ambos escritos por Reichard, entendi o que era o tensiômetro, o seu princípio de funcionamento e um pouco sobre o seu manejo. Com essas informações fui ao laboratório de hidráulica dessa mesma escola e verifiquei o que realmente era esse aparelho. O tensiômetro possui um indicador de pressão na extremidade oposta da sua cápsula porosa. Perante essa observação conclui que o projeto poderia ser desenvolvido com a substituição do barômetro de mercúrio ou o mecânico por um sensor. O próximo passo foi a escolha do sensor de pressão a ser utilizado para poder fazer a leitura da pressão dentro do mesmo. Esses sensores possuem um elevado custo e como o laboratório de eletrônica possui um exemplar do mesmo, mais especificamente o transdutor de pressão MPX5100 DP fabricado pela motorola, não pensei duas vezes em utilizá-lo. Comecei a pesquisar esse dispositivo. No site do fabricante (<http://www.motorola.com/semiconductors>) consegui pegar a sua folha de dados. As informações presentes nesse datasheet foram suficientes para que eu pudesse compreender o seu funcionamento e manejo. Com esses dados parti para os testes do mesmo. Queria saber se esse sensor que estava no laboratório realmente funcionava. Para realizar esses o

coloquei em uma matriz de contato e o alimentei corretamente com 5 Volts. Na porta designada para medir pressão negativa ou vácuo acoplei uma mangueira de aproximadamente 0,5 metros. Vedei com uma braçadeira o contato entre o sensor e a mangueira de modo que não entrasse ar para garantir que meus testes seriam o mais preciso possível. Dispondo de um multímetro liguei uma de suas pontas de prova no terra da matriz de contato e a outra conectei à saída do transdutor de pressão. Fazendo sucção na extremidade livre da mangueira percebi que a tensão de saída variava quando eu também variava o vácuo dentro do mesmo. Mais ainda. De posse da leitura do multímetro e de acordo com a força que estava aplicando para fazer a sucção, percebi que a relação entre pressão de entrada e a tensão de saída do transdutor era linear, de acordo com a sua folha de dados. Esse sensor de pressão estava funcionando. A próxima etapa foi transformar essa voltagem que é uma grandeza analógica em dados digitais para que posteriormente esse pudesse mandar informações para o microcontrolador que constitui em uma máquina digital. Uma das primeiras informações que obtive a respeito do 8051 era que ele manipulava dados de 8 bits. Sendo assim, procurei encontrar um conversor analógico-digital de 8 bits pois esse iria trocar informações diretamente com o microcontrolador, simplificando a realização do projeto a ser desenvolvido. Meu orientador já tinha desenvolvido trabalhos com o conversor analógico-digital ADC0804 da National Semiconductors e não teve nenhum problema. Além do mais, esse circuito integrado estava presente no laboratório. Decidi por sua utilização. Fazendo pesquisas na INTERNET visitei um site que tinha as especificações necessárias para que eu pudesse trabalhar (<http://www.rogercom.com>). Em seguida fiz um teste simples com o conversor para verificar se esse estava funcionando corretamente. Nos seus pinos de controle de leitura e escrita conectei um gerador de sinal em cada para que fosse possível habilitar e desabilitar periodicamente a leitura e escrita do mesmo. Dispondo de 3

osciloscópios conectei a sua entrada nos 3 primeiros bits menos significativos da saída do ADC0804 (D0, D1 e D2) para verificar a existência de alguma onda quadrada. Deveria estar fazendo algo errado pois não consegui enxergar nada. Considerei simplesmente que o ADC estava funcionando e segui em frente. Comecei a programar o microcontrolador em C. O SDCC foi o compilador utilizado para traduzir o meu código escrito em C para o assembly. A minha primeira versão do programa tinha 6 funções que eram chamadas por uma função principal (MAIN). Essas foram implementadas para fazer a leitura do ADC0804 através do port 1, a conversão binária-decimal pois achava que era melhor trabalhar com dados decimais, na sequência ocorria o armazenamento dessa leitura já convertida em um vetor para uma posterior manipulação desses dados, uma função para calcular a umidade, uma outra para fazer a conversão contrária da segunda função e a última para mandar escrever nos displays de 7 segmentos a medida que corresponde ao potencial matricial de água no solo. Depois disso fui alterando o algoritmo e cheguei a conclusão que não era necessário fazer as conversões citadas para que o programa funcionasse pois o microcontrolador fazia isso. A sintaxe da programação em C para o 8051 do compilador SDCC foi muito fácil de ser entendida. Sempre consegui compilar o código para assembly sem problemas. O kit utilizado para gravar o programa em binário no microcontrolador possui um compilador específico para a concretização dessa tradução. Esse tradutor é o roda51. Quando achei que o meu programa estava terminado decidi transformar o meu código já em assembly para o binário através do compilador do fabricante do kit. Centenas de erros apareceram nessa tentativa de compilação. Questionei o meu orientador a respeito disso e ele falou para eu fazer um programa que não utilizasse chamadas de funções. Nesse sentido, a minha próxima versão do programa tinha apenas 2 funções: uma que realizava praticamente a leitura da porta do ADC e a sua escrita nos displays e outra implementando um atraso que é necessário para

o controle do ADC. Mesmo assim , depois dessas alterações, ainda não conseguia gerar o meu código em linguagem de máquina. Dispondo de um conjunto de instruções em assembly que compilavam sem problemas, através do tradutor do kit do microcontrolador, meu orientador começou a passar para o assembly o código que eu tinha escrito na linguagem C. Acabou que deu certo essa implementação. Determinado dia fui a casa dele onde fizemos a seguinte montagem na matriz de contato para testar o programa: colocamos uma fonte variável de 0 a 5 Volts ligado no ADC0804 para simular o tensiômetro conectado ao transdutor de pressão. Depois disso conectamos a saída do conversor ao microcontrolador para que esse pudesse fazer a leitura já convertida em binário e, na seqüência, o microcontrolador foi conectado a 7 indicadores de LED (o bit menos significativo da saída do microcontrolador não foi conectado aos indicadores pois tínhamos apenas 7) simulando os números que posteriormente seriam exibidos nos displays de 7 segmentos. Variando a tensão na entrada do conversor verificamos que números eram apresentados nos indicadores. Começamos a identificar esses e chegamos a conclusão que havia um pequeno problema de linearidade. Isso aconteceu pela presença de ruídos no circuito e nos condutores utilizados na experiência. Essa causa foi comprovada posteriormente em outro teste. O tradutor do kit do fabricante gera um arquivo para simulação (.hex) quando o arquivo em assembly que constitui a entrada para o roda51 compila com sucesso. Simulamos esse arquivo através de um programa que também vem com o kit do fabricante. Esse é o DS51. Vimos a execução passo a passo do programa, a atualização de registradores e a variação de algumas variáveis. Em um segundo momento a saída do microcontrolador foi conectada a 2 displays de 7 segmentos, podendo apresentar decimais de 0 a 99. Variando a tensão na entrada do ADC0804 através do potenciômetro verificamos que havia ruídos nos testes anteriores pois nesse foi verificado a linearidade entre a tensão na entrada do ADC e os números apresentados nos

displays. A última experiência realizada com o projeto foi desenvolvida no laboratório de hidráulica da Universidade Federal de Lavras onde, através de uma bomba de vácuo conectada ao transdutor de pressão, foi possível limitar a tensão máxima de entrada no ADC0804 para que ele não mande números maiores do que 99 para os displays. Isso foi possível perante a utilização de um potenciômetro multivoltas funcionando como uma ponte entre o MPX5100 DP e o ADC0804. Foi aplicada uma pressão negativa de 80kPa na porta de entrada do transdutor de modo que ele disponibilizasse a tensão máxima que é aproximadamente de 3.8 Volts em sua saída. Mantendo essa pressão conseguiu-se limitar a voltagem máxima de entrada do conversor analógico-digital através do ajustamento do potenciômetro multivoltas em 1.943 Volts. Como o potenciômetro utilizado é linear, a calibração do tensiômetro foi feita através desse processo. Com isso cheguei ao objetivo proposto. Esses constituem os passos que foram seguidos para a concretização do projeto.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiramente falo a respeito da linguagem utilizada para a implementação do programa a ser executado pelo microcontrolador. No projeto inicial, esse seria escrito na linguagem C (.c) e, utilizando-se de um compilador, o código seria traduzido para o assembly (.asm). Depois dessa primeira compilação, o código ASM obtido é compilado para a linguagem binária (.bin), e depois enviado para o microcontrolador. Esse programa em C foi muito simples de implementar. Ele consiste basicamente de uma função principal (MAIN) que é responsável por executar o seguinte código:

Inicialmente RD e WR, ambos ativos em nível lógico 0, são setados, ficando em nível alto.

Dentro de um loop infinito temos os seguinte procedimentos:

- RD = 0: Esse sinal é requerido pelo conversor ADC0804. Ele é ativo em nível baixo, fazendo com que os dados convertidos em binário fiquem disponíveis nos pinos 11 a 18 (D7 a D0) do conversor.
- Chama-se um pequeno atraso para garantir que os dados já convertidos pelo ADC0804 estarão nos seus terminais de saída (D0 a D7) para uso do microcontrolador.
- Leitura: Faz com que o microcontrolador obtenha os dados binários da saída do ADC0804 que é proporcional ao potencial matricial de água no solo.
- RD = 1: Coloca a saída binária do ADC em Tri-State. É como se falasse ao conversor para parar de disponibilizar os dados já convertidos pois será feita uma nova atualização dessa leitura.

- Escrita: Faz com que o microcontrolador envie para os displays de 7 segmentos o valor do potencial matricial de água no solo. Essa inferência constitui no objetivo do trabalho.
- WR = 0: Ativo em nível baixo. Esse procedimento faz com que o ADC execute uma nova leitura do sinal analógico no seu terminal de entrada.
- Chama-se um outro atraso para garantir que o conversor conseguiu fazer a leitura analógica.
- WR = 1: termina a leitura do sinal analógico e inicia a conversão.

Todo o algoritmo descrito acima foi implementado em C. Com o compilador SDCC consegui converter o meu código em C para o assembly sem problemas, inclusive simulando todo o procedimento realizado. O anexo 5 mostra esse algoritmo genérico implementado acima escrito na linguagem C. O SDCC é um software freeware licenciado sobre a GNU Public License (GPL) que suporta uma variedade lista de processadores, incluindo a família MCS 51, pelo qual o 8051 faz parte. O programa já em assembly, o próximo passo seria converter esse para código de máquina utilizando o programa do fabricante do kit. Agora começou os problemas. Quando tentei traduzir o meu programa em assembly para a linguagem de máquina, utilizando o programa roda51 desenvolvido pelo fabricante (<http://www.microcontrolador.com.br>), apareceu centenas de erros. O que aconteceu foi que o .asm gerado pelo compilador SDCC era incompatível com a entrada para o roda51 gerar o .bin. Provavelmente isso ocorreu em função de que esses tradutores utilizam bibliotecas diferentes no processo de tradução. Cheguei a essa conclusão pois a maioria dos erros eram de sintaxe na escrita do código.

Diante dessa realidade tive que descartar a possibilidade de programar em uma linguagem de alto nível como o C. Até a esse ponto eu perdi muito tempo para a realização desse projeto tentando resolver os erros gerados pelo compilador do kit, sem falar no programa que eu tinha desenvolvido corretamente e que agora foi descartado. A solução desse partiu por parte do meu orientador que, dispondo de um conjunto de instruções em assembly que realmente funcionavam com o compilador do kit do fabricante, conseguiu implementar o algoritmo especificado acima diretamente em assembly, sem a necessidade da utilização de 2 compiladores em série como eu estava fazendo. Esse procedimento em assembly está disponível no anexo 6.

De acordo com o que foi especificado no referencial teórico a respeito do conversor analógico-digital ADC0804 (ver anexo 3), esse apresenta como sua saída digital 8 bits paralelos, ou seja, constitui de um conversor de 1 byte. Sendo assim pode-se representar um decimal de 0 a 255. Voltando novamente ao referencial, sabe-se que a tensão de saída do transdutor de pressão MPX5100 DP pode variar de 0.2 a 3.8 Volts. (ver anexo 2). Então 0.2 Volts na entrada do conversor teria que corresponder a 0 em decimal apresentado nos displays como a medida do potencial matricial de água no solo, assim como 3.8 Volts teria que equivaler ao decimal 99 apresentado no display.

Como se tem conhecimento, a escala do potencial matricial varia de 0 a 100 kPa. Então temos que tratar inicialmente o sinal apresentado como saída do transdutor antes de enviar para o conversor analógico-digital para que o microcontrolador não tente escrever, por exemplo, o decimal 200 no display.

Diante dessa situação, os resultados dos testes que serão apresentados foram feitos através de uma tensão variável de 0 a 5 Volts. A tensão é aplicada a entrada analógica do conversor ADC0804. Este circuito, como dito no referencial teórico, apresenta dois terminais de controle que são os pinos 2 e 3,

respectivamente o RD e o WR, ambos ativos em nível lógico 0. O byte de saída desse conversor é a entrada para o microcontrolador 8051. Esse apresenta 4 ports de comunicação. O port 1 é usado para a leitura do ADC0804 e escrita nos displays e o port 3 é usado para o controle do conversor: O pino 4 do port 3 é usado para controlar o sinal de RD e o 5 para controlar o WR.

Os 8 bits de saída do microcontrolador fornecem dois números codificados em BCD que serão convertidos e apresentados em 2 displays de 7 segmentos, podendo representar valores entre 0 a 99. Com essa montagem, variando a tensão na entrada do conversor, simulando o sinal do transdutor de pressão acoplado ao tensiômetro, foi possível a obtenção de alguns resultados. A tabela 6 apresenta a relação obtida entre a tensão de entrada no conversor analógico-digital e os valores apresentados nos displays.

Tabela 6 – Resultados apresentados utilizando indicadores de LED

Tensão Aplicada no ADC0804 via Potenciômetro (em Volts)	Números Apresentados nos indicadores de LED (em decimal)
0	0
0,1	5
0,2	11
0,5	28
0,8	44
1,0	55
1,1	62
1,5	82
1,7	94

1,9	99
Acima desse valor	Números Inválidos

De acordo com a tabela 6 , podemos concluir que ocorreram problemas de linearidade entre a tensão de entrada do ADC0804 e o resultado apresentado nos indicadores de LED. Isso aconteceu provavelmente devido a ruídos dos circuitos e dos condutores utilizados.

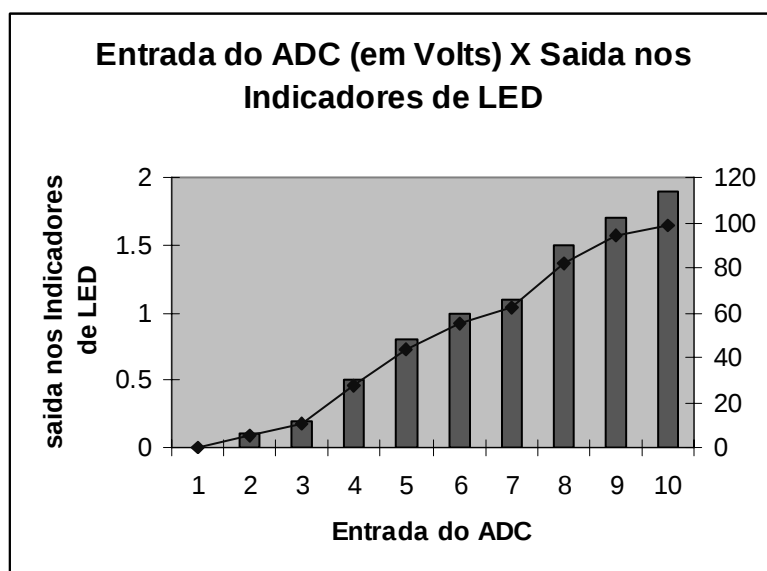


Gráfico 1: Resultados do primeiro teste

Posteriormente estarei fazendo essa montagem utilizando-se de placas de circuito impresso para fazer a ligação entre os componentes. Assim, problemas de ruídos serão minimizados e a linearidade melhorada. Resultados mais significativos e o teste utilizando o tensiômetro conectado ao transdutor de pressão e ao potenciômetro serão apresentados na minha defesa da monografia.

A tabela também nos mostra que acima de certa voltagem fornecida pelo potenciômetro na montagem (1.9 Volts), aparece números estranhos nos indicadores de LED. Isso em função de que o microcontrolador envia aos indicadores números maiores do que 99, o que não pode acontecer.

A Segunda etapa dos testes foi implementada também utilizando-se de uma fonte de tensão variável de 0 a 5 Volts simulando o transdutor de pressão acoplado ao tensiômetro. Agora o resultado é apresentado em dois displays de 7 segmentos, podendo variar de 0 a 99 kPa. Variando a tensão de entrada no ADC0804, fiz 27 leituras diferentes, obtendo diferentes números nos displays. A tabela 7 mostra o resultado desse segundo teste.

Tabela 7 – Resultados apresentados utilizando displays de 7 segmentos

Tensão Aplicada no ADC0804 via Potenciômetro (em Volts)	Números Apresentados nos displays de 7 segmentos
0	0
0,090	4
0,115	6
0,194	10
0,235	12
0,280	14
0,287	15
0,387	20
0,498	26
0,627	32

0,682	35
0,7	36
0,781	40
0,852	44
0,981	50
0,992	51
1,067	55
1,158	59
1,288	66
1,387	71
1,413	73
1,528	78
1,651	87
1,770	91
1,855	95
1,934	99
1,943	00

De acordo com a tabela 7 notamos que certa linearidade está presente nessa experiência. Provavelmente o ruído foi minimizado em relação ao teste anterior e a linearidade melhorada. O gráfico 2 apresenta essa redução do ruído.

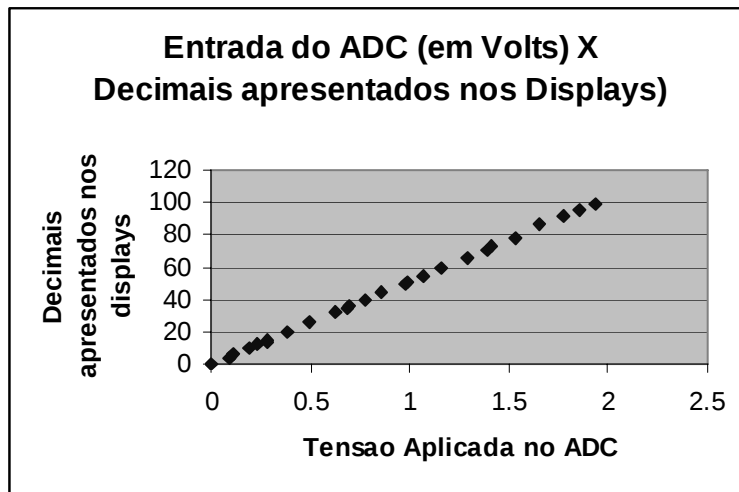


Gráfico 2: Resultados do segundo teste

O terceiro e último teste desse projeto foi feito no laboratório de hidráulica da Universidade Federal de Lavras. Esse foi implementado com todos os circuitos utilizados nos testes passados já conectados em 2 placas de circuito impresso. Uma dessas placas contém os 2 displays de 7 segmentos que exibem o resultado da leitura feita pelo microcontrolador na saída do ADC0804. A outra placa possui os outros circuitos conectados em série utilizados nos testes anteriores. Como comprovado nas 2 experiências passadas, de forma mais precisa no 2º experimento, quando o conversor analógico-digital recebe em seu terminal de entrada uma tensão acima de 1.943 Volts, o microcontrolador escreve nos displays números maiores que 99. Isso não pode acontecer. De acordo com o anexo 2, a voltagem máxima fornecida pelo transdutor de pressão ao ADC0804 é de aproximadamente 3,8 Volts quando o vácuo dentro desse equivale respectivamente a uma força cujo módulo é de 80 kPa. Sendo assim foi necessário tratar a saída desse transdutor para que ele não envie ao conversor uma tensão superior a 1.943 Volts. O condicionamento dessa tensão de entrada ao ADC0804 foi feito utilizando-se de um potenciômetro multivoltas linear. Esse resistor variável foi conectado estabelecendo uma ponte entre o transdutor

de pressão e o conversor analógico-digital. De posse de uma bomba de vácuo, consegui aplicar uma pressão negativa na entrada do transdutor cujo módulo foi de 80 kPa. Nesse momento, dispondo de um multímetro, verifiquei que a tensão de saída desse dispositivo era de aproximadamente 3.8 Volts. Através do potenciômetro consegui regular para 1,943 Volts a entrada do ADC0804 quando o vácuo dentro do transdutor era de 80 kPa, indicado pela bomba de vácuo. Esse último experimento constitui o meu projeto. Sendo que esse potenciômetro é linear, o tensiômetro já está calibrado. Mais ainda. Agora temos um tensiômetro digital, o tensímetro. A tabela 8 mostra alguns resultados obtidos a partir desse experimento.

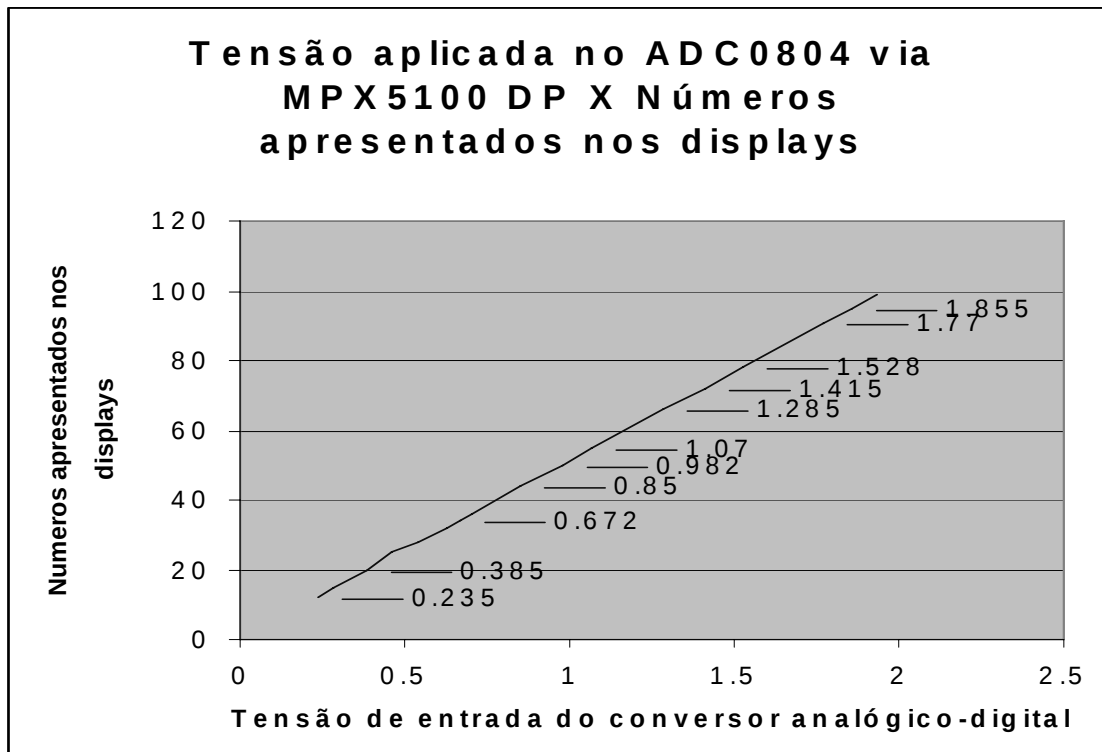
Tabela 8 – Resultados do último teste

Tensão Aplicada no ADC0804 via MPX5100 DP (em Volts)	Números Apresentados nos displays de 7 segmentos
0.235	12
0.287	15
0.385	20
0.460	25
0.540	28
0.627	32
0.672	34
0.700	36
0.850	44
0.982	50
1.070	55

1.285	66
1.415	72
1.528	78
1.770	91
1.855	95
1.934	99

De acordo com a tabela acima verifica-se pela 2ª vez que a relação entre a saída do transdutor MPX5100 DP e os números apresentados nos displays de 7 segmentos é linear. Mais uma vez é confirmado a presença de ruídos nos condutores e circuitos utilizados no 1º teste.

Plotando os valores acima temos o seguinte gráfico:



5 CONCLUSÕES

O propósito desse projeto foi a automação do processo de leitura do potencial matricial da umidade do solo utilizando-se do tensiômetro. Essa implementação alcançou o seu objetivo tornando-se mais prático e preciso a obtenção dessa necessidade em relação aos métodos convencionais. Imagine ter que ficar medindo com uma régua a profundidade de instalação do tensiômetro convencional ou mensurar a elevação do mercúrio dentro do barômetro para saber a medida do potencial matricial de água no solo. Além de ser muito mais trabalhoso, erros podem aparecer se essas medidas não forem as mais precisas possíveis.

Como dito na metodologia, depois do estudo do microcontrolador 8051 optei por dividir o trabalho de acordo com a montagem seqüencial que teria que desenvolver. Não passei por cima de nenhuma etapa até a conclusão do trabalho. O método científico é baseado em fases que devem ser cumpridas até se chegar a uma tese final. Esse processo de desenvolvimento do tensímetro me mostrou isso claramente no meu cotidiano. Principalmente quando estava realizando testes com o experimento onde me deparei com uma situação não esperada de resultados. No próximo teste essa situação foi esclarecida: Ruídos nos circuitos e nos condutores utilizados causaram aquela deficiência. As ciências devem trabalharem em conjunto para trazerem melhorias sociais, como esse desenvolvimento de caráter multidisciplinar. Espero que esse projeto seja utilizado na área em que ele foi proposto.

Esse pode ser posteriormente incrementado em função da utilização do microcontrolador dedicado. Penso em até desenvolver um projeto onde, utilizando-se do tensímetro implementado nesse trabalho, mandar via rádio leituras periódicas da umidade do solo para um pivô central e, de acordo com

essa informação, ele responde irrigando ou não determinada área. Saídas paralelas podem ser geradas juntamente com a leitura: Acionamento de um motor de irrigação, relatórios indicando estatísticas da evolução das leituras perante o tempo, indicação da necessidade de um tratamento imediato no solo em função de que esse não retém umidade, dentre outros.

6 BIBLIOGRAFIA

CORSINI, P.C. 1971 – Agregação e fluxo de água do solo. Tese de doutoramento. Fac.de Medicina Veterinária e Agronômica de Jaboticabal. Jaboticabal, SP.

REICHARDT, K. 1975 – Processos de Tranferência no Sistema Solo-Planta-Atmosfera. Publicação Especial do centro de Energia Nuclear na Agricultura – USP – CNEM e Fundação Cargill. Piracicaba, SP.

REICHARDT, K. 1986 – A Água em Sistema Agrícolas. Editora Manole Ltda. Piracicaba, SP.

ZELENOVSKY, R. & MENDONÇA, A. 1999 – PC: Um Guia Prático de Hardware e Interfaceamento. MZ Editora Ltda. Rio de Janeiro, RJ.

BIGNELL, .J.W & DONOVAN, R.L. 1995 – Eletrônica Digital – Volume II. Makron Books do Brasil. São Paulo, SP.

TANENBAUM, Andrew S. 1992 – Organização Estruturada de Computadores. Prentice Hall. Rio de Janeiro, RJ.

TORRES, G. 1996 – Curso Completo Hardware. Axcel Books. Rio de Janeiro, RJ.

SILVA, V. P. Jr. 1999 – Microcontrolador 8051 – Aplicações Praticas – Editora Erica Ltda. 8ª Edição. São Paulo, SP.

NICOLOSI, D.E.C. 2000 – Microcontrolador 8051 Detalhado. Erica . São Paulo, SP.

Real-Time Computing with Applications to Data Aquisition and Control

Autores: vários

Editor: Van Nostrand Reinhold Company – New York

Páginas na INTERNET:

<http://www.Eletrica.ufpr.br/edu/ie00/transd/wilfredo/#I1> visitado no dia 14/10/2002

<http://www.dmat.furg.br/~vagner/8051emu> visitado no dia 14/10/2002

<http://www.motorola.com> visitado no dia 18/11/2002

http://www.cnpq.br/resultadosjulgamento/cthidro_projetos/teixeira-as_cnpq10.htm visitado no dia 26/11/2002

<ftp://ftp.ai.uga.edu/pub/microcontrollers/8051/> visitado no dia 26/11/2002

<http://www.microcontrolador.com.br> visitado no dia 26/11/2002

<http://www.microcontrollercafe.com> visitado no dia 26/11/2002

<http://www.national.com/rap/8051> visitado no dia 26/11/2002

<http://www.well.com/user/memory/memtypes.htm#UKM> visitado no dia 01/12/2003

<http://www.pipesystem.com.br/Utilidades/Conversoes/conversoes.html> visitado no dia 01/12/2003

7 ANEXOS

Anexo 1 – Relação entre as principais unidades na inferência do potencial matricial de água no solo.

Anexo 2 – Datasheet do MPX5100 DP – Paginas 2 e 3

Fonte: <http://www.motorola.com/semiconductors>

Anexo 3 – características de Funcionamento do Conversor Analógico-Digital ADC0804 de 8 bits.

Fonte: <http://www.rogercom.com>

Anexo 4 – Arquitetura interna do Microcontrolador 8051

Anexo 5 – Algoritmo escrito em C

Anexo 6 – Algoritmo escrito em Assembly

Anexo 1

Legenda

Pressão - Quociente da força pela área da superfície, na qual a força atua.

- **Pa** - Pascal (N/m^2)
- **atm** - Atmosfera
- **bar** - Bar (10^5 Pa)
- **kgf/cm²** - Quilograma-força por centímetro quadrado
- **psi** - Libra-força por polegada quadrada (lbf/in^2)
- **lbf/ft²** - Libra-força por pé quadrado
- **m H₂O** - Metro de coluna d'água
- **mm Hg** - Milímetro de coluna de mercúrio
- **ft H₂O** - Pés de coluna d'água
- **in Hg** - Polegada de coluna de mercúrio

De	Para
1000 Pa	Pa
atm	0.0098692 atm
bar	0.01 bar
kgf/cm²	0.0101978 kgf/cm²
psi	0.145037 psi
lbf/ft²	20.88543 lbf/ft²
m H₂O	0.101978 m H₂O
mm Hg	7.5006 mm Hg
ft H₂O	0.334573 ft H₂O
in Hg	0.2953 in Hg

